NRI-ER-855-PETPN10-00-L

تدوین سند توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات آن در نیروگاه حرارتی

نام و نام خانوادگی مدیر پروژه: سیده مهناز ابراهیمی
نام و نام خانوادگی مجری: سهراب امینی ولاشانی

DOI: 10.30503/nripress.2020.325

DOI: DOI: 10.30503/nripress.2020.325

تدوین سند توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات آن در نیروگاه حرارتی

مدیر پروژه:

سیده مهناز ابراهیمی

همکاران پروژه:

رضا خلیل زاده، ایمان صادقی، حسن ابراهیمی راد، مهدیه رحمانی، محمد شاکوهی، محمود مقدسیان

مجری:

سهراب امینی ولاشانی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۱

کد گزارش NRI-ER-855-PETPN10-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.325

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پیشرفته

تدوین سند توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات آن در نیروگاه حرارتی/ مدیر پروژه: سیده مهناز ابراهیمی. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۱.

۸۶۵ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. همکاران پروژه: سیده مهناز ابراهیمی، رضا خلیل زاده، ایمان صادقی، حسن ابراهیمی راد، مهدیه رحمانی، محمد شاکوهی، محمود مقدسیان

۲. مجری پروژه: سهراب امینی ولاشانی

۳. محور/ محورهای اصلی پروژه: توسعه فناوری حوزه ژنراتور، الکتروموتور، سیستم تحریک، سیستم راه‌انداز، درایو، سیستم پایش وضعیت در نیروگاه حرارتی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

مرکز توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پیشرفته

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران،شهرک‌غرب،انتهای‌بلوارشهیددادمان،پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه:www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب سیده مهناز ابراهیمی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران : رضا خلیل زاده، ایمان صادقی، حسن ابراهیمی راد، مهدیه رحمانی، محمد شاکوهی، محمود مقدسیان

DOI: DOI: 10.30503/nripress.2020.325

پیشگفتار

امروزه توجه به حوزه توسعه‌ی فناوری یکی از راهکارهای رشد اقتصادی کشورها محسوب می‌گردد. از این رو بسیاری از سازمان‌های بزرگ به دنبال شناسایی فرصت‌های توسعه فناوری و ساماندهی و هدایت آن در بخش‌های مختلف هستند، بدین‌منظور اقدام به تدوین اسناد توسعه فناوری و نوآوری در حوزه مأموریت خود نموده و تلاش خواهند داشت تا در قالبی یکپارچه و متناسب با اهداف و منابع ملی، چشم انداز متصور را محقق نمایند. این مهم ذیل رویکردی جامع و آینده‌نگر و با تدوین اهداف، سیاست‌ها و راهبردهای تحول و توسعه فناوری محقق خواهد شد.

با توجه به سهم بالای نیروگاه‌های حرارتی در تامین برق کشور، پرداختن به حوزه توسعه فناوری‌های موجود در بخش الکتریک نیروگاه حائز اهمیت بوده لذا در گزارش پیش‌رو، سند توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات آن در نیروگاه حرارتی شامل ژنراتور، الکتروموتور، سیستم تحریک، سیستم راه‌انداز، درایو و سیستم-های پایش وضعیت تدوین می‌گردد. گزارش در ۶ بخش ارائه می‌گردد، فصل اول در خصوص مبانی تدوین سند می‌باشد و ابعاد موضوع و محدوده مطالعات مشخص می‌گردد. در فصل دوم هر یک از ۶ حوزه فناوری مذکور در سند، به طور مجزا از منظر آینده‌پژوهی و بازار فناوری مورد مطالعه قرار گرفته و نگاشت فناوری ترسیم می‌گردد. در فصل سوم پس از ارائه گزارش مصاحبه‌های تخصصی با خبرگان نیروگاه‌های حرارتی کشور، ارکان جهت‌ساز سند توسعه فناوری شامل چشم‌انداز و اهداف سند، ماموریت‌ها و راهبردهای موجود تدوین می‌گردد. در فصل چهارم برنامه اقدامات صنعت برق حرارتی به منظور دستیابی به چشم‌انداز و اهداف پیش‌رو معرفی می‌گردد، برنامه اقدامات می‌تواند انواع مختلف اقدامات سیاستی/حمایتی، فنی/پژوهشی و صنعتی/بازار را شامل شود. در فصل پنجم با توجه به اهداف و اقدامات بیان شده در فصول قبل، برنامه عملیاتی سند، شامل پروژه‌های اجرایی و بودجه و زمان مورد نیاز معرفی شده و رهنگاشت هر یک از پروژه‌ها ترسیم می‌گردد. در فصل ششم به منظور ارزیابی و به‌روزرسانی سند در سال‌های آتی، شاخص‌های ارزیابی سند معرفی می‌گردد.

پروژه با مدیریت خانم مهندس سیده مهناز ابراهیمی و زحمات همکاران آقای مهندس ایمان صادقی، آقای مهندس رضا خلیل‌زاده، خانم مهندس مهدیه رحمانی، آقای دکتر سید محمد شاکوهی، آقای دکتر محمود مقدسیان و نظارت آقای مهندس شهرام عابدی و آقای مهندس حسن ابراهیمی راد و مجری‌گری آقای مهندس سهراب امینی ولاشانی به سرانجام رسیده است.

با تشکر از جناب آقای مهندس شعبانی و جناب آقای مهندس شالودگی از نیروگاه شهید مفتح، جناب آقای دکتر توحیدی از نیروگاه رامین، جناب آقای مهندس عرب‌نژاد از نیروگاه ایرانشهر، جناب آقای مهندس قهرمانی از نیروگاه بعثت، جناب آقای مهندس کرمانی از نیروگاه اصفهان، جناب آقای مهندس سلیم‌پور از نیروگاه شهید سلیمی نکاء، جناب آقای دکتر بلوکات از نیروگاه ری، جناب آقای مهندس پورفارسی از نیروگاه شهید منتظر قائم،

جناب آقای مهندس تقوی از نیروگاه یزد، جناب آقای مهندس جلویان از شرکت بهره‌برداری و تعمیرات صبا، جناب آقای دکتر مرادی از شرکت توان مبدل باختر، جناب آقای مهندس رئوفی از شرکت اطمینان بخش

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- ضرورت توسعه و تدوین سند ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- وضعیت نیروگاه‌های حرارتی کشور ۲
۱-۳- تبیین ابعاد موضوع و محدوده مطالعات سند ۸
۱-۳-۱- ادبیات موضوع ساختار توسعه فناوری ۸
۱-۱-۳-۱- مرزبندی و شناخت سیستم ۹
۱-۲-۳-۱- سند نهایی چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران ۲۰
۱-۳-۳-۱- قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران ۱۳۹۶-۱۴۰۰ ۲۰
۱-۴-۳-۱- سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در ارتباط با "انرژی" ۲۰
۱-۵-۳-۱- سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف ۲۱
۱-۶-۳-۱- قانون ۷۵ ماده‌ای اصلاح الگوی مصرف ۲۱
۱-۷-۳-۱- برنامه راهبردی وزارت نیرو تا افق ۱۴۰۴ (تدوین‌شده در ۱۳۹۲) ۲۲
۱-۸-۳-۱- سیاست‌های اقتصاد مقاومتی ۲۳
۱-۹-۳-۱- قانون هدفمند نمودن یارانه‌ها ۲۴
۱-۱۰-۳-۱- سند نقشه راه بهره‌وری انرژی الکتریکی ۲۴
۱-۱۱-۳-۱- برنامه راهبردی انرژی ۲۴
۱-۱۲-۳-۱- بیانیه طرح توسعه صنعت قطعه‌سازی کشور ۲۵
۱-۱۳-۳-۱- سند چشمانداز و برنامه راهبردی وزارت نیرو (تدوین برنامه عملیاتی) ۲۵
۱-۱۴-۳-۱- اساسنامه شرکت تولید نیروی برق حرارتی ۳۴
۱-۲-۳- کنشگران فعال در حوزه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار با کاربرد در نیروگاه حرارتی ۳۶
۱-۱-۲-۳- مجلس ۳۶
۱-۲-۲-۳- مجمع تشخیص مصلحت نظام ۳۶
۱-۳-۲-۳- شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری (عتف) ۳۶
۱-۴-۲-۳- معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری ۳۷
۱-۵-۲-۳- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور ۳۸
۱-۶-۲-۳- دفتر همکاریهای فناوری و نوآوری ریاست جمهوری ۳۸
۱-۷-۲-۳- وزارت علوم تحقیقات و فناوری ۳۹
۱-۸-۲-۳- وزارت نیرو ۴۰
۱-۹-۲-۳- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی ۴۱
۱-۱۰-۲-۳- سازمان استاندارد ایران ۴۲
۱-۱۱-۲-۳- سازمان محیطزیست ۴۳
۱-۱۲-۲-۳- سازمان بهره‌وری انرژی ایران ۴۳

۱۳-۲-۳-۱- پژوهشگاه نیرو ۴۳
۱۴-۲-۳-۱- دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو) ۴۴
۱۵-۲-۳-۱- صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور ۴۵
۱۶-۲-۳-۱- صندوق مالی توسعه تکنولوژی ایران ۴۶
۱۷-۲-۳-۱- پارکهای علم و فناوری ۴۶
۱۸-۲-۳-۱- دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی ۴۷
۱۹-۲-۳-۱- صندوق غیردولتی پژوهش و فناوری صنعت برق ۴۷
۲۰-۲-۳-۱- شرکت فن ژنراتور ۴۸
۲۱-۲-۳-۱- شرکت توربوژنراتور ۴۹
۲۲-۲-۳-۱- شرکت جمکو (جوین) ۴۹
۲۳-۲-۳-۱- پارس ژنراتور ۴۹
۲۴-۲-۳-۱- شرکت‌های سازنده سیم و کابل ۴۹
۲۵-۲-۳-۱- شرکت موتوژن ۵۰
۲۶-۲-۳-۱- ترسیم نگاشت نهادی ۵۰
۲- هوشمندی بازار و فناوری در حوزه شرکت برق حرارتی ۵۳
۱-۲- مقدمه ۵۴
۲-۲- آینده‌پژوهی فناوری و ترسیم نگاشت ۵۴
۱-۲-۲- ژنراتور ۵۴
۱-۱-۲-۲- ژنراتورهای هیدرودینامیک مغناطیسی (MHD) ۶۹
۲-۱-۲-۲- کاربردهای ژنراتورهای الکتریکی ۷۳
۳-۱-۲-۲- پارامترها و مشخصه‌های عملکردی ژنراتورهای الکتریکی ۷۴
۴-۱-۲-۲- اجزای ژنراتورهای سنکرون ۷۸
۵-۱-۲-۲- چالش‌های موجود و راهکارها ۱۰۵
۶-۱-۲-۲- شرکت‌های خارجی تولیدکننده توربوژنراتورها ۱۷۶
۷-۱-۲-۲- شرکت‌های تولیدکننده و تعمیراتی ژنراتور در داخل کشور ۲۲۳
۲-۲-۲- الکتروموتور ۲۳۲
۱-۲-۲-۲- اساس کارکرد موتورهای الکتریکی ۲۳۲
۲-۲-۲-۲- فناوری‌های الکتروموتورهای پربازده ۲۴۰
۳-۲-۲-۲- میزان صرفه‌جویی ممکن در صورت استفاده از الکتروموتورهای پربازده ۲۴۲
۴-۲-۲-۲- تجهیزات الکتروموتوری مورد استفاده در نیروگاه‌های حرارتی ۲۴۴
۵-۲-۲-۲- چالش‌ها و راهکارها ۲۴۶
۶-۲-۲-۲- اقدامات بهینه‌سازی انجام‌گرفته در الکتروموتورهای نیروگاه‌های حرارتی در دنیا ۲۵۳
۷-۲-۲-۲- استفاده از درایو کنترل دور بر روی الکتروموتورهای موجود در نیروگاه‌های حرارتی دنیا ۲۵۵
۸-۲-۲-۲- جایگزینی الکتروموتورهای پربازده به جای الکتروموتورهای موجود یا فرسوده در صنعت نیروگاهی دنیا ۲۵۷

۹-۲-۲-۲- دستورالعمل‌های حاکمیتی در مورد سیستم‌های الکتروموتوری نیروگاه‌های حرارتی دنیا..... ۲۵۸
۱۰-۲-۲-۲- طرح‌های تشویقی و حمایتی جهت کاهش مصرف الکتروموتورهای نیروگاه‌های حرارتی..... ۲۶۲
۱۱-۲-۲-۲- امکان‌سنجی اقتصادی برای جایگزینی الکتروموتورها..... ۲۶۴
۱۲-۲-۲-۲- پتنت‌های ثبت‌شده در راستای افزایش بازدهی الکتروموتورها..... ۲۷۰
۱۳-۲-۲-۲- شرکت‌های خارجی تولیدکننده الکتروموتور..... ۲۷۷
۱۴-۲-۲-۲- شرکت‌های داخلی تولیدکننده الکتروموتور..... ۲۹۷
۱۵-۲-۲-۲- توانمندی‌های دانشگاهی و پژوهشی..... ۳۱۳
۳-۲-۲- سیستم‌های درایو..... ۳۱۴
۱-۳-۲-۲- تکنولوژی سیستم‌های درایو نیروگاه‌های حرارتی..... ۳۱۴
۲-۳-۲-۲- روش‌های کنترل مبدل‌ها..... ۳۳۵
۲-۳-۳-۲- درخت فناوری سیستم‌های درایو نیروگاه حرارتی..... ۳۴۲
۲-۳-۴-۲- چرخه بلوغ فناوری..... ۳۴۳
۲-۳-۵-۲- مشخصه‌های فنی..... ۳۴۷
۶-۳-۲-۲- شرکت‌های خارجی سازنده سیستم‌های درایو..... ۳۴۸
۷-۳-۲-۲- شرکت‌های سازنده داخلی و محصولات آنها و توانایی و ظرفیت‌های بالقوه..... ۳۷۰
۸-۳-۲-۲- قیمت محصولات..... ۳۸۲
۹-۳-۲-۲- برآورد توانایی ساخت داخل و بررسی توانمندیهای شرکتهای داخلی..... ۳۸۳
۱۰-۳-۲-۲- نمونه‌هایی از کاربرد سیستم درایو در نیروگاه های داخلی..... ۳۸۵
۱۱-۳-۲-۲- برآورد TRL بین المللی و داخلی در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاه حرارتی..... ۳۸۶
۱۲-۳-۲-۲- سهم بازار و میزان واردات و صادرات سیستم درایو در حوزه نیروگاه حرارتی..... ۳۸۸
۱۳-۳-۲-۲- شناسایی سیاست ها و متغیرهای ملی و بین المللی تاثیرگذار بر محیط ساخت داخل و تجارت سیستم تحریک و راه انداز و درایو در حوزه نیروگاه حرارتی..... ۳۹۱
۴-۲-۲- سیستم‌های راه‌انداز..... ۳۹۷
۱-۴-۲-۲- تکنولوژی سیستم راه‌انداز نیروگاه حرارتی..... ۳۹۷
۲-۴-۲-۲- مشخصات فنی..... ۴۰۰
۳-۴-۲-۲- شرکت‌های سازنده خارجی و محصولات آن‌ها..... ۴۰۱
۴-۴-۲-۲- شرکت‌های سازنده داخلی و محصولات آنها و توانایی و ظرفیت‌های بالقوه..... ۴۳۱
۵-۴-۲-۲- قیمت محصولات..... ۴۴۰
۶-۴-۲-۲- برآورد توانایی ساخت داخل و ارزیابی توانمندی شرکتهای داخلی..... ۴۴۱
۷-۴-۲-۲- برآورد TRL بین المللی و داخلی در حوزه سیستمهای راه انداز نیروگاه حراراتی..... ۴۴۲
۸-۴-۲-۲- سهم بازار و میزان واردات و صادرات سیستم راه انداز نیروگاه حرارتی..... ۴۴۳
۵-۲-۲- سیستم‌های تحریک..... ۴۴۹
۱-۵-۲-۲- تاریخچه سیستم‌های تحریک..... ۴۵۰
۲-۵-۲-۲- اجزای سیستم تحریک..... ۴۵۰
۳-۵-۲-۲- کنترل دیجیتال سیستم‌های تحریک..... ۴۵۱
۴-۵-۲-۲- مشخصات انواع سیستم تحریک و مزایا و معایب و کاربردهای آنها..... ۴۵۲

۵-۵-۲-۲- درخت فناوری سیستم‌های تحریک ژنراتور ۴۵۵
۶-۵-۲-۲- چرخه عمر فناوری سیستم‌های تحریک ژنراتور ۴۵۶
۷-۵-۲-۲- مشخصات فنی ۴۵۷
۸-۵-۲-۲- انتخاب مشخصات فنی برای مقایسه سیستم‌های تحریک نیروگاه ۴۷۷
۹-۵-۲-۲- شرکت‌های سازنده خارجی و محصولات آن‌ها ۴۷۸
۱۰-۵-۲-۲- شرکت‌های سازنده داخلی و محصولات آن‌ها ۴۹۹
۱۱-۵-۲-۲- قیمت محصولات ۵۱۱
۱۲-۵-۲-۲- برآورد توانایی ساخت داخل و ارزیابی توانمندی شرکت‌های داخلی ۵۱۱
۱۳-۵-۲-۲- برآورد TRL بین‌المللی و داخلی در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاه حرارتی ۵۱۳
۱۴-۵-۲-۲- سهم بازار و میزان واردات و صادرات سیستم تحریک در حوزه نیروگاه حرارتی ۵۱۵
۶-۲-۲- سیستم‌های پایش وضعیت ۵۱۷
۱-۶-۲-۲- مروری بر انواع عیوب ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی ۵۱۸
۲-۶-۲-۲- بررسی فناوری اندازه گیری تخلیه جزیی ۵۲۶
۳-۶-۲-۲- شناسایی شرکتهای صنعتی فعال در حوزه اندازه‌گیری تخلیه جزئی ۵۳۴
۴-۶-۲-۲- بررسی فناوری اندازه گیری شار فاصله هوایی ۵۴۱
۵-۶-۲-۲- شرکتهای صنعتی فعال در حوزه پایش شار مغناطیسی ۵۴۶
۶-۶-۲-۲- بررسی فناوری آنالیز ارتعاشات ۵۵۲
۷-۶-۲-۲- شرکتهای فعال در حوزه اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ۵۶۱
۸-۶-۲-۲- بررسی سایر روشهای آنلاین پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی ۵۶۹
۹-۶-۲-۲- بررسی فناوری سیستمهای جامع پایش وضعیت ژنراتورهای نیروگاهی ۵۷۶
۱۰-۶-۲-۲- بررسی وضعیت فعلی فناوری پایش آنلاین ژنراتور نیروگاهی در کشور و بررسی چالشهای پیشرو توسعه فناوری در کشور ۵۹۹
۱۱-۶-۲-۲- بررسی وضعیت فناوری پایش آنلاین ژنراتور در واحدهای بخار منتخب ۵۹۹
۱۲-۶-۲-۲- بررسی وضعیت فناوری پایش آنلاین ژنراتور در واحدهای گازی منتخب ۶۰۱
۱۳-۶-۲-۲- معرفی چالشهای فناوری پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاههای کشور ۶۰۳
۱۴-۶-۲-۲- درخت فناوری، نتیجه گیری و ارایه پیشنهاد ۶۰۴
۳-۲- شناسایی پتانسیل‌های پژوهشگاه نیرو و شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی از منظر منابع انسانی، تجهیزات و زیرساخت‌های آزمایشگاهی و کارگاهی ۶۰۸
۱-۳-۲- گروه‌های پژوهشی، مراکز توسعه و رشد فناوری پژوهشگاه نیرو ۶۰۸
۲-۳-۲- حوزه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی ۶۰۹
۱-۲-۳-۲- گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی ۶۱۰
۲-۲-۳-۲- گروه پژوهشی الکترونیک قدرت ۶۱۱
۳-۳-۲- حوزه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق ۶۱۳
۱-۳-۳-۲- گروه پژوهشی الکترونیک و ابزار دقیق ۶۱۳
۲-۳-۳-۲- گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه ۶۱۳
۴-۳-۲- حوزه مطالعات شبکه‌های فشارقوی ۶۱۴

۵-۳-۲- حوزه مکانیک نیروگاه ۶۱۵
۱-۵-۳-۲- گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی ۶۱۶
۲-۵-۳-۲- گروه پژوهشی سیکل و مبدل‌های حرارتی ۶۱۶
۶-۳-۲- حوزه شیمی و مواد ۶۱۷
۷-۳-۲- آزمایشگاه‌های مرجع -پژوهشگاه نیرو ۶۱۸
۱-۷-۳-۲- آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی ۶۱۸
۲-۷-۳-۲- آزمایشگاه الکترونیک صنعتی ۶۱۹
۳-۷-۳-۲- آزمایشگاه مرجع فشارقوی ۶۲۱
۴-۷-۳-۲- آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک ۶۲۲
۵-۷-۳-۲- آزمایشگاه سوخت و روغن ۶۲۳
۶-۷-۳-۲- آزمایشگاه مرجع رله و حفاظت ۶۲۵
۷-۷-۳-۲- آزمایشگاه ترموهیدرولیک ۶۲۶
۸-۳-۲- شرکت‌های فعال در حوزه تجهیزات الکتریک (مرکز رشد پژوهشگاه نیرو) ۶۲۷
۹-۳-۲- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی ۶۲۸
۱۰-۳-۲- شرکت‌های تولید نیروی برق حرارتی ۶۳۰
۱-۱۰-۳-۲- شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها) ۶۳۱
۲-۱۰-۳-۲- پیمانکاران بازدید و سرویس ژنراتور مورد تایید شرکت برق حرارتی ۶۳۲
۳-۱۰-۳-۲- شرکت تعمیرات نیروگاهی ۶۳۲
۱۱-۳-۲- متخصصین به تفکیک نیروگاه و شرکت‌های تولید نیروی برق ۶۳۳
۳- ارکان هدف‌ساز (چشم‌انداز، اهداف، راهبردها و اقدامات) ۶۴۱
۱-۳- مقدمه ۶۴۲
۲-۳- ادبیات تدوین چشم‌انداز ۶۴۲
۱-۲-۳- چشم‌انداز در مدل‌های تدوین راهبرد بنگاه ۶۴۲
۱-۱-۲-۳- مدل دیوید ۶۴۳
۲-۱-۲-۳- مدل پاتریک لوئیس ۶۴۳
۳-۱-۲-۳- مدل آلیسون ۶۴۳
۴-۱-۲-۳- مدل مک‌میلان ۶۴۳
۲-۲-۳- نمونه‌هایی از چشم‌اندازهای سایر فناوری‌ها ۶۴۴
۱-۲-۲-۳- چشم‌انداز بخش انرژی باد ۶۴۴
۲-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری نانو ۶۴۴
۳-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری پیل سوختی ۶۴۴
۴-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری سلول‌های بنیادی ۶۴۴
۵-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری اطلاعات ۶۴۴
۶-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری‌های زیستی ۶۴۵
۷-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری نانو در آفریقای جنوبی ۶۴۵
۸-۲-۲-۳- چشم‌انداز توسعه خودروهای الکتریکی در کانادا ۶۴۵

۹-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری پیل سوختی در ایالات متحده..... ۶۴۵
۱۰-۲-۲-۳- چشم‌انداز انرژی هیدروژن و فناوری پیل سوختی در چین..... ۶۴۵
۳-۳- روش پیشنهادی ترسیم چشم‌انداز توسعه فناوری..... ۶۴۵
۴-۳- هدف‌گذاری کلان..... ۶۴۷
۵-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی..... ۶۴۸
۳-۵-۱- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی الکتروموتورها..... ۶۴۹
۳-۵-۱-۱- دکتر مرادی..... ۶۴۹
۲-۱-۵-۳- دکتر توحیدی..... ۶۵۰
۳-۱-۵-۳- مهندس قهرمانی..... ۶۵۲
۴-۱-۵-۳- مهندس قربانی..... ۶۵۲
۲-۵-۳- مبحث جایگزینی الکتروموتورهای فرسوده موجود با نوع پربازده و استفاده از درایو..... ۶۵۳
۱-۲-۵-۳- دکتر مرادی..... ۶۵۳
۲-۲-۵-۳- دکتر توحیدی..... ۶۵۳
۳-۲-۵-۳- مهندس قهرمانی..... ۶۵۴
۴-۲-۵-۳- مهندس قربانی..... ۶۵۴
۳-۵-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز حوزه الکتروموتور تا سال ۱۴۰۵..... ۶۵۵
۱-۳-۵-۳- دکتر مرادی..... ۶۵۵
۲-۳-۵-۳- دکتر توحیدی..... ۶۵۵
۳-۳-۵-۳- مهندس قهرمانی..... ۶۵۶
۴-۳-۵-۳- مهندس قربانی..... ۶۵۷
۴-۵-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز الکتروموتورها..... ۶۵۷
۱-۴-۵-۳- دکتر مرادی..... ۶۵۷
۲-۴-۵-۳- دکتر توحیدی..... ۶۵۸
۳-۴-۵-۳- مهندس قهرمانی..... ۶۵۸
۴-۴-۵-۳- مهندس قربانی..... ۶۵۸
۵-۵-۳- اهداف در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی..... ۶۵۸
۶-۵-۳- اقدامات لازم در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی..... ۶۵۸
۱-۶-۵-۳- اقدامات فنی در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی..... ۶۵۸
۲-۶-۵-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی..... ۶۵۹
۶-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی..... ۶۵۹
۳-۶-۱- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی توربوژنراتورها..... ۶۶۱
۳-۶-۱-۱- مهندس پورفارسی..... ۶۶۱
۲-۱-۶-۳- مهندس شالودگی..... ۶۶۲
۳-۱-۶-۳- مهندس قربانی..... ۶۶۳
۴-۱-۶-۳- مهندس رحیمی..... ۶۶۳
۲-۶-۳- مبحث نوسازی و افزایش ظرفیت تربوژنراتورها..... ۶۶۴

۱-۲-۶-۳- مهندس پورفارسی ۶۶۴
۲-۲-۶-۳- مهندس شالودگی ۶۶۵
۳-۲-۶-۳- مهندس قربانی ۶۶۵
۴-۲-۶-۳- مهندس رحیمی ۶۶۵
۳-۶-۳- مبحث سازگاری توربوژنراتورهای مورد استفاده با اقلیم ۶۶۶
۱-۳-۶-۳- مهندس پورفارسی ۶۶۶
۲-۳-۶-۳- مهندس شالودگی ۶۶۶
۳-۳-۶-۳- مهندس قربانی ۶۶۶
۴-۳-۶-۳- مهندس رحیمی ۶۶۶
۴-۶-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز توربوژنراتورها تا سال ۱۴۰۵ ..... ۶۶۶
۱-۴-۶-۳- مهندس پورفارسی ۶۶۶
۲-۴-۶-۳- مهندس شالودگی ۶۶۷
۳-۴-۶-۳- مهندس قربانی ۶۶۷
۴-۴-۶-۳- مهندس رحیمی ۶۶۷
۵-۶-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید توربوژنراتور ۶۶۷
۱-۵-۶-۳- مهندس پورفارسی ۶۶۷
۲-۵-۶-۳- مهندس شالودگی ۶۶۸
۳-۵-۶-۳- مهندس قربانی ۶۶۸
۴-۵-۶-۳- مهندس رحیمی ۶۶۸
۶-۶-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز توربوژنراتورها ۶۶۸
۱-۶-۶-۳- مهندس پورفارسی ۶۶۸
۲-۶-۶-۳- مهندس شالودگی ۶۶۹
۳-۶-۶-۳- مهندس قربانی ۶۶۹
۴-۶-۶-۳- مهندس رحیمی ۶۶۹
۷-۶-۳- اهداف در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی ۶۶۹
۸-۶-۳- اقدامات لازم در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی ۶۷۰
۱-۸-۶-۳- اقدامات فنی در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی ۶۷۰
۲-۸-۶-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاه ۶۷۰
۷-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی ۶۷۱
۱-۷-۳- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی سیستم‌های راه‌انداز ۶۷۲
۱-۱-۷-۳- دکتر بلوکات ۶۷۲
۲-۱-۷-۳- مهندس جلویان ۶۷۲
۳-۱-۷-۳- مهندس سلیم‌پور ۶۷۳
۴-۱-۷-۳- مهندس قیطولی ۶۷۳
۵-۱-۷-۳- مهندس قربانی ۶۷۴
۲-۷-۳- مبحث جایگزینی سیستم‌های راه‌انداز موجود با SFC ۶۷۴

۱-۲-۷-۳- دکتر بلوکات ۶۷۴
۲-۲-۷-۳- مهندس جلویان ۶۷۴
۳-۲-۷-۳- مهندس سلیم‌پور ۶۷۵
۴-۲-۷-۳- مهندس قیطولی ۶۷۵
۵-۲-۷-۳- مهندس قربانی ۶۷۶
۳-۷-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم راه‌انداز تا سال ۱۴۰۵ ..... ۶۷۶
۱-۳-۷-۳- دکتر بلوکات ۶۷۶
۲-۳-۷-۳- مهندس جلویان ۶۷۶
۳-۳-۷-۳- مهندس سلیم‌پور ۶۷۷
۴-۳-۷-۳- مهندس قیطولی ۶۷۸
۵-۳-۷-۳- مهندس قربانی ۶۷۸
۴-۷-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم راه‌انداز ۶۷۸
۱-۴-۷-۳- دکتر بلوکات ۶۷۸
۲-۴-۷-۳- مهندس جلویان ۶۷۸
۳-۴-۷-۳- مهندس سلیم‌پور ۶۷۹
۴-۴-۷-۳- مهندس قیطولی ۶۷۹
۵-۴-۷-۳- مهندس قربانی ۶۷۹
۵-۷-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم راه‌انداز ۶۷۹
۱-۵-۷-۳- دکتر بلوکات ۶۷۹
۲-۵-۷-۳- مهندس جلویان ۶۷۹
۳-۵-۷-۳- مهندس سلیم‌پور ۶۸۰
۴-۵-۷-۳- مهندس قیطولی ۶۸۰
۵-۵-۷-۳- مهندس قربانی ۶۸۰
۶-۷-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی ۶۸۰
۷-۷-۳- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی ۶۸۱
۱-۷-۷-۳- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی ۶۸۱
۲-۷-۷-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاه ۶۸۱
۸-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی ۶۸۱
۱-۸-۳- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی سیستم‌های تحریک ۶۸۳
۱-۱-۸-۳- مهندس جلویان ۶۸۳
۲-۱-۸-۳- مهندس رئوفی ۶۸۳
۳-۱-۸-۳- مهندس قیطولی ۶۸۴
۴-۱-۸-۳- مهندس کرمانی ۶۸۵
۵-۱-۸-۳- مهندس قربانی ۶۸۵
۲-۸-۳- مبحث جایگزینی سیستم‌های تحریک موجود با نوع استاتیک ۶۸۶
۱-۲-۸-۳- مهندس جلویان ۶۸۶

۲-۲-۸-۳- مهندس رئوفی ۶۸۶
۳-۲-۸-۳- مهندس قیطولی ۶۸۷
۴-۲-۸-۳- مهندس کرمانی ۶۸۷
۵-۲-۸-۳- مهندس قربانی ۶۸۷
۳-۸-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم تحریک تا سال ۱۴۰۵ ..... ۶۸۷
۱-۳-۸-۳- مهندس جلویان ۶۸۷
۲-۳-۸-۳- مهندس رئوفی ۶۸۸
۳-۳-۸-۳- مهندس قیطولی ۶۸۹
۴-۳-۸-۳- مهندس کرمانی ۶۸۹
۵-۳-۸-۳- مهندس قربانی ۶۹۰
۴-۸-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم تحریک ۶۹۰
۱-۴-۸-۳- مهندس جلویان ۶۹۰
۲-۴-۸-۳- مهندس رئوفی ۶۹۰
۳-۴-۸-۳- مهندس قیطولی ۶۹۱
۴-۴-۸-۳- مهندس کرمانی ۶۹۱
۵-۴-۸-۳- مهندس قربانی ۶۹۱
۵-۸-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم تحریک ۶۹۱
۱-۵-۸-۳- مهندس جلویان ۶۹۱
۲-۵-۸-۳- مهندس رئوفی ۶۹۱
۳-۵-۸-۳- مهندس قیطولی ۶۹۲
۴-۵-۸-۳- مهندس کرمانی ۶۹۲
۵-۵-۸-۳- مهندس قربانی ۶۹۲
۶-۸-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی ۶۹۲
۷-۸-۳- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی ۶۹۲
۱-۷-۸-۳- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی ۶۹۳
۲-۷-۸-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاه ۶۹۳
۹-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های درایو ۶۹۳
۱-۹-۳- مبحث نصب سیستم‌های درایو ۶۹۴
۱-۱-۹-۳- مهندس کرمانی ۶۹۴
۲-۱-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد ۶۹۵
۲-۹-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم درایو تا سال ۱۴۰۵ ..... ۶۹۶
۱-۲-۹-۳- مهندس کرمانی ۶۹۶
۲-۲-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد ۶۹۶
۳-۹-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم درایو ۶۹۷
۱-۳-۹-۳- مهندس کرمانی ۶۹۷
۲-۳-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد ۶۹۷

۴-۹-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم درایو ۶۹۷
۱-۴-۹-۳- مهندس کرمانی ۶۹۷
۲-۴-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد ۶۹۸
۵-۹-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی ۶۹۸
۶-۹-۳- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی ۶۹۸
۱-۶-۹-۳- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی ۶۹۸
۲-۶-۹-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاه ۶۹۸
۱۰-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت ۶۹۹
۱-۱۰-۳- مبحث وضعیت کلی سیستم‌های پایش وضعیت ۶۹۹
۲-۱۰-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم‌های پایش وضعیت تا سال ۱۴۰۵ ۷۰۰
۳-۱۰-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم‌های پایش وضعیت ۷۰۱
۴-۱۰-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم‌های پایش وضعیت ۷۰۱
۵-۱۰-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی ۷۰۱
۶-۱۰-۳- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی ۷۰۱
۱-۶-۱۰-۳- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی ۷۰۱
۲-۶-۱۰-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاه ۷۰۲
۱۱-۳- بیانیه چشم انداز توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات در نیروگاه حرارتی ۷۰۲
۱۲-۳- اهداف کلان ۷۰۴
۱-۱۲-۳- حوزه الکتروموتور ۷۰۴
۲-۱۲-۳- حوزه ژنراتور ۷۰۴
۳-۱۲-۳- حوزه سیستم راهانداز ۷۰۴
۴-۱۲-۳- حوزه سیستم تحریک ۷۰۴
۵-۱۲-۳- حوزه درایو ۷۰۴
۶-۱۲-۳- حوزه سیستم پایش وضعیت ۷۰۴
۱۳-۳- طرح‌های عملیاتی ۷۰۴
۱۴-۳- مأموریت، نقش و جایگاه ۷۰۴
۱-۱۴-۳- ماموریت‌ها و نقش و جایگاه پژوهشگاه ۷۰۵
۲-۱۴-۳- ماموریت‌ها و نقش و جایگاه شرکت تولید نیروی برق حرارتی ۷۰۵
۱۵-۳- راهبردها ۷۰۵
۱-۱۵-۳- راهبردهای پژوهشگاه ۷۰۵
۲-۱۵-۳- راهبردهای شرکت برق حرارتی ۷۰۵
۴- برنامه اقدامات ۷۰۷
۱-۴- مقدمه ۷۰۸
۲-۴- برنامه اقدامات ۷۰۸
۱-۲-۴- حوزه الکتروموتور ۷۰۸
۲-۲-۴- حوزه ژنراتور ۷۰۸

۳-۲-۴- حوزه سیستم راهانداز ۷۰۸
۴-۲-۴- حوزه سیستم تحریک ۷۰۸
۵-۲-۴- حوزه درایو ۷۰۹
۶-۲-۴- حوزه سیستم پایش ۷۰۹
۵- برنامه عملیاتی و رهنگاشت ۷۱۰
۱-۵- مقدمه ۷۱۱
۲-۵- خوشه پروژه‌های ژنراتور ۷۱۱
۳-۵- خوشه پروژه‌های الکتروموتور ۷۱۲
۴-۵- خوشه پروژه‌های سیستم راهانداز ۷۱۳
۵-۵- خوشه پروژه‌های سیستم تحریک ۷۱۴
۶-۵- خوشه پروژه‌های درایو ۷۱۴
۷-۵- خوشه پروژه سیستم پایش ۷۱۵
۸-۵- سایر تجهیزات الکتریک ۷۱۵
۹-۵- خوشه پروژه‌های مشترک ۷۱۶
۶- شاخص‌های ارزیابی ۷۲۴
۱-۶- مقدمه ۷۲۵
۲-۶- شاخص‌های عملکردی و اثربخشی ۷۲۵
۳-۶- شاخص‌های ارزیابی ۷۲۵
۷- نتیجه‌گیری ۷۲۷
۸- پیوست‌ها ۷۲۸

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: وضعیت نیروگاه‌های مورد بهره‌برداری در کشور تا پایان سال ۱۳۹۸ ..... ۲
شکل ۲-۱: روند احداث واحدهای نیروگاهی حرارتی از سال ۱۳۳۸ تا ۱۳۹۸ ..... ۳
شکل ۳-۱: تعداد واحدهای نیروگاهی مورد بهره‌برداری در هر سال ۳
شکل ۴-۱: سهم واحدهای نیروگاهی حرارتی مورد بهره‌برداری به تفکیک بازه‌های ۱۰ ساله ۴
شکل ۵-۱: تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی مورد بهره‌برداری به تفکیک بازه‌های ۱۰ ساله ۴
شکل ۶-۱: تفکیک نیروگاه‌های حرارتی کشور بر اساس بازدهی ۵
شکل ۷-۱: تفکیک سهمی نیروگاه‌های حرارتی کشور بر اساس سن ۵
شکل ۸-۱: تفکیک سنی تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی کشور ۶
شکل ۹-۱: ترکیب و سهم انواع نیروگاه‌های حرارتی احداث‌شده توسط شرکت مادر تخصصی مدیریت تولید نیروی برق حرارتی تا پایان سال ۱۳۹۸ ..... ۶
شکل ۱۰-۱: ظرفیت نیروگاهی احداث‌شده سالانه توسط شرکت تولید نیروی برق حرارتی ۷
شکل ۱۱-۱: نگاشت نهادی فناوری ماشینهای الکتریکی دوار ۵۲
شکل ۱-۲: روند رو به رشد ظرفیت توربوژنراتورهای توسعه‌یافته در جهان از سال ۱۹۴۰ ..... ۵۴
شکل ۲-۲: انواع ژنراتورهای سنکرون ۵۵
شکل ۳-۲: انواع ژنراتورهای القایی ۵۶
شکل ۴-۲: انواع ژنراتورهای پارامتریک ۵۶
شکل ۵-۲: ژنراتور سنکرون با سیستم تحریک DC چند قطب با قطب غیربرجسته ۵۹
شکل ۶-۲: ژنراتور سنکرون با سیستم تحریک DC چند قطب با قطب برجسته ۵۹
شکل ۷-۲: سیستم تحریک DC یکسوساز الکترونیک قدرت با جاروبک حلقه‌ی لغزش ۶۱
شکل ۸-۲: سیستم تحریک بدون جاروبک با یکسوساز "دیود فلاینگ" برای ژنراتورهای سنکرون ۶۱
شکل ۹-۲: ژنراتور سنکرون قطب پنجه‌ای ۶۲
شکل ۱۰-۲: سطح روتور آهنربای دائم (چهار قطب) ۶۳
شکل ۱۱-۲: روتورهای با آهنرباهای دائم داخلی (a) دو قطب (b) چهار قطب و (c) با موانع شار روتور ۶۴
شکل ۱۲-۲: کنترل دوجهته تماماً الکترونیک قدرتی ۶۴
شکل ۱۳-۲: ژنراتور با روتور رلوکتانسی آهنربای دائم با سیستم تحریک دومحوری ۶۵
شکل ۱۴-۲: (a) و (b) ژنراتور سنکرون تک قطب و (c) توزیع میدان تحریک فاصله‌ی هوایی ۶۶
شکل ۱۵-۲: ژنراتور القایی روتور قفسی ۶۶
شکل ۱۶-۲: ژنراتور القایی روتور سیم‌پیچی (WRIG) با یکسوساز دیودی (سیستم بازیابی لغزش) ۶۷
شکل ۱۷-۲: ژنراتور رلوکتانس سوییچ‌شده (SRG) تک‌فاز ۶۸
شکل ۱۸-۲: ژنراتور رلوکتانس سوییچ‌شده (SRG) سه‌فاز ۶۹
شکل ۱۹-۲: پلاک یک ژنراتور ساخت شرکت ABB ۷۵
شکل ۲۰-۲: منحنی مشخصه اشباع مدار باز (OCC) و اتصال کوتاه (SCC) ژنراتور ۷۶

شکل ۲۱-۲: منحنی قابلیت در یک ژنراتور ۷۷
شکل ۲۲-۲: یک منحنی V مرسوم ۷۸
شکل ۲۳-۲: یک ورق از ورقه‌های مورد استفاده برای ساخت هسته‌ی استاتور ژنراتور ۷۹
شکل ۲۴-۲: قرارگیری ورقه‌های هسته روی یکدیگر به منظور شکل‌گیری یک هسته‌ی یکپارچه ۷۹
شکل ۲۵-۲: هسته‌ی سوارشده روی فریم استاتور با کمک میله‌های کلیدی ۸۰
شکل ۲۶-۲: بخشی از صفحه‌ی ضخیم هسته با بلوک‌های فاصله‌انداز ۸۱
شکل ۲۷-۲: برش مقطعی هسته و فریم استاتور ۸۲
شکل ۲۸-۲: برش مقطعی شیار استاتور که در آن میله‌های استاتور به شکل غیرمستقیم خنک می‌شوند ۸۴
شکل ۲۹-۲: برش مقطعی میله‌ی هادی استاتور برای انواع ژنراتورها ۸۵
شکل ۳۰-۲: نمایش جابجایی روبل به صورت سه‌بعدی ۸۵
شکل ۳۱-۲: نقشه‌ی جابجایی روبل ۸۶
شکل ۳۲-۲: طراحی‌های مختلف میله‌ی استاتور برای ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی مستقیم. (a) تک پشته – تمام رشته‌ها توخالی هستند؛ (b) تک پشته – رشته‌های ترکیبی؛ (c) پشته دوبل – رشته‌های ترکیبی ۸۷
شکل ۳۳-۲: رشته‌های میله‌ی استاتور با خنک‌سازی از طریق فولاد ضدزنگ ۸۷
شکل ۳۴-۲: گوه‌ی شیار استاتور تک تکه تخت ۸۸
شکل ۳۵-۲: سیستم گوه‌ی شیار استاتور دو تکه مخروطی ۸۹
شکل ۳۶-۲: سیستم گوه‌ی شیار استاتور چهار بخشی با گوه‌ی کانالی ۲ مخروطی و فنر مواج شعاعی ۸۹
شکل ۳۷-۲: سیستم گوه‌ی شیار استاتور مقعر ۸۹
شکل ۳۸-۲: سیستم نگه‌دارنده‌ی انتهای سیم‌پیچی استاتور ۹۰
شکل ۳۹-۲: سیستم نگه‌دارنده‌ی انتهای سیم‌پیچی یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی غیرمستقیم با هیدروژن ۹۱
شکل ۴۰-۲ : قالب‌بندی روتور دو قطب ۹۱
شکل ۴۱-۲ : قالب‌بندی روتور چهار قطب ۹۲
شکل ۴۲-۲ : سیم‌پیچی روتور و سایر بخش‌های مربوطه ۹۳
شکل ۴۳-۲ : چندین نوع پیکربندی سیم‌پیچی روتور بسته به نوع سیستم خنک‌سازی مورد استفاده ۹۴
شکل ۴۴-۲ : سیم‌پیچی روتور دو قطب ۹۵
شکل ۴۵-۲ : سیم‌پیچی روتور چهار قطب ۹۵
شکل ۴۶-۲ : گوه‌ی روتور کوتاه ۹۶
شکل ۴۷-۲ : گوه‌ی روتور با پیکاب فاصله‌ی هوایی ۹۶
شکل ۴۸-۲ : گوه‌ی روتور بلند (آلومینیومی) ۹۷
شکل ۴۹-۲ : سیم‌پیچی میراکننده ۹۸
شکل ۵۰-۲ : یک نوع حلقه‌ی نگه‌دارنده ۹۸
شکل ۵۱-۲ : دنده‌ی جاروبک ۹۹
شکل ۵۲-۲ : کوپلینگ انقباضی [۳۴] ۱۰۰
شکل ۵۳-۲ : چرخ‌دنده‌ی گردان [۳۴] ۱۰۱
شکل ۵۴-۲ : یاتاقان ژورنال [۳۴] ۱۰۲

شکل ۵۵-۲ : یاتاقان تیلتینگ پد [۳۴] ۱۰۲
شکل ۵۶-۲ : فن روتور محوری [۳۴] ۱۰۴
شکل ۵۷-۲ : فن روتور شعاعی (چرخشی) [۳۴] ۱۰۴
شکل ۵۸-۲ : یک دمنده‌ی محوری چندمرحله‌ای [۳۴] ۱۰۵
شکل ۵۹-۲ : انواع سیستم‌های خنک‌سازی ژنراتورها [۳۷] ۱۰۶
شکل ۶۰-۲ : سیستم‌های خنک‌سازی مرسوم مورد استفاده برای محدوده توان خروجی ژنراتورها [۳۷] ۱۰۷
شکل ۶۱-۲ : برش مقطعی یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۳۸] ۱۰۷
شکل ۶۲-۲ : مکانیسم خنک‌سازی در توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۳۸] ۱۰۸
شکل ۶۳-۲ : شمایی از یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا با قابلیت اتصال به توربین بخاری [۳۸] ۱۰۸
شکل ۶۴-۲ : شماتیک نحوه خنک‌سازی خنک‌ساز داخلی تعبیه‌شده در ژنراتور [۳۹] ۱۱۰
شکل ۶۵-۲ : پکیج ایجاد افزایش فشار در محل ژنراتور [۳۸] ۱۱۲
شکل ۶۶-۲ : چارچوب سیم‌پیچی ژنراتور ۴۰۰ مگاولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۳۸] ۱۱۳
شکل ۶۷-۲ : جریان هوا در داکت‌های شعاعی جلو [۴۵] ۱۱۴
شکل ۶۸-۲ : جریان هوا در داکت‌های شعاعی پشت [۴۵] ۱۱۴
شکل ۶۹-۲ : ضریب انتقال حرارت در ناحیه دندانه‌ای کانال‌های شعاعی (خطوط توخالی مربوط به داکت‌های جلو و خطوط توپر مربوط به داکت‌های پشت هستند) [۴۵] ۱۱۵
شکل ۷۰-۲ : توزیع ثابت‌های انتقال حرارت در سرتاسر کانال محوری [۴۵] ۱۱۵
شکل ۷۱-۲ : جریان‌های حرارت در سیستم خنک‌سازی [۴۵] ۱۱۶
شکل ۷۲-۲ : بستگی افزایش دمای دندانه استاتور به حجم هوا [۴۵] ۱۱۷
شکل ۷۳-۲ : بستگی افزایش دما به ضخامت ورقه‌ها و هدایت حرارتی [۴۵] ۱۱۷
شکل ۷۴-۲ : توزیع چگالی شار حول انتهای سیم‌پیچی استاتور [۳۹] ۱۱۸
شکل ۷۵-۲ : مدار خنک‌سازی [۳۹] ۱۱۹
شکل ۷۶-۲ : توزیع سرعت جریان گاز در فاصله‌ی هوایی حاصل از تحلیل CFD [۳۹] ۱۱۹
شکل ۷۷-۲ : بهینه‌سازی پیکربندی فن روتور حاصل از تحلیل CFD [۳۹] ۱۲۰
شکل ۷۸-۲ : تجهیزات آزمون تهویه اندازه نصفه [۳۹] ۱۲۰
شکل ۷۹-۲ : توزیع دمایی گاز در داکت‌های استاتور [۳۹] ۱۲۰
شکل ۸۰-۲ : توزیع دمایی سیم‌پیچی روتور [۳۹] ۱۲۱
شکل ۸۱-۲ : چالش موجود در فناوری خنک‌سازی با گاز هیدروژن و راهکارهای پیشنهادی [۴۸] ۱۲۲
شکل ۸۲-۲ : مقایسه سطح مقطع میله استاتور (سمت چپ: ژنراتور توسعه‌یافته توسط Toshiba و سمت راست: ژنراتور مرسوم) [۴۸] ۱۲۳
شکل ۸۳-۲ : مسیر انتقال حرارت میله‌ی استاتور [۴۸] ۱۲۳
شکل ۸۴-۲ : آزمون چرخه حرارتی توسط Toshiba [۴۸] ۱۲۴
شکل ۸۵-۲ : مشخصه پایداری ولتاژی بعد از ۳۰۰۰ چرخه [۴۸] ۱۲۴
شکل ۸۶-۲ : تحلیل دمایی گاز هیدروژن [۴۸] ۱۲۵
شکل ۸۷-۲ : افزایش دمای محاسبه‌شده کویل استاتور [۴۸] ۱۲۵

شکل ۸۸-۲ : افزایش دمای محاسبه‌شده کویل روتور [۴۸]..... ۱۲۵
شکل ۸۹-۲ : خنک‌سازی شعاعی روتور [۴۸]..... ۱۲۶
شکل ۹۰-۲ : خنک‌سازی مورب روتور [۴۸]..... ۱۲۶
شکل ۹۱-۲ : تحلیل فشار وارد بر فریم استاتور [۴۸]..... ۱۲۷
شکل ۹۲-۲ : سیستم نگه‌دارنده انتهای کویل استاتور [۴۸]..... ۱۲۷
شکل ۹۳-۲ : مقایسه تلفات ژنراتور توسعه‌یافته توسط Toshiba و سایر ژنراتورهای مرسوم [۴۸]..... ۱۲۸
شکل ۹۴-۲ : توربوژنراتور ۸۷۰ مگاولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن توسعه‌یافته در سال ۲۰۱۵ [۳۷] ۱۲۹
شکل ۹۵-۲ : جریان تهویه برای یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن [۳۷]..... ۱۲۹
شکل ۹۶-۲ : بهینه‌سازی شکل ورودی کانال روتور [۳۷]..... ۱۲۹
شکل ۹۷-۲ : تحلیل CFD روی فن تهویه [۳۷]..... ۱۳۰
شکل ۹۸-۲ : ژنراتور دو قطب ۹۵۰ مگاوات‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در نیروگاه مانجونگ [۵۲]..... ۱۳۱
شکل ۹۹-۲ : ژنراتور چهار قطب ۱۷۲۲ مگاولت‌آمپری یکی از نیروگاه‌های برق هسته‌ای فرانسه از سری N4 [۵۲] ۱۳۱
شکل ۱۰۰-۲ : ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۲]..... ۱۳۳
شکل ۱۰۱-۲ : لوله‌کشی آب با فولاد ضدزنگ و جدایی عملیاتی اتصال میله و مخزن آب [۵۲]..... ۱۳۳
شکل ۱۰۲-۲ : سیستم روغن‌کاری شفت سه‌مداره (FR: حلقه‌های شناور و جریان‌های روغن جداساز) [۵۲]..... ۱۳۴
شکل ۱۰۳-۲ : ژنراتور چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۲]..... ۱۳۵
شکل ۱۰۴-۲ : ساختار محفظه یک ژنراتور چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۲]..... ۱۳۵
شکل ۱۰۵-۲ : سیستم تحریک بدون جاروبک دارای کنسول [۵۲]..... ۱۳۶
شکل ۱۰۶-۲ : نگه‌دارنده انتهای سیم‌پیچی استاتور [۵۲]..... ۱۳۶
شکل ۱۰۷-۲ : صفحه‌ی پرس‌شده ورقه‌ورقه با افزایش فاصله‌ها و ایجاد شکاف‌های شعاعی [۵۲]..... ۱۳۷
شکل ۱۰۸-۲ : میله‌ی روبل دوبل [۵۲]..... ۱۳۸
شکل ۱۰۹-۲ : اصل میله‌ی روبل جابجاشده ضربدری [۵۲]..... ۱۳۸
شکل ۱۱۰-۲ : اصل خنک‌سازی با جریان هوای رو به جلو و چندمسیره در سیم‌پیچی روتور [۵۲]..... ۱۳۹
شکل ۱۱۱-۲ : کلاس‌بندی عایقی با در نظر گرفتن دمای محیط استاندارد (۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) [۵۷]..... ۱۴۱
شکل ۱۱۲-۲ : جانمایی مس و عایق هر رشته‌ی استرند شده، عایق بدنه و عایق اصلی در یک شیار [۵۸]..... ۱۴۲
شکل ۱۱۳-۲ : جانمایی نوارهای میکا و نوارهای نیمه‌هادی [۵۶]..... ۱۴۳
شکل ۱۱۴-۲ : روند تغییرات ابعاد شیار لازم برای سطح ولتاژ ۱۵ کیلوولت [۵۸]..... ۱۴۴
شکل ۱۱۵-۲ : گسترش کانال‌های درخت‌گونه کوچک در سیستم عایقی اپوکسی-میکا [۶۲]..... ۱۴۵
شکل ۱۱۶-۲ : شش تیوب سیم‌پیچی آماده برای آزمون مقاومت در برابر ولتاژ [۶۲]..... ۱۴۶
شکل ۱۱۷-۲ : نمایش توزیع ویبول نتایج ولتاژ آزمون سیستم عایقی MICALASTIC و سیستم عایقی نانوکامپوزیت پیشنهادی در (a) ۳ برابر ولتاژ نامی، (b) ۲/۵ برابر ولتاژ نامی و (c) ۲ برابر ولتاژ نامی [۶۲]..... ۱۴۷
شکل ۱۱۸-۲ : مقایسه منحنی طول عمر الکتریکی تیوب‌های مجهز به سیستم عایقی MICALASTIC و نانوذرات [۶۲]..... ۱۴۷
شکل ۱۱۹-۲ : مشخصه‌ی مقاومت در برابر ولتاژ رزین اپوکسی خالص و نانوکامپوزیت [۶۲]..... ۱۴۸

شکل ۲-۱۲۰ : نقشه راه و پروژه تحقیق و توسعه سیستم‌های عایقی نانوکامپوزیتی برای سیم‌پیچی‌های استاتور توربوژنراتورها و هیدروژنراتورها [۶۲]..... ۱۴۹
شکل ۲-۱۲۱ : منابع ارتعاش و نویز در ماشین‌های الکتریکی [۶۹]..... ۱۵۲
شکل ۲-۱۲۲ : تأثیر سرعت در تولید نویزهای مکانیکی، آیرودینامیکی و الکترومغناطیسی [۶۷]..... ۱۵۴
شکل ۲-۱۲۳ : مکانیسم تولید ارتعاش و نویز صوتی ناشی از منابع الکترومغناطیسی [۶۷]..... ۱۵۴
شکل ۲-۱۲۴ : فواصل هوایی مناسب برای شیارها [۷۳]..... ۱۵۵
شکل ۲-۱۲۵ : انحنای هسته‌ی استاتور در اثر نیروهای مغناطیسی [۷۳]..... ۱۵۶
شکل ۲-۱۲۶ : انواع مدل‌های طراحی یوغ استاتور [۷۴]..... ۱۵۶
شکل ۲-۱۲۷ : انواع مدل‌های طراحی جهت استحکام پوسته‌ی استاتور (۱) [۷۵]..... ۱۵۷
شکل ۲-۱۲۸ : انواع مدل‌های طراحی جهت استحکام پوسته‌ی استاتور (۲) [۷۵]..... ۱۵۷
شکل ۲-۱۲۹ : پرکردن فاصله‌ی هوایی با یک مایع خنک‌کننده‌ی تبخیرپذیر [۷۵]..... ۱۵۷
شکل ۲-۱۳۰ : سیستم نگه‌دارنده انتهای سیم‌پیچی یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن [۷۶] ۱۵۸
شکل ۲-۱۳۱ : دسته‌بندی تلفات توربوژنراتورها [۷۷]..... ۱۵۹
شکل ۲-۱۳۲ : مثالی از جداسازی تلفات یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی غیرمستقیم با هیدروژن [۷۷] ۱۶۰
شکل ۲-۱۳۳ : توزیع تلفات اصلی آهنی [۷۷]..... ۱۶۲
شکل ۲-۱۳۴ : توزیع چگالی تلفات حول داکت‌های تهویه [۷۷]..... ۱۶۲
شکل ۲-۱۳۵ : تفکیک تلفات حول داکت‌های تهویه [۷۷]..... ۱۶۳
شکل ۲-۱۳۶ : توزیع چگالی تلفات در بخش‌های انتهایی به دلیل شار نشتی از انتهای کویل [۷۷]..... ۱۶۳
شکل ۲-۱۳۷ : توزیع چگالی شار در بخش‌های انتهایی به دلیل شار نشتی از حلقه‌های موازی [۷۷]..... ۱۶۴
شکل ۲-۱۳۸ : مقایسه تلفات رویه‌ها و بخش‌های زنگوله‌ای انتهایی مغناطیسی و غیرمغناطیسی [۷۷]..... ۱۶۴
شکل ۲-۱۳۹ : توزیع چگالی تلفات در محافظ با انتهای مغناطیسی [۷۷]..... ۱۶۵
شکل ۲-۱۴۰ : توزیع چگالی تلفات در بخش‌های انتهایی هسته استاتور [۷۷]..... ۱۶۵
شکل ۲-۱۴۱ : توزیع چگالی تلفات ادی‌کارنت محلی [۷۷]..... ۱۶۶
شکل ۲-۱۴۲ : تلفات رشته‌ها ناشی از توزیع جریان چرخشی [۷۷]..... ۱۶۶
شکل ۲-۱۴۳ : تأثیر تعداد برش‌های مقطعی محوری روی تلفات میله‌های دمپر [۸۰]..... ۱۶۸
شکل ۲-۱۴۴ : تأثیر افزایش مورب‌بودن شیار استاتور روی تلفات میله‌های دمپر [۸۰]..... ۱۶۹
شکل ۲-۱۴۵ : تصویر میکروسکوپی ورق فولاد سیلیکونی بدون جهت [۸۱]..... ۱۷۱
شکل ۲-۱۴۶ : تصویر میکروسکوپی ورق فولاد سیلیکونی جهت‌دار [۸۱]..... ۱۷۲
شکل ۲-۱۴۷ : سیم‌پیچی مجدد استاتور و تقویت عایق [۸۲]..... ۱۷۵
شکل ۲-۱۴۸ : نوسازی حلقه‌ی نگهدارنده‌ی روتور [۸۲]..... ۱۷۵
شکل ۲-۱۴۹ : یکی از توربوژنراتورهای در حال ساخت در کارخانه شرکت Ansaldo [۸۳]..... ۱۷۷
شکل ۲-۱۵۰ : شمای کلی ژنراتورهای سری SGen-100A-2P شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۲
شکل ۲-۱۵۱ : روتور ژنراتورهای سری SGen-100A-2P شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۳
شکل ۲-۱۵۲ : نمایی کلی از ژنراتور های سری SGen-2000P شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۵
شکل ۲-۱۵۳ : نمایی از سیستم خنک‌سازی ژنراتورهای سری SGen-2000P شرکت زیمنس - ۱ [۸۴]..... ۱۸۵

شکل ۱۵۴-۲ : نمایی از سیستم خنک‌سازی ژنراتورهای سری SGen-2000P شرکت زیمنس -۲ [۸۴]..... ۱۸۵
شکل ۱۵۵-۲ : نمای کلی از ژنراتورهای سری SGen-3000W شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۷
شکل ۱۵۶-۲ : شمای کلی توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۸۸
شکل ۱۵۷-۲ : پیکربندی کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۸۹
شکل ۱۵۸-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی [۸۵]... ۱۸۹
شکل ۱۵۹-۲ : تحلیل CFD اعمالی روی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۰
شکل ۱۶۰-۲ : سیستم خنک‌سازی SFM [۸۵]..... ۱۹۰
شکل ۱۶۱-۲ : سیستم خنک‌سازی FTC [۸۵]..... ۱۹۱
شکل ۱۶۲-۲ : شمای کلی توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۱
شکل ۱۶۳-۲ : پیکربندی کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]. ۱۹۲
شکل ۱۶۴-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵] ۱۹۲
شکل ۱۶۵-۲ : ژنراتور ۸۷۰ مگاوولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۳
شکل ۱۶۶-۲ : تغییرات فریم ژنراتورهای میتسوبیشی در نسل جدید مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن [۸۵] ۱۹۳
شکل ۱۶۷-۲ : افزایش بادهی فن خنک‌سازی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۴
شکل ۱۶۸-۲ : تحلیل FEM روی یکی از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۴
شکل ۱۶۹-۲ : شمای کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵] ۱۹۴
شکل ۱۷۰-۲ : پیکربندی کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵] ۱۹۵
شکل ۱۷۱-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۶
شکل ۱۷۲-۲ : برخی تغییرات اعمالی در توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی در راستای ارتقای عملکرد [۸۵]..... ۱۹۶
شکل ۱۷۳-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن مرسوم شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۷
شکل ۱۷۴-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی به صورت شعاعی و سیستم تهویه [۸۵]..... ۱۹۷
شکل ۱۷۵-۲ : نمونه‌ای از تحلیل توزیع شار توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۸
شکل ۱۷۶-۲ : تحلیل چگالی شار مغناطیسی در انتهای سیم‌پیچ استاتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۸
شکل ۱۷۷-۲ : تحلیل مدل ارتعاشی سیم‌پیچ استاتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۹
شکل ۱۷۸-۲ : تحلیل توزیع استرس در فریم استاتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۹
شکل ۱۷۹-۲ : تحلیل توزیع هوای خنک‌کننده در ژنراتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۹۹

شکل ۱۸۰-۲ : شمایی از نحوه مانیتورینگ فناوری‌ها توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۲۰۰
شکل ۱۸۱-۲ : تشخیص دیجیتال شلی گوه توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۲۰۰
شکل ۱۸۲-۲ : نقشه میزان ضعف گوه‌ها استخراج‌شده توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۲۰۰
شکل ۱۸۳-۲ : شمایی از فرایند انتقال حرارت به ماده خنک‌کننده توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۲۰۱
شکل ۱۸۴-۲ : مقایسه میزان انتقال حرارت عایق HTT با عایق‌های معمولی طبق آزمون مقایسه‌ای کویل‌های با اندازه واقعی [۸۵]..... ۲۰۱
شکل ۱۸۵-۲ : تعویض ژنراتور ۱/۲۲۲ مگاولت‌آمپری نیروگاه هسته‌ای توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۲۰۲
شکل ۱۸۶-۲ : مهندسی معکوس با استفاده از اسکن و اندازه‌گیری‌های سه‌بعدی توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵].... ۲۰۲
شکل ۱۸۷-۲ : شمای کلی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت جنرال الکتریک [۸۶] ۲۰۳
شکل ۱۸۸-۲ : شمای کلی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت جنرال الکتریک [۸۶]..... ۲۰۴
شکل ۱۸۹-۲ : شمای کلی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت جنرال الکتریک [۸۶]..... ۲۰۵
شکل ۱۹۰-۲ : خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای ساخت شرکت جنرال الکتریک با فناوری‌ها و سطوح توانی مختلف [۸۶]..... ۲۰۶
شکل ۱۹۱-۲ : شمای کلی سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن ساخت شرکت Power Machines [۸۷]..... ۲۰۷
شکل ۱۹۲-۲ : شمای کلی سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت Power Machines [۸۷]..... ۲۰۸
شکل ۱۹۳-۲ : شمای کلی سیستم خنک‌سازی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی آب شرکت Power Machines [۸۷]..... ۲۱۰
شکل ۱۹۴-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت Power Machines [۸۷]..... ۲۱۳
شکل ۱۹۵-۲ : محدوده‌ی توانی ژنراتورهای ساخت شرکت Brush [۸۸]..... ۲۱۴
شکل ۱۹۶-۲ : ژنراتور چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Brush [۸۸]..... ۲۱۴
شکل ۱۹۷-۲ : ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Brush [۸۸]..... ۲۱۶
شکل ۱۹۸-۲ : بخشی از استاتور ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Brush [۸۸] ۲۱۷
شکل ۱۹۹-۲ : بخشی از روتور ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Brush [۵۵] ۲۱۷
شکل ۲۰۰-۲ : ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی ترکیبی ساخت شرکت Brush [۵۵]..... ۲۱۸
شکل ۲۰۱-۲ : نمایی از یک نیروگاه برق حرارتی مجهز به ژنراتور و توربین ساخت شرکت فوجی الکتریک [۴۹]..... ۲۲۰
شکل ۲۰۲-۲ : نمونه‌ای از ژنراتورهای بخاری ساخت شرکت ABB [۵۶]..... ۲۲۱
شکل ۲۰۳-۲ : توربوژنراتور ساخت شرکت SEC چین [۵۷]..... ۲۲۲
شکل ۲۰۴-۲ : نمایی از کارخانه توربوژنراتور شاهرود – ۱ [۶۱]..... ۲۲۶
شکل ۲۰۵-۲ : نمایی از کارخانه توربوژنراتور شاهرود – ۲ [۶۱]..... ۲۲۶
شکل ۲۰۶-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی رشد صنعت – ۱ [۶۲]..... ۲۲۷

شکل ۲۰۷-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی رشد صنعت – ۲ [۶۲]..... ۲۲۷
شکل ۲۰۸-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی فن ژنراتور – ۱ [۶۳]..... ۲۲۸
شکل ۲۰۹-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی فن ژنراتور – ۲ [۶۳]..... ۲۲۸
شکل ۲۱۰-۲ : نمایی از شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران [۶۴]..... ۲۲۹
شکل ۲۱۱-۲: تعیین جهت نیروی مغناطیسی بر اساس قانون دست چپ فلمینگ..... ۲۳۲
شکل ۲۱۲-۲: نیروی الکترومغناطیسی واردشده بر دو هادی حامل جریان و تولید گشتاور بر روی روتور..... ۲۳۳
شکل ۲۱۳-۲: روتور یک موتور دی‌سی..... ۲۳۴
شکل ۲۱۴-۲: سطح مقطع موتور القایی دو فاز دو قطب..... ۲۳۵
شکل ۲۱۵-۲: منحنی‌های معمول مشخصه عملکرد موتور سه‌فاز القایی با توان ۱۰۰ اسب بخار..... ۲۳۶
شکل ۲۱۶-۲: سطح مقطع یک موتور سنکرون قطب برجسته سه‌فاز، ۴ قطب و ۳۶ شیار..... ۲۳۷
شکل ۲۱۷-۲: سطح مقطع موتور آهنربای دایم سه‌فاز و ۲۴ شیار..... ۲۳۷
شکل ۲۱۸-۲: سطح مقطع یک موتور سوئیچ رلوکتانس..... ۲۳۹
شکل ۲۱۹-۲: روتور یک موتور FS قبل و بعد از skew..... ۲۳۹
شکل ۲۲۰-۲: درخت فناوری انواع الکتروموتورها..... ۲۴۰
شکل ۲۲۱-۲ : میزان افزایش مواد مورد استفاده و کاهش تلفات در الکتروموتور پربازده نسبت به الکتروموتور معمولی [۴] ۲۴۱
شکل ۲۲۲-۲ : کلاس‌های بازدهی موتورهای الکتریکی در استاندارد IEC [۶]..... ۲۴۱
شکل ۲۲۳-۲ : مقایسه برش مقطعی الکتروموتورهای IE1، IE2 و IE3 (اندازه روتور بزرگتر شده است) [۶]..... ۲۴۲
شکل ۲۲۴-۲ : هزینه‌های طول عمر یک موتور الکتریکی [۷]..... ۲۴۳
شکل ۲۲۵-۲ : سهم انرژی مصرفی الکتروموتورها به تفکیک ظرفیت [۴]..... ۲۴۳
شکل ۲۲۶-۲: پتاسیل کاهش مصرف انرژی در ظرفیت‌های مختلف الکتروموتوری در اروپا از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۰ [۴] ۲۴۳
شکل ۲۲۷-۲ : پتانسیل کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های محرکه الکتروموتوری [۷]..... ۲۴۴
شکل ۲۲۸-۲ : پمپ‌های اصلی موجود در نیروگاه های حرارتی [۸]..... ۲۴۵
شکل ۲۲۹-۲ : فن‌های اصلی موجود در نیروگاه های حرارتی [۸]..... ۲۴۶
شکل ۲۳۰-۲: مقرون به صرفه بودن الکتروموتورهای پربازده IE3 در مدت زمان استفاده‌ی بیشتر [۹]..... ۲۴۷
شکل ۲۳۱-۲ : جذب کمتر جریان کمتر توسط الکتروموتورهای پربازده نسبت به الکتروموتورهای استاندارد [۳]..... ۲۴۸
شکل ۲۳۲-۲ : فلوچارت تعویض یا تعمیر موتور بر اساس هزینه‌های انرژی مصرفی در طول عمر (شرکت ABB) [۱۱] ۲۵۰
شکل ۲۳۳-۲ : بازدهی موتورها با تغییر بارگذاری آن‌ها [۱۳]..... ۲۵۲
شکل ۲۳۴-۲ : تغییرات مصرف توان الکتروپمپ‌ها نسبت به روش های مختلف کنترل [۸]..... ۲۵۴
شکل ۲۳۵-۲ : میزان توان مصرفی الکتروپمپ ها با توجه به روش های مختلف کنترل [۸]..... ۲۵۵
شکل ۲۳۶-۲ : میزان توان مصرفی الکتروفن ها با توجه به روش های مختلف کنترل [۸]..... ۲۵۶
شکل ۲۳۷-۲ : بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای IE2 در نیروگاه مشهد بدون در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم... ۲۶۷
شکل ۲۳۸-۲ : بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای IE3 در نیروگاه مشهد بدون در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم... ۲۶۸
شکل ۲۳۹-۲: بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای IE2 در نیروگاه مشهد با در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم..... ۲۶۹

شکل ۲۴۰-۲: بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای IE3 در نیروگاه مشهد با در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم ۲۶۹
شکل ۲۴۱-۲: ساختار موتور پیشنهادی ۲۷۱
شکل ۲۴۲-۲: ساختار سیم‌پیچی استاتور [۳۴] ۲۷۱
شکل ۲۴۳-۲: مدار معادل سیم‌پیچی استاتور [۳۴] ۲۷۲
شکل ۲۴۴-۲: نمای کلی موتور پیشنهادی [۳۵] ۲۷۳
شکل ۲۴۵-۲: سیم‌پیچ استاتور [۳۶] ۲۷۴
شکل ۲۴۶-۲: نمای موتور مغناطیس دائم پیشنهادی [۳۷] ۲۷۴
شکل ۲۴۷-۲: روتور موتور پیشنهادی [۳۸] ۲۷۵
شکل ۲۴۸-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع IE2) با استاندارد IEC60034-30-1 برای یک موتور ۲ قطب [۵۸] ۲۹۹
شکل ۲۴۹-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع IE2) با استاندارد IEC60034-30-1 برای یک موتور ۴ قطب [۵۸] ۳۰۰
شکل ۲۵۰-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع IE2) با استاندارد IEC60034-30-1 برای یک موتور ۶ قطب [۵۸] ۳۰۰
شکل ۲۵۱-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع تکفاز) با استاندارد IEC60034-30-1 برای یک موتور ۲ قطب [۵۸] ۳۰۱
شکل ۲۵۲-۲: نمایی از داخل کارخانه شرکت الکتروژن [۵۸] ۳۰۱
شکل ۲۵۳-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت جمکو با استاندارد IEC60034-30-1 برای یک موتور ۲ قطب [۵۹] ... ۳۰۳
شکل ۲۵۴-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت جمکو با استاندارد IEC60034-30-1 برای یک موتور ۴ قطب [۵۹] ... ۳۰۴
شکل ۲۵۵-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت جمکو با استاندارد IEC60034-30-1 برای یک موتور ۶ قطب [۵۹] ... ۳۰۴
شکل ۲۵۶-۲: نمایی از داخل کارخانه جمکو [۵۹] ۳۰۵
شکل ۲۵۷-۲: نمایی از داخل آزمایشگاه جمکو [۵۹] ۳۰۵
شکل ۲۵۸-۲: نمونه توربین تولیدشده در شرکت رشد صنعت نیرو [۶۲] ۳۰۷
شکل ۲۵۹-۲: نمایی از داخل کارخانه رشد صنعت نیرو [۶۲] ۳۰۷
شکل ۲۶۰-۲: دستگاه آنالیز ارتعاشات و پایش وضعیت دستگاه‌ها در حین کار [۶۷] ۳۱۰
شکل ۲۶۱-۲: Surge Tester [۶۷] ۳۱۱
شکل ۲۶۲-۲: نمایی از داخل آزمایشگاه تست تور [۶۷] ۳۱۱
شکل ۲۶۳-۲ : ساختار کلی و اتصالات اینورتر منبع جریان به عنوان درایو ماشین سنکرون ۳۱۵
شکل ۲۶۴-۲ : اینورتر منبع جریان دارای سوییچ راه اندازی برای تسریع در کاهش جریان لینک DC به صفر ۳۱۶
شکل ۲۶۵-۲ : مدار پیشنهادی برای حالت کموتاسیون اجباری سوییچهای اینورتر در سرعتهای پایین ۳۱۷
شکل ۲۶۶-۲ : مدار معادل در حالت کموتاسیون بین دو تریستور T2 و T4 ..... ۳۱۷
شکل ۲۶۷-۲ : اینورتر منبع جریان با روش کموتاسیون اجباری ارائه شده ۳۱۸
شکل ۲۶۸-۲ : سیستم در حالت اول ۳۱۹
شکل ۲۶۹-۲ : سیستم در حالت دوم ۳۱۹
شکل ۲۷۰-۲ : سیستم در حالت سوم ۳۲۰
شکل ۲۷۱-۲ : سیستم در حالت چهارم ۳۲۰

شکل ۲-۲۷۲ : سیستم در حالت پنجم..... ۳۲۱
شکل ۲-۲۷۳ : مدار معادل در حالت کموتاسیون دو فاز ماشین..... ۳۲۲
شکل ۲-۲۷۴ : بلوک دیاگرام کنترلی درایو ماشین سنکرون با استفاده از اینورتر کموتاسیون بار و یکسوساز فعال..... ۳۲۳
شکل ۲-۲۷۵ : اینورتر ۶ پالسه و یکسوساز ۱۲ پالسه برای درایو و راه اندازی ماشین سه فاز..... ۳۲۴
شکل ۲-۲۷۶ : ساختار ۶ پالسه در اینورتر و یکسوساز با استفاده از سوییچ‌های GTO..... ۳۲۵
شکل ۲-۲۷۷ : اینورتر ۶ پالسه منبع جریان و یکسوساز ۱۸ پالسه تریستوری..... ۳۲۵
شکل ۲-۲۷۸ : دو اینورتر منبع جریان مشابه موازی..... ۳۲۵
شکل ۲-۲۷۹ : اینورتر منبع ولتاژ دو سطحی..... ۳۲۶
شکل ۲-۲۸۰ : اینورتر منبع ولتاژ دو سطحی با استفاده از اتصال سری کلیدهای قدرت و خازنهای لینک DC..... ۳۲۷
شکل ۲-۲۸۱ : ساختار اینورتر سه سطحی مقید شده دیودی..... ۳۲۸
شکل ۲-۲۸۲ : ساختار یک اینورتر مقید شده دیودی پنج سطحی..... ۳۲۹
شکل ۲-۲۸۳ : ساختار اینورتر سه سطحی با خازن شناور..... ۳۳۰
شکل ۲-۲۸۴ : ساختار اینورتر سه فاز پنج سطحی با خازن شناور..... ۳۳۱
شکل ۲-۲۸۵ : ساختار پل اچ تکفاز با یکسوساز دیودی..... ۳۳۲
شکل ۲-۲۸۶ : ساختار پل اچ تکفاز با یکسوساز فعال..... ۳۳۲
شکل ۲-۲۸۷ : اینورتر سه فاز آبشاری هفت سطحی..... ۳۳۳
شکل ۲-۲۸۸ : شکل موجهای ولتاژ و ساختار اینورتر نه سطحی با استفاده از دو پل اچ متوالی..... ۳۳۴
شکل ۲-۲۸۹ : اینورتر پل اچ آبشاری با استفاده از تنها یک ابر خازن به عنوان لینک DC..... ۳۳۵
شکل ۲-۲۹۰ : شکل موج ولتاژهای مرجع، فاز و خط در حالت مدولاسیون عرض پالس اینورتر دو سطحی سه فاز... ۳۳۶
شکل ۲-۲۹۱ : بردار پایه موجود در صفحه $\alpha\beta$ برای یک اینورتر دو سطحی..... ۳۳۷
شکل ۲-۲۹۲ : بردار پایه موجود در صفحه $\alpha\beta$برای یک اینورتر چند سطحی..... ۳۳۷
شکل ۲-۲۹۳ : شکل موجهای ولتاژ یک اینورتر ۳ سطحی با روش مدولاسیون حذف هارمونیکی..... ۳۳۸
شکل ۲-۲۹۴ : پیاده سازی روش کنترل جریان هیسترزیس در یک اینورتر سه فاز منبع ولتاژ..... ۳۳۹
شکل ۲-۲۹۵ : بلوک تجزیه جریانها..... ۳۴۰
شکل ۲-۲۹۶ : شبکه جداسازی جریانها در روش میدان گرای مستقیم..... ۳۴۱
شکل ۲-۲۹۷ : پیاده سازی روش کنترل مستقیم گشتاور..... ۳۴۲
شکل ۲-۲۹۸ : بردارهای پایه سوییچینگ..... ۳۴۲
شکل ۲-۲۹۹ : درخت تکنولوژی سیستم درایو نیروگاه حرارتی..... ۳۴۳
شکل ۲-۳۰۰ : چرخه بلوغ فناوری ساختار کموتاسیون منبع..... ۳۴۴
شکل ۲-۳۰۱ : چرخه بلوغ فناوری ساختار کموتاسیون اجباری با استفاده از خازن کموتاسیون و تریستورهای کمکی. ۳۴۴
شکل ۲-۳۰۲ : چرخه بلوغ فناوری روش استفاده از کموتاسیون بار در سرعتهای پایین..... ۳۴۴
شکل ۲-۳۰۳ : چرخه بلوغ فناوری روش استفاده از یک اینورتر منبع ولتاژ برای انجام کموتاسیون..... ۳۴۵
شکل ۲-۳۰۴ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع جریان کموتاسیون بار..... ۳۴۵
شکل ۲-۳۰۵ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع جریان با مدولاسیون عرض پالس PWM..... ۳۴۶
شکل ۲-۳۰۶ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ دو سطحی با قدرت بالا..... ۳۴۶

شکل ۳۰۷-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار نقطه خنثی مقید شده (کلمپ شده) دیودی ۳۴۶
شکل ۳۰۸-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار خازن شناور ۳۴۷
شکل ۳۰۹-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار پل اچ آبشاری ۳۴۷
شکل ۳۱۰-۲ : نمای جلوی درایو ACS5000 ..... ۳۴۹
شکل ۳۱۱-۲ : نمای پشت درایو ACS5000 ..... ۳۴۹
شکل ۳۱۲-۲ : نمایی از IGCT ۳۵۰
شکل ۳۱۳-۲ : آرایش کلی سیستم ACS5000 ..... ۳۵۰
شکل ۳۱۴-۲ : نمودار جریان و ولتاژ ورودی درایو ACS5000 ..... ۳۵۱
شکل ۳۱۵-۲ : نمودار جریان و ولتاژ خروجی درایو ACS5000 ..... ۳۵۱
شکل ۳۱۶-۲ : نمایی از درایو GL150 شرکت زیمنس ۳۵۲
شکل ۳۱۷-۲ : نمای از درایو سری MV شرکت جنرال الکتریک ۳۵۳
شکل ۳۱۸-۲ : شماتیک درایو MV شرکت جنرال الکتریک با یکسوساز ۳۶ پالسه ۳۵۴
شکل ۳۱۹-۲ : شماتیک درایو MV شرکت جنرال الکتریک با یکسوساز فعال ۳۵۴
شکل ۳۲۰-۲ : آنالیز هارمونیکی ولتاژ و جریان خروجی درایو MV6 ..... ۳۵۴
شکل ۳۲۱-۲ : گستره عملکرد درایو سری MV شرکت جنرال الکتریک ۳۵۵
شکل ۳۲۲-۲ : نمای درایو فشار متوسط شرکت Allen-Bradley ۳۵۶
شکل ۳۲۳-۲ : ماژول قدرت H Bridge شرکت Allen-Bradley ۳۵۷
شکل ۳۲۴-۲ : نمایی از سیستم مبدل ولتاژ متوسط شرکت INGETEAM ۳۵۸
شکل ۳۲۵-۲ : شماتیک مداری درایو شرکت INGETEAM با رکتیفایر اکتیو سه سطحی و اینورتر سه سطحی . ۳۶۰
شکل ۳۲۶-۲ : شماتیک مداری درایو شرکت INGETEAM با رکتیفایر ۲۴ پالسه دیودی و اینورتر سه سطحی .. ۳۶۰
شکل ۳۲۷-۲ : نمای تابلو درایو فشار متوسط MV1000 ..... ۳۶۱
شکل ۳۲۸-۲ : نمای پشت تابلو درایو MV1000 ..... ۳۶۱
شکل ۳۲۹-۲ : خروجی ولتاژ ۱۷ سطحی درایو MV1000 ..... ۳۶۲
شکل ۳۳۰-۲ : مقایسه THD جریان‌های ورودی یکسوساز ۲۴ پالسه و یکسوساز درایو MV1000 ..... ۳۶۲
شکل ۳۳۱-۲ : نمای درایو MVD3000 شرکت Delta ۳۶۴
شکل ۳۳۲-۲ : سلول قدرت استفاده شده در سیستم درایو MVD3000 شرکت Delta ۳۶۵
شکل ۳۳۳-۲ : سیستم درایو فشار متوسط شرکت Delta با کسکود شدن سلولهای قدرت ۳۶۵
شکل ۳۳۴-۲ : نمای درایو LSMV-M1000 شرکت LS ۳۶۶
شکل ۳۳۵-۲ : ساختار درایو LSMV-M1000 شرکت LS ۳۶۷
شکل ۳۳۶-۲ : نمای درایو VACON3000 شرکت دانفوس ۳۶۸
شکل ۳۳۷-۲ : نمایی از تابلو درایو شرکت اطمینان بخش ۳۷۲
شکل ۳۳۸-۲ : شماتیک درایو فرکانس متغیر ۳۷۳
شکل ۳۳۹-۲ : ویژگیهای درایو فشار متوسط شرکت پرتوصنعت ۳۷۴
شکل ۳۴۰-۲ : سیستم ماژولار اینورتر شرکت پرتوصنعت با ساختار سلول های قدرت سری ۳۷۴
شکل ۳۴۱-۲ : نمایی از تابلو درایو فشار متوسط شرکت جهاد دانشگاهی علم وصنعت ۳۷۶

شکل ۳۴۲-۲ : نمایی از سیستم مگادرایو شرکت برناالکترونیک ۳۷۹
شکل ۳۴۳-۲ : سیستم حفاظت مگادرایو شرکت برناالکترونیک ۳۸۰
شکل ۳۴۴-۲ : نمایی از سیستم درایو شرکت میکروکنترل اصفهان ۳۸۲
شکل ۳۴۵-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات صادرات درایوهای فرکانس متغیر در سال ۱۳۹۷ ۳۸۹
شکل ۳۴۶-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات درایوهای فرکانس متغیر طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص وزنی ۳۹۰
شکل ۳۴۷-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات درایوهای فرکانس متغیر طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص هزینه ۳۹۰
شکل ۳۴۸-۲ : نحوه اتصال مبدل فرکانس به شبکه و ماشینهای سنکرون ۳۹۹
شکل ۳۴۹-۲ : توالی مراحل راه اندازی در نیروگاههای گازی ۳۹۹
شکل ۳۵۰-۲ : نمایی از سیستم راه انداز و تحریک زیمنس ۴۰۲
شکل ۳۵۱-۲ : شماتیک مداری سیستم راه انداز زیمنس ۴۰۲
شکل ۳۵۲-۲ : نمایی از ترانس سیستم راه انداز زیمنس ۴۰۳
شکل ۳۵۳-۲ : شماتیک سیستم کنترلی راه انداز و تحریک زیمنس ۴۰۴
شکل ۳۵۴-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین زیمنس ۴۰۵
شکل ۳۵۵-۲ : شماتیک توالی عملکرد راه اندازی توربین ۴۰۵
شکل ۳۵۶-۲ : نمایی از سیستم راه انداز شرکت توشیبا ۴۰۸
شکل ۳۵۷-۲ : شماتیک مداری سیستم راه انداز شرکت توشیبا ۴۰۸
شکل ۳۵۸-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین شرکت توشیبا ۴۰۹
شکل ۳۵۹-۲ : نمودار ولتاژ و گشتاور خروجی سیستم راه انداز توربین در فرکانسهای ۵۰ و ۶۰ هرتز ۴۱۰
شکل ۳۶۰-۲ : مدار تفصیلی سیستم راه انداز شرکت توشیبا ۴۱۰
شکل ۳۶۱-۲ : نمایی از سیستم راه انداز توربین شرکت ان آر الکتریک ۴۱۱
شکل ۳۶۲-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین شرکت ان آر الکتریک ۴۱۲
شکل ۳۶۳-۲ : شماتیک مداری کموتاسیون سیستم راه انداز شرکت ان آر چین ۴۱۳
شکل ۳۶۴-۲ : شماتیک مداری و تابلویی زیرسیستمهای سیستم راه انداز شرکت ان آر چین ۴۱۴
شکل ۳۶۵-۲ : سیستم تریگر فتوالکتریک استفاده شده در سیستم راه انداز شرکت ان آر چین ۴۱۴
شکل ۳۶۶-۲ : شماتیک مداری مگادرایو با رکتیفایر و اینورتر ۶ پالسه شرکت ABB ۴۱۶
شکل ۳۶۷-۲ : شماتیک مداری مگادرایو با رکتیفایر و اینورتر ۱۲ پالسه شرکت ABB ۴۱۶
شکل ۳۶۸-۲ : نمایی از مگادرایو شرکت ABB با سیستم خنک شونده با هوا ۴۱۷
شکل ۳۶۹-۲ : نمایی از اتصالات سری تریستورهای مگادرایو با سیستم خنک شونده با آب ۴۱۷
شکل ۳۷۰-۲ : نمایی از مگادرایو شرکت ABB با سیستم خنک شونده با آب ۴۱۸
شکل ۳۷۱-۲ : شماتیک مداری سافت استارترهای مگادرایو شرکت ABB با سیستم ۶ پالسه و ۱۲ پالسه ۴۱۸
شکل ۳۷۲-۲ : شماتیک مداری راه انداز مگادرایو توربین گازی شرکت ABB با رکتیفایرهای ۶ و ۱۲ پالسه ۴۱۹
شکل ۳۷۳-۲ : شماتیک مداری و عملکردی مبدل فرکانس استاتیکی شرکت AEG ۴۲۱
شکل ۳۷۴-۲ : دیاگرام توربین گاز و مبدل فرکانس استاتیکی ۴۲۲
شکل ۳۷۵-۲ : دیاگرام نحوه راه اندازی چند سیستم توربوژنراتور با استفاده از دو راه انداز استاتیکی ۴۲۴

شکل ۳۷۶-۲ : دیاگرام سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک ۴۲۶
شکل ۳۷۷-۲ : نمای تابلویی سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک ۴۲۶
شکل ۳۷۸-۲ : شماتیک مداری سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک ۴۲۷
شکل ۳۷۹-۲ : دیاگرام سیستم خنک کننده راه انداز شرکت جنرال الکتریک ۴۲۸
شکل ۳۸۰-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین شرکت جنرال الکتریک ۴۲۹
شکل ۳۸۱-۲ : شماتیک راه اندازی یک توربین با یک سیستم راه انداز ۴۲۹
شکل ۳۸۲-۲ : شماتیک راه اندازی چند توربین با یک سیستم راه انداز ۴۳۰
شکل ۳۸۳-۲ : شماتیک راه اندازی چند توربین با دو سیستم راه انداز ۴۳۰
شکل ۳۸۴-۲ : نمایی از سیستم درایو و راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس ABB ۴۳۲
شکل ۳۸۵-۲ : نمایی از سیستم تحریک و راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس زیمنس ۴۳۴
شکل ۳۸۶-۲ : نمایی از سیستم کنترل توربین رامیار شرکت آهار شرق ۴۳۸
شکل ۳۸۷-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات صادرات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها در سال ۱۳۹۷ ۴۴۷
شکل ۳۸۸-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها در سال ۱۳۹۷ ۴۴۸
شکل ۳۸۹-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات سیستمهای راه انداز طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص وزنی ۴۴۸
شکل ۳۹۰-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات سیستمهای راه انداز طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص هزینه ۴۴۹
شکل ۳۹۱-۲ : سیستم تحریک ژنراتور سنکرون ۴۵۱
شکل ۳۹۲-۲ : ساختمان سیستم تحریک ۴۵۲
شکل ۳۹۳-۲ : الگوریتم کنترل دیجیتال سیستم تحریک ۴۵۲
شکل ۳۹۴-۲ : دیاگرام کلی سیستم تحریک DC ۴۵۴
شکل ۳۹۵-۲ : دیاگرام کلی سیستم تحریک AC ۴۵۵
شکل ۳۹۶-۲ : دیاگرام کلی سیستم تحریک استاتیک ۴۵۵
شکل ۳۹۷-۲ : درخت فناوری سیستم‌های تحریک ۴۵۶
شکل ۳۹۸-۲ : سیر تکاملی سیستم‌های تحریک در گذر زمان ۴۵۷
شکل ۳۹۹-۲ : چرخه عمر فناوری انواع سیستم‌های تحریک ژنراتور – (a): سیستم تحریک DC / (b): سیستم تحریک AC / (c): سیستم تحریک استاتیک ۴۵۷
شکل ۴۰۰-۲ : سیستم تحریک مدل DC1C ۴۵۸
شکل ۴۰۱-۲ : سیستم تحریک مدل DC2C ۴۵۹
شکل ۴۰۲-۲ : سیستم تحریک مدل AC1C ۴۶۱
شکل ۴۰۳-۲ : سیستم تحریک مدل AC2C ۴۶۲
شکل ۴۰۴-۲ : سیستم تحریک مدل AC3C ۴۶۴
شکل ۴۰۵-۲ : سیستم تحریک مدل AC4C ۴۶۵
شکل ۴۰۶-۲ : سیستم تحریک مدل AC5C ۴۶۶
شکل ۴۰۷-۲ : سیستم تحریک مدل AC6C ۴۶۷
شکل ۴۰۸-۲ : سیستم تحریک مدل AC7C ۴۶۹

شکل ۴۰۹-۲ : سیستم تحریک مدل ST1C ۴۷۱
شکل ۴۱۰-۲ : سیستم تحریک مدل ST2C ۴۷۳
شکل ۴۱۱-۲ : سیستم تحریک مدل ST3C ۴۷۴
شکل ۴۱۲-۲ : سیستم تحریک مدل ST4C ۴۷۶
شکل ۴۱۳-۲ : محدوده عملکرد سری ABB UNITROL 6000 ..... ۴۸۱
شکل ۴۱۴-۲ : شمای سیستم تحریک EMERSON Ovation ۴۸۳
شکل ۴۱۵-۲ : اجزای اصلی عملکرد ساده شده سیستم کنترل EX2100e ۴۸۶
شکل ۴۱۶-۲ : قسمت‌های مختلف تابلو سری THYRIPOL زیمنس ۴۸۹
شکل ۴۱۷-۲ : ساختمان و اتصالات سری THYRIPOL زیمنس ۴۹۱
شکل ۴۱۸-۲ : شماتیک تحریک استاتیک شرکت NR برای ژنراتور ۶۰۰MW ۴۹۲
شکل ۴۱۹-۲ : انواع مختلف سیستم تحریک شرکت NR ۴۹۳
شکل ۴۲۰-۲ : دیاگرام سیستم تحریک شرکت Nidec ۴۹۴
شکل ۴۲۱-۲ : سیستم تحریک ۴۰۰A دوکاناله شرکت Basler ۴۹۶
شکل ۴۲۲-۲ : سیستم تحریک ۲۰۰۰A شرکت Basler ۴۹۶
شکل ۴۲۳-۲ : سیستم تحریک PRISMIC A50 شرکت Brush برای ژنراتور ۲۵۹MVA ۴۹۷
شکل ۴۲۴-۲ : سیستم تحریک شرکت TECG Control ۴۹۸
شکل ۴۲۵-۲ : سیستم تحریک ژنراتورهای مقیاس بزرگ ۲۰۰ مگاولت آمپر ABB ۵۰۵
شکل ۴۲۶-۲ : نمای روبروی سیستم تحریک بدون جاروبک AC ۵۰۷
شکل ۴۲۷-۲ : نمای جانبی سیستم تحریک بدون جاروبک AC ۵۰۷
شکل ۴۲۸-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات صادرات مبدلهای استاتیک در سال ۱۳۹۷ ..... ۵۱۵
شکل ۴۲۹-۲ : نمودار گرافیکی واردات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷ ..... ۵۱۶
شکل ۴۳۰-۲ : نمودار گرافیکی واردات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در ۵ سال منتهی به ۱۳۹۷ با شاخص وزن ۵۱۶
شکل ۴۳۱-۲ :نمودار گرافیکی واردات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در ۵ سال منتهی به ۱۳۹۷ با شاخص هزینه ۵۱۷
شکل ۴۳۲-۲ : آلودگی سطحی بر روی شینه ژنراتور که موجب تشدید PD می شود ۵۲۰
شکل ۴۳۳-۲: تخریب عایق استاتور در اثر ارتعاشات ماشین ۵۲۱
شکل ۴۳۴-۲: وقوع اتصال کوتاه در سیم پیچی رتور ۵۲۲
شکل ۴۳۵-۲: سهم عیوب مختلف در هیدوژنراتورهای نیروگاهی ۵۲۳
شکل ۴۳۶-۲: سهم عیوب مختلف در توربوژنراتورهای نیروگاههای حرارتی کشور ۵۲۴
شکل ۴۳۷-۲ : سهم عیوب مختلف در الکتروموتورهای توان بالای نیروگاهی ۵۲۵
شکل ۴۳۸-۲: اجزای مختلف ساختار عایقی استاتور ماشین‌های دوار ۵۲۷
شکل ۴۳۹-۲: تخلیه جزئی در داخل شیار (سمت راست) و در اطراف شیار (سمت چپ) ۵۲۸
شکل ۴۴۰-۲: حسگرهای اندازه‌گیری تخلیه جزئی کوپلر خازنی ۵۲۹
شکل ۴۴۱-۲: حسگرهای HFCT و نحوه نصب آن بر روی ماشینهای الکتریکی دوار ۵۳۰
شکل ۴۴۲-۲: نصب حسگرهای SSC ۵۳۱

شکل ۴۴۳-۲: بلوک دیاگرام دستگاه اندازه‌گیری دیجیتال تخلیه جزئی ۵۳۲
شکل ۴۴۴-۲: منابع مختلف نویز در ژنراتورها ۵۳۲
شکل ۴۴۵-۲: تفکیک منابع تخلیه جزئی با استفاده از روش 3PARD ۵۳۳
شکل ۴۴۶-۲: مشخصه PRPD عیب‌های مختلف ۵۳۴
شکل ۴۴۷-۲: خازن‌های کوپلاژ شرکتIRIS ۵۳۴
شکل ۴۴۸-۲: مشخصات حسگرهای SSC شرکت IRIS ۵۳۵
شکل ۴۴۹-۲ : سیستم پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار شرکت Double ۵۳۶
شکل ۴۵۰-۲: حسگرهای مورد استفاده شرکت Techimp ۵۳۸
شکل ۴۵۱-۲:پایش وضعیت ژنراتور با استفاده از دستگاه PD Check ۵۳۸
شکل ۴۵۲-۲: سیستم جمع‌آوری اطلاعات از دستگاه‌های تخلیه جزئی با استفاده از PD Hub ۵۳۹
شکل ۴۵۳-۲: سیستم Ti-SCADA برای پایش وضعیت سیستم قدرت ۵۳۹
شکل ۴۵۴-۲: حسگرهای شرکت امیکرون ۵۴۰
شکل ۴۵۵-۲: نصب دستگاه برای پایش وضعیت ژنراتور MONGEMO ۵۴۰
شکل ۴۵۶-۲: سری کردن دستگاه‌های MONGEMO برای پایش وضعیت چندین ماشین به طور همزمان ۵۴۱
شکل ۴۵۷-۲: تجهیزات مربوط به اندازه گیری جریان و ولتاژ شفت ۵۴۲
شکل ۴۵۸-۲: تجهیزات مربوط به اندازه گیری شار مغناطیسی ۵۴۲
شکل ۴۵۹-۲: نصب حسگر موقت شار فاصله هوایی بر روی ژنراتور ۵۴۳
شکل ۴۶۰-۲: اندازه‌گیری ولتاژ شفت ۵۴۳
شکل ۴۶۱-۲: شکل سمت چپ در حالت سالم–سمت راست در حالت ۵۰ درصد ناهم محوری ۵۴۴
شکل ۴۶۲-۲: شکل سمت چپ در حالت سالم–سمت راست در حالت ۰.۹ میلیمتر ناهم محوری ۵۴۴
شکل ۴۶۳-۲: شکل سمت چپ قبل از تعمیرات–سمت راست بعد از تعمیرات ۵۴۵
شکل ۴۶۴-۲: دیاگرام قطبی شار مغناطیسی فاصله هوایی ۵۴۵
شکل ۴۶۵-۲: هارمونیکهای ولتاژ شفت–شکل سمت چپ در حالت سالم–سمت راست تحت خطا ۵۴۵
شکل ۴۶۶-۲: CT شرکت IRIS برای پایش جریان ۵۴۶
شکل ۴۶۷-۲: حسگر شار مغناطیسی شرکت BKVibro ۵۴۷
شکل ۴۶۸-۲: حسگر شار مغناطیسی شرکت IRIS برای ماشین‌های دوار با فاصله هوایی کمتر از ۵cm ۵۴۸
شکل ۴۶۹-۲: حسگر شار مغناطیسی شرکت IRIS برای ماشین‌های دوار با فاصله هوایی بیشتر از ۵cm ۵۴۸
شکل ۴۷۰-۲: دستگاه MDSP3 شرکت IRIS برای پایش وضعیت شار فاصله هوایی موتورهای القایی ۵۴۹
شکل ۴۷۱-۲: تشخیص محل اتصال حلقه به حلقه الف) شار دو حسگر ب) محل اتصال حلقه به حلقه ۵۵۰
شکل ۴۷۲-۲: دستگاه FluxTracII-R برای پایش آنلاین شار فاصله هوایی ماشین‌های سنکرون قطب صاف ۵۵۱
شکل ۴۷۳-۲: پایش شار ماشین سنکرون قطب برجسته با ۷۶ قطب ۵۵۱
شکل ۴۷۴-۲: دستگاه SMTraceII برای پایش آنلاین ولتاژ و جریان شفت ۵۵۲
شکل ۴۷۵-۲: نمونه‌ای از سیگنال‌های ولتاژ و جریان شفت ۵۵۲
شکل ۴۷۶-۲: ساختار شبکه فیبر برگ ۵۵۳
شکل ۴۷۷-۲: نصب حسگر شتابسنج در انتهای شینه ۵۵۴
شکل ۴۷۸-۲: اساس عملکرد حسگرهای پیزوالکتریک ۵۵۴

شکل ۴۷۹-۲: نحوه عملکرد حسگرهای جریان گردابی..... ۵۵۵
شکل ۴۸۰-۲: محل نصب حسگر جریان گردابی برای پایش جابجایی محوری..... ۵۵۶
شکل ۴۸۱-۲: اندازه‌گیری ارتعاشات نسبی شفت و تعیین اوربیت شفت..... ۵۵۷

شکل ۴۸۲-۲: سطوح مختلف برای تحلیل طیف فرکانسی ۵۵۸
شکل ۴۸۳-۲: پهنای باند اوکتاو و یک‌سوم اوکتاو ۵۵۹
شکل ۴۸۴-۲: محدوده عملکردی مبتنی بر طیف فرکانسی ۵۵۹
شکل ۴۸۵-۲: طیف فرکانسی سیگنال ارتعاشات الکتروموتور ۵۶۰
شکل ۴۸۶-۲: حسگر اندازه‌گیری فاصله بر اساس عملگرد جریان گردابی (شرکت Mc-m) ۵۶۱
شکل ۴۸۷-۲: حسگر فاصله هوایی AGT-525 ۵۶۳
شکل ۴۸۸-۲: حسگر اندازه‌گیری فاصله خازنی برای ارتعاش انتهای شینه ۵۶۵
شکل ۴۸۹-۲: حسگر خازنی اندازه‌گیری فاصله جایگزین برای حسگرهای جریان گردابی ۵۶۶
شکل ۴۹۰-۲: حسگر اندازه‌گیری شتاب بر اساس فیبر نوری شرکت VibroSystem ۵۶۷
شکل ۴۹۱-۲: حسگر فاصله هوایی EQ2431-A2 ۵۶۸
شکل ۴۹۲-۲: حسگر حرارت سنج مقاومتی (RTD) ۵۷۰
شکل ۴۹۳-۲: نحوه عملکرد ترموکوپل ۵۷۱
شکل ۴۹۴-۲: نحوه عملکرد فیبر نوری برای اندازه‌گیری دما ۵۷۱
شکل ۴۹۵-۲: حسگر فیبر نوری برای اندازه‌گیری دما شرکت VibroSystem ۵۷۱
شکل ۴۹۶-۲: جاهای مختلف اندازه‌گیری دما در ماشین‌های دوار ۵۷۳
شکل ۴۹۷-۲: ترموکوپلهای قرار داده شده در هسته ۵۷۴
شکل ۴۹۸-۲: ترموکوپل قرار داده شده در انتهای هسته ۵۷۴
شکل ۴۹۹-۲: ترموکوپل بروی خروجی شینه ها ۵۷۵
شکل ۵۰۰-۲: اندازه گیری دمای رتور در ژنراتور سنکرون قطب برجسته ۵۷۵
شکل ۵۰۱-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت زیمنس ۵۷۹
شکل ۵۰۲-۲: پایش وضعیت موتور با اندازه گیری ولتاژ و جریان سه فاز ۵۸۰
شکل ۵۰۳-۲: آنالیز FFT سیگنال جریان به منظور تشخیص عیب ۵۸۰
شکل ۵۰۴-۲: ساختار پایش وضعیت ژنراتورها توسط شرکت جنرال الکتریک ۵۸۱
شکل ۵۰۵-۲: نحوه تحلیل اطلاعات به منظور پایش وضعیت ۵۸۲
شکل ۵۰۶-۲: سیستم اندازه گیری سیگنال های پایش وضعیت ۵۸۳
شکل ۵۰۷-۲: GuardII برای پایش وضعیت توربو ژنراتور ۵۸۴
شکل ۵۰۸-۲: نرم افزار پایش وضعیت شرکت IRIS ۵۸۴
شکل ۵۰۹-۲: میزان صرفه جویی در هزینه با استفاده از سیستم پایش وضعیت ۵۸۵
شکل ۵۱۰-۲: سیستم پایش وضعیت هیدرو ژنراتور شرکت Bkvibro ۵۸۶
شکل ۵۱۱-۲: تشخیص مشکلات عایقی استاتور با اندازه گیری تخلیه جزئی ۵۸۷
شکل ۵۱۲-۲: اندازه گیری ارتعاشات به منظور تشخیص عیوب مکانیکی ۵۸۷
شکل ۵۱۳-۲: اندازه گیری شار فاصله هوایی به منظور تشخیص اتصال حلقه به حلقه در روتور ۵۸۸
شکل ۵۱۴-۲: اندازه گیری فاصله هوایی به منظور تشخیص ناهم محوری روتور و تغییر شکل استاتور ۵۸۸
شکل ۵۱۵-۲: ساختار سیستم پایش وضعیت ۵۸۹
شکل ۵۱۶-۲: سیستم پایش وضعیت توربو ژنراتور شرکت VibroSystem ۵۹۰
شکل ۵۱۷-۲: سیستم اندازه گیری ماژولار شرکت VibroSystem ۵۹۱

شکل ۵۱۸-۲: نرم افزار اندازه گیری پارامترهای مختلف ۵۹۱
شکل ۵۱۹-۲: سیستم پایش جامع ماشین های دوار ۵۹۲
شکل ۵۲۰-۲: ساختار کلی سیستم پایش وضعیت شرکت MCm ۵۹۳
شکل ۵۲۱-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت MCm برای توربین های گازی و بخاری ۵۹۳
شکل ۵۲۲-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت MCm برای توربو ژنراتورها ۵۹۴
شکل ۵۲۳-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت MCm برای هیدرو ژنراتورها ۵۹۵
شکل ۵۲۴-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت MCm برای توربین بادی ۵۹۵
شکل ۵۲۵-۲: دستگاه Rhino PMS-300 برای ثبت سیگنال های مختلف ۵۹۶
شکل ۵۲۶-۲: نرم افزار پایش جامع Orca CMS-500 ۵۹۷
شکل ۵۲۷-۲: سیستم پایش شرکت ABB ۵۹۷
شکل ۵۲۸-۲: نمونه ای از نصب سنسورهای اندازه گیری شتاب جهت اندازه گیری ارتعاش ۵۹۸
شکل ۵۲۹-۲: درخت فن اوری پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی ۶۰۵
شکل ۵۳۰-۲ : تجهیزات الکتریک نیروگاه و حوزه‌های مرتبط ۶۰۸
شکل ۵۳۱-۲ : نمودار سهم مشارکت گروه‌های پژوهشی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۰۹
شکل ۵۳۲-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی ۶۰۹
شکل ۵۳۳-۲ : عمده فعالیت‌های گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۰
شکل ۵۳۴-۲ : حوزه‌های مختلف تحت پوشش گروه پژوهشی الکترونیک قدرت ۶۱۲
شکل ۵۳۵-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق ۶۱۳
شکل ۵۳۶-۲ : حوزه‌های مختلف تحت پوشش گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه ۶۱۴
شکل ۵۳۷-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه مطالعات شبکه‌های فشارقوی ۶۱۵
شکل ۵۳۸-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه مکانیک نیروگاه‌ها ۶۱۶
شکل ۵۳۹-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه شیمی و مواد ۶۱۷
شکل ۵۴۰-۲ : اهداف و ماموریت¬های مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی ۶۲۸
شکل ۱-۵: رهنگاشت پروژههای حوزه الکتروموتور ۷۱۷
شکل ۲-۵: رهنگاشت پروژههای حوزه ژنراتور ۷۱۸
شکل ۳-۵: رهنگاشت حوزه سیستم راهانداز ۷۱۹
شکل ۴-۵ : رهنگاشت حوزه سیستم تحریک ۷۲۰
شکل ۵-۵ : رهنگاشت حوزه درایو ۷۲۱
شکل ۶-۵: رهنگاشت حوزه سیستم پایش وضعیت ۷۲۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: مهم‌ترین طرح‌های نیروگاهی در دست اقدام شرکت تولید نیروی برق حرارتی..... ۷
جدول ۲-۱: عملکرد و برنامه راه‌اندازی واحدهای نیروگاه‌های حرارتی طی برنامه ششم توسعه..... ۷
جدول ۳-۱: ابعاد دسته‌بندی قواعد..... ۱۸
جدول ۴-۱: مستندات مرتبط با لزوم توسعه ماشین‌های الکتریکی..... ۱۹
جدول ۵-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱، شاخص نسبت ظرفیت نیروگاه‌های بخش خصوصی و تعاونی به‌کل ظرفیت نیروگاه..... ۲۶
جدول ۶-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص نرخ رشد سالانه ظرفیت عملی نیروگاه‌ها در شرایط پیک..... ۲۶
جدول ۷-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص سهم بخش خصوصی از ظرفیت نیروگاه‌ها..... ۲۷
جدول ۸-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص طول خطوط توزیع نیروی برق (کیلومتر مدار)..... ۲۷
جدول ۹-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص مدت‌زمان خاموشی (دقیقه در سال به ازای هر مشترک)..... ۲۷
جدول ۱۰-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص بازده برق و حرارت (درصد)..... ۲۸
جدول ۱۱-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص ضریب آمادگی نیروگاه‌ها..... ۲۹
جدول ۱۲-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص راندمان برق و حرارت نیروگاه‌ها..... ۲۹
جدول ۱۳-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص مصرف ویژه آب در نیروگاه‌های حرارتی ۳۰
جدول ۱۴-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص تأمین سوخت مطمئن..... ۳۰
جدول ۱۵-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص بهبود ظرفیت عملی تولید نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی موجود..... ۳۰
جدول ۱۶-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص تثبیت فرکانس و ولتاژ شبکه سراسری..... ۳۱
جدول ۱۷-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی..... ۳۱
جدول ۱۸-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت نیروگاه‌ها (حرارتی، تولید پراکنده و آبی)..... ۳۲
جدول ۱۹-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان انتشار گازهای آلاینده به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی..... ۳۲
جدول ۲۰-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص درصد نیروگاه‌های مجهز به سامانه آنلاین پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی..... ۳۳
جدول ۲۱-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان آب مصرفی واحدهای بخار به ازای هر کیلووات ساعت..... ۳۳
جدول ۲۲-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان هیدروکربورهای نسوخته موجود در گاز خروجی نیروگاه‌ها..... ۳۴
جدول ۲۳-۱: ماتریس نهاد کارکرد صنعت ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات..... ۵۰

جدول ۱-۲: خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای MHD حلقه باز در برخی کشورهای جهان [۳۵]..... ۷۱
جدول ۲-۲: خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای MHD حلقه بسته در برخی کشورهای جهان [۳۵]..... ۷۲
جدول ۳-۲: برخی کاربردهای انواع ژنراتورهای الکتریکی [۳۴]..... ۷۳
جدول ۴-۲ : مقایسه ویژگی‌های خنک‌سازی گاز هیدروژن، روغن و آب نسبت به هوا [۳۴]..... ۱۰۳
جدول ۵-۲ : قابلیت نسبی خنک‌سازی انواع سیالات [۳۷]..... ۱۰۶
جدول ۶-۲ : وضعیت ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا (تا سال ۲۰۰۶) [۳۸]..... ۱۰۸
جدول ۷-۲ : مزایای اقتصادی استفاده از توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۳۸]..... ۱۰۹
جدول ۸-۲ : برخی عیوب موجود در واحدهای ۳۰۰ مگاواتی مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۴۰]..... ۱۱۱
جدول ۹-۲ : ویژگی‌های ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا با توان خروجی بیشتر [۳۸]..... ۱۱۲
جدول ۱۰-۲ : تلفات در سیم‌پیچی استاتور [۳۹]..... ۱۱۸
جدول ۱۱-۲ : مشخصات فنی ژنراتور ۶۷۰ مگاولت‌آمپری توسعه‌یافته توسط Toshiba..... ۱۲۱
جدول ۱۲-۲ : مقایسه برخی پارامترهای ژنراتور توسعه‌یافته توسط Toshiba و ژنراتور مرسوم [۴۸]..... ۱۲۸
جدول ۱۳-۲ : ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در جهان تا سال ۲۰۰۸ [۵۲]..... ۱۳۱
جدول ۱۴-۲ : ژنراتورهای چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در جهان تا سال ۲۰۰۸ [۵۲]. ۱۳۲
دول ۱۵-۲ : مشخصات یک نوع ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۴]..... ۱۳۴
جدول ۱۶-۲ : مشخصات یک نوع ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۴]..... ۱۳۶
جدول ۱۷-۲ : مشخصات تیوب‌های تحت آزمون [۶۲]..... ۱۴۶
جدول ۱۸-۲ : بخش‌های مختلف تولیدکننده تلفات آهن در ژنراتور [۷۷]..... ۱۶۰
جدول ۱۹-۲ : بخش‌های مختلف تولیدکننده تلفات پراکندگی بار در ژنراتور [۷۷]..... ۱۶۱
جدول ۲۰-۲ : مشخصات ژنراتور تحت آزمون [۸۰]..... ۱۶۶
جدول ۲۱-۲ : اثر تعداد برش‌های مقطعی محوری روی جریان و تلفات میله دمپر [۸۰]..... ۱۶۷
جدول ۲۲-۲ : تأثیر میزان مورب‌بودن شیار استاتور روی جریان و تلفات میله‌های دمپر [۸۰]..... ۱۶۸
جدول ۲۳-۲ : برخی از خواص فولادهای جهت¬دار مارک تجاری آرمکو [۸۱]..... ۱۷۲
جدول ۲۴-۲ : خواص معمول آلیاژهای معمول پرمندور [۸۱]..... ۱۷۲
جدول ۲۵-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت Ansaldo [۸۳]. ۱۷۸
جدول ۲۶-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت Ansaldo [۸۳]..... ۱۷۹
جدول ۲۷-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت Ansaldo [۸۳]..... ۱۸۱
جدول ۲۸-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری SGen-100A-2P شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۳
جدول ۲۹-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری SGen-1000A شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۳
جدول ۳۰-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری SGen-2000P شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۶
جدول ۳۱-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری SGen-3000W شرکت زیمنس [۸۴]..... ۱۸۷
جدول ۳۲-۲ : مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی [۸۵]..... ۱۸۹
جدول ۳۳-۲ : مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵].. ۱۹۱
جدول ۳۴-۲ : مشخصات فنی یکی از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]
..... ۱۹۲

جدول ۳۵-۲: مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵] ۱۹۵
جدول ۳۶-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت جنرال الکتریک [۸۶] ۲۰۳
جدول ۳۷-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت جنرال الکتریک [۸۶]..... ۲۰۴
جدول ۳۸-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت جنرال الکتریک [۸۶].... ۲۰۵
جدول ۳۹-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت Power Machines [۸۷] ۲۰۷
جدول ۴۰-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت Power Machines [۸۷]..... ۲۰۹
جدول ۴۱-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت Power Machines [۸۷] ۲۱۰
جدول ۴۲-۲ : مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی به هوا شرکت Power Machines [۸۷] ۲۱۱
جدول ۴۳-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Brush [۸۸] ۲۱۵
جدول ۴۴-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Brush [۵۵] ۲۱۷
جدول ۴۵-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی ترکیبی ساخت شرکت Brush [۵۵]..... ۲۱۹
جدول ۴۶-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای ساخت شرکت فوجی الکتریک [۴۹]..... ۲۱۹
جدول ۴۷-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای ساخت شرکت ABB [۵۶]..... ۲۲۱
جدول ۴۸-۲ : برخی مشخصات فنی توربوژنراتور ساخت شرکت SEC [۵۷]..... ۲۲۲
جدول ۴۹-۲ : مقایسه بازدهی موتورهای موجود در نیروگاه مشهد و گزینه‌های پیشنهادی..... ۲۶۵
جدول ۵۰-۲ : میزان صرفه‌جویی انرژی ممکن در نیروگاه مشهد با به کارگیری الکتروموتورهای پربازده..... ۲۶۶
جدول ۵۱-۲ : میزان کاهش هزینه‌ها در نیروگاه مشهد با استفاده از الکتروموتورهای پربازده..... ۲۶۶
جدول ۵۲-۲ : بازگشت سرمایه طرح جایگزینی الکتروموتورهای پربازده نیروگاه مشهد بدون در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم..... ۲۶۷
جدول ۵۳-۲ : بازگشت سرمایه طرح جایگزینی الکتروموتورهای پربازده در نیروگاه مشهد با در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم..... ۲۶۸
جدول ۵۴-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آلومینیومی IE2 شرکت زیمنس [۴۳]..... ۲۷۹
جدول ۵۵-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آهنی ریخته‌گری IE2 شرکت زیمنس [۴۳]..... ۲۷۹
جدول ۵۶-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آلومینیومی IE3 شرکت زیمنس [۴۳]..... ۲۸۰
جدول ۵۷-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آهنی ریخته‌گری IE3 شرکت زیمنس [۴۳]..... ۲۸۰
جدول ۵۸-۲ : مشخصات موتور ۴۰ اسب بخار ODP (IE2) شرکت WEG [۴۶]..... ۲۸۲
جدول ۵۹-۲ : مشخصات موتور ۲۵ اسب بخار ODP (IE3) شرکت WEG [۴۶]..... ۲۸۲
جدول ۶۰-۲ : مشخصات موتور ODP (IE3) با توان ۴ اسب بخار شرکت WEG [۴۶]..... ۲۸۳
جدول ۶۱-۲ : مشخصات موتور TEFC (IE2) با توان ۴۰ اسب بخار شرکت WEG [۴۶]..... ۲۸۴

جدول ۶۲-۲ : کلاس‌های بازدهی محصولات شرکت SEW [۴۷]..... ۲۸۶
جدول ۶۳-۲ : موتورهای سری DRE (IE2) شرکت SEW [۴۷]..... ۲۸۶
جدول ۶۴-۲ : موتورهای سری DRN (IE3) شرکت SWE [۴۷]..... ۲۸۷
جدول ۶۵-۲ : موتورهای سری DRE (IE3) شرکت SWE [۴۷]..... ۲۸۷
جدول ۶۶-۲ : مشخصات موتورهای ODP ۱۰۰ و ۱۵۰ اسب بخار با بازدهی عالی IE4 شرکت Tatung [۴۸]..... ۲۸۷
جدول ۶۷-۲ : مشخصات موتورهای IE3 چهار قطب ۲۰۰ ولت TEFC شرکت Tatung [۴۸]..... ۲۸۸
جدول ۶۸-۲ : مشخصات موتورهای IE2 دو قطب شرکت Tatung [۴۸]..... ۲۸۸
جدول ۶۹-۲ : مشخصات موتورهای ۳ اسب بخار IE3 شرکت North America Electric [۴۹]..... ۲۸۹
جدول ۷۰-۲ : مشخصات موتورهای ۳۵۰ اسب بخار IE3 شرکت North America Electric [۴۹]..... ۲۹۰
جدول ۷۱-۲ : مشخصات موتورهای ۱۰ اسب بخار IE3 شرکت North America Electric [۴۹]..... ۲۹۰
جدول ۷۲-۲ : مشخصات موتورهای ۱/۵ اسب بخار IE2 شرکت North America Electric [۴۹]..... ۲۹۱
جدول ۷۳-۲ : مشخصات موتورهای ۵۰ اسب بخار IE2 شرکت North America Electric [۴۹]..... ۲۹۱
جدول ۷۴-۲ : مشخصات موتورهای TE-IE3 (Rigid-Base) ساخت شرکت Lesson Electric Motors [۵۲]
..... ۲۹۳
جدول ۷۵-۲ : موتورهای TE-IE3 (C-Face) ساخت شرکت Lesson Electric Motors [۵۲]..... ۲۹۳
جدول ۷۶-۲ : موتورهای ODP Rigid Base (IE3) ساخت شرکت Lesson Electric Motors [۵۲]..... ۲۹۳
جدول ۷۷-۲ : موتورهای ODP C-Face (IE3) ساخت شرکت Lesson Electric Motors [۵۲]..... ۲۹۴
جدول ۷۸-۲ : موتورهای TEFC-Sever duty-IE3 ساخت شرکت Lesson Electric Motors [۵۲]..... ۲۹۴
جدول ۷۹-۲: راندمان موتورهای سه‌فاز فریم استاندارد با سطح بازدهی IE2 تولیدی شرکت الکتروژن [۵۸]..... ۲۹۸
جدول ۸۰-۲: توان و راندمان الکتروموتورهای تولیدی شرکت جمکو [۵۹]..... ۳۰۲
جدول ۸۱-۲ : دسته‌بندی شرکت‌های داخلی فعال در حوزه الکتروموتور بر اساس میزان توانایی، تجهیزات در اختیار، سوابق کاری و تکنولوژی ساخت..... ۳۱۳
جدول ۸۲-۲ : حالتهای مختلف سوییچینگ اینورتر سه سطحی مقید شده دیودی..... ۳۲۸
جدول ۸۳-۲ : حالتهای سوییچینگ و ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ لینک DC..... ۳۳۰
جدول ۸۴-۲ : حالتهای مختلف سوییچینگ اینورتر پل اچ..... ۳۳۲
جدول ۸۵-۲ : جدول سوییچینگ در حالت کنترل مستقیم گشتاور..... ۳۴۲
جدول ۸۶-۲ : جدول مشخصات فنی پارامترها..... ۳۴۸
جدول ۸۷-۲ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت ABB..... ۳۵۱
جدول ۸۸-۲ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت زیمنس..... ۳۵۲
جدول ۸۹-۲ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت جنرال الکتریک..... ۳۵۵
جدول ۹۰-۲ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت Allen-Bradley..... ۳۵۷
جدول ۹۱-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت INGETEAM..... ۳۶۰
جدول ۹۲-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت یاسکاوا..... ۳۶۳
جدول ۹۳-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت Delta..... ۳۶۵
جدول ۹۴-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت LS..... ۳۶۷
جدول ۹۵-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت دانفوس..... ۳۶۸

جدول ۹۶-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو فشار متوسط شرکت اطمینان بخش ۳۷۱
جدول ۹۷-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو فشار متوسط شرکت پرتو صنعت ۳۷۴
جدول ۹۸-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو فشار متوسط شرکت جهاد دانشگاهی علم وصنعت ۳۷۶
جدول ۹۹-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم مگادرایو شرکت برنا الکترونیک ۳۷۸
جدول ۱۰۰-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت میکروکنترل اصفهان ۳۸۲
جدول ۱۰۱-۲ : نمونه‌هایی از کاربرد سیستم درایو در نیروگاه های داخلی ۳۸۵
جدول ۱۰۲-۲ : سطوح ارزیابی سطح آمادگی تکنولوژی TRL ۳۸۷
جدول ۱۰۳-۲ : اطلاعات صادرات اینورتر از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷ ۳۸۸
جدول ۱۰۴-۲ : جدول مشخصات فنی پارامترها ۴۰۱
جدول ۱۰۵-۲ : مشخصات فنی سیستم راه انداز زیمنس ۴۰۶
جدول ۱۰۶-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت توشیبا ۴۰۹
جدول ۱۰۷-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم مگادرایو شرکت ABB ۴۱۹
جدول ۱۰۸-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم مبدل فرکانسی شرکت AEG ۴۲۴
جدول ۱۰۹-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک ۴۳۰
جدول ۱۱۰-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو و راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس ABB ۴۳۳
جدول ۱۱۱-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس زیمنس ۴۳۴
جدول ۱۱۲-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت آهار ۴۴۰
جدول ۱۱۳-۲ : سطوح ارزیابی سطح آمادگی تکنولوژی TRL ۴۴۲
جدول ۱۱۴-۲ : اطلاعات صادرات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷ ... ۴۴۴
جدول ۱۱۵-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک DC1C ۴۵۸
جدول ۱۱۶-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک DC2C ۴۵۹
جدول ۱۱۷-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک AC1C ۴۶۱
جدول ۱۱۸-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک AC2C ۴۶۲
جدول ۱۱۹-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک AC3C ۴۶۴
جدول ۱۲۰-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک AC4C ۴۶۵
جدول ۱۲۱-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک AC5C ۴۶۶
جدول ۱۲۲-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک AC6C ۴۶۸
دول ۱۲۳-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک AC7C ۴۶۹
جدول ۱۲۴-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک ST1C ۴۷۱
جدول ۱۲۵-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک ST2C ۴۷۳
جدول ۱۲۶-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک ST3C ۴۷۴
جدول ۱۲۷-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک ST4C ۴۷۶
جدول ۱۲۸-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک ۴۷۷
جدول ۱۲۹-۲ : تولیدکنندگان مدل‌های نوع DC ۴۷۸
جدول ۱۳۰-۲ : تولیدکنندگان مدل‌های نوع AC ۴۷۸
جدول ۱۳۱-۲ : تولیدکنندگان مدل‌های نوع استاتیک (ST) ۴۷۹

جدول ۱۳۲-۲ : تولیدکنندگان خارجی سیستم تحریک نیروگاه ۴۷۹
جدول ۱۳۳-۲ : مقایسه داده‌های فنی سیستم‌های تحریک سری ABB UNITROL 6000 ..... ۴۸۱
جدول ۱۳۴-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری ABB UNITROL 6000 ..... ۴۸۱
جدول ۱۳۵-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری EMERSON ۴۸۳
جدول ۱۳۶-۲ : داده‌های فنی سیستم تحریک سری EX2100e GE ۴۸۴
جدول ۱۳۷-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری EX2100e GE ۴۸۷
جدول ۱۳۸-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری THYRIPOL زیمنس ۴۸۷
جدول ۱۳۹-۲ : ابعاد فیزیکی سیستم تحریک سری THYRIPOL زیمنس بر حسب نیاز ۴۸۸
جدول ۱۴۰-۲ : مشخصات فنی سری THYRIPOL زیمنس ۴۹۰
جدول ۱۴۱-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک NR ۴۹۳
جدول ۱۴۲-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک Nidec ۴۹۴
جدول ۱۴۳-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک Ansaldo ۴۹۵
جدول ۱۴۴-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک Basler ۴۹۶
جدول ۱۴۵-۲ : پارامترهای سیستم تحریک ساخت شرکت Brush ۴۹۷
جدول ۱۴۶-۲ : پارامترهای سیستم تحریک ساخت شرکت TECG Control ۴۹۸
جدول ۱۴۷-۲ : تولیدکنندگان داخلی سیستم تحریک نیروگاه ۴۹۹
جدول ۱۴۸-۲ : داده‌های ژنراتور سنکرون شرکت مکو تحت لیسانس ۵۰۶
جدول ۱۴۹-۲ : داده‌های سیستم تحریک AC بدون جاروبک ساخت شرکت مکو ۵۰۶
جدول ۱۵۰-۲ : سطوح ارزیابی سطح آمادگی تکنولوژی TRL ۵۱۳
جدول ۱۵۱-۲ : اطلاعات صادرات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷ ..... ۵۱۵
جدول ۱۵۲-۲ آزمون‌های آفلاین عایق سیم‌پیچی ژنراتورها و موتورها ۵۲۵
جدول ۱۵۳-۲: بازه‌های مختلف فرکانس اندازه‌گیری الکتریکی تخلیه جزئی ۵۲۸
جدول ۱۵۴-۲: لیست محصولات شرکت IRIS ۵۳۵
جدول ۱۵۵-۲: محصولات شرکت HVPD ۵۳۷
جدول ۱۵۶-۲: مشخصات حسگر شار مغناطیسی شرکت BKVibro ۵۴۷
جدول ۱۵۷-۲: محدودهٔ ارتعاشات برای تعمیرات و نگهداری مبتنی بر استاندارد CDA/MS/NVSH 107 ..... ۵۵۷
جدول ۱۵۸-۲ شاخص‌های استخراج‌شده برای تشخیص خطا بر اساس سیگنال ارتعاش ۵۶۰
جدول ۱۵۹-۲: مشخصات حسگر PPT-280 ..... ۵۶۲
جدول ۱۶۰-۲: مشخصات حسگر FAS-M2 ..... ۵۶۲
جدول ۱۶۱-۲: حسگرهای فاصله هوایی شرکت Mc-m ۵۶۲
جدول ۱۶۲-۲: مشخصات الکتریکی حسگر فاصله هوایی AGT-525 ..... ۵۶۳
جدول ۱۶۳-۲: مشخصات حسگر پیزوالکتریک شرکت MCm ۵۶۴
جدول ۱۶۴-۲: مشخصات حسگر PES-305 ..... ۵۶۴
جدول ۱۶۵-۲: مشخصات حسگر فاصله خازنی برای فاصله‌های کم ۵۶۵
جدول ۱۶۶-۲: مشخصات حسگر اندازه‌گیری فاصله PCS-304 ..... ۵۶۶
جدول ۱۶۷-۲: حسگر اندازه‌گیری شتاب FOA-200 ..... ۵۶۷

جدول ۱۶۸-۲: مشخصات حسگر شتاب سنج شرکت VibroSystem ۵۶۷
جدول ۱۶۹-۲: حسگرهای فاصله هوایی شرکت BKvibro ۵۶۸
جدول ۱۷۰-۲: مشخصات الکتریکی حسگر فاصله هوایی EQ2431-A2 ..... ۵۶۸
جدول ۱۷۱-۲: مشخصات محیطی حسگر فاصله هوایی EQ2431-A2 ..... ۵۶۹
جدول ۱۷۲-۲: مشخصات حسگرهای فاصله هوایی شرکت IRIS ۵۶۹
جدول ۱۷۳-۲: مشخصات حسگر FOT-100 ..... ۵۷۲
جدول ۱۷۴-۲ : ملاحظات فنی اجزاء اصلی سیستم پایش وضعیت ۵۷۸
جدول ۱۷۵-۲: عیب های مختلف ژنراتور و روش های تشخیص آنها ۵۸۶
جدول ۱۷۶-۲: نتایج مربوط به سیستم‌های جامع پایش شرکت‌های فعال ۵۹۸
جدول ۱۷۷-۲: مشخصات واحدهای نیروگاهی مورد مطالعه در بخش بخار ۵۹۹
جدول ۱۷۸-۲: مشخصات واحدهای نیروگاهی مورد مطالعه در بخش گاز ۶۰۲
جدول ۱۷۹-۲: نتایج مربوط به تجهیزات پایش آنلاین نصب شده بر روی ژنراتور نیروگاههای کشور ۶۰۴
جدول ۱۸۰-۲ : گروه‌های پژوهشی فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۰۸
جدول ۱۸۱-۲ : متخصصین گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۱
جدول ۱۸۲-۲ : متخصصین گروه پژوهشی الکترونیک قدرت در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۲
جدول ۱۸۳-۲ : متخصصین گروه پژوهشی الکترونیک و ابزاردقیق در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۳
جدول ۱۸۴-۲ : متخصصین گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۴
جدول ۱۸۵-۲ : متخصصین گروه پژوهشی مطالعات فشار قوی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۵
جدول ۱۸۶-۲ : متخصصین گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۶
جدول ۱۸۷-۲ : متخصصین گروه پژوهشی سیکل و مبدل¬های حرارتی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۶
جدول ۱۸۸-۲ : متخصصین گروه پژوهشی شیمی و فرآیند در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۷
جدول ۱۸۹-۲ : متخصصین پژوهشگاه نیرو در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه ۶۱۷
جدول ۱۹۰-۲ : زمینه‌های تحقیقاتی و فعالیت‌های آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی ۶۱۸
جدول ۱۹۱-۲ : تجهیزات و امکانات آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی ۶۱۸
جدول ۱۹۲-۲ : آزمون‌های قابل انجام و توانمندی‌های آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی ۶۱۹
جدول ۱۹۳-۲ : نمونه‌های ساخته شده توسط آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی ۶۱۹
جدول ۱۹۴-۲ : زمینه‌های تحقیقاتی و فعالیت‌های آزمایشگاه الکترونیک صنعتی ۶۱۹
جدول ۱۹۵-۲ : تجهیزات و امکانات آزمایشگاه الکترونیک صنعتی ۶۲۰
جدول ۱۹۶-۲ : آزمون‌های قابل انجام در آزمایشگاه الکترونیک صنعتی ۶۲۱
جدول ۱۹۷-۲ : دامنه فعالیت آزمایشگاه مرجع فشارقوی پژوهشگاه نیرو ۶۲۱
جدول ۱۹۸-۲ : تجهیزات آزمایشگاه مرجع فشارقوی پژوهشگاه نیرو ۶۲۲
جدول ۱۹۹-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه مرجع فشارقوی پژوهشگاه نیرو ۶۲۲
جدول ۲۰۰-۲ : تجهیزات آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک ۶۲۳
جدول ۲۰۱-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک ۶۲۳
جدول ۲۰۲-۲ : دامنه فعالیت آزمایشگاه سوخت و روغن ۶۲۳
جدول ۲۰۳-۲ : تجهیزات آزمایشگاه سوخت و روغن ۶۲۴

جدول ۲۰۴-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه سوخت و روغن..... ۶۲۴
جدول ۲۰۵-۲ : دامنه فعالیت آزمایشگاه رله و حفاظت..... ۶۲۵
جدول ۲۰۶-۲ : تجهیزات آزمایشگاه رله و حفاظت..... ۶۲۵
جدول ۲۰۷-۲ : تجهیزات/ مواد مورد آزمون به انضمام استاندارد مربوطه..... ۶۲۶
جدول ۲۰۸-۲ : تجهیزات و امکانات آزمایشگاه ترموهیدرولیک..... ۶۲۷
جدول ۲۰۹-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه ترموهیدرولیک..... ۶۲۷
جدول ۲۱۰-۲ : شرکت‌های تحت حمایت مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی پژوهشگاه نیرو..... ۶۲۸
جدول ۲۱۱-۲ : مدیران شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی مرتبط با حوزه تحقیقاتی پروژه..... ۶۲۹
جدول ۲۱۲-۲ : ظرفیت نامی نیروگاه‌های حرارتی کشور به همراه نمودار مربوطه..... ۶۳۰
جدول ۲۱۳-۲ : شرکت‌های تولید نیروی برق حرارتی..... ۶۳۰
جدول ۲۱۴-۲ : شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها)..... ۶۳۱
جدول ۲۱۵-۲ : پیمانکاران بازدید و سرویس ژنراتور مورد تایید شرکت مادر تخصصی برق حرارتی..... ۶۳۲
جدول ۲۱۶-۲ : تیم رهبری شرکت تعمیرات نیروگاهی..... ۶۳۲
جدول ۲۱۷-۲ : شرح فعالیت‌های شرکت تعمیرات نیروگاهی..... ۶۳۲
جدول ۲۱۸-۲ : پروژه‌های انجام شده توسط شرکت تعمیرات نیروگاهی..... ۶۳۳
جدول ۲۱۹-۲ : تجهیزات معاونت الکتریک شرکت تعمیرات نیروگاهی..... ۶۳۳
جدول ۲۲۰-۲ : تجهیزات معاونت مکانیک و ساخت شرکت تعمیرات نیروگاهی..... ۶۳۳
جدول ۲۲۱-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق لوشان..... ۶۳۴
جدول ۲۲۲-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایرانشهر..... ۶۳۴
جدول ۲۲۳-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه اصفهان..... ۶۳۴
جدول ۲۲۴-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایسین بندرعباس..... ۶۳۵
جدول ۲۲۵-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه بعثت..... ۶۳۵
جدول ۲۲۶-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، نیروگاه هسا..... ۶۳۵
جدول ۲۲۷-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق آذربایجان..... ۶۳۵
جدول ۲۲۸-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق سهند..... ۶۳۵
جدول ۲۲۹-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید رجایی..... ۶۳۶
جدول ۲۳۰-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید مفتح..... ۶۳۷
جدول ۲۳۱-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شیروان..... ۶۳۸
جدول ۲۳۲-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه طرشت..... ۶۳۸
جدول ۲۳۳-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه یزد..... ۶۳۸
جدول ۲۳۴-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه زاهدان..... ۶۳۹
جدول ۲۳۵-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه خراسان..... ۶۳۹
شکل ۱-۳: روش‌شناسی چشم‌اندازپردازی..... ۶۴۶
جدول ۱-۵: مجموع بودجه پروژه‌ها در حوزه تجهیزات الکتریک به تفکیک..... ۷۱۶
جدول ۱-۷ : اطلاعات واردات درایوهای فرکانس متغیر از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷..... ۷۲۸
جدول ۲-۷ : اطلاعات واردات سیستمهای راه انداز و استارتر از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷..... ۷۴۳

DOI: DOI: 10.30503/nripress.2020.325

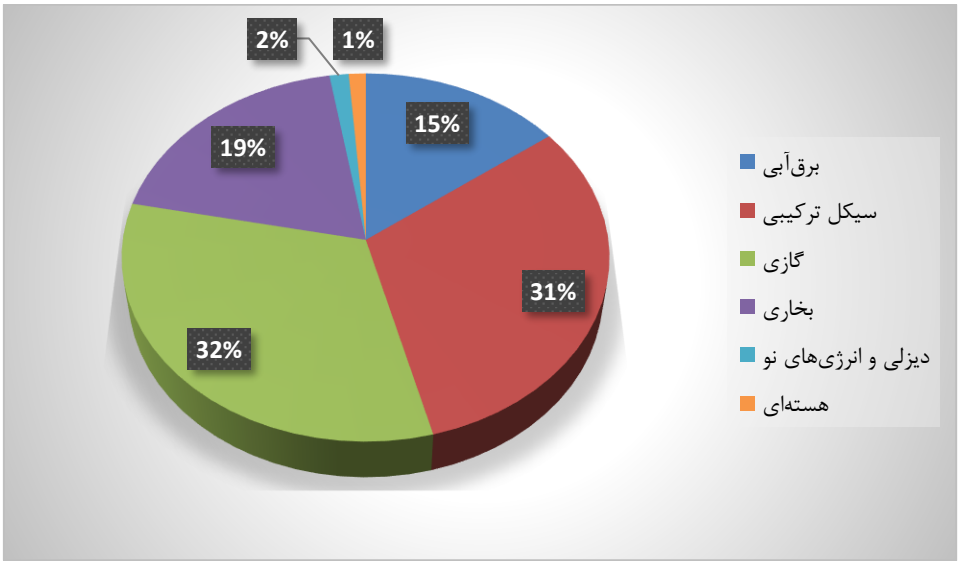
۱-ضرورت توسعه و تدوین سند

۱-۱- مقدمه

طبق آمارهای ارائه‌شده پیرامون تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی فرسوده موجود در کشور و همچنین تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی در دست احداث، بررسی شرایط موجود و تدوین سند پیرامون ماشین‌الکتریکی دوار و سایر تجهیزات الکتریک نیروگاه لازم می‌باشد با توجه به اینکه وضعیت بازدهی، آلایندگی، میزان تولید و بهره‌وری نیروگاه‌ها به تجهیزات الکتریکی ، مکانیکی و فناوری‌های مورد استفاده در آن‌ها بستگی دارد. اهم فناوری‌های الکتریک مورد استفاده در نیروگاه‌ها اعم از ژنراتور، الکتروموتور، سیستم تحریک و راه‌انداز، سیستم پایش وضعیت و سیستم‌های درایو در تدوین سند حاضر مورد توجه خواهد بود.

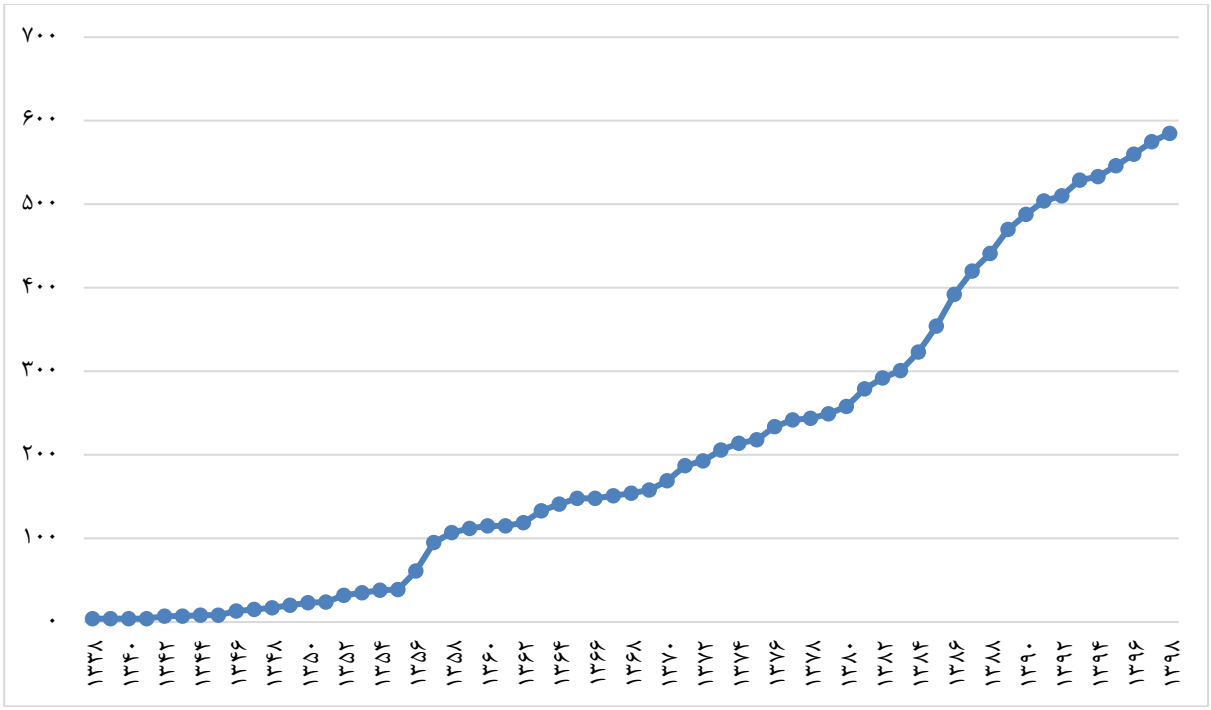
۲-۱- وضعیت نیروگاه‌های حرارتی کشور

با بررسی اسناد موجود و منتشرشده توسط شرکت توانیر در آمار تفصیلی صنعت برق سال ۱۳۹۸، تا پایان این سال ظرفیت نامی نیروگاه‌های کشور که مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، ۸۲،۷۱۶ مگاوات است. این میزان نیروگاه متشکل از نیروگاه‌های برق‌آبی، سیکل ترکیبی، گازی، بخاری، دیزلی و انرژی‌های نو و هسته‌ای است و هر دو بخش خصوصی و دولتی را شامل می‌شود. با جمع‌کردن ظرفیت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، گازی، بخاری و هسته‌ای، مجموع ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی مورد بهره‌برداری در کشور، برابر با ۶۸،۶۵۴ مگاوات است که چیزی در حدود ۸۳ درصد از ظرفیت کل نیروگاه‌های کشور را شامل می‌شود. این اطلاعات در شکل ۱-۱ نیز به تصویر کشیده شده‌اند.



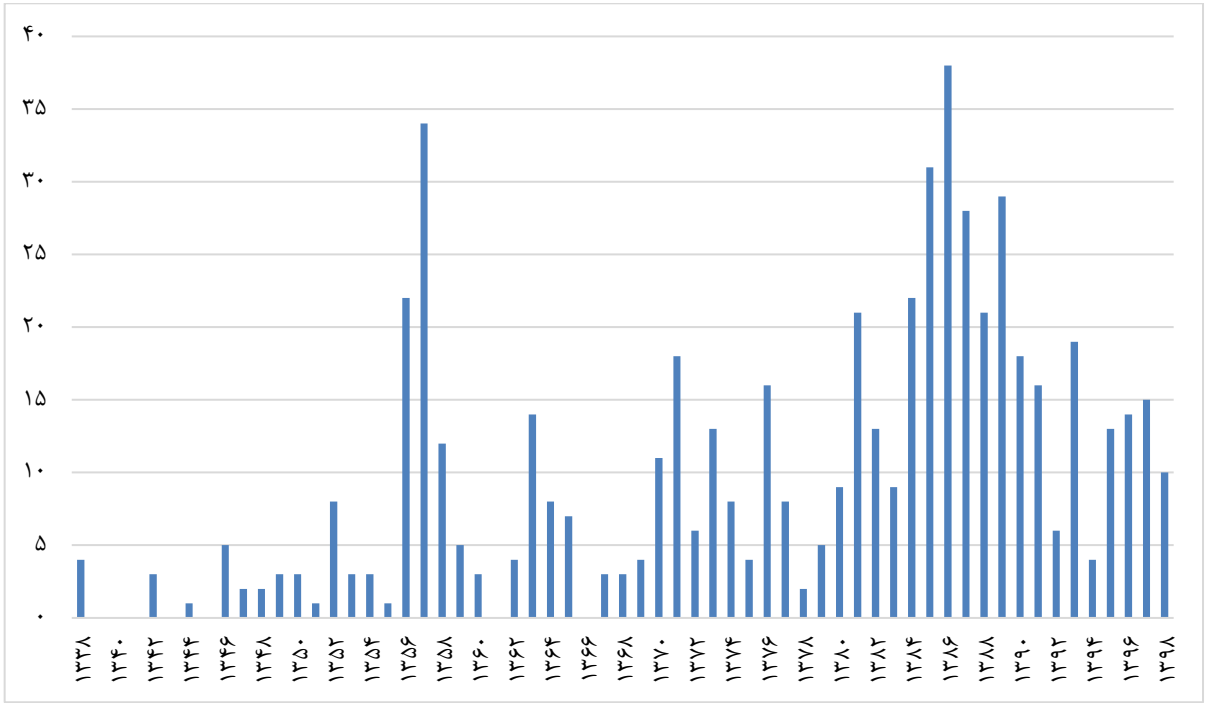
شکل ۱-۱: وضعیت نیروگاه‌های مورد بهره‌برداری در کشور تا پایان سال ۱۳۹۸

با تمرکز بر روی وضعیت نیروگاه‌های حرارتی منصوب و مورد بهره‌برداری در کشور، روند افزایش احداث و بهره‌برداری از این نیروگاه‌ها از سال ۱۳۳۸ تا ۱۳۹۸ از ۴ واحد آغاز شده و به ۵۸۵ واحد در رسیده است. این روند در شکل ۲-۱ نیز نشان داده شده است.



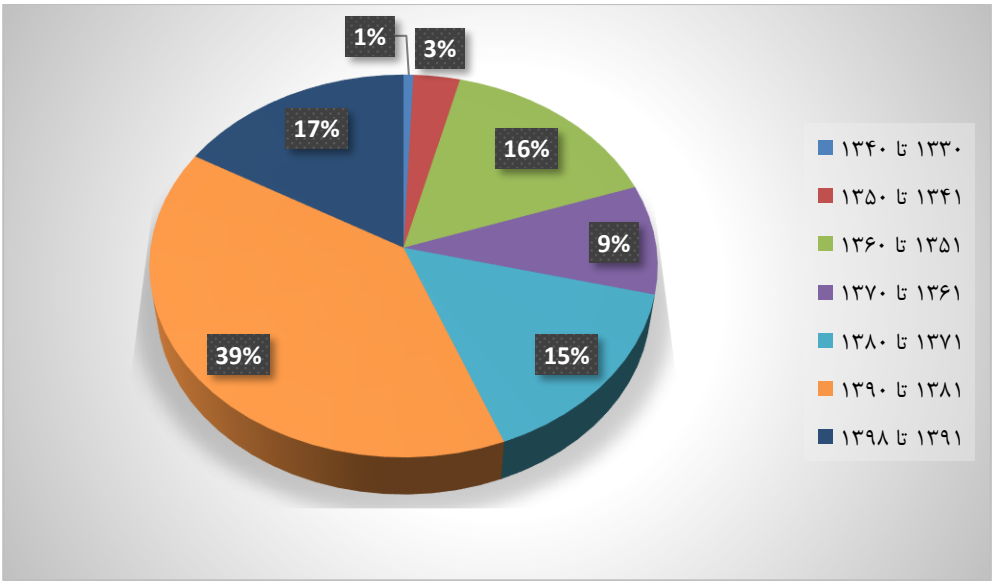
شکل ۲-۱: روند احداث واحدهای نیروگاهی حرارتی از سال ۱۳۳۸ تا ۱۳۹۸

همچنین روند احداث واحدهای نیروگاه‌های حرارتی به تفکیک هر سال نیز از گزارش تفصیلی صنعت برق ایران استخراج شده است که مطابق با این اطلاعات، در سال ۱۳۸۶ با بهره‌برداری از ۳۸ واحد نیروگاهی، یک رکورد ثبت شده است. آمار تفکیکی واحدهای نیروگاه مورد بهره‌برداری در هر سال در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

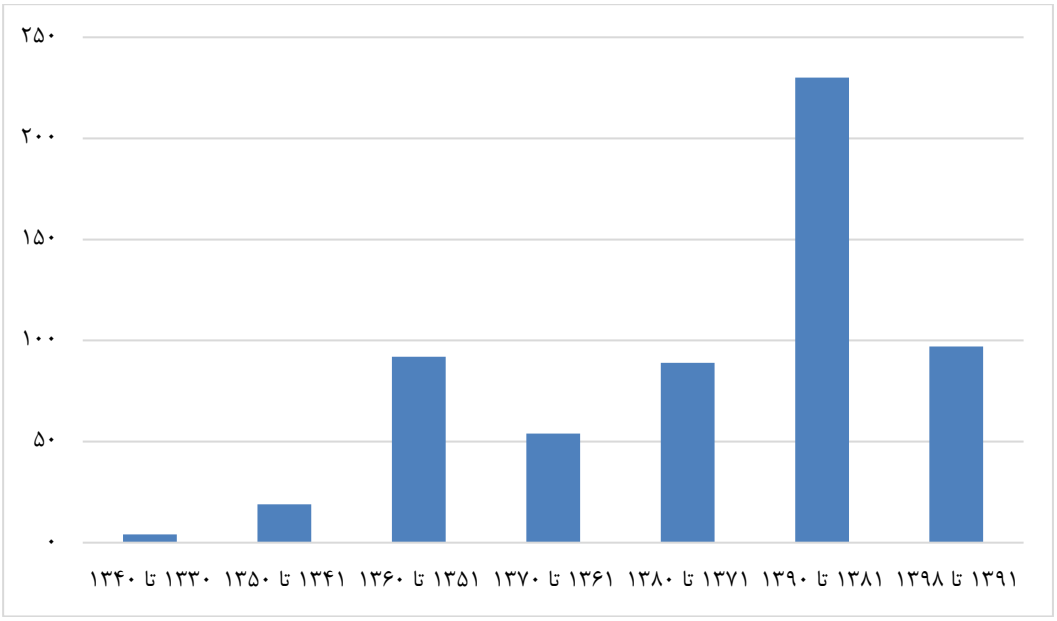


شکل ۳-۱: تعداد واحدهای نیروگاهی مورد بهره‌برداری در هر سال

در تحلیلی دیگر، سهم و تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی احداث‌شده در تمام این سال‌ها به تفکیک در بازه‌های زمانی ۱۰ ساله به ترتیب در شکل ۴-۱ و شکل ۵-۱ نشان داده شده است. مطابق با این تحلیل، بازه ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۰ با ۲۳۰ واحد، رکورددار است.

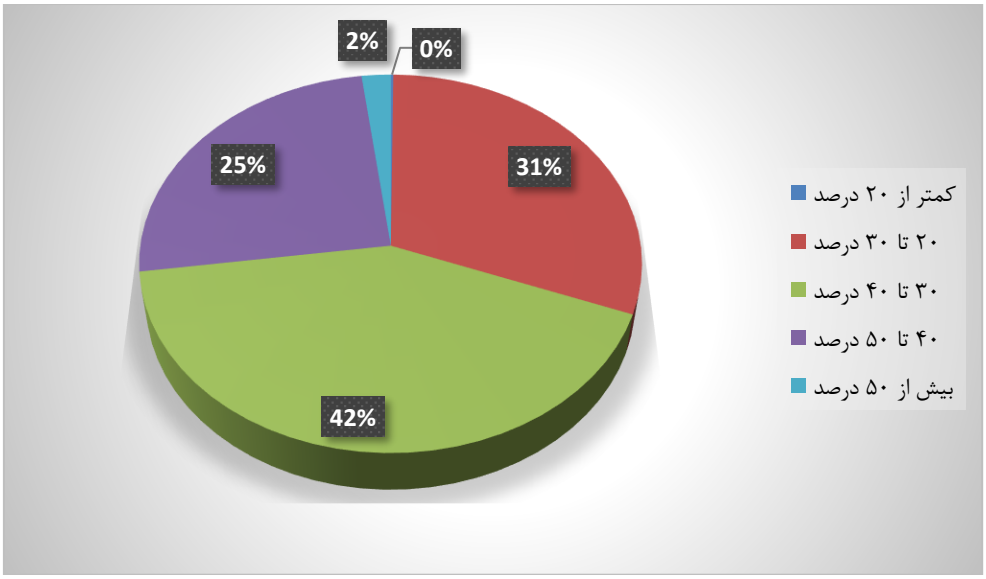


شکل ۴-۱: سهم واحدهای نیروگاهی حرارتی مورد بهره‌برداری به تفکیک بازه‌های ۱۰ ساله



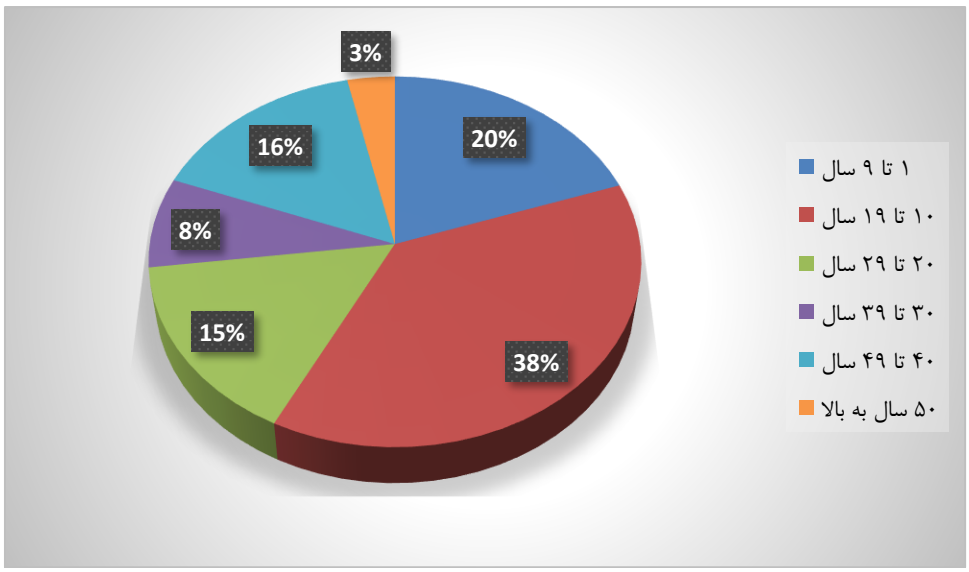
شکل ۵-۱: تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی مورد بهره‌برداری به تفکیک بازه‌های ۱۰ ساله

از سویی دیگر و با توجه به اسناد بالادستی موجود، بررسی وضعیت نیروگاه‌های حرارتی کشور از منظر بازدهی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطابق با آمار استخراج‌شده از گزارش تفصیلی صنعت برق کشور در سال ۱۳۹۸، حدود ۴۲ درصد از این نیروگاه‌ها بازدهی بین ۳۰ تا ۴۰ درصد دارند، حدود ۳۱ درصد از نیروگاه‌های حرارتی دارای بازدهی بین ۲۰ تا ۳۰ درصد هستند، تقریباً ۲۵ درصد این نوع نیروگاه‌ها بازدهی بین ۴۰ تا ۵۰ درصد دارند، متأسفانه هنوز حدود ۲ درصد از نیروگاه‌های حرارتی کشور بازدهی زیر ۲۰ درصد دارند و تعداد اندکی از این نیروگاه‌ها، بالای ۵۰ درصد بازدهی دارند. به طور متوسط، بازدهی نیروگاه‌های حرارتی کشور حدود ۳۴/۵ درصد است. تفکیک نیروگاه‌های حرارتی بر اساس بازدهی در شکل ۶-۱ نیز ارائه شده است.

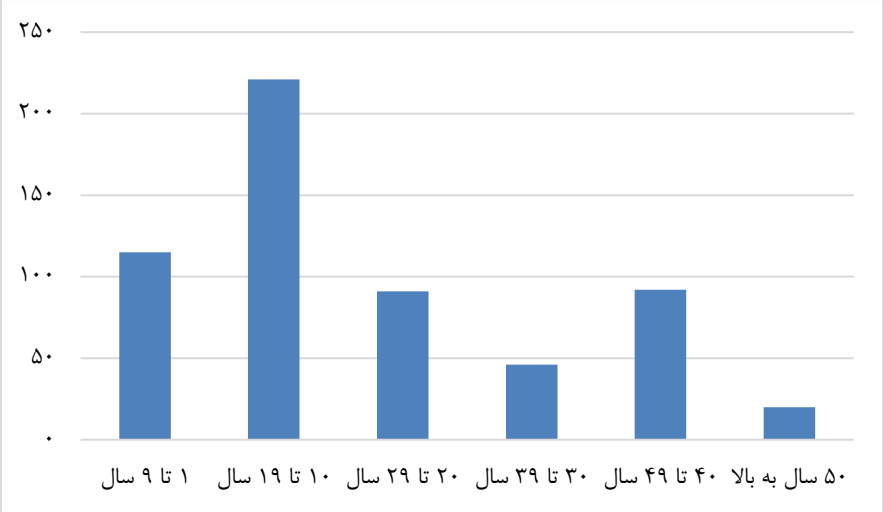


شکل ۶-۱: تفکیک نیروگاه‌های حرارتی کشور بر اساس بازدهی

یکی دیگر از نکات حائز اهمیت در بررسی وضعیت نیروگاه‌های کشور، تحلیل و بررسی سنی آن‌هاست. مطابق با آمار استخراج‌شده از گزارش تفصیلی صنعت برق کشور در سال ۱۳۹۸، تفکیک سنی نیروگاه‌های حرارتی کشور در شکل ۷-۱ و شکل ۸-۱ انجام شده است. مطابق با این تفکیک، حدود ۳۸ درصد نیروگاه‌های حرارتی کشور بین ۱۰ تا ۱۹ سال سن دارند. ۲۰ درصد نیروگاه‌های در وضعیتی هستند که بین ۱ تا ۹ سال از بهره‌برداری‌شان گذشته است. حدود ۱۶ درصد نیروگاه‌های حرارتی بین ۴۰ تا ۴۹ سال قدمت دارند. حدود ۱۵ درصد این نیروگاه‌ها بین ۲۰ تا ۲۹ سال است که مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. حدود ۸ درصد نیروگاه‌ها بین ۳۰ تا ۳۹ ساله هستند و حدود ۳ درصد از نیروگاه‌های حرارتی نیز بیش از ۵۰ سال است که در مدار قرار گرفته‌اند.



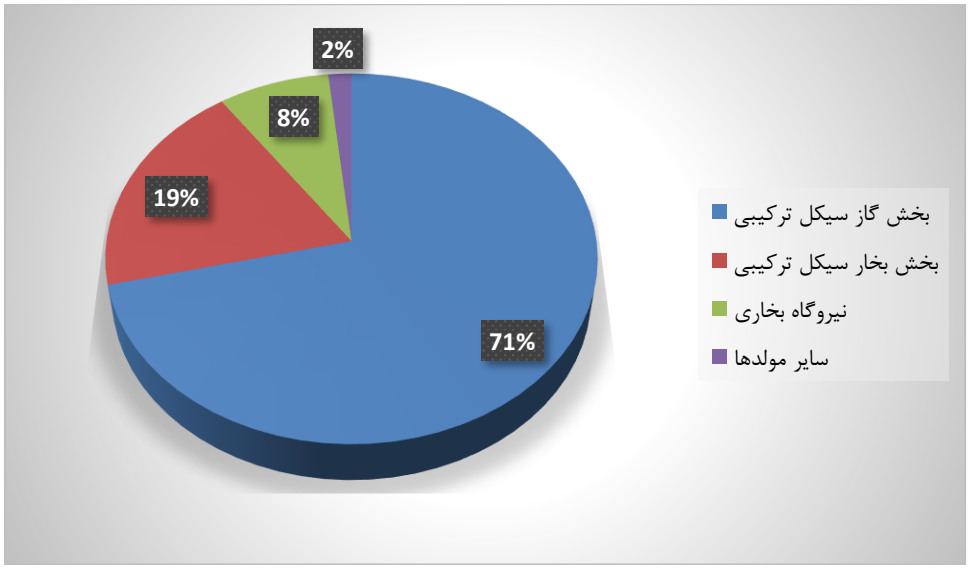
شکل ۷-۱: تفکیک سهمی نیروگاه‌های حرارتی کشور بر اساس سن



شکل ۸-۱: تفکیک سنی تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی کشور

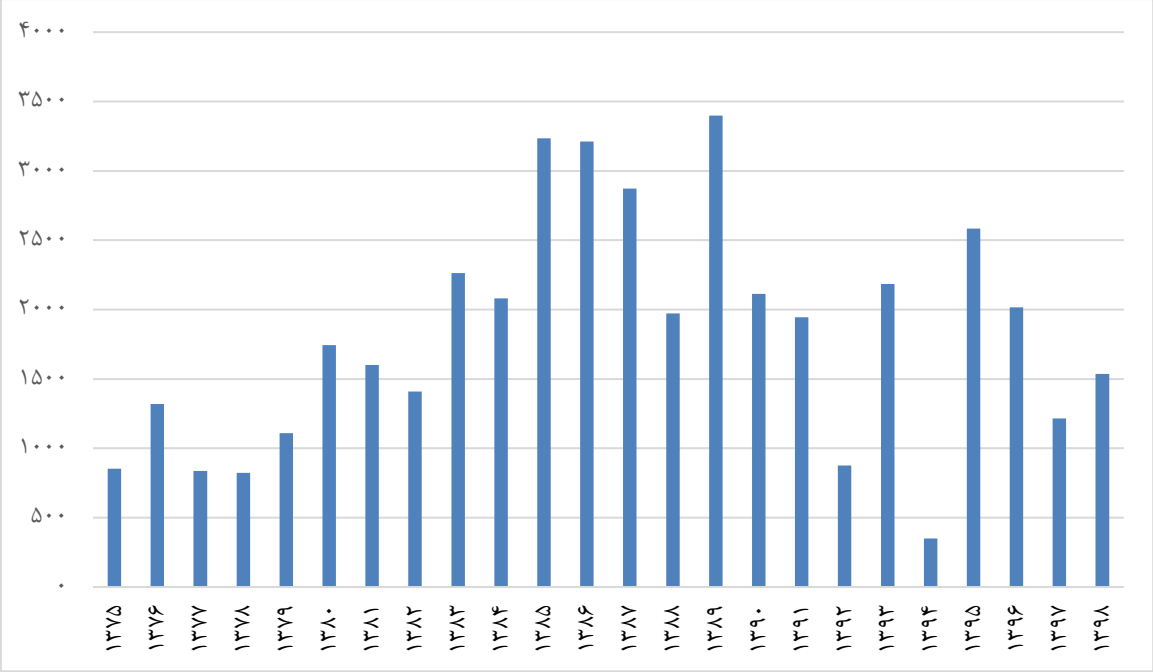
از سویی دیگر با توجه به اطلاعات ارائه‌شده توسط شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، عملکرد این شرکت در افزایش ظرفیت شبکه سراسری برق کشور از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۸، جمعاً به ۴۳،۵۴۶ مگاوات از طریق بهره‌برداری از ۲۸۹ واحد نیروگاه حرارتی منجر شده است.

ترکیب و سهم انواع نیروگاه‌های حرارتی مورد بهره‌برداری قرار گرفته توسط شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی تا پایان سال ۱۳۹۸ مطابق با شکل ۹-۱ است.



شکل ۹-۱: ترکیب و سهم انواع نیروگاه‌های حرارتی احداث‌شده توسط شرکت مادر تخصصی مدیریت تولید نیروی برق حرارتی تا پایان سال ۱۳۹۸

همچنین ظرفیت نیروگاهی سالانه احداث‌شده توسط شرکت تولید نیروی برق حرارتی در شکل ۱۰-۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشخص است، در سال ۱۳۸۹ با ۳،۳۹۸ مگاوات و در سال ۱۳۹۴ با ۳۴۹ مگاوات، به ترتیب بیشترین و کمترین افزایش ظرفیت شبکه سراسری برق کشور توسط این شرکت رخ داده است.



شکل ۱۰-۱: ظرفیت نیروگاهی احداث‌شده سالانه توسط شرکت تولید نیروی برق حرارتی

طبق اطلاعات به دست آمده از شرکت تولید نیروی برق حرارتی، چند پروژه نیروگاهی در کشور در دست اجرا هستند که خلاصه‌ای از وضعیت آن‌ها در جدول ۱-۱ ارائه شده است.

جدول ۱-۱: مهم‌ترین طرح‌های نیروگاهی در دست اقدام شرکت تولید نیروی برق حرارتی

عنوان کلی طرح	مجموع ظرفیت (مگاوات)	نام نیروگاه‌های در دست اقدام
طرح ۲۲ واحد سیکل ترکیبی	۲۴۲۳	شیروان – هنگام – لرستان – ویس
طرح ۲۳ واحد سیکل ترکیبی	۱۲۲۸	نکا – سهند – دوکوهه
۶۰۰۰ مگاوات نیروگاه گازی فاز دوم	۶۴۸	زرند کرمان – زاهدان
پروژه‌های بیع متقابل (خصوصی)	۲۷۰۵	رودشور – چابهار – ارومیه – سبلان – پرند – فردوسی – عسلویه – جهرم
توسعه و احداث نیروگاه‌های بخاری	۱۴۰۰	بخاری سیریک
ذغال‌سوز طبس	۶۵۰	ذغال‌سوز طبس
طرح‌های خصوصی	۳۶۸۴	بخش بخار ماکو – دالاهو – بخش بخار کاسپین – هریس – قشم ۲ – خرم‌آباد – غرب کارون – گل‌گهر (گهران) – بخش بخار هرمز – ایران ال‌ان‌جی
جمع کل	**۱۲،۷۴۸**	

طبق برنامه پنج‌ساله ششم توسعه که مربوط به ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ است، نیروگاه‌های مختلف دولتی و خصوصی باید مطابق با جدول ۲-۱ راه‌اندازی شوند یا افزایش ظرفیت یابند.

جدول ۲-۱: عملکرد و برنامه راه‌اندازی واحدهای نیروگاه‌های حرارتی طی برنامه ششم توسعه

مالکیت	نوع نیروگاه	نام نیروگاه	۱۴۰۰			
			بهار	تابستان	پاییز	زمستان
دولتی	سیکل ترکیبی	نکا			۱۶۲	۱۶۲
		هنگام (راندمان بالا)			۲۹۲	
		دوکوهه (راندمان بالا)			۱۴۴	
خصوصی	بلوک سیکل ترکیبی	قشم	۱۶۰			
		خرم‌آباد – فاز ۱	۱۶۰			
		دالاهو (کرمانشاه) (راندمان بالا)	۱۶۰			
		هرمز (خودمصرف)	۷۵			
بیع متقابل خصوصی	بخش بخار سیکل ترکیبی	ارومیه	۱۶۰			
		سبلان	۱۶۰			
		فردوسی (توس)	۱۶۰			
		عسلویه	۱۶۰			
جمع			۱۹۵۵			

با توجه به آمارهای ارائه‌شده پیرامون تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی فرسوده موجود در کشور و همچنین تعداد واحدهای نیروگاهی حرارتی که طبق برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته در دست احداث است و از آن‌جایی که وضعیت بازدهی، آلایندگی، میزان تولید و بهره‌وری نیروگاه‌ها به تجهیزات الکتریکی ، مکانیکی و فناوری‌های مورد استفاده در آن‌ها بستگی دارد که ملزم به توجه ویژه است.

اهم فناوری‌های الکتریک مورد استفاده در نیروگاه‌ها اعم از ژنراتور، الکتروموتور، سیستم تحریک و راه‌انداز، سیستم پایش وضعیت و سیستم‌های درایو در تدوین سند حاضر مورد توجه خواهد بود.

۳-۱- تبیین ابعاد موضوع و محدوده مطالعات سند

در زیربخش ابتدا ساختار صنعت از روش‌ها و الگوهای مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این گزارش با استفاده از مفهوم مرزبندی به شناسایی سیستم مورد مطالعه پرداخته و اجزای نظام توسعه فناوری معرفی می‌گردد. در زیربخش بعدی، اسناد بالادستی مرتبط با صنعت ماشین‌های الکتریکی دوار بررسی می‌شوند. زیر بخش سوم این فصل به معرفی بازیگران مختلف در حوزه صنعت ماشین‌های الکتریکی دوار در ایران می‌پردازد و زیر بخش چهارم مرزبندی فناوری‌های مورداستفاده در نیروگاه‌های حرارتی و تحت بررسی سند حاضر را مشخص می‌کند.

۱-۳-۱- ادبیات موضوع ساختار توسعه فناوری

۱-۱-۳-۱- مرزبندی و شناخت سیستم

سیستم یک مفهوم نظری قابل پیاده‌سازی در زمینه‌های کاربردی مختلف است. بر این اساس، تعریف سیستم در هر زمینه کاربردی ضروری است. یکی از اصلی‌ترین راه‌های تعریف یک سیستم، مرزبندی آن است. مرزبندی محیط توسعه فناوری باعث می‌شود تا سیستم از محیط اطراف خود جدا شده و تحلیل از قابلیت کنترل بالاتری در ارائه نتایج برخوردار باشد [۱]. اهمیت مرزبندی سیستم از این جهت است که نتیجه آن بر خروجی مراحل بعدی اثرگذار بوده و دشواری آن نیز از سبب این است که روش واحدی برای آن وجود ندارد. مرزبندی بر دو قسم است مرزبندی توصیفی و محتوایی. مرزبندی توصیفی با مشخص نمودن واحد تحلیل، عمق و گستردگی سیستم تحت مطالعه را معین می‌کند. در طرف مقابل، مرزبندی محتوایی اجزای درون سیستم مانند کنشگران، نهادها، فناوری‌ها و شبکه‌ها را مورد شناسایی قرار داده و از این طریق حوزه عملکرد سیستم معین می‌گردد [۲] و [۳].

مرزبندی محتوایی برای جدایی سیستم از محیط و تشخیص عوامل داخلی اثرگذار بر توسعه فناوری از عوامل خارجی آن ضروری است [۴]. هر سیستم از مؤلفه‌ها و روابط مختلفی تشکیل شده است. مرزبندی محتوایی با این فرض که تعاملات میان اجزای سیستم قوی‌تر از تعاملات موجود با محیط است، به شناسایی اجزای ساختاری درون یک سیستم می‌پردازد **[۳]**. با داشتن نگاهی سیستمی، نظام توسعه فناوری از چهار جزء کنشگران[۱]، نهادها[۲]، شبکه‌ها[۳] و فناوری‌ها[۴] تشکیل شده است.

- کنشگران

کنشگران یکی از سه مؤلفه‌ی ساختاری در توسعه فناوری است که با انجام فعالیت، بر فرایند خلق، انتشار و بهره‌برداری از نوآوری اثر می‌گذارد. در توسعه فناوری، کنشگر را می‌توان مترادف با ذینفع در برنامه‌ریزی راهبرد سازمانی قلمداد نمود. بر این اساس، کنشگر، عبارت است از فرد، گروه و یا سازمانی که می‌تواند بر ورودی‌ها (منابع) و یا بروندادهای یک سیستم تأثیر بگذارد و یا از خروجی‌ها و بروندادهای آن (خدمات، محصولات، پیامدها و ...) تأثیر پذیرد. کنشگران یک سیستم به دو دسته کلی کنشگران داخلی و کنشگران خارجی تقسیم می‌شوند.

هر کنشگر موجود در نظام توسعه فناوری بر اساس راهبرد خود، در چارچوب نهادهای پیرامون، و با صرف منابع لازم، به انجام فعالیت‌های نوآورانه می‌پردازد [۵]. با به‌انجام رسیدن فعالیت‌ها، کارکردهای مختلفی برآورده می‌گردد. مجموع کارکردهای برآورده شده توسط فعالیت‌های کنشگران مختلف، عملکرد نهایی سیستم را تعیین خواهد نمود. بنابراین با شناسایی و تحلیل توسعه فناوری از زاویه کنشگران می‌توان در درجه اول سهم بالقوه و بالفعلی که هر کنشگر در برآوردن کارکردها و تأمین عملکرد سیستم مشخص نمود و در درجه دوم نیز آلترناتیوهای ساختاری که منجر به ایجاد عملکرد بالا در سیستم می‌شود را شناسایی کرد [۳].

برای شناسایی کنشگران، روش‌های مختلفی مانند استفاده از جداول داده–ستاده و آمارهای عضویت موجود در اتحادیه‌ها و صنایع، استفاده از پتنت‌های ثبت شده و شناخت بنگاه‌های مرتبط با آن‌ها و استفاده از قاعده گلوله برف[۵] (شناخت کنشگران پیرامون یک واحد تحلیل از روی ارتباطات با سایر کنشگران) توصیه شده است [۶] و [۷].

در این گزارش کنشگران به پنج دسته تقسیم می‌شوند.

الف) سیاست‌گذار [۶]

یک سیاست‌گذار نهادی است که برنامه‌هایی که باید توسط دولت، کسب‌وکارها و غیره دنبال شود را تعیین می‌کند.

1-Actors

2-Institutions

3-Networks

4Technologies

[5]Snowball method

[6]- policy-maker

سیاست‌گذاری به‌صورت فرآیندی تعریف شده است که به‌واسطه آن دولت به‌منظور ارائه پیامد (تغییرات مطلوب در دنیای واقعی)، چشم‌انداز سیاسی خود را به برنامه و عمل تبدیل می‌کند. لذا سیاست‌گذاری، کارکرد اصلی هر دولت است. به‌طور کل، سیاست می‌تواند شکل‌های مختلفی به خود بگیرد مانند سیاست‌های غیر مداخله‌ای، تنظیم، تشویق تغییرات داوطلبانه (مانند کمک‌های مالی) و ارائه خدمات عمومی. لذا به نظر می‌رسد بررسی ویژگی‌های فرآیند سیاست‌گذاری مناسب، مفید واقع شود. در ادامه، ده ویژگی برای فرآیند مذکور آورده شده است:

۱. نگاه روبه‌جلو[1]: واضح است که فرآیند سیاست‌گذاری، پیامدهایی که سیاست برای دستیابی به آن طراحی شده است را تعریف می‌کند. لذا به‌طورمعمول، در این فرآیند باید نگاهی بلندمدت (حداقل پنج‌ساله) بر اساس روندهای آماری و پیش‌بینی‌های اجتماعی، سیاسی، اقتصادی و فرهنگی وجود داشته باشد. نکات زیر رویکرد نگاه روبه‌جلو را واضح‌تر می‌سازد:

- بیان پیامدهای مطلوب در مراحل اولیه
- طراحی سناریو یا پیشامدهای احتمالی
- لحاظ کردن استراتژی بلندمدت اجرایی
- استفاده از برنامه آینده‌نگاری۲ و یا دیگر روش‌های پیش‌بینی

۲. نگاه بیرون‌گرا۳: فرآیند سیاست‌گذاری تأثیر عوامل را در سطوح منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی در نظر می‌گیرد و از تجارب دیگر مناطق یا کشورها استفاده می‌کند. نکات زیر رویکرد بیرون‌گرایی را نشان می‌دهد:

- استفاده از مکانیسم‌های OECD، EU و غیره
- استفاده از تجارب دیگر کشورها در برخورد با مسئله‌ای خاص
- تشخیص نوسانات در کشور

۳. نوآور، منعطف و خلاق: فرآیند سیاست‌گذاری در برخورد با مسائل منعطف است و ایده‌های نوین را تشویق می‌کند. ریسک‌ها شناسایی می‌شوند و به‌طور فعال مدیریت می‌شوند. نکات زیر یک رویکرد خلاق، نوآور و منعطف را نشان می‌دهد:

- استفاده از جایگزین‌ها برای روش‌های معمولی کاری (مانند جلسات طوفان فکری)
- تعریف موفقیت برحسب پیامدهای شناسایی‌شده

[1]- looking forward
[2]- foresight program
[3]- outward looking

- ارزشیابی و مدیریت هوشیارانه ریسک
- حرکت به سمت ایجاد ساختارهای مدیریتی که ایده‌های جدید و کارهای گروهی را ارتقا می‌دهند

۴. مبتنی بر شواهد[1]: توصیه‌ها و تصمیمات سیاست‌گذاران بر اساس بهترین شواهد موجود و حوزه وسیعی از منابع است که تمامی ذینفعان کلیدی در مراحل اولیه دخالت داده می‌شوند. نکات کلیدی رویکرد مبتنی بر شواهد در سیاست‌گذاری شامل:

- مرور تحقیقات موجود
- انجام تحقیقات جدید
- مشاوره با متخصصین مربوطه و/ یا استفاده از مشاورین داخلی و خارجی
- لحاظ کردن دامنه وسیعی از گزینه‌های ارزیابی شده و مناسب

۵. فراگیر[2]: فرآیند سیاست‌گذاری، میزان اثرگذاری سیاست و سهم آن در برآورده سازی نیازهای مردم به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم را در نظر می‌گیرد. یک رویکرد فراگیر، ممکن است شامل جنبه‌های زیر باشد:

- رایزنی با مسئولین پیاده ساز / ارائه‌کننده خدمت
- رایزنی با موجودیت‌های تأثیرپذیر از سیاست
- انجام ارزشیابی اثر
- گرفتن بازخورد از دریافت‌کنندگان یا ارائه‌دهندگان

۶. پیوسته و کل‌نگر[3]: فرآیند، نگاهی جامع دارد و فراتر از مرزهای سازمانی حرکت می‌کند. ازاین‌رو، اهداف استراتژیک اداری را در نظر می‌گیرد. در کل می‌توان بیان کرد که هدف عمده، ایجاد پایه‌ای اخلاقی و قانونی برای سیاست است و ملاحظات ساختارهای سازمانی و مدیریت صحیح در نظر گرفته می‌شود. نکات زیر، رویکرد کل‌نگر و پیوسته را نشان می‌دهند:

- تعریف اهداف افقی[4] در مراحل اولیه
- تعریف واضح از تنظیمات کاری مشترک با دیگر بخش‌ها

---

[1]- evidence-based
[2]- inclusive
[3]- joined-up
[4]- cross-cutting objectives

- شناسایی دقیق موانع این رویکرد به انضمام استراتژی‌های غلبه بر آن

۷. یادگیری از تجربیات[1]: به معنای کسب تجربه از روش‌هایی است که کارآمد شناخته شده‌اند و یا عدم کارایی‌شان به اثبات رسیده است. رویکرد یادگیری برای بهبود سیاست شامل جنبه‌های زیر است:

- جمع‌آوری اطلاعات درباره نمونه‌های عملی منتشرشده
- تمیز دادن میان شکست سیاست برای اثرگذاری بر مشکلات و شکست عملیاتی / مدیریتی پیاده‌سازی سیاست

۸. ارتباطات: فرآیند سیاست‌گذاری، چگونگی ارتباط سیاست با مردم را در نظر می‌گیرد. موارد زیر در ایجاد ارتباط مؤثر سیاست سهم قابل‌توجهی دارند:

- آماده‌سازی و پیاده‌سازی استراتژی ارتباطات / ارائه
- ارائه خدمات اطلاعاتی اجرایی از مراحل اولیه

۹. ارزیابی: ارزیابی سیستماتیک اثربخشی سیاست در فرآیند سیاست‌گذاری وجود دارد. رویکردهای سیاست‌گذاری که تعهد به ارزیابی را نشان می‌دهند، شامل:

- تعریفی واضح از هدف ارزیابی مجموعه
- تعریف معیارهای موفقیت
- تعیین ابزارهای ارزیابی از مراحل اولیه
- استفاده از آزمایش‌ها[2] به‌منظور اثرگذاری بر پیامد نهایی

۱۰. بازنگری[3]: سیاست‌های موجود باید به‌طور مستمر بازنگری شوند چراکه سیاست‌های طراحی شده برای حل مشکلات، باید کارایی خود را در طول زمان حفظ کنند. جنبه‌های رویکرد بازنگری برای سیاست‌گذاری شامل:

- برنامه بازنگری مستمر با شاخص‌های عملکرد متنوع و معنادار
- مکانیسم‌هایی برای فراهم کردن بازخورد از سیاست‌های تنظیم شده
- دور انداختن سیاست‌های شکست‌خورده

ب) تنظیم‌کننده[4]

[1]- learn lessons
[2]- pilots
[3]- review
[4] -regulator

تنظیم مجموعه گوناگونی از ابزارهاست که به‌واسطه آن دولت نیازمندی‌های شرکت‌ها و مردم را تنظیم می‌کند. کارکردهای تنظیم‌کننده بنا به دلایل گوناگونی به وجود آمده‌اند ازجمله:

- تعیین حقوق و مسئولیت‌های هر یک از موجودیت‌های جامعه به‌منظور تحقق اهداف توسعه پایدار
- تنظیم استانداردهای صنعتی
- جمع‌آوری مالیات‌ها و دیگر درآمدها و ...

به‌منظور درک بهتر کارکردهای تنظیم‌کننده، بررسی انواع روش‌های تنظیمی مفید خواهد بود.

انواع تنظیمات

- فرمان و کنترل1: تنظیم دستور و کنترل نوعاً وضع/ تحمیل استانداردهای حمایت‌شده توسط مصوبات قانونی است، هرگاه استانداردها سازگار نباشند. بنابراین، قانون به‌عنوان منع یا اجبار فعالیت‌های معینی به کار می‌رود. استانداردها می‌تواند از طریق قانون‌گذاری یا تنظیم‌کنندگانی که به‌واسطه فرآیند تنظیم برای تعریف قانون مشروعیت دارند، تنظیم شود.

نقاط قوت چنین رویکرد مستقیمی در تنظیم این است که اغلب به‌طور سریع پیاده‌سازی می‌شوند، محدودیت‌های تعریف شده به‌طور واضح تنظیم می‌شود، و نشان می‌دهد که تنظیم‌کننده یا دولت قاطعانه عمل می‌کند. از سویی دیگر، این رویکرد می‌تواند برای فعالیت‌های تنظیمی پیچیده باشد. مشکلاتی که ممکن است به‌واسطه این رویکرد رخ بدهد، در دسته‌های زیر قرار می‌گیرند:

- تسخیر شدن در فرآیند تنظیم۲: رویکرد مذکور نیازمند این است که تنظیم‌کننده و تنظیم‌شونده۳، به‌ویژه برای تضمین در فراهم آوردن اطلاعات موردنیاز تنظیم‌کننده، با یکدیگر مشارکت داشته باشند. این ارتباط نزدیک ممکن است به تسخیر شدن تنظیم‌کننده توسط تنظیم شونده منتهی شود و درنتیجه آن قوانینی که به نفع یک مجموعه خاص است در نظر گرفته شود نه قوانینی که رفاه عمومی را در بر گیرد.
- افراط در قانون۱: این رویکرد اغلب به‌صورت پیچیده، غیر منعطف و مداخله‌گر به تصویر کشیده شده است. تدبیر در قوانین دقیق، به‌ویژه زمانی که یک اقتصاد در حال تغییر است، می‌تواند مشکل باشد. به‌علاوه، درگیری مستقیم سیاست‌گذاران می‌تواند به معنی ایجاد قوانینی در پاسخ به موقعیت‌ها یا زمینه‌های خاص

[1] –command and control

[2] –regulatory capture

[3] –regulatee

باشد که اغلب در مقیاس‌های زمانی کوتاه در نظر گرفته می‌شود. لذا می‌توان بیان نمود که رویکرد مذکور همواره مؤثر و جلوتر از زمان نیست.

- تنظیم کردن استانداردها: گاهی اوقات تنظیم یک استاندارد مناسب، به‌عنوان‌مثال تعین یک سطح معین از آلودگی یا کارایی واقعی اهداف برای سیستم‌های توزیع و انتقال، پیچیده است.
- تنفیذ: پیچیدگی قوانین و این امکان که طراحی انجام شده ممکن است تمامی فعالیت‌ها را در بر نگیرد، تنفیذ را برای تنظیم‌کننده مشکل می‌کند.

- خود- تنظیمی۲: این رویکرد می‌تواند به‌عنوان نوعی از نسخه خود انجامی۳ رویکرد دستور و کنترل تلقی شود. در این مورد، اغلب انجمن‌های تجاری یا کسب‌وکار تشکیل شده که قوانین عملکرد را ایجاد، کنترل و اجرا می‌کنند. به‌عنوان یک قانون، خودتنظیمی اغلب به‌عنوان یک روش کسب‌وکار دیده می‌شود که اقدام انحصاری به‌منظور جلوگیری از مداخله دولت انجام می‌دهد. مزایای این رویکرد شامل سطح بالای تعهد کسب‌وکارها و ماهیت جامع قوانین تنظیم شده است. به‌علاوه، این رویکرد منعطف‌تر از رویکرد دستور و کنترل بوده چراکه به قانون‌گذاری نیازی ندارد. از سویی دیگر، خودتنظیمی می‌تواند به‌صورت یک رویکرد غیر دموکراتیک، محدود به بررسی دقیق بیرونی و در معرض سوءاستفاده توسط کسانی‌که با اهداف مختلف قوانین را تنظیم می‌کنند، دیده شود. در کمترین سطح، خودتنظیمی همواره در معرض چالش‌های منتج شده از علاقه‌های بیرونی کسانی که فکر می‌کنند استانداردها و قوانین به سمت کاهش تأثیر فعالیت‌های غیر مطلوب تنظیم نشده است، قرار دارد.
- تنظیم مبتنی بر تشویق4: یک تشویق، سیاست، قانون، مکانیسم قیمت، یا رویه‌ایست که به دنبال تعدیل رفتار افراد یا شرکت‌ها به‌واسطه تغییر در هزینه‌ها یا سودهای حاشیه‌ای مرتبط با تصمیم یا فعالیت خاص است. از یک‌سو، می‌توان گفت که تمامی تنظیمات بر مبنای تشویق است چراکه تنظیم از طریق مفهوم پایه جریمه برای رفتارهای "بد" و پاداش برای رفتارهای "خوب" عمل می‌کند. تنظیم مبتنی بر تشویق سعی دارد به‌منظور کاهش هزینه‌ها و بهبود خدمات، برنامه سودمند با سودهای زیاد را پاداش دهد. هدف عمده این است که تنظیم شونده فعالیت‌های غیر مطلوب خود را از طریق تحمیل/ وضع مالیات و کمک‌های مالی محدود یا متوقف کند. برای به‌کارگیری این رویکرد، گام‌های

---

[1] –legalism

[2] –self-regulation

3- do-it-yourself

[4] –incentive-based regulation

اصلی شامل انتخاب واحدهای اندازه‌گیری، تعیین خط مبنا، انتخاب اهداف برای بهبود و/ یا نگهداری و سپس اجرای تشویق‌ها و جریمه‌ها است. یکی از انواع تنظیمات مبتنی بر تشویق، تنظیم مبتنی بر عملکرد[1](PBR) است که تشویق‌ها ملزم به بهبود در عملکرد مطلوب، کاهش قیمت و بهبود در کیفیت خدمات است. به‌علاوه، PBR بیشتر به استانداردهای عملکرد خارجی متکی است و کمتر به فعالیت‌های خاص شرکت حساس است. مزایای PBR این است که به بهبود در بهره‌برداری شرکت‌ها، کاهش هزینه‌های نگهداری و عملیات و بهبود در پایایی سیستم کمک می‌کند. طرح تنبیه و تشویق به‌صورت مکانیکی عمل می‌کند. بنابراین کاهش در حوزه صلاحدید تنظیمی، در مقابل امکان تسخیر در فرآیند تنظیم را کاهش می‌دهد. به‌علاوه این رویکرد، انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری شرکت، که آیا از قانون تبعیت کند یا جریمه بپردازد، را فراهم می‌کند. اگرچه به‌عنوان یکی از معایب این روش، می‌توان به ایجاد قوانین بسیار پیچیده و غیر منعطف که واقعیت‌های بازار در آن لحاظ نشده است، اشاره کرد. از مفروضات اصلی این رویکرد، عقلانیت اقتصادی است که لزوماً در همه موارد یافت نمی‌شود.همچنین، گاهی اوقات پیش‌بینی تأثیر این نوع رویکرد مشکل است. به‌عنوان‌مثال، رفتار "بد" ، مانند آلودگی، می‌تواند پاداش بگیرد اگر که قوانین به‌طور صحیح تنظیم نشده باشند.

- مکانیسم‌های مبتنی بر بازار[2]: حوزه وسیعی از مکانیسم‌های مبتنی بر بازار وجود دارند که می‌توانند برای تنظیم فعالیت‌ها مورداستفاده قرار بگیرد. تنظیمات مبتنی بر بازار می‌تواند اثربخشی هزینه‌ای را ثابت کند و مداخلات تنظیمی در عملیات روزانه شرکت‌ها را کمینه کند. انواع مکانیسم‌های معمول مبتنی بر بازار در زیر بررسی می‌شوند.
  - قوانین رقابتی[3]: قوانینی هستند که برای کنترل رفتار شرکت‌ها ایجاد می‌شوند تا تضمین کند بازار، خدمات را با محدود کردن فعالیت‌های غیر مطلوب مانند قیمت‌گذاری تهاجمی، کمک مالی۴ ، تحویل می‌دهد. قانون رقابتی می‌تواند به تنظیم از طریق دستور و کنترل ترجیح داده شود چراکه کمتر در امور شرکت‌ها مداخله می‌کند، برای سرمایه‌گذاری عمومی ارزان‌تر است.

[1] –Performance-based regulation

[2] – market-based regulation

[3] –competitive laws

[4] –cross-subsidization

- تنظیم به‌واسطه قرارداد[1]: دولت می‌تواند از قدرت خرید خود برای تعیین شرایط قراردادها با کسب‌وکارهای خارجی استفاده کند. شرایط قراردادی برای هدایت اهداف اجتماعی مطلوب، مانند نسبت معینی از انرژی تجدید پذیر در تولید کالاها، می‌تواند استفاده شود. این رویکرد، گاهی به‌عنوان راه‌حل کوتاه‌مدت، در نظر گرفته می‌شود و زمانی ارزشمند است که هدف افزایش سریع استواری فرآیند تنظیم و در زمان کوتاه است. اگرچه ترجیحاً باید تقویت شود و درنهایت با شاخص‌های تنظیمی پایدارتری جایگزین شود. افزایش تنظیم به‌واسطه قرارداد، نباید به‌عنوان یک جایگزین برای عامل‌های تنظیمی موجود لحاظ شود ، بلکه باید به‌عنوان یک روش متمم با بهبود در اثربخشی و اعتبار تنظیم‌کننده در نظر گرفته شود. تحت رژیم تنظیم به‌واسطه قرارداد، یک تنظیم‌کننده به‌طور بالقوه باید در مذاکرات مجدد قرارداد درگیر شود و ازاین‌رو، نقش تنظیم‌کننده به‌طور فزاینده‌ای یک کارگزار امین یا یک بازیگر بی‌طرف می‌شود که بر روی ایجاد راه‌حل‌ها و ایجاد اجماع میان تأمین‌کنندگان خدمات، سرمایه‌گذاران و دولت متمرکز می‌شود.
- مجوزهای قابل‌فروش[2]: این رویکرد در محدود کردن انتشار دی‌اکسیدکربن بسیار مهم است. سطح معینی از انتشار قابل‌قبول توسط دولت تعیین‌شده، و به صاحبان بنگاه‌های اقتصادی فوق‌العاده‌هایی۳ تا حد مجاز واگذار می‌شود. در مقابل صاحبان بنگاه‌های اقتصادی می‌توانند سطح انتشار را از حد تخصیص داده شده پایین‌تر قرار دهند و فوق‌العاده‌های اضافی را مبادله کنند و یا حاضر به پرداخت جریمه شوند. از لحاظ سیاسی، این رویکرد یک مکانیسم جذاب است چرا که شرکت‌ها را در تصمیم‌گیری آزاد می‌گذارد. اگرچه، موفقیت این طرح به حدودی که دولت تعیین می‌کند بستگی دارد.
- تنظیم بر اساس افشاگری[4]: این رویکرد نیازمند این است که تولیدکنندگان، منابع یا گنجایش محصولاتشان را بیان می‌کنند. به‌علاوه، این مکانیسم به مشتریان اجازه می‌دهد تا منبع مقدم را انتخاب کنند. اگرچه، در این روش فرض بر این است که مشتریان برای رسیدن به هدف مطلوب، می‌توانند انتخاب صحیح را انجام بدهند.

ج) تسهیل‌کننده

[1] –regulation by contract

[2] –tradable permits

[3] –allowance

[4] –disclosure regulation

سازمان‌های محلی یا بین‌المللی هستند که معمولاً توسط دولت سرمایه‌گذاری می‌شوند و هدف آن توسعه و بهبود بازار خدمات است. یک تسهیل‌کننده، تأمین‌کنندگان خدمات را از طریق ایجاد محصولات خدماتی جدید، ارتقاء تجارب مفید و ایجاد ظرفیت حمایت می‌کند. به‌علاوه، تسهیل‌کننده می‌تواند برطرف تقاضا از طریق آموزش صنایع کوچک درباره مزایای خدمات یا فراهم کردن محرک‌هایی برای امتحان آن‌ها نیز متمرکز شود. کارکردهای دیگر یک تسهیل‌کننده شامل ارزیابی خارجی تأثیر تأمین‌کنندگان خدمات، تضمین خدمات و حمایت برای محیط سیاسی بهتر است. عمل تسهیل، کارکردی است که به‌طورمعمول توسط سازمان‌های توسعه‌گرا انجام شده و می‌تواند شامل سازمان‌های غیردولتی، انجمن‌های صنعتی و کارفرمایان و عامل‌های دولتی باشد.

در این راستا، ذکر نکته‌ای لازم به نظر می‌رسد که تفکیک نقش‌های تسهیل‌کنندگان و ارائه‌کنندگان برای خدمات توسعه کسب‌وکار[1] ضروری است. در بسیاری از برنامه‌های توسعه‌ای، یک سازمان نقش تأمین‌کننده (ارائه مستقیم خدمات به بنگاه‌های اقتصادی) و نقش تسهیل‌کننده (تشویق دیگر شرکت‌ها برای عرضه خدمات به بنگاه‌های اقتصادی) را توأماً ایفا می‌کند. این مسئله اغلب تناقضی برای تأمین‌کنندگان رقابتی به وجود می‌آورد، چراکه تسهیل‌کنندگان معمولاً اهداف توسعه‌ای داشته و تأمین‌کنندگان اهداف تجاری و لذا ترکیب نقش‌ها ممکن است به برنامه‌های ناکارآمد و استفاده نامناسب از سرمایه منجر شود. به‌علاوه، چنانچه تسهیل‌کنندگان به‌صورت دولتی سرمایه‌گذاری شده باشند، هنگامی‌که بازار توسعه پیدا می‌کند و تأمین‌کنندگان و دیگر بازیگران دائمی بازار بر کارکردهای خود مسلط شدند، باید از صحنه بازیگران بازار حذف شود. تنها حالت استثنایی زمانی است که تسهیل‌کننده فعالیت‌های خود را از طریق فروش خدمات به تأمین‌کنندگان ازنظر مالی تأمین کند و درنتیجه به یک بازیگر دائمی و پایدار در بازار تبدیل شود.

د) ارائه‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی

تأمین‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی شامل دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها و مؤسساتی هستند که در زمینه آموزش و پژوهش در حوزه فناوری موتورهای الکتریکی فعالیت می‌کنند.

ه)ارائه‌کننده خدمات صنعتی

شامل شرکت‌هایی می‌شود که در زمینه طراحی و ساخت موتورهای الکتریکیفعالیت می‌کنند این شرکت‌ها ممکن است سازندهٔ تمام قطعات نبوده و ترکیبی از عملیات طراحی، ساخت و مونتاژ موتورهای الکتریکی را انجام دهند و یا ارائه‌کننده محصول یا خدمتی به سازندگان موتورهای الکتریکی باشند.

- نهادها

نهادها قواعد بازی هستند. نهادها در توسعه فناوری، مجموعه‌ی قوانین و مقررات، قواعد، نرم‌ها و استانداردهایی است که یا به‌شکل بازدارنده و یا به‌صورت تحریک‌کننده، به رفتارهای اجتماعی–اقتصادی–صنعتی شکل می‌دهد [۸]. تفاوت بین نهادها با کنشگران در این است که کنشگران به اجرا و دنبال کردن فعالیت‌ها می‌پردازند، درحالی‌که قواعد تنها تعاملات بین آن‌ها را تعریف کرده و چارچوبی برای انجام فعالیت‌ها ایجاد می‌نمایند. بدین‌وسیله نهادها موجب کاسته شدن از عدم تعین موجود در مسیر رشد فناوری شده و نوعی پایداری در مجموعه حاکم می‌کند.نهادها را می‌توان به دو دسته کلی رسمی و غیررسمی تقسیم‌بندی نمود. نهادهای رسمی از سوی سازمان‌ها صادر شده و دارای ضمانت اجرایی از نوع قانون می‌باشند. درطرف مقابل، نهادهای غیررسمی در جریان طبیعی تعاملات اجتماعی باب شده و دارای ضمانت اجرایی از نوع تعهد اجتماعی هستند [۹]. از بعد نوع نیز نهادها به سه دسته‌ی تنظیمی[2]، هنجاری[3]، و شناختی[4] تقسیم می‌شوند. نهادهای تنظیمی مجموعه قواعد رسمی هستند که مجاز بودن یا مجاز نبودن انجام فعالیت‌ها را از طریق داشتن ضمانت اجرایی قانونی مشخص می‌نماید. نهادهای

[1]- business development services
[2]- Regulative
[3]- Normative
[4]- Cultural cognitive

هنجاری قواعدی غیررسمی هستند که به تعیین درست و یا غلط بودن فعالیت‌ها از طریق ارزش‌های قابل قبول در جامعه می‌پردازد. در نهایت، نهادهای شناختی نیز قواعدی غیررسمی هستند که با شکل‌گیری در محدوده‌ی ذهنی هر فرد، برمجموعه رفتارها و تصمیم‌گیری‌های فرد اثرگذار می‌شود. در کنار این دو بعد، نهادها را می‌توان از ابعاد بخش، مرز جغرافیایی، و سطح وابستگی به فناوری نیز تقسیم‌بندی نمود.

با تکیه بر ابعاد اشاره شده، می‌توان چارچوبی ساختاری برای اطمینان از پوشش همه‌جانبه فرایند تحلیل کرد ، شناخت هر نهاد درگیر در توسعه فناوری در هر یک از این ابعاد، تصویر روشنی از این جزء ساختاری ارائه دهد.

جدول ۳-۱: ابعاد دسته‌بندی قواعد

بعد	توضیحات
نوع[۱]	در قالب سه صورت قواعد تنظیمی، قواعد هنجاری، و قواعد شناختی
بخش[۲]	بیانگر دامنه اثر نهاد بوده و شامل نظام‌های مالی-اعتباری، آموزشی-تحقیقاتی، تولیدی-کسب‌وکار
مرز[۳]	نهادهای منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی
وابستگی[۴]	بیانگر میزان استقلال نهاد از فناوری و شامل قواعد داخلی[۵] و قواعد محیطی[۶]

- فناوری

شناخت فناوری منجر به تعیین مرزهای دانشی شده و فناوری‌های مرتبط با فناوری موردنظر را مشخص می‌نماید. در ادبیات راه‌های مختلفی مانند تعیین نزدیکی میان حوزه‌های فناورانه با اندازه‌گیری فاصله‌ی فناورانه[۷] [۱۰] و [۱۱]، استفاده از نظر خبرگان و تحلیل‌های کتاب‌سنجی[۸] و پتنت، برای شناسایی فناوری‌های مرتبط با فناوری مورد مطالعه استفاده می‌گردد.

این بخش در گزارش درخت فناوری به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

- شبکه‌ها

1_ Institutional Type
2- Institutional Sector
3- Institutional Boundary
4- Institutional Context
5- Internal Institution
6- External Institution
7- Technological distance
8- Bibliometric

روابط موجود در یک گروه از کنشگران، نهادها و فناوری‌ها می‌تواند از روابط موجود در خارج از گروه، قوی‌تر باشد. درصورتی‌که این مؤلفه‌های ساختاری باعث ایجاد یک پیکربندی متراکم گردند، می‌توان آن را یک ساختار شبکه‌ای یا یک شبکه نامید. شبکه‌ها روابط میان سازمانی کنشگرانی هستند که به دنبال دستیابی به اهداف مشترکی می‌باشند. در حقیقت، یک سیستم توسعه‌دهنده فناوری شبکه‌هایی از کنشگران، نهادها، فناوری‌ها و روابط میان آن‌ها محسوب می‌گردند **[۱۲]**. اتحادهای راهبردی[1]، اتحادیه‌های گروه‌های کاری[2]، کمیته‌های فنی[3]، شبکه‌های پروژه[4]، شبکه‌های منطقه‌ای و شبکه‌های سیاسی همگی از انواع شبکه‌ها میان کنشگران هستند. شبکه‌ها در حالت کلی در دو صورت رسمی (در راستای برآوردن اهدافی راهبردی، عضویت خودآگاه کنشگران) و غیررسمی (عدم وجود هدف برنامه‌ریزی‌شده، عدم مرزبندی مشخص در عضویت و یا عدم عضویت کنشگران) شکل‌گیری پیدا می‌کنند. در یک دسته‌بندی دیگر، شبکه‌ها را از بعد هدفمندی و میزان درهم‌تنیدگی به چهار دسته‌ی شبکه‌های زنجیره تأمین، شبکه‌های سنتی، شبکه‌های راهبردی، و کالج‌های نامشهود[5] تقسیم می‌کنند. به‌طورکلی شبکه‌ها دارای پنج کارکرد اصلی تبادل اطلاعات و ایجاد دانش، انتشار دانش، ارتباطات، اعمال نفوذ، و ساختار سازی هستند [۲].

هدف از شناسایی شبکه‌های موجود در توسعه فناوری، ایجاد ارتباط میان سطوح خرد و میانی سیستم تحت مطالعه و کشف ارتباط اقدامات کنشگران در مسیر توسعه فناوری است [۳]. برای شناسایی شبکه‌های موجود، می‌توان از طریق شش معیار بنیان‌گذار/سال تأسیس، تمرکز فنی شبکه، کنشگران اصلی درگیر در شبکه، مأموریت شبکه، نوع شبکه (اتحادهای راهبردی، اتحادیه‌های گروه‌های کاری، کمیته‌های فنی، شبکه‌های پروژه، شبکه‌های منطقه‌ای و شبکه‌های سیاسی)، و کارکرد شبکه، به شناسایی این جزء ساختاری پرداخت.

قوانین و اسناد بالادستی توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار

در این زیر بخش کلیه سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب نهادهای حاکمیتی و صنایع مختلف که به شکل مستقیم یا غیرمستقیم با مسئله "لزوم توسعه فناوری‌های مربوط به ماشین‌های الکتریکی دوار" ارتباط دارند، موردبررسی قرار می‌گیرند. عناوین این مستندات در جدول ۴-۱ آورده شده است.

جدول ۴-۱: مستندات مرتبط با لزوم توسعه ماشین‌های الکتریکی

ردیف	عنوان سند	تاریخ تصویب
۱	سند نهایی چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران	۱۳۸۲
۲	قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران ۱۳۹۶ – ۱۴۰۰	۱۳۹۵
۳	سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد "انرژی"	۱۳۷۹
۴	سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف	۱۳۸۹
۵	قانون ۷۵ ماده‌ای اصلاح الگوی مصرف	۱۳۸۹
۶	برنامه راهبردی وزارت نیرو تا افق ۱۴۰۴ (از ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۴)	۱۳۹۲
۷	سیاست‌های اقتصاد مقاومتی	۱۳۹۲
۸	قانون هدفمند نمودن یارانه‌ها	۱۳۸۸
۹	سند نقشه راه بهره‌وری انرژی الکتریکی	–
۱	برنامه راهبردی انرژی	۱۳۹۲

1- Strategic alliance

2- Working group association

3- Technical commitee

4Project networks

5- Scientific invisible College

۱	بیانیه طرح توسعه صنعت قطعه‌سازی کشور	۱۳۹۳
۱	اساسنامه شرکت تولید نیروی برق حرارتی	۱۳۹۳

۲-۱-۳-۱- سند نهایی چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران

سند چشم‌انداز به‌طور مستقیم وارد بحث انرژی و تجهیزات الکتریکی نشده است؛ ولی در موضوعات مختلف به آن اشاره دارد یا می‌توان برداشت نمود که در حوزه مرتبط با توسعه فناوری‌های مربوط به طراحی و ساخت ماشین‌های الکتریکی تأثیرگذار است که در ادامه به‌طور خلاصه ذکر می‌گردد:

- **کسب فن‌آوری، به‌ویژه فن‌آوری‌های نو**، شامل ریز فن‌آوری و فن‌آوری‌های زیستی، اطلاعات و ارتباطات، زیست‌محیطی، هوافضا و هسته‌ای

- **ایجاد سازوکار مناسب برای رشد بهره‌وری عوامل تولید (انرژی، سرمایه، نیروی کار، آب، خاک و ...)**؛ فناوری ساخت موتورهای الکتریکی به‌عنوان یکی از فناوری‌های پایین‌دستی است که مرتبط با فناوری‌های هوا و فضا و هسته‌ای است [۱۳].

۳-۱-۳-۱- قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران ۱۳۹٦-۱٤۰۰

قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران مصوب جلسه علنی مورخ ۹۵/۱۲/۲۱ مجلس شورای اسلامی است. در زیر به بخش‌هایی که به‌صورت مستقیم مرتبط با توسعه ماشین‌های الکتریکی بالاخص موتورهای الکتریکی و کاربرد در نیروگاه است، اشاره می‌شود [۱۴]:

- بخش مربوط به صنعت برق

– در ماده ۴۴ قانون برنامه پنج‌ساله ششم، بیان شده که وزارت نیرو موظف است به منظور افزایش بازدهی و ضریب بهره‌وری نیروگاه‌ها، اولاً موافقت اصولی برای ایجاد نیروگاه‌ها با بازدهی پنجاه و پنج تا شصت درصد (۵۵٪ تا ۶۰٪) صادر نماید و ثانیاً سازوکار بازار در بورس را با توجه به قیمت خرید برق تعیین نماید.

– در ماده ۴۸ نیز دولت مکلف شده است از طریق وزارت نیرو در طول اجرای برنامه نسبت به افزایش توان تولید برق تا بیست و پنج هزار مگاوات از طریق سرمایه‌گذاری مؤسسات عمومی غیردولتی، تعاونی و خصوصی اعم از داخلی و خارجی و یا منابع داخلی شرکت‌های تابعه یا به‌صورت روش‌های متداول سرمایه‌گذاری ازجمله ساخت، بهره‌برداری و تصرف (BOO) و ساخت، بهره‌برداری و انتقال (BOT) اقدام نماید. خرید تضمینی برق بر اساس نرخ تعیین‌شده توسط شورای اقتصاد خواهد بود.

– در ماده ۴۹ این قانون، دولت موظف است از سال اول برنامه اقدامات لازم را در راستای تشکیل بازار منطقه‌ای و ایجاد قطب(هاب) منطقه‌ای برق به‌عمل آورد به‌طوری‌که شبکه برق کشور از شمال، جنوب، شرق و غرب به کشورهای همسایه متصل شود.

– در نهایت در ماده ۵۰ قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه، دولت مکلف است سهم نیروگاه‌های تجدید پذیر و پاک با اولویت سرمایه‌گذاری بخش غیردولتی (داخلی و خارجی) با حداکثر استفاده از ظرفیت داخلی را تا پایان اجرای قانون برنامه به حداقل پنج درصد (۵٪) ظرفیت برق کشور برساند.

لازم به ذکر است که مطابق با گفته‌ی مهرداد گودرزوند چگینی، عضو کمیسیون برنامه، بودجه و محاسبات مجلس در گفت‌وگو با خبرنگار خبرگزاری خانه ملت، با توجه به مدت زمان باقی‌مانده از عمر دولت و شرایط تحریمی و کرونایی احساس می‌شود، دولت فعلاً برنامه‌ای برای ارائه لایحه برنامه پنج‌ساله هفتم توسعه به مجلس شورای اسلامی ندارد [۱۵].

۴-۱-۳-۱- سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در ارتباط با "انرژی"

مصوب مورخ ۱۳۷۷/۱۰/۲۳ که در تاریخ ۱۳۷۹/۱۱/۳ توسط مقام معظم رهبری تائید و ابلاغ گردیده است. با توجه به موارد مطرح شده در خصوص اصلاح الگوی مصرف و بهینه‌سازی مصرف انرژی این قوانین به صورت غیرمستقیم بر لزوم توسعه موتورهای الکتریکی در جهت افزایش بازده انرژی آن‌ها اشاره می‌کند. در زیر سیاست‌های کلی نفت و گاز و سایر منابع انرژی اشاره می‌شود [۱۶].

- سیاست‌های کلی نفت و گاز

سیاست‌های کلی نفت و گاز موارد زیر را در برمی‌گیرد:

– اتخاذ تدبیر و راهکارهای مناسب برای گسترش اکتشاف نفت و گاز و شناخت کامل منابع کشور

– افزایش ظرفیت تولید صیانت شدهٔ نفت متناسب با ذخایر موجود و برخورداری کشور از افزایش قدرت اقتصادی و امنیتی و سیاسی

– افزایش ظرفیت تولید گاز، متناسب با حجم ذخایر کشور به‌منظور تأمین مصرف داخلی و حداکثر جایگزینی با فرآورده‌های نفتی

– گسترش تحقیقات بنیادی و توسعه‌ای و تربیت نیروی انسانی و تلاش برای ایجاد مرکز جذب و صدور دانش و خدمات فنی ـ مهندسی انرژی در سطح بین‌الملل و ارتقاء فن‌آوری در زمینه‌های منابع و صنایع نفت و گاز و پتروشیمی

– بهینه‌سازی مصرف و کاهش شدت انرژی

۵-۱-۳-۱- سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف

سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف سال ۱۳۸۹ توسط مقام معظم رهبری ابلاغ شد. در این قانون به صرفه‌جویی در مصرف انرژی با اعمال مجموعه‌ای متعادل از اقدامات قیمتی و غیر قیمتی به‌منظور کاهش مستمر «شاخص شدت انرژی» کشور به حداقل دو سوم میزان کنونی تا پایان برنامه پنجم توسعه و به حداقل یک دوم میزان کنونی تا پایان برنامه ششم توسعه اشاره دارد. همچنین بر اجرای سیاست‌های زیر نیز تأکید شده است [۱۷]:

- اولویت دادن به افزایش بهره‌وری در تولید، انتقال و مصرف انرژی در ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید انرژی
- انجام مطالعات جامع و یکپارچه سامانه انرژی کشور به منظور بهینه‌سازی عرضه و مصرف انرژی
- تدوین برنامه ملی بهره‌وری انرژی و اعمال سیاست‌های تشویقی نظیر حمایت مالی و فراهم کردن تسهیلات بانکی برای اجرای طرح‌های بهینه‌سازی مصرف و عرضه انرژی و شکل‌گیری نهادهای مردمی و خصوصی برای ارتقاء کارایی انرژی و همچنین پایش شاخص‌های کلان انرژی با سازوکار مناسب
- بازنگری و تصویب قوانین و مقررات مربوط به عرضه و مصرف انرژی، تدوین و اعمال استانداردهای اجباری ملی برای تولید و واردات کلیه وسایل و تجهیزات انرژی بر و تقویت نظام نظارت بر حسن اجرای آن‌ها و الزام تولیدکنندگان به اصلاح فرآیندهای تولیدی انرژی بر
- افزایش بازدهی نیروگاه‌ها، متنوع‌سازی منابع تولید برق و افزایش سهم انرژی‌های تجدید پذیر و نوین.
- گسترش تولید برق از نیروگاه‌های تولید پراکنده، کوچک مقیاس و پربازده برق و تولید هم‌زمان برق و حرارت.
- بهبود روش‌های انتقال حامل‌های انرژی، ازجمله حداکثر سازی انتقال فرآورده‌های نفتی از طریق خط لوله و راه‌آهن.

۶-۱-۳-۱- قانون ۷۵ ماده‌ای اصلاح الگوی مصرف

به دنبال ابلاغ سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف توسط مقام معظم رهبری، مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۸۹ قانون ۷۵ ماده‌ای اصلاح الگوی مصرف را به تصویب رساند. برخی از فصل‌های آن‌که به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با لزوم توسعه ماشین‌های الکتریکی است، در ادامه آورده می‌شود [۱۸].

- **ساختار و تشکیلات**

در فصل سوم (ماده ٦)، وزارتخانه‌های نیرو، نفت، کشاورزی و صنایع و معادن موظف‌اند که کلیه فناوری‌های موردنیاز برای عرضه و مصرف انرژی در بیست سال آینده را در حیطه تخصصی خود شناسایی و تمهید کنند و امکان طراحی و بهبود آن‌ها برای به‌کارگیری توسط سازندگان و تولیدکنندگان داخلی را فراهم نمایند.

- **معیار و استاندارد مصرف انرژی مشترکین، فرایندها و تجهیزات انرژی‌بر**

در ماده ۱۰ این فصل، وزارتخانه‌های نفت و نیرو در چهارچوب قانون بودجه سالانه و قانون هدفمند کردن یارانه‌ها موظف‌اند با همکاری وزارتخانه‌های مرتبط و مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و توجه به شرایط اقلیمی، فرهنگ و عادات مصرفی، فناوری مورداستفاده در بخش‌های صنعت، معدن و کشاورزی الگوی مصرف ماهانه حامل‌های انرژی را برای بخش‌های خانگی، تجاری، عمومی و مصرف ویژه انرژی صنایع (ازجمله صنایع نفت و نیرو)، معادن، صنایع معدنی، کشاورزی و پمپاژ آب را تعیین کرده و به تصویب هیأت وزیران برسانند.

در ماده ۱۵، کلیه دستگاه‌های اجرائی، نهادها، مؤسسات، شرکت‌ها و واحدهای صنعتی دولتی و همچنین نیروهای نظامی و انتظامی موظف‌اند تجهیزات و ماشین‌آلات موردنیاز خود را بر اساس بهترین الگوی مصرف سطوح انرژی‌بری خریداری نمایند. آیین‌نامه اجرائی این ماده توسط شورای عالی انرژی ضمن رعایت تبصره ذیل ماده(۵) این قانون با رعایت قانون حداکثر استفاده از توان فنی و مهندسی تولیدی و صنعتی و اجرائی کشور در اجرای پروژه‌ها و ایجاد تسهیلات به‌منظور صدور خدمات مصوب ۱۳۷۵/۱۲/۱۲ تهیه و به تصویب هیأت وزیران می‌رسد. کلیه وزارتخانه‌ها و دستگاه‌های ذی‌ربط موظف‌اند نسبت به حسن اجراء این ماده نظارت نمایند.

در ماده١٦، تخصیص هرگونه اعتبار برای بازسازی و توسعه صنایع منوط به رعایت معیارها و مشخصات فنی و رعایت موازین زیست‌محیطی و پس از اخذ مجوز لازم از مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران است.

- **تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان انرژی**

در ماده ۵۱، وزارتخانه‌های نیرو و نفت حسب مورد موظف‌اند طرح‌های مرتبط با افزایش بازده انرژی موضوع این فصل از قانون را متناسب با میزان افزایش بازده از حمایت‌های مقرر در این قانون که به‌صورت عمومی اعلام می‌شود بهره‌مند سازند.

در ماده ٥٤، کلیه واحدهای نیروگاهی، پالایشگاهی و پتروشیمی در چهارچوب بودجه سالانه موظف‌اند نسبت به استقرار واحدهای مدیریت انرژی و انجام ممیزی انرژی اقدام و کلیه اقدامات بدون هزینه، کم‌هزینه و پرهزینه را به ترتیب اولویت زمان بازگشت سرمایه اجراء کنند. واحدهای فوق‌الذکر موظف‌اند هر سه سال یک‌بار به تجدید ممیزی انرژی اقدام نمایند. وزارتخانه‌های نیرو و نفت حسب مورد موظف‌اند بر حسن اجرای این ماده نظارت کنند و نتایج حاصله را به هیأت وزیران و مجلس شورای اسلامی گزارش نمایند.

۷-۱-۳-۱- برنامه راهبردی وزارت نیرو تا افق ۱٤۰٤ (تدوین‌شده در ۱۳۹۲)

- **مأموریت بخش برق و انرژی**

وزارت نیرو در بخش‌های برق و انرژی عهده‌دار سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان انرژی و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای برق و حفظ کیفیت آن در راستای توسعه پایدار و امنیت عرضه انرژی کشور است. وزارت نیرو در این بخش با سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت، نظارت، تدوین ضوابط و مقررات و لوایح مرتبط، بسترهای لازم را برای ایجاد هماهنگی بین نقش‌آفرینان، فعالیت بخش‌های خصوصی، تعاونی و عمومی را در تمامی عرصه‌ها فراهم نموده و با حمایت از بهینه‌سازی مصرف، رونق بخشی به فضای کسب‌وکار در عرصه ملی و فراملی بخش برق و انرژی، حقوق کلیه ذینفعان خود شامل آحاد جامعه، بخش‌های صنعت، کشاورزی، خدمات، دولت و نهادهای قانون‌گذار را رعایت می‌کند. وزارت نیرو در این بخش با ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، سازگار با محیط‌زیست و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و توسعه مشارکت و بهره‌وری منابع انسانی متخصص و خلاق به‌عنوان ارزشمندترین دارایی، نقشی مؤثر در رفاه اجتماعی و تبادل برق با کشورهای منطقه ایفا نموده و در راستای کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدید پذیر اقدام می‌کند [۱۹].

- **چشم‌انداز بخش برق و انرژی**

وزارت نیرو در بخش برق با استفاده از منابع متنوع و در دسترس انرژی، مدیریت تقاضا، تکیه‌بر ساختاری منسجم و متخصصین توانمند و خلاق به‌گونه‌ای عمل می‌کند تا کشور در عرضه برق مطمئن و پایا و باکیفیت مناسب (در حد استانداردهای جهانی) سرآمد کشورهای منطقه گردد و با ایجاد بسترهای لازم، دسترسی آزاد به شبکه و رقابت منصفانه در بازار برق را میسر نموده و جمهوری اسلامی ایران به‌عنوان مرکز راهبری شبکه برق در منطقه تثبیت گردد.

- **راهبردهای بخش برق و انرژی**

موارد مطرح‌شده در زیر، از بخش راهبردهای برق و انرژی مرتبط با نیروگاه‌های حرارتی است:

بند ۶: توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت‌شده و نوسازی و بهینه‌سازی آن‌ها

بند ۷: افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقای بازده نیروگاه‌ها:

- توسعه کاربرد نیروگاه‌های با بازده بالاتر و اعمال هزینه‌های واقعی سوخت و هزینه‌های زیست‌محیطی در مناسبات مالی تولید و عرضه برق
- به‌کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید هم‌زمان برق و حرارت و برودت
- استقرار سازوکار اقتصادی– تجاری در بهینه‌سازی نیروگاه‌ها
- استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا
- مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آن‌ها با تولید نیروگاه‌های حرارتی
- تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاه‌ها و توسعه ظرفیت‌های قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاه‌ها
- استفاده از انرژی حرارتی نیروگاه‌های مجاور یا داخل شهرها جهت مصارف منازل و واحدهای صنعتی

۸-۱-۳-۱- سیاست‌های اقتصاد مقاومتی

سیاست‌های اقتصاد مقاومتی با هدف تأمین رشد پویا و بهبود شاخص‌های مقاومت اقتصادی و دستیابی به اهداف سند چشم‌انداز بیست‌ساله، با رویکردی جهادی، انعطاف‌پذیر، فرصت ساز، مولد، درون‌زا، پیشرو و برون‌گرا توسط مقام معظم رهبری ابلاغ شده است [۲۰].

- پیشتازی اقتصاد دانش‌بنیان، پیاده‌سازی و اجرای نقشه جامع علمی کشور و ساماندهی نظام ملی نوآوری به‌منظور ارتقاء جایگاه جهانی کشور و افزایش سهم تولید و صادرات محصولات و خدمات دانش‌بنیان و دستیابی به رتبه اول اقتصاد دانش‌بنیان در منطقه
- استفاده از ظرفیت اجرای هدفمندسازی یارانه‌ها در جهت افزایش تولید، اشتغال و بهره‌وری، کاهش شدت انرژی و ارتقاء شاخص‌های عدالت اجتماعی
- مدیریت مصرف با تأکید بر اجرای سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف و ترویج مصرف کالاهای داخلی همراه با برنامه‌ریزی برای ارتقاء کیفیت و رقابت‌پذیری در تولید
- برنامه‌ریزی تولید ملی متناسب با نیازهای صادراتی، شکل‌دهی بازارهای جدید، و تنوع‌بخشی پیوندهای اقتصادی با کشورها به‌ویژه با کشورهای منطقه.
- افزایش ارزش افزوده از طریق تکمیل زنجیره ارزش صنعت نفت و گاز، توسعه تولید کالاهای دارای بازدهی بهینه (بر اساس شاخص شدت مصرف انرژی) و بالا بردن صادرات برق، محصولات پتروشیمی و فرآورده‌های نفتی با تأکید بر برداشت صیانتی از منابع.

۹-۱-۳-۱- قانون هدفمند نمودن یارانه‌ها

در اجرای اصل یک‌صد و بیست و سوم (۱۲۳) قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، قانون هدفمند کردن یارانه‌ها با عنوان لایحه به مجلس شورای اسلامی تقدیم شده و در جلسه علنی مورخ ۸۸/۱۰/۱۵ تصویب و به تأیید شورای محترم نگهبان رسیده است [۲۱].

در ماده ۱ تبصره بند ج قیمت تمام‌شده برق، مجموع هزینه‌های تبدیل انرژی، انتقال و توزیع و هزینه سوخت با بازده حداقل سی و هشت درصد (۳۸٪) نیروگاه‌های کشور و رعایت استانداردها محاسبه می‌شود و هر ساله حداقل یک درصد (۱٪) به بازده نیروگاه‌های کشور افزوده شود به‌طوری‌که تا پنج سال از زمان اجرای این قانون به بازده چهل و پنج درصد (۴۵٪) برسد و همچنین تلفات شبکه‌ها یا انتقال و توزیع تا پایان برنامه پنج‌ساله ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به چهارده درصد (۱۴٪) کاهش یابد.

در ماده ۸، الف: بهینه‌سازی مصرف انرژی در واحدهای تولیدی، خدماتی و مسکونی و تشویق به‌صرفه جویی و رعایت الگوی مصرف.

در ماده ۸، ب: اصلاح ساختار فناوری واحدهای تولیدی در جهت افزایش بهره‌وری انرژی، آب و توسعه تولید برق از منابع تجدید پذیر

۱۰-۱-۳-۱- سند نقشه راه بهره‌وری انرژی الکتریکی

سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) در اردیبهشت ماه ۱۳۸۹ نسبت به تهیه و تدوین سند نقشه راه بهره‌وری انرژی الکتریکی بر اساس قوانین بالادستی اقدام نموده است. در این سند چگونگی نیل به اهداف کمی تعیین‌شده در بخش بهینه‌سازی مصرف انرژی تبیین شده است. این سند در دو بخش بهره‌وری در بخش تأمین و مصرف انرژی تدوین شده است که سیاست‌های آن به شرح زیر است [۲۲]:

- حمایت از کولرهای گازی برقی خورشیدی
- حمایت از فعالیت شرکت‌های خدمات انرژی ESCO
- اصلاح شبکه‌های توزیع به‌منظور کاهش تلفات شبکه

در بخش تأمین، با استناد به بند ۷ سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف، بند ۲ از اهداف کمی صنعت برق در دولت دهم و بند ۳-۳ گزارش مجمع عمومی شرکت توانیر مورخ ۱۳۸۸/۱۱/۲۵، روش اجرایی کردن افزایش بازدهی نیروگاه‌های حرارتی در قالب پروژه‌های زیر بیان شده است:

- انجام ممیزی انرژی در نیروگاه‌ها
- استقرار سیستم مدیریت انرژی
- خنک‌سازی هوای ورودی در توربین‌های گازی
- پایش وضعیت سوخت مصرفی
- مطالعات و اجرای پروژه‌های CHP نیروگاهی
- اجرای پروژه‌های Re-Powering و Re-Rating
- مطالعات و اجرای پروژه‌های کاهش در مصرف داخلی نیروگاه‌ها
- آموزش مبانی ممیزی و مدیریت انرژی برای آشنایی مشاوران و پرسنل نیروگاه‌ها

نتایج اجرای این پروژه‌ها به‌صورت زیر ارائه شده است:

- افزایش بازدهی نیروگاه‌ها به میزان ۲۰ درصد از ۵ درصد در طول برنامه

۱۱-۱-۳-۱- برنامه راهبردی انرژی

در این سند متوسط مصرف انرژی کشور با دنیا مقایسه می‌شود و با توجه به اختلاف آن‌ها، راهبردهایی برای کاهش مصرف انرژی و نزدیک کردن آن به مقادیر جهانی در قالب راهبردهای میانی و نهایی ارائه شده است.

راهبردهای میانی رویکرد حل مسئله و دستیابی به اهداف را مشخص می‌کند و بیشتر بر عهده بنگاه‌های اقتصادی و خانوارهاست. حاکمیت با استفاده از راهبردهای نهایی، آگاهی، انگیزه و توانایی عوامل را به‌گونه‌ای تنظیم می‌کند تا رفتارهای عوامل در راستای اجرای راهبردهای میانی قرار گرفته و به صورتی غیرمتمرکز اما یکپارچه فعالیت‌های لازم برای دستیابی به اهداف انجام گیرد. مهم‌ترین راهبردهای میانی برای دستیابی به اهداف این زنجیره تأمین عبارت‌اند از [۲۳]:

- اصلاح مصارف
- ایجاد و تکمیل ظرفیت‌های تولید

همچنین در این سند انجام اقداماتی در خصوص اصلاح مصرف و بهینه‌سازی مصرف انرژی توصیه شده است:

- تهیه و ارتقای استانداردهای مصرف انرژی و نظارت دقیق بر اجرای آن
- تدوین الگوی مصرف فعلی و مطلوب
- ارتقای فرهنگ مصرف
- اطلاع‌رسانی به مصرف‌کنندگان

که مباحث فوق به‌طور غیرمستقیم مرتبط با طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی پربازده و کم‌مصرف است.

۱۲-۱-۳-۱- بیانیه طرح توسعه صنعت قطعه‌سازی کشور

در این بیانیه به نقش صنایع استراتژیکی همچون نفت و گاز، صنایع هوایی، ریلی، خودرو و دریایی، صنعت نیرو (لزوم سرمایه‌گذاری ۵۰ میلیاردی در این صنعت طی هشت سال آتی) و صنایع لوازم خانگی اشاره شده و توسعه صنایع مذکور را مستلزم عواملی دانسته که زنجیره تأمین قطعات و تجهیزات، ازجمله مهم‌ترین آن‌هاست؛ چرا که قطعات و تجهیزات دست‌کم ۵۰ درصد از ارزش افزوده این صنایع را در سطح OEM تشکیل می‌دهند [۲۴].

هدف اصلی این طرح، توانمندسازی و توسعه مناسب و متناسب زنجیره تأمین رشته صنعت‌های ذیل صنعت قطعه‌سازی کشور (نظیر نفت، گاز، خودرو، ریلی، هوایی، دریایی، نیرو و لوازم خانگی) است. با توجه به اینکه ماشین‌های الکتریکی در طیف وسیعی از صنایع فوق‌الذکر به کار می‌روند، طراحی و ساخت آن‌ها به‌صورت مستقیم مرتبط با این سند است. از آثار اجرای این طرح می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اشتغال‌زایی
- صرفه‌جویی ارزی با بی‌نیاز شدن از واردات تجهیزات
- افزایش بهره‌وری صنعت قطعه‌سازی و صنایع پایین‌دستی آن
- تحقق اهداف سند چشم‌انداز

۱۳-۱-۳-۱- سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی وزارت نیرو (تدوین برنامه عملیاتی)

در گزارش مربوط به برنامه عملیاتی بخش برق و انرژی کشور در بخش استراتژی اول، افزایش نسبت ظرفیت و همچنین تولید برق توسط نیروگاه‌های بخش‌های خصوصی و تعاونی به کل ظرفیت نیروگاه‌ها به ۸۰٪ تا سال ۱۴۰۴ عنوان شده است. احداث نیروگاه‌های سیکل ترکیبی توسط بخش خصوصی یکی از طرح‌های عملیاتی برای دستیابی به شاخص مذکور معرفی شده است.

جدول ۵-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱، شاخص نسبت ظرفیت نیروگاه‌های بخش خصوصی و تعاونی به‌کل ظرفیت نیروگاه

استراتژی ۱	**بهبود فضای کسب و کار، توسعه خصوصی‌سازی و گسترش مشارکت و ارتقاء توانمندی بخش‌های خصوصی و تعاونی در حوزه برق و انرژی:** (۱) ایجاد انگیزه و اطمینان برای سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی و تعاونی، (۲) حداقل نمودن فعالیت‌های تصدی بخش دولتی، (۳) ارتقاء بهره‌وری در فرآیند خصوصی‌سازی، (۴) تسهیل در سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی و تعاونی و ایجاد بانک نیرو، (۵) حمایت از توسعه صادرات کالا و خدمات فنی- مهندسی برق، (۶) استقرار سازوکار اقتصادی-تجاری برای استفاده از قابلیت‌ها و فرصت‌های ICT و نظایر آن در صنعت برق	SB1

کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I۸SB1	نسبت ظرفیت نیروگاه‌های بخش‌های خصوصی و تعاونی به کل ظرفیت نیروگاه‌ها	٪۱۰	٪۷۰	٪۸۰	٪80	افزایش نسبت ظرفیت نیروگاه‌های بخش‌های خصوصی و تعاونی به کل ظرفیت نیروگاه‌ها به ۸۰ ٪ تا سال ۱۴۰۴	O8SB1

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P17O۸SB1	واگذاری نیروگاه‌های دولتی قابل واگذاری	۱۳۹۰	۱۳۹۹	توانیر	
P18O۸SB1	احداث نیروگاه‌های جدید توسط بخش غیر دولتی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P19O۸SB1	توسعه تولید در محل مصرف و تولید همزمان برق و حرارت مصوب	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	

همچنین در استراتژی شماره ۶ به توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آن‌ها پرداخته شده است.

جدول ۶-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص نرخ رشد سالانه ظرفیت عملی نیروگاه‌ها در شرایط پیک

استراتژی 6	**توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آنها**	SB6

کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی			اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴		
I۲SB6	نرخ رشد سالانه ظرفیت عملی نیروگاهها در شرایط پیک	-	-	-	-	نرخ رشد سالانه ظرفیت عملی نیروگاهها در شرایط پیک	O3 SB6

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۲۰۲O3SB6	تبدیل واحدهای گازی به سیکل ترکیبی	1392	1404	توانیر	
P۲۲۳O3SB6	توسعه بخش بخار	1392	1404	توانیر	
P۲۲۴O3SB6	توسعه ظرفیت نیروگاههای تجدیدپذیر	1392	1404	توانیر	
P۲۲۵O3SB6	توسعه نیروگاههای برقابی	1392	1404	توانیر	
P۱۹۹O3SB6	احداث نیروگاههای تولید پراکنده	1392	1404	توانیر	
P۲۲۲O3SB6	احداث نیروگاههای بزرگ(سیکل ترکیبی)	1392	1404	توانیر	

جدول ۷-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص سهم بخش خصوصی از ظرفیت نیروگاه‌ها

استراتژی 6	توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آنها					SB6
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I۰SB6	سهم بخش خصوصی از ظرفیت نیروگاهها	٪۱۲	٪۷۵	٪۸۰	٪۸۰	سهم بخش خصوصی از ظرفیت نیروگاهها	O4SB6

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۲۱۱O4SB6	احداث نیروگاههای تجدیدپذیر و انرژی های نو	1392	1404	توانیر	
P۱۹۹O4SB6	احداث نیروگاههای تولید پراکنده	1392	1404	توانیر	
P۲۲۲O4SB6	احداث نیروگاههای بزرگ (سیکل ترکیبی)	1392	1404	توانیر	
P۲۱۳O4SB6	واگذاری نیروگاهها بر اساس اصل ۴۴	1392	1404	توانیر	
P۲۰۱O4SB6	احداث نیروگاههای تجدیدپذیر، برقابی کوچک و متوسط و انرژیهای نو	1392	1404	توانیر	

جدول ۸-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص طول خطوط توزیع نیروی برق (کیلومتر مدار)

استراتژی 6	توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آنها					SB6
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I۵SB6	طول خطوط توزیع نیروی برق (کیلومتر مدار)	-	-	-	-	طول خطوط توزیع نیروی برق (کیلومتر مدار)	O5SB6

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۲۰۲O5SB6	تبدیل واحدهای گازی به سیکل ترکیبی	1392	1404	توانیر	
P۲۰۳O5SB6	جایگزینی نیروگاههای قدیمی با راندمان پائین	1392	1404	توانیر	
P۲۰۴O5SB6	بهسازی نیروگاههای قدیمی با هدف افزایش راندمان	1392	1404	توانیر	
P۲۰۵O5SB6	ممیزی انرژی و افزایش راندمان نیروگاههای قدیمی	1392	1404	توانیر	
P۲۰۶O5SB6	توسعه استفاده از سیستمهای CHP و CCHP در نیروگاهها	1392	1404	توانیر	
P۲۰۷O5SB6	امکان‌سنجی و استفاده از امکانات بین‌المللی برای نوسازی و بهینه‌سازی ظرفیتهای تولید، انتقال و توزیع برق	1392	1404	توانیر	

جدول ۹-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص مدت‌زمان خاموشی (دقیقه در سال به ازای هر مشترک)

استراتژی 6	توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آنها					SB6
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I_{9}SB6	مدت زمان خاموشی (دقیقه در سال به ازای هر مشترک)	-	-	-	-	مدت زمان خاموشی (دقیقه در سال به ازای هر مشترک) O9SB6

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۲۰۸O9SB6	تامین برق متقاضیان جدید	1392	1404	توانیر	
P۱۹۷O9SB6	افزایش ضریب بهره‌وری از تجهیزات منصوبه	1392	1404	توانیر	
P۱۹۸O9SB6	اصلاح و بهینه‌سازی پستهای فرسوده	1392	1404	توانیر	
P۱۹۹O9SB6	احداث نیروگاههای تولید پراکنده	1392	1404	توانیر	
P۲۲۲O9SB6	احداث نیروگاههای بزرگ (سیکل ترکیبی)	1392	1404	توانیر	
P۲۰۱O9SB6	احداث نیروگاههای تجدیدپذیر، برقابی کوچک و متوسط و انرژیهای نو	1392	1404	توانیر	

جدول ۱۰-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۶، شاخص بازده برق و حرارت (درصد)

استراتژی 6	توسعه ظرفیت‌های تولید، انتقال و توزیع برق متناسب با نیازهای مصرف مدیریت شده و نوسازی و بهینه‌سازی آنها					SB6
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I_{10}SB6	بازده برق و حرارت (درصد)	-	-	-	-	بازده برق و حرارت (درصد) O10SB6

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۲۰۲O10SB6	تبدیل واحدهای گازی به سیکل ترکیبی	1392	1404	توانیر	
P۲۰۳O10SB6	جایگزینی نیروگاههای قدیمی با راندمان پائین	1392	1404	توانیر	
P۲۰۴O10SB6	بهسازی نیروگاههای قدیمی با هدف افزایش راندمان	1392	1404	توانیر	
P۲۰۵O10SB6	ممیزی انرژی و افزایش راندمان نیروگاههای قدیمی	1392	1404	توانیر	
P۲۰۶O10SB6	توسعه استفاده از سیستمهای CHP و CCHP در نیروگاهها	1392	1404	توانیر	
P۲۰۷O10SB6	امکان‌سنجی و استفاده از امکانات بین‌المللی برای نوسازی و بهینه‌سازی ظرفیتهای تولید، انتقال و توزیع برق	1392	1404	توانیر	

همچنین در استراتژی شماره ۷ به افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها پرداخته شده است.

جدول ۱۱-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص ضریب آمادگی نیروگاه‌ها

استراتژی	**افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها:** (۱) توسعهٔ کاربرد نیروگاه‌های با بازده بالاتر و اعمال هزینه‌های واقعی سوخت و هزینه‌های زیست‌محیطی در مناسبات مالی تولید و عرضهٔ برق، (۲) به‌کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید همزمان برق و حرارت و برودت، (۳) استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در بهینه‌سازی نیروگاه‌ها، (۴) استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا، (۵) مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی، (۶) تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاه‌ها و توسعهٔ ظرفیت‌های قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاه‌ها، (۷) استفاده از انرژی حرارتی نیروگاه‌های مجاور یا داخل شهرها جهت مصارف منازل و واحدهای صنعتی					SB7
کد شاخص 7	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I_1SB7	ضریب آمادگی نیروگاهها	٪۸۰	٪۸۷	٪۹۲	٪۹۸	افزایش ضریب آمادگی نیروگاهها به ۹۸٪ در سال ۱۴۰۴	O1SB7

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P31O1SB7	بازسازی نیروگاههای قدیمی دارای توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P32O1SB7	بازنشستگی نیروگاههای قدیمی فاقد توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P33O1SB7	ایجاد زنجیره مطمئن تامین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P34O1SB7	ارتقاء سیستمهای کنترل و حفاظت نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P35O1SB7	استقرار سیستمهای جامع تعمیرات و نگهداری در نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P36O1SB7	اصلاح مکانیزم های بازار برق در جهت تولید بیشتر نیروگاههای پربازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P37O1SB7	اولویت تخصیص گاز به کلیه نیروگاه های سیکل ترکیبی در فصل زمستان	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P38O1SB7	ایجاد نیروگاه های سوخت فسیلی با راندمان بالا (سیکل ترکیبی)	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	

جدول ۱۲-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص راندمان برق و حرارت نیروگاه‌ها

استراتژی 7	**افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها:** (۱) توسعهٔ کاربرد نیروگاه‌های با بازده بالاتر و اعمال هزینه‌های واقعی سوخت و هزینه‌های زیست‌محیطی در مناسبات مالی تولید و عرضهٔ برق، (۲) به‌کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید همزمان برق و حرارت و برودت، (۳) استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در بهینه‌سازی نیروگاه‌ها، (۴) استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا، (۵) مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی، (۶) تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاه‌ها و توسعهٔ ظرفیت‌های قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاه‌ها، (۷) استفاده از انرژی حرارتی نیروگاه‌های مجاور یا داخل شهرها جهت مصارف منازل و واحدهای صنعتی					SB7
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I2SB7	راندمان برق و حرارت نیروگاهها	٪۳۷/۵	٪۴۱	٪۴۳	٪۴۵	افزایش راندمان به ۴۵٪ در ۱۴۰۴	O2SB7

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P31O2SB7	بازسازی نیروگاههای قدیمی دارای توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P32O2SB7	بازنشستگی نیروگاههای قدیمی فاقد توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P33O2SB7	ایجاد زنجیره مطمئن تامین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P34O2SB7	ارتقاء سیستمهای کنترل و حفاظت نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P35O2SB7	استقرار سیستمهای جامع تعمیرات و نگهداری در نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P39O2SB7	بازنشستگی نیروگاههای کم بازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P43O2SB7	بازتوانی نیروگاههای بخاری قدیمی دارای توجیه فنی و اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	بخش خصوصی	
P41O2SB7	توسعه سیستم های CCHP (تولید همزمان برق وحرارت و برودت)	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P42O2SB7	تصویب آیین نامه بهره مندی نیروگاههای دولتی و خصوصی از منافع حاصل از کاهش مصرف سوخت	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P36O2SB7	اصلاح مکانیزم های بازار برق در جهت تولید بیشتر نیروگاههای پربازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P37O2SB7	اولویت تخصیص گاز به کلیه نیروگاه های سیکل ترکیبی در فصل زمستان	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P38O2SB7	ایجاد نیروگاه های سوخت فسیلی با راندمان بالا (سیکل ترکیبی)	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P40O2SB7	ایجاد سازوکار فروش حرارت و برودت حاصل از نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P44O2SB7	توسعه نیروگاههای تولید پراکنده	۱۳۹۴	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	

جدول ۱۳-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص مصرف ویژه آب در نیروگاه‌های حرارتی

استراتژی 7	**افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها:** (۱) توسعهٔ کاربرد نیروگاه‌های با بازده بالاتر و اعمال هزینه‌های واقعی سوخت و هزینه‌های زیست‌محیطی در مناسبات مالی تولید و عرضهٔ برق، (۲) به‌کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید همزمان برق و حرارت و برودت، (۳) استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در بهینه‌سازی نیروگاه‌ها، (۴) استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا، (۵) مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی، (۶) تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاه‌ها و توسعهٔ ظرفیت‌های قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاه‌ها، (۷) استفاده از انرژی حرارتی نیروگاه‌های مجاور یا داخل شهرها جهت مصارف منازل و واحدهای صنعتی					SB7
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I3SB7	مصرف ویژه آب در نیروگاههای حرارتی	۶۰۰	۵۰۰	۳۰۰	۱۰۰	کاهش مصرف ویژه آب در نیروگاه‌های حرارتی به ۱۰۰لیتر به مگاوات ساعت در سال ۱۴۰۴	O3SB7

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P45O3SB7	تولید آب شیرین از محل بازیافت حرارت نیروگاهها جهت مصارف عمومی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P31O3SB7	بازسازی نیروگاههای قدیمی دارای توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P32O3SB7	بازنشستگی نیروگاههای قدیمی فاقد توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P33O3SB7	ایجاد زنجیره مطمئن تامین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P34O3SB7	ارتقاء سیستمهای کنترل و حفاظت نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P35O3SB7	استقرار سیستمهای جامع تعمیرات و نگهداری در نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P39O3SB7	بازنشستگی نیروگاههای کم بازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P43O3SB7	بازتوانی نیروگاههای بخاری قدیمی دارای توجیه فنی و اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	بخش خصوصی	
P46O3SB7	تبدیل برج تر به برج خشک	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P47O3SB7	اجرای طرحهای بازیابی پساب نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P48O3SB7	اجرای سیستمهای آبیاری تحت فشار در نیروگاه ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	

جدول ۱۴-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص تأمین سوخت مطمئن

استراتژی 7	**افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها:** (۱) توسعهٔ کاربرد نیروگاه‌های با بازده بالاتر و اعمال هزینه‌های واقعی سوخت و هزینه‌های زیست‌محیطی در مناسبات مالی تولید و عرضهٔ برق، (۲) به‌کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید همزمان برق و حرارت و برودت، (۳) استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در بهینه‌سازی نیروگاه‌ها، (۴) استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا، (۵) مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی، (۶) تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاه‌ها و توسعهٔ ظرفیت‌های قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاه‌ها، (۷) استفاده از انرژی حرارتی نیروگاه‌های مجاور یا داخل شهرها جهت مصارف منازل و واحدهای صنعتی					SB7
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I4SB7	تامین سوخت مطمئن	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	تامین ۱۰۰٪ سوخت مطمئن تا سال ۱۴۰۴	O4SB7

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P49O4SB7	تبدیل نیروگاههای گازی دارای توجیه فنی و اقتصادی به سیکل ترکیبی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P50O4SB7	ایجاد نیروگاه‌های ذغال سوز	۱۳۹۴	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P51O4SB7	افزایش ظرفیت ذخیره سازی سوخت مایع	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P52O4SB7	احداث خطوط لوله ارسال سوخت مایع به نیروگاه‌ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت پخش فرآورده های نفتی	
P53O4SB7	بررسی امکان ذخیره‌سازی گاز طبیعی در نیروگاه‌ها به صورت ال.ان.جی و استفاده ازآن در فصل سرد سال	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	

جدول ۱۵-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص بهبود ظرفیت عملی تولید نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی موجود

استراتژی 7	**افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها:** (۱) توسعهٔ کاربرد نیروگاه‌های با بازده بالاتر و اعمال هزینه‌های واقعی سوخت و هزینه‌های زیست‌محیطی در مناسبات مالی تولید و عرضهٔ برق، (۲) به‌کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید همزمان برق و حرارت و برودت، (۳) استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در بهینه‌سازی نیروگاه‌ها، (۴) استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا، (۵) مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی، (۶) تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاه‌ها و توسعهٔ ظرفیت‌های قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاه‌ها، (۷) استفاده از انرژی حرارتی نیروگاه‌های مجاور یا داخل شهرها جهت مصارف منازل و واحدهای صنعتی	SB7

کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I_9SB7	بهبود ظرفیت عملی تولید نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی موجود	-	-	-	-	بهبود ظرفیت عملی تولید نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی موجود در سال ۱۴۰۴	O5SB7

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P31O5SB7	بازسازی نیروگاههای قدیمی دارای توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P32O5SB7	بازنشستگی نیروگاههای قدیمی فاقد توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P33O5SB7	ایجاد زنجیره مطمئن تامین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P34O5SB7	ارتقاء سیستمهای کنترل و حفاظت نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P35O5SB7	استقرار سیستمهای جامع تعمیرات و نگهداری در نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P49O5SB7	تبدیل نیروگاههای گازی دارای توجیه فنی و اقتصادی به سیکل ترکیبی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P39O5SB7	بازنشستگی نیروگاههای کم بازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P43O5SB7	بازتوانی نیروگاههای بخاری قدیمی دارای توجیه فنی و اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	بخش خصوصی	
P41O5SB7	توسعه سیستم های CCHP (تولید همزمان برق وحرارت و برودت)	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P57O5SB7	طرح کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور واحدهای گازی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P58O5SB7	ارتقای (Upgrading) نیروگاههای گازی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	

جدول ۱۶-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۷، شاخص تثبیت فرکانس و ولتاژ شبکه سراسری

استراتژی 7	**افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاه‌ها:** (۱) توسعهٔ کاربرد نیروگاه‌های با بازده بالاتر و اعمال هزینه‌های واقعی سوخت و هزینه‌های زیست‌محیطی در مناسبات مالی تولید و عرضهٔ برق، (۲) به‌کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید همزمان برق و حرارت و برودت، (۳) استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در بهینه‌سازی نیروگاه‌ها، (۴) استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا، (۵) مدیریت بهینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و افزایش هماهنگی آنها با تولید نیروگاه‌های حرارتی، (۶) تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاه‌ها و توسعهٔ ظرفیت‌های قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاه‌ها، (۷) استفاده از انرژی حرارتی نیروگاه‌های مجاور یا داخل شهرها جهت مصارف منازل و واحدهای صنعتی	SB7

کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I_9SB7	تثبیت فرکانس و ولتاژ شبکه سراسری	-	-	-	-	ارتقاء شاخصهای تثبیت فرکانس در سال ۱۴۰۴	O6SB7

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P31O6SB7	بازسازی نیروگاههای قدیمی دارای توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P32O6SB7	بازنشستگی نیروگاههای قدیمی فاقد توجیه اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P33O6SB7	ایجاد زنجیره مطمئن تامین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P34O6SB7	ارتقاء سیستمهای کنترل و حفاظت نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P35O6SB7	استقرار سیستمهای جامع تعمیرات و نگهداری در نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	
P39O6SB7	بازنشستگی نیروگاههای کم بازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P43O6SB7	بازتوانی نیروگاههای بخاری قدیمی دارای توجیه فنی و اقتصادی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	بخش خصوصی	
P37O6SB7	اولویت تخصیص گاز به کلیه نیروگاه های سیکل ترکیبی در فصل زمستان	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P38O6SB7	ایجاد نیروگاه های سوخت فسیلی با راندمان بالا (سیکل ترکیبی)	۱۳۹۰	۱۴۰۴	توانیر	
P44O6SB7	توسعه نیروگاههای تولید پراکنده	۱۳۹۴	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق	

همچنین در استراتژی ۱۴ به سازگاری زیست‌محیطی و ارتقاء ایمنی در صنعت برق پرداخته شده است.

جدول ۱۷-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی

استراتژی ۱۴	**سازگاری زیست محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق:** (۱) ارتقاء سطح ایمنی و سلامتی شهروندان در مقابل خطرات و مسائل زیست‌محیطی صنعت برق، (۲) الزامی‌نمودن نصب سیستم زمین در کلیه تأسیسات صنعت برق و مشترکین، (۳) ارتقاء و توسعه نظام بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، (۴) تهیه طرح جامع زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعت برق، (۵) ایجاد سامانه‌های پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی بخش						SB14
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی			اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴		
I1SB14	میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی	0.69	کاهش۵٪	کاهش۵٪	کاهش۵٪	کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی به ۰٫۵۹ در سال ۱۴۰۴	O1SB14

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۱۶۳O1SB14	افزایش راندمان در قالب سه طرح الف: تبدیل نیروگاه های گازی به سیکل ترکیبی ب: بازتوانی نیروگاه های قدیمی ج: طرح های بهسازی و بازسازی نیروگاه های موجود و برکناری واحدهای قدیمی و کم بازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق ایران و شرکت توانیر	
P۱۶۴O1SB14	استحصال دی اکسید کربن از دود خروجی نیروگاه ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۶۵O1SB14	توسعه مولدهای مقیاس کوچک	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۶۱O1SB14	توسعه واحدهای CHP و CCHP	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۷۶O1SB14	توسعه استفاده از انرژیهای نو و تجدیدپذیر	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سانا	
P۱۷۷O1SB14	توسعه مولدهای برقابی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	معاونت آب و آبفا	
P۱۷۸O1SB14	استفاده از روشهای مهندسی احتراق برای کاهش آلاینده‌ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق ایران و شرکت توانیر	

جدول ۱۸-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت نیروگاه‌ها (حرارتی، تولید پراکنده و آبی)

استراتژی ۱۴	**سازگاری زیست محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق:** (۱) ارتقاء سطح ایمنی و سلامتی شهروندان در مقابل خطرات و مسائل زیست‌محیطی صنعت برق، (۲) الزامی‌نمودن نصب سیستم زمین در کلیه تأسیسات صنعت برق و مشترکین، (۳) ارتقاء و توسعه نظام بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، (۴) تهیه طرح جامع زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعت برق، (۵) ایجاد سامانه‌های پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی بخش						SB14
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی			اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴		
I2SB14	میزان انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت نیروگاه‌ها (حرارتی، تولید پراکنده و آبی)	۱۴۷۰۴۸۰۳۳ تن	کاهش۵٪	کاهش۵٪	کاهش۵٪	کاهش میزان انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت نیروگاه‌ها (حرارتی، تولید پراکنده و آبی) به ۱۲۴۹۹۰۸۲۸ تن در سال	O2SB14

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۱۶۳O2SB14	افزایش راندمان در قالب سه طرح الف: تبدیل نیروگاه های گازی به سیکل ترکیبی ب: بازتوانی نیروگاه های قدیمی ج: طرح های بهسازی و بازسازی نیروگاه های موجود و برکناری واحدهای قدیمی و کم بازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق ایران و شرکت توانیر	
P۱۶۴O2SB14	استحصال دی اکسید کربن از دود خروجی نیروگاه ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۶۵O2SB14	توسعه مولدهای مقیاس کوچک	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۶۱O2SB14	توسعه واحدهای CHP و CCHP	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۷۶O2SB14	توسعه استفاده از انرژیهای نو و تجدیدپذیر	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سانا	
P۱۷۷O2SB14	توسعه مولدهای برقابی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	معاونت آب و آبفا	
P۱۷۸O2SB14	استفاده از روشهای مهندسی احتراق برای کاهش آلاینده‌ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق ایران و شرکت توانیر	

جدول ۱۹-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان انتشار گازهای آلاینده به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی

استراتژی ۱۴	**سازگاری زیست محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق:** (۱) ارتقاء سطح ایمنی و سلامتی شهروندان در مقابل خطرات و مسائل زیست‌محیطی صنعت برق، (۲) الزامی‌نمودن نصب سیستم زمین در کلیه تأسیسات صنعت برق و مشترکین، (۳) ارتقاء و توسعه نظام بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، (۴) تهیه طرح جامع زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعت برق، (۵) ایجاد سامانه‌های پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی بخش					SB14
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I3SB14	میزان انتشار گازهای آلاینده به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی	ppm۶۴۶	کاهش ۱۰٪	کاهش ۱۰٪	کاهش ۱۰٪	کاهش میزان انتشار گازهای آلاینده به ازای هر واحد انرژی الکتریکی تولیدی به ۴۰۰ ppm در سال ۱۴۰۴	O3SB14

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۱۶۳O3SB14	افزایش راندمان در قالب سه طرح الف: تبدیل نیروگاه‌های گازی به سیکل ترکیبی ب: بازتوانی نیروگاه های قدیمی ج: طرح های بهسازی و بازسازی نیروگاه های موجود و برکناری واحدهای قدیمی و کم بازده	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق ایران و شرکت توانیر	
P۱۶۴O3SB14	استحصال دی اکسید کربن از دود خروجی نیروگاه‌ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۶۵O3SB14	توسعه مولدهای مقیاس کوچک	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۶۱O3SB14	توسعه واحدهای CHP و CCHP	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر	
P۱۷۶O3SB14	توسعه استفاده از انرژیهای نو و تجدیدپذیر	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سانا	
P۱۷۷O3SB14	توسعه مولدهای برقابی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	معاونت آب و آبفا	
P۱۷۸O3SB14	استفاده از روشهای مهندسی احتراق برای کاهش آلاینده‌ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق ایران و شرکت توانیر	

جدول ۲۰-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص درصد نیروگاه‌های مجهز به سامانه آنلاین پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی

استراتژی ۱۴	**سازگاری زیست محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق:** (۱) ارتقاء سطح ایمنی و سلامتی شهروندان در مقابل خطرات و مسائل زیست‌محیطی صنعت برق، (۲) الزامی‌نمودن نصب سیستم زمین در کلیه تأسیسات صنعت برق و مشترکین، (۳) ارتقاء و توسعه نظام بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، (۴) تهیه طرح جامع زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعت برق، (۵) ایجاد سامانه‌های پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی بخش					SB14
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی		اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴	
I4SB14	درصد نیروگاههای مجهز به سامانه آنلاین پایش و کنترل آثار زیست محیطی	٪83	٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰	افزایش درصد نیروگاههای مجهز به سامانه آنلاین پایش و کنترل آثار زیست محیطی به ۱۰۰٪ تا سال ۱۳۹۴	O4SB14

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۱۸۰O4SB14	استقرار سامانه آنلاین پایش و کنترل آثار زیست محیطی در نیروگاه‌های حرارتی	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر و شرکتهای تابعه	

جدول ۲۱-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان آب مصرفی واحدهای بخار به ازای هر کیلووات ساعت

استراتژی ۱۴	**سازگاری زیست محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق:** (۱) ارتقاء سطح ایمنی و سلامتی شهروندان در مقابل خطرات و مسائل زیست‌محیطی صنعت برق، (۲) الزامی‌نمودن نصب سیستم زمین در کلیه تأسیسات صنعت برق و مشترکین، (۳) ارتقاء و توسعه نظام بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، (۴) تهیه طرح جامع زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعت برق، (۵) ایجاد سامانه‌های پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی بخش						SB14
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی			اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴		
I،SB14	میزان آب مصرفی واحدهای بخار به ازای هر کیلووات ساعت	۳لیتر			۲،۲۷	کاهش میزان آب مصرفی واحدهای بخار به ازای هر کیلووات ساعت به ۲،۲۷ لیتر در سال ۱۴۰۴	O8SB14

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۴۶O8SB14	تبدیل برج های تر به خشک	۱۳۹۰	۱۴۰۴	سازمان توسعه برق ایران و شرکت توانیر	
P۱۸۹O8SB14	اجرای پروژه بازیافت آب از پساب	۱۳۹۰	۱۴۰۴	شرکت توانیر وشرکتهای تابعه	
P۱۹۰O8SB14	استفاده از آبیاری تحت فشار در فضای سبز نیروگاه ها	۱۳۹۰	۱۴۰۴	نیروگاهها و شرکتهای مدیریت تولید برق	

جدول ۲۲-۱: لیست طرح‌های عملیاتی مربوط به استراتژی ۱۴، شاخص میزان هیدروکربورهای نسوخته موجود در گاز خروجی نیروگاه‌ها

استراتژی ۱۴	**سازگاری زیست محیطی و ارتقاء ایمنی در فعالیت‌های صنعت برق:** (۱) ارتقاء سطح ایمنی و سلامتی شهروندان در مقابل خطرات و مسائل زیست‌محیطی صنعت برق، (۲) الزامی‌نمودن نصب سیستم زمین در کلیه تأسیسات صنعت برق و مشترکین، (۳) ارتقاء و توسعه نظام بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، (۴) تهیه طرح جامع زیست‌محیطی فعالیت‌های صنعت برق، (۵) ایجاد سامانه‌های پایش و کنترل آثار زیست‌محیطی بخش						SB14
کد شاخص	شاخص	جاری	وضعیت آتی			اهداف عملیاتی سال ۱۴۰۴	کد
		۱۳۸۹	۱۳۹۴	۱۳۹۹	۱۴۰۴		
I،SB14	میزان هیدروکربورهای نسوخته موجود در گاز خروجی نیروگاه ها	۰	۰	۰	۰	حفظ شرایط بهینه بهره وری در نیروگاههای کشور	O9SB14

طرح‌های عملیاتی

کد	طرح	زمان شروع	زمان پایان	مجری	منابع مالی (ریال)
P۱۹۱O9SB14	استقرار سامانه پایش مستمر و کنترل ناخالصیها و اجزای سنگین سوخت ورودی و هیدروکربورهای نسوخته در نیروگاهها	۱۳۹۰	۱۴۰۴		

۱۴-۱-۳-۱- اساسنامه شرکت تولید نیروی برق حرارتی

در فصل دوم اساسنامه ماده ۷، وظایف شرکت معرفی شده است که عبارت‌اند از [۲۵]:

۱) برنامه‌ریزی و مدیریت (توسعه و بهره‌برداری) ظرفیت‌های تولید برق حرارتی در چارچوب برنامه‌های جامع و کلان وزارت نیرو
۲) ساماندهی و مدیریت شرکت‌های تولیدکننده برق حرارتی که تمام یا بخشی از سهام آن‌ها متعلق به دولت است
۳) توسعه ظرفیت‌های تولید برق حرارتی دولتی در چارچوب مقررات مربوط
۴) همکاری با نهادهای ذی‌ربط برای واگذاری نیروگاه‌های دولتی و سهام دولت در شرکت‌های تولید نیروی برق به بخشی غیردولتی و افزایش سهم این بخش در تولید برق در چارچوب مقررات مربوط
۵) انجام تمهیدات لازم برای جلب مشارکت بخش غیردولتی در احداث نیروگاه‌های جدید و توسعه ظرفیت و بهینه‌سازی نیروگاه‌های موجود، در جهت تحقق برنامه‌های مصوب وزارت نیرو
۶) اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ها و مصوبات وزارت نیرو
۷) مدیریت سهام و سرمایه‌های شرکت در شرکت‌های زیرمجموعه
۸) اتخاذ تدابیر لازم و همکاری برای واگذاری بخشی از سهام شرکت از طریق بورس اوراق بهادار
۹) انجام حمایت لازم برای افزایش بهره‌وری عوامل تولید در شرکت‌های زیرمجموعه

۱۰) اخذ هرگونه تسهیلات مالی، عرضه اوراق مشارکت و سایر روش‌های تأمین منابع مالی با رعایت موازین قانونی
۱۱) مدیریت، توسعه و تأمین منابع مالی و استفاده بهینه از این منابع از طریق برقراری تسهیلات و گردش منابع مالی بین شرکت و شرکت‌های زیرمجموعه
۱۲) استفاده بهینه از سود حاصل از سرمایه‌گذاری‌ها و سایر منابع داخلی شرکت و شرکت‌های تابع در راستای حمایت از بخش خصوصی در جهت احداث، توسعه و بهینه‌سازی تأسیسات و تأمین تجهیزات و خدمات تولید برق. شرکت می‌تواند با تأیید وزارت نیرو و با استفاده از منابع فوق نسبت به احداث، توسعه و بهینه‌سازی تأسیسات تولید برق دولتی مبادرت ورزد
۱۳) ارتقای بازده نیروگاه‌های حرارتی با توسعه روش‌هایی مانند تولید هم‌زمان برق و حرارت و برودت و تولید آب شیرین با استفاده از حرارت بازیافتی
۱۴) انجام اقدامات لازم و اعمال حمایت برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق حرارتی
۱۵) حمایت از سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر با استفاده از ظرفیت نهادهای مالی و منابع داخلی شرکت
۱۶) مدیریت و هماهنگی بین شرکت‌های زیرمجموعه و هدایت آن‌ها در جهت سیاست‌های تعیین‌شده از طرف وزارت نیرو
۱۷) نظارت بر مدیریت و نظام مالی شرکت‌های تابع
۱۸) انجام هرگونه عملیات اجرایی، مهندسی، بازرگانی، مالی، معاملات، سرمایه‌گذاری، تشکیل شرکت، مشارکت در مؤسسات و شرکت‌های دیگر که در راستای سیاست‌های وزارت نیرو و مرتبط با موضوع شرکت باشند، با رعایت قوانین و مقررات مربوط
۱۹) انجام و حمایت از فعالیت‌های پژوهشی، نوآوری و فن‌آوری در حوزه فعالیت شرکت

همچنین خط‌مشی شرکت عبارت است از:

۱) احداث واحدهای بخش بخار نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با سرمایه‌گذاری بخش خصوصی
۲) جلب مشارکت سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی در احداث و بهره‌برداری نیروگاه‌های حرارتی
۳) حداکثر استفاده از ظرفیت‌های قانون «رفع موانع تولید رقابت‌پذیر» در جهت تأمین مالی پروژه‌ها
۴) مدیریت سهام و سرمایه‌ها در شرکت‌های زیرمجموعه و اتخاذ تدابیر لازم در جهت واگذاری نیروگاه‌های دولتی
۵) همکاری در واگذاری نیروگاه‌ها به بخش خصوصی در چارچوب ضوابط مربوطه
۶) توسعه منابع انسانی، اصلاح ساختار و بازنگری فرایندها در جهت افزایش بهره‌وری، ارتقای نظام اداری و توسعه نظام‌های مدیریتی از قبیل مدیریت پروژه و مهندسی ارزش
۷) حمایت از پروژه‌های تحقیقاتی، تعامل مؤثر با مراکز علمی و پژوهشی در جهت ساخت داخل و تلاش در زمینه دستیابی به تکنولوژی‌های برتر مرتبط با نیروگاه‌های حرارتی
۸) احداث نسل جدید نیروگاه‌های حرارتی با راندمان بالا و حمایت از بومی‌سازی فناوری‌های ساخت، راه‌اندازی، بهره‌برداری و تعمیرات این نیروگاه‌ها
۹) برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های بازتوانی، نوسازی و ارتقای راندمان نیروگاه‌های حرارتی موجود
۱۰) انجام به موقع تعمیرات، بهسازی نیروگاه‌ها، مدیریت مصرف سوخت و سایر تمهیدات با هدف ارتقای بهره‌وری عوامل تولید
۱۱) تأمین برق پایدار و موردنیاز شبکه سراسری از طریق نظارت و راهبری بر احداث و بهره‌برداری نیروگاه‌های حرارتی
۱۲) اولویت‌دهی به مسائل زیست محیطی، پدافندی، ایمنی و مسئولیت‌های اجتماعی در حوزه بهره‌برداری و توسعه نیروگاه‌های حرارتی
۱۳) افزایش متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور
۱۴) مدیریت منابع و مصارف آب از طریق اصلاح سیستم‌های خنک‌کن نیروگاه‌ها و جایگزینی روش‌های تأمین آب
۱۵) تعامل مؤثر با بازار برق از طریق شرکت‌های تولید تابعه و حمایت از افزایش معاملات در بورس انرژی

۱-۳-۲- کنشگران فعال در حوزه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار با کاربرد در نیروگاه حرارتی

در این زیر بخش به شناسایی بازیگران صنعت نیروگاهی پرداخته می‌شود و بر اساس نقشی که در سطح کلان یا خرد ایفا می‌کنند به دو بخش محیط بیرونی و درونی تقسیم می‌شود.

۱-۲-۳-۱- مجلس

مجلس در نظام جمهوری اسلامی ایران از اهمیت ویژه و والایی برخوردار بوده و محور بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها، قانون‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها است و چراغ هدایت دولت و ملت را به دست دارد. مجلس پایگاه اساسی نظام و مردم و مایه حضور و مشارکت واقعی مردم در تصمیم‌گیری‌ها و مظهر اراده ملی است. با توجه به نقش مؤثر و مهم مجلس در نظام کشور، وظایف عمده مجلس در دو بخش خلاصه می‌گردد:

- قانون‌گذاری
- نظارت

در جهان امروز، طرح پرسش‌های نو و مسائل پیچیده و چندوجهی در حوزه‌های مختلف، نهادهای قانون‌گذاری را ناگزیر از تأسیس مراکز علمی و پژوهشی ساخته تا با اتکا به تخصص‌ها و مطالعات فراهم آمده در آن مراکز و بهره‌گیری از آن‌ها، به شناخت کارشناسانه مسائل و پاسخگویی به نیازهای نو در تدوین قوانین توفیق یابند.

۲-۲-۳-۱- مجمع تشخیص مصلحت نظام

در سال ۱۳۶۸ و در جریان بازنگری قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران، این مجمع رسماً به‌صورت یکی از نهادهای رسمی کشور درآمد و وظیفه اصلی آن حل اختلاف بین مجلس شورای اسلامی و شورای نگهبان است.

وظایف مجمع تشخیص مصلحت نظام:

- مجمع تشخیص مصلحت نظام، مسئولیت تصمیم‌گیری درسیاستهای کلان داخلی و خارجی ایران و حل اختلاف میان قوای سه‌گانه را بر عهده دارد و همچنین ناظر بر فعالیت‌های آنان است.
- این مجمع، وظیفه تدوین برنامه چشم‌انداز ۲۰ ساله (از ۱۳۸۴ تا ۱۴۰۴) و نظارت بر اجرای آن را بر عهده دارد.
- همچنین از سال ۱۳۸۵ رهبر جمهوری اسلامی، اختیار نظارت بر عملکرد قوای سه‌گانه را که از اختیارات رهبر است، به این مجمع واگذار کرد.

مجمع تشخیص مصلحت نظام بالاترین رکن سیاست‌گذاری کلان در کشور است زیرا تدوین سیاست‌های کلی نظام در حوزه‌های علم و فناوری و پژوهش در قالب سند چشم‌انداز ۲۰ ساله از وظایف این نهاد است.

۳-۲-۳-۱- شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری (عتف)

بر اساس ماده ۹۹ قانون برنامه سوم توسعه فرهنگی، اقتصادی و اجتماعی کشور، وزارت فرهنگ و آموزش عالی به وزارت علوم، تحقیقات و فناوری تغییر نام داده و مأموریت‌های جدی و جدیدی در حوزه پژوهش و فناوری به وزارت محول شده است. بر همین اساس قانون اهداف، وظایف و تشکیلات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در شهریورماه ۱۳۸۳ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسیده است. بر اساس مواد ۳ و ۴ این قانون، تشکیل شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری باهدف ایجاد هماهنگی و یکپارچگی در سیاست‌گذاری کلان اجرایی در حوزه علوم، تحقیقات و فناوری پیش‌بینی شده است.

شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری در جهت ارتقای کیفیت سیاست‌گذاری در زمینه‌های مختلف علوم، تحقیقات و فناوری و راهبری توسعه فناوری‌های دارای اولویت ملی، اقدام به تشکیل کمیسیون‌های دوازده‌گانه نموده است. از مهم‌ترین وظایف این کمیسیون‌ها می‌توان به اولویت‌بندی و پیشنهاد اجرای طرح‌های اجرائی بلندمدت سرمایه‌گذاری کلان در بخش‌های آموزشی، پژوهشی و فناوری و همچنین بررسی و پیشنهاد منابع مالی مورد نیاز در حوزه‌های علوم، تحقیقات و فناوری اشاره کرد [۲۶].

وظایف شورای عالی علوم تحقیقات و فناوری به شرح زیر است:

- اولویت‌بندی و انتخاب طرح‌های اجرائی بلندمدت سرمایه‌گذاری کلان در بخش‌های آموزشی و پژوهشی و فناوری
- بررسی و پیشنهاد منابع مالی موردنیاز در حوزه‌های علوم، تحقیقات و فناوری
- مجلس شورای اسلامی در بند ۲۶ قانون بودجه سال ۱۳۸۸، کلیه دستگاه‌های اجرایی را مکلف به تهیه گزارش از عملکرد بودجه‌های پژوهشی خود نموده و وزارت علوم، تحقیقات و فناوری نیز موظف است گزارشات مزبور را جمع‌بندی و به شکل جامعی به مجلس ارائه نماید.

در واقع با توجه به بند اول وظایف این شورا، می‌توان این شورا را جزء سیاست‌گذاران پژوهشی کشور قلمداد نمود.

۴-۲-۳-۱- معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری در ۱۵ بهمن سال ۱۳۸۵ به دستور ریاست جمهور وقت و با استناد به اصل ۱۲۴ قانون اساسی تشکیل گردید. معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری زیر نظر رئیس جمهور قرار دارد و به‌منظور هماهنگی و هم‌افزایی امور علمی و فناوری در کل کشور تشکیل شده است که از وزارتخانه‌ها و سایر دستگاه‌های اجرایی کشور مجزا است و از ۵ معاونت تشکیل شده که عبارت‌اند از: معاونت سیاست‌گذاری و ارزیابی راهبردی، معاونت توسعه فناوری، معاونت نوآوری و تجاری‌سازی، معاونت امور بین‌الملل و تبادل فناوری و معاونت توسعه مدیریت و منابع. دفتر سیاست‌گذاری معاونت سیاست‌گذاری و ارزیابی راهبردی نقش سیاست‌گذار را بر عهده دارد.

اهداف معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری عبارت‌اند از:

- ارتقای اقتدار ملی، تولید ثروت و افزایش کیفیت زندگی مردم از طریق افزایش توانمندی‌های فناوری و نوآوری در کشور
- ارتقای «نظام ملی نوآوری» و تکمیل مؤلفه‌ها و حلقه‌های آن
- توسعه «اقتصاد دانش‌بنیان» از طریق هماهنگی و هم‌افزایی بین‌بخشی و بین دستگاهی
- ارتقای ارتباط «دانش» با «صنعت» و «جامعه» و تسهیل تبادلات بین بخش‌های عرضه و تقاضای فناوری و نوآوری
- تجاری‌سازی دستاوردهای فناوری و نوآوری و توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان
- توسعه فناوری‌های راهبردی و اولویت‌دار ملی مطرح در نقشه جامع علمی کشور
- اعتلای ارتباطات بین‌المللی علمی، فناوری و نوآوری و توسعه دیپلماسی علمی و فناوری

وظایف اساسی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری عبارت‌اند از:

- سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی تأمین منابع مالی در نظام علم، فناوری و نوآوری کشور
- هدفمندسازی، هدایت و توسعه پژوهش‌های کاربردی، تقاضامحور و مأموریت گرا و کمک به تجاری‌سازی نتایج آن‌ها
- توسعه دیپلماسی علم و فناوری و ارتباطات بین‌المللی و توسعه سرمایه‌گذاری خارجی در طرح‌های دانش‌بنیان، هدایت سرمایه‌های انسانی و مالی ایرانیان خارج از کشور و توسعه شبکه‌های بین‌المللی علم و فناوری به‌ویژه در جهان اسلام با هماهنگی و همکاری دستگاه‌های ذی‌ربط
- توسعه سازوکارهای سرمایه‌گذاری خطرپذیر تأمین مالی لازم در اقتصاد دانش‌بنیان

- تحریک تقاضا، بازارسازی و تضمین بازار برای تولیدات داخلی و بازاریابی و صادرات کالاها و خدمات دانش‌بنیان
- رصد فرصت‌های بین‌المللی به‌منظور توسعه فناوری به‌ویژه شناسایی و کسب فناوری‌های نوظهور با هماهنگی و همکاری دستگاه‌های ذی‌ربط
- انجام اقدامات لازم جهت توسعه اولویت‌های علم و فناوری نقشه جامع علمی کشور

۵-۲-۳-۱- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

به‌منظور پیشبرد اهداف و انجام وظایف معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهوری کارگروه‌های تخصصی به شرح زیر وجود دارد:

- کارگروه برنامه‌ریزی تحول اداری
- کارگروه زیربنایی و عمران
- کارگروه آب کشاورزی و منابع طبیعی
- کارگروه صنعت و معدن
- کارگروه بهینه‌سازی مصرف سوخت
- کارگروه شهرسازی و معماری
- کارگروه آمایش و محیطزیست
- کارگروه گردشگری و میراث فرهنگی
- کارگروه اشتغال و سرمایه‌گذاری
- کارگروه توسعه صادرات
- کارگروه پژوهش، آمار و فناوری اطلاعات
- کارگروه آموزش‌وپرورش
- کارگروه اجتماعی
- کارگروه بهداشت، درمان و تأمین اجتماعی
- کارگروه فرهنگ، هنر و تربیت‌بدنی

که در آن وظایف کارگروه‌های مربوطه به شرح زیر است.

- حمایت از تولیدکنندگان بخش صنعت از طریق توسعه مشارکت مردمی، فراهم آوردن امکانات زیربنایی، تسهیلات اعتباری و واگذاری باهدف اصلاح ساختار صنعتی
- جهت‌گیری سرمایه‌گذاری‌های جدید در بخش صنعت با توجه به پتانسیل‌ها و قابلیت‌ها
- تدوین اولویت‌های پژوهشی در امور آمایش و محیطزیست و بهداشت و درمان و پیشنهاد آن به کارگروه مربوطه [۲۷].

۶-۲-۳-۱- دفتر همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری

معاونت پژوهش و برنامه‌ریزی دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری در سال ۱۳۷۷ جهت پاسخگویی به نیازهای دفتر در شش بخش پژوهش، برنامه‌ریزی و نظارت، حقوقی و قراردادها، ارزیابی تکنولوژی، اطلاع‌رسانی داخلی و آموزش کارکنان ایجاد گردید.

وظایف و برنامه‌های این معاونت در بخش‌های مختلف به شرح زیر است:

- پژوهش

مطالعه در زمینه سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه کشورهای موفق، مطالعه و پژوهش در زمینه عوامل مؤثر در توسعه و پیشرفت کشور، کمک به فرهنگ‌سازی در عرصه تکنولوژی، مطالعه و پژوهش در مبانی تکنولوژی، تدوین مفاهیم و روش‌های مناسب انتقال تکنولوژی، مطالعه وضع موجود تکنولوژی‌های کشور، پیش‌بینی روند توسعه تکنولوژی‌های داخل کشور و سایر کشورها، بالاخص در زمینه تکنولوژی‌های موردنیاز کشور، کمک به تشکیل و راه‌اندازی کانون‌های تحلیلگری و ایجاد ارتباط با مجموعه‌های فکری موجود در داخل و خارج از کشور، ایجاد ارتباط بین محققین و تحلیلگران در عرصه تکنولوژی

- ارزیابی تکنولوژی

به‌کارگیری ابزارهای مدیریت تکنولوژی و روش‌های مهندسی صنایع جهت بررسی و ارزیابی طرح‌های تکنولوژیکی و تکنولوژی‌های منتخب ازنظر میزان تناسب با نیازهای مشخص‌شده، ارزیابی میزان موفقیت در جذب تکنولوژی‌ها و رسیدن به اهداف تکنولوژیکی و مطالعه امکان‌سنجی فنی – اقتصادی پروژه‌ها.

وظایف و فعالیت‌های دفتر همکاری‌های فناوری ریاست جمهوری عبارتند از:

- تسهیل و کمک به انجام پروژه‌های مشترک با منابع خارجی
- ارتباط با ایرانیان مقیم خارج از کشور و تبادل اطلاعات در زمینه فناوری‌های نوین [۲۸].

۷-۲-۳-۱- وزارت علوم تحقیقات و فناوری

حدود اختیارات و مأموریت‌های وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به‌صورت ذیل است:

در زمینه انسجام امور اجرایی و سیاست‌گذاری نظام علمی و امور تحقیقات و فناوری:

- شناسایی مزیت‌های نسبی، قابلیت‌ها، استعدادها و نیازهای پژوهش و فناوری کشور بر مبنای آینده‌نگری و آینده‌پژوهی و معرفی آن به واحدهای تولیدی، تحقیقاتی، دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و تحقیقاتی جهت بهره‌برداری
- بررسی اولویت‌های راهبردی تحقیقات و فناوری با همکاری یا پیشنهاد دستگاه‌های اجرایی ذی‌ربط و پیشنهاد به شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری
- حمایت از توسعه تحقیقات بنیادی و پژوهش‌های مرتبط با فناوری‌های نوین بر اساس اولویت‌ها
- برنامه‌ریزی برای تدارک منابع مالی و توسعه فناوری کشور و مشارکت در ایجاد، توسعه و تقویت فناوری ملی و حمایت از توسعه فناوری‌های بومی
- اتخاذ تدابیر لازم به‌منظور افزایش کارایی و اثربخشی تحقیقات کشور و توسعه تحقیقات کاربردی با همکاری دستگاه‌های ذی‌ربط.
- اتخاذ تدابیر و تهیه پیشنهادهای لازم در خصوص انتقال فناوری و دانش فنی و برنامه‌ریزی به‌منظور بومی کردن فناوری‌های انتقال‌یافته به داخل کشور و ارائه آن‌ها به شورای عالی علوم، تحقیقات و فناوری

- ایجاد زمینه‌های مناسب برای عرضه فناوری در داخل و خارج کشور و حمایت از صدور فناوری‌های تولیدشده در کشور و کمک به ایجاد انجمن‌ها و شرکت‌های غیردولتی علمی، تحقیقاتی و فناوری
- اتخاذ راهکارهای مناسب برای کمک به توسعه پژوهش و فناوری در بخش‌های غیردولتی

در زمینه اداره امور دانشگاه‌ها و موسسات آموزش عالی تحت پوشش وزارت علوم، تحقیقات و فناوری:

- تعیین راهکارهای لازم و برنامه‌ریزی و حمایت از ایجاد و گسترش دانشگاه‌ها، مؤسسات آموزش عالی، مراکز تحقیقاتی و فناوری و دیگر مراکز فعالیت‌های علمی – پژوهشی همانند شهرک‌های تحقیقاتی، آزمایشگاه‌های ملی، موزه‌های علوم و فنون با استفاده از منابع دولتی و غیردولتی و مشارکت‌های مردمی متناسب با نیازها و ضرورت‌های کشور
- برنامه‌ریزی اجرایی، آموزشی و تحقیقاتی متناسب با نیازها و تحولات علمی و فنی در جهان
- نظارت بر فعالیت‌های دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی و تحقیقاتی کشور

درمجموع این وزارتخانه هم نقش نظارت بر دانشگاه‌های کشور را بر عهده دارد که وظیفه معاونت آموزشی این وزارتخانه است و هم نقش سیاست‌گذاری نظام علمی و امور تحقیقات و فناوری را بر عهده دارد که وظیفه مرکز برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری پژوهشی در معاونت پژوهش و فناوری این وزارتخانه است [۲۹].

۸-۲-۳-۱- وزارت نیرو

وزارت نیرو یکی از مهم‌ترین وزارتخانه‌های اقتصادی دولت محسوب می‌شود. میزان اعتبارات سالیانه این وزارت خانه به‌طور طبیعی چند برابر برخی از وزارتخانه‌ها است. اهمیت تأمین و توزیع آب و برق باکیفیت مطلوب که از حیاتی‌ترین نیازهای جامعه است، مهم‌ترین هدف این وزارت خانه محسوب می‌شود؛ اما می‌توان مهم‌ترین اهداف وزارت نیرو را به شرح زیر در چند محور ذکر کرد:

- حفاظت، نگهداری، بهره‌برداری و بهبود کمی و کیفی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی.
- رضایت و اقناع مردم با تأمین، تصفیه و توزیع مناسب آب بهداشتی سالم و دائمی برای انواع مصارف.
- بالا بردن بهداشت محیط شهرها و روستاها با طراحی و اجرای شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب.
- تأمین نیازهای انرژی باکیفیت مطلوب و تمام‌وقت برای انواع مصارف شهروندان
- دیدگاه بلندمدت (دورنگر) به صیانت از منابع آب و انرژی و انتقال آن به نسل‌های آینده

وظایف و مأموریت‌های این وزارتخانه در بخش برق شامل موارد زیر است:

- سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، اجرا و توسعه طرح‌های تولید، انتقال و توزیع انرژی برق در شهرها و روستاهای سراسر کشور
- بررسی و تدوین پیشنهادهای لازم درزمینه راهبردها، سیاست‌ها، برنامه‌ها، قوانین و آیین‌نامه‌های صنعت برق و تعرفه‌های بهای مصرف و اشتراک برق به‌طور سالیانه جهت ارائه به دولت و مجلس و اجرای آن‌ها
- برنامه‌ریزی جهت انجام طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی مرتبط با فعالیت شرکت و هماهنگی و برنامه‌ریزی آموزشی به‌منظور ارتقای سطح علمی کارکنان صنعت برق کشور
- جذب سرمایه‌های داخلی و خارجی و ایجاد زمینه‌های لازم برای مشارکت بخش خصوصی در اجرای طرح‌های تولید و انتقال برق در سراسر کشور.
- عضویت در کمیته و کنوانسیون‌های جهانی انرژی و کسب و تبادل اطلاعات لازم به‌منظور استاندارد کردن وارتقاء فعالیت‌های صنعت برق کشور

- هدفمند کردن میزان مصرف برق و یارانه‌ها برابر استانداردهای جهانی
- سیاست‌گذاری، نظارت و هماهنگی بین شرکت‌های زیرمجموعه به‌منظور اجرای به‌موقع طرح‌های برق در راستای پیشبرد اهداف کلان صنعت برق کشور

۹-۲-۳-۱- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی با دو هدف کلی: (۱) ساماندهی فعالیت‌های تصدی دولت در زمینه تولید برق حرارتی متصل به شبکه انتقال و فوق توزیع برق کشور و (۲) راهبری شرکت‌های زیرمجموعه و برنامه‌ریزی، مدیریت، توسعه و بهره‌برداری از نیروگاه‌های یادشده در چارچوب سیاست‌های وزارت نیرو و تسهیل مشارکت بخش غیردولتی در تولید برق حرارتی، یکی از بازیگران اصلی در حوزه نیروگاه‌های حرارتی به شمار می‌رود [۳۰].

در بحبوحه سخت‌ترین سال‌های جنگ تحمیلی که تأسیسات صنعتی ایران یکی پس از دیگری با بمباران‌های پی‌درپی تخریب می‌شدند، تصمیم گیران بر آن شدند که ۸ سال پس از پیروزی انقلاب اسلامی و قطع دست بیگانگان از منابع ملی، در سال ۱۳۶۶ نسبت به تشکیل شرکت برق ایران در قالب معاونت طرح و توسعه شرکت توانیر اقدام ورزند. پس‌ازآن به مدت ۱۰ سال این تشکیلات جدید برای حفظ تأسیسات، بازسازی و ایجاد ظرفیت‌های جدید تلاش کرد تا در نهایت در سال ۱۳۷۵ سازمان توسعه برق ایران به عنوان یکی از بازوهای اجرایی وزارت نیرو شکل گرفت.

هیأت وزیران در جلسات ۲۸/۱۲/۱۳۹۲ و ۲۷/۰۷/۱۳۸۹ براساس پیشنهادهای مشترک وزارتخانه‌های نیرو و امور اقتصادی و دارایی به استناد ماده (۱۳) قانون اجرای سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی (مصوب ۱۳۶۸) و ماده‌واحده قانون استفساریه در خصوص اختیار اصلاح اساسنامه سازمان‌ها، شرکت‌ها و مؤسسات دولتی و وابسته به دولت (مصوب ۱۳۷۷)، اساسنامه «شرکت سهامی سازمان توسعه برق ایران» را به «شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی» اصلاح و تصویب کرد. با تائید این اساسنامه در تاریخ ۱۲/۱۱/۱۳۹۳ توسط شورای نگهبان روند تبدیل سازمان توسعه برق ایران به شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی وارد مرحله نهایی گشت و این شرکت در تاریخ ۱۵/۰۷/۱۳۹۴ فعالیت رسمی خود را آغاز کرد.

دو مورد از خط‌مشی شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی مطابق با مصوبات جلسات هیئت‌رئیسه به شرح زیر است:

- توسعه و بهره‌برداری بهینه از نیروگاه‌های حرارتی
  - احداث نسل جدید نیروگاه‌های حرارتی با راندمان بالا و حمایت از بومی‌سازی فناوری ساخت، راه‌اندازی، بهره‌برداری و تعمیرات این نیروگاه‌ها
  - برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های بازتوانی، نوسازی و ارتقای راندمان نیروگاه‌های حرارتی موجود
  - انجام به‌موقع تعمیرات، بهسازی نیروگاه‌ها، مدیریت مصرف سوخت و سایر تمهیدات با هدف ارتقای بهره‌وری عوامل تولید
  - تأمین برق پایدار و موردنیاز شبکه سراسری از طریق نظارت و راهبری بر احداث در حوزه بهره‌برداری و توسعه نیروگاه‌های حرارتی
- بهره‌وری
  - افزایش متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور
  - مدیریت منابع و مصارف آب از طریق اصلاح سیستم‌های خنک‌کن نیروگاه‌ها و جایگزینی روش‌های تأمین آب

همچنین وظایف و مأموریت‌های شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی مطابق زیر تعریف شده است:

برنامه‌ریزی و مدیریت (توسعه و بهره‌برداری) ظرفیت‌های تولید برق حرارتی در چارچوب برنامه‌های جامع و کلان وزارت نیرو

ساماندهی و مدیریت شرکت‌های تولیدکننده برق حرارتی که تمام یا بخشی از سهام آن‌ها متعلق به دولت است

توسعه ظرفیت‌های تولید برق حرارتی در چارچوب مقررات مربوط

همکاری با نهادهای ذی‌ربط برای واگذاری نیروگاه‌های دولتی و سهام دولت در شرکت‌های تولید نیروی برق به بخش غیردولتی و افزایش سهم این بخش در تولید برق در چارچوب مقررات مربوط

انجام تمهیدات لازم برای جلب مشارکت بخش غیردولتی برق در احداث نیروگاه‌های جدید و توسعه ظرفیت و بهینه‌سازی نیروگاه‌های موجود، در جهت تحقق برنامه‌های مصوب وزارت نیرو

اجرای سیاست‌ها، برنامه‌ها و مصوبات وزارت نیرو

مدیریت سهام و سرمایه‌های شرکت در شرکت‌های زیرمجموعه

اتخاذ تدابیر لازم و همکاری برای واگذاری بخشی از سهام شرکت از طریق بورس اوراق بهادار

انجام حمایت لازم برای افزایش بهره‌وری عوامل تولید در شرکت‌های زیرمجموعه

اخذ هرگونه تسهیلات مالی، عرضه اوراق مشارکت و سایر روش‌های تأمین منابع مالی با رعایت موزارین قانونی

مدیریت، توسعه و تأمین منابع مالی و استفاده بهینه از این طریق برقراری تسهیلات و گردش منابع مالی بین شرکت و شرکت‌های زیرمجموعه

استفاده بهینه از سود حاصل از سرمایه‌گذاری‌ها و سایر منابع داخلی شرکت و شرکت‌های تابع در راستای حمایت از بخش خصوصی در جهت احداث، توسعه و بهینه‌سازی تأسیسات و تأمین تجهیزات و خدمات تولید برق. شرکت می‌تواند با تأیید وزارت نیرو با استفاده از منابع فوق به احداث، توسعه و بهینه‌سازی تأسیسات تولید برق دولتی مبادرت ورزد.

ارتقای بازده نیروگاه‌های حرارتی با توسعه روش‌هایی مانند تولید هم‌زمان برق و حرارت و برودت و تولید آب شیرین با استفاده از حرارت بازیافتی

انجام اقدامات لازم و اعمال حمایت برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید برق حرارتی

حمایت از سرمایه‌گذاری‌های خطرپذیر با استفاده از ظرفیت نهادهای مالی و منابع داخلی شرکت

مدیریت و هماهنگی بین شرکت‌های زیرمجموعه و هدایت آن‌ها در جهت سیاست‌های تعیین‌شده از طرف وزارت نیرو

نظارت بر مدیریت و نظام مالی شرکت‌های تابع

انجام هرگونه عملیات اجرایی، مهندسی، بازرگانی، مالی، معاملات و سرمایه‌گذاری، تشکیل شرکت، مشارکت در مؤسسات و شرکت‌های دیگر که در راستای سیاست‌های وزارت نیرو و مرتبط با موضوع شرکت باشند، با رعایت قوانین و مقررات مربوط

انجام و حمایت از فعالیت‌های پژوهشی، نوآوری و فن‌آوری در حوزه فعالیت شرکت

۱۰-۲-۳-۱- سازمان استاندارد ایران

هدف سازمان استاندارد ایران تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) و نظارت بر اجرای آن‌ها و همچنین انجام تحقیقات مربوطه است.

فعالیت‌های اساسی این سازمان در حوزه‌های زیر است:

- تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) به‌عنوان تنها مرجع رسمی این وظیفه در کشور
- انجام تحقیقات به‌منظور تدوین استاندارد، بالا بردن کیفیت کالاهای تولید داخلی، کمک به بهبود روش‌های تولید و کارایی صنایع
- ترویج استانداردهای ملی
- نظارت بر اجرای استانداردهای اجباری
- کنترل کیفی کالاهای صادراتی مشمول استاندارد اجباری و جلوگیری از صدور کالاهای نامرغوب به‌منظور فراهم نمودن امکانات رقابت با کالاهای مشابه خارجی و حفظ بازارهای بین‌المللی
- کنترل کیفیت کالاهای وارداتی مشمول استاندارد اجباری به‌منظور حمایت از مصرف‌کنندگان داخلی و جلوگیری از ورود کالاهای نامرغوب خارجی
- راهنمایی علمی و فنی تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان انواع کالاها

- آزمایش و تطبیق نمونه کالا با استانداردهای مربوط، اعلام مشخصات و اظهارنظر مقایسه‌ای و صدور گواهینامه‌های لازم [۳۱].

۱۱-۲-۳-۱- سازمان محیطزیست

تحقق اصل پنجاهم قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران به‌منظور حفاظت از محیط زیست و تضمین بهره‌مندی صحیح و مستمر از محیطزیست به‌نحوی‌که ضمن حفظ تعادل مناسبات زیستی موجبات توسعه پایدار و بهبود، رشد و اعتلای کیفی انسان‌ها فراهم آید. سازمان حفاظت از محیطزیست، سازمانی دولتی است که بر امور مربوط به حفظ محیطزیست ایران نظارت دارد .این سازمان وابسته به ریاست جمهوری ایران است.

وظایف اساسی سازمان به شرح زیر است:

- حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی کشور و ترمیم اثرات سوء گذشته در محیطزیست
- پیشگیری و ممانعت از تخریب و آلودگی محیطزیست
- ارزیابی ظرفیت قابل‌تحمل محیط در جهت بهره‌وری معقول و مستمر از منابع محیطزیست.
- نظارت مستمر بر بهره‌برداری از منابع محیطزیست.
- برخورد فعال با زمینه‌های بحرانی محیطزیست شامل آلودگی‌های بیش از ظرفیت قابل‌تحمل محیط.
- بررسی، مطالعه و تحقیق به‌منظور دستیابی یا حصول شناسایی در زمینه‌های زیر:
  - عوامل آلوده‌کننده و مخرب محیطزیست در زمینه آب، هوا، خاک، مواد زائد، آفت‌کش‌ها، کودهای شیمیائی، سروصدا و نظایر آن‌ها.
  - چگونگی استقرار پدیده‌های عمرانی و توسعه کشور مانند واحدهای صنعتی، نیروگاه‌ها، سدها، مجتمع‌های کشاورزی و عمرانی و سکونت‌گاه‌های انسانی و نظایر آن.
  - استفاده از تکنولوژی سازگار با محیط

۱۲-۲-۳-۱- سازمان بهره‌وری انرژی ایران

سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) با هدف ارتقاء و بهبود کارآئی انرژی تشکیل گردیده است. این سازمان وظیفه خود می‌داند تا با تمام توان در راستای تحقق موضوع فعالیت خود که عبارت است از توسعه مدیریت تولید، تقاضا و مصرف انرژی جهت استفاده کارآمد و بهینه از منابع انرژی در سراسر کشور، کنترل و کاهش آلودگی محیطزیست، از طریق انجام مطالعات، تحقیق توسعه، آموزش، انتشارات و ارائه خدمات مطلوب علمی، فنی و تخصصی گام برداشته و جهت رسیدن به اهداف موردنظر و اجرای آن تمامی تلاش خود را بکار ببندند.

وظایف این سازمان عبارت‌اند از:

- توسعه مدیریت انرژی به‌منظور استفاده کارآمد و بهینه از منابع انرژی، از طریق انجام مطالعات، تحقیق و توسعه، آموزش و آگاه‌سازی، انتشارات، طراحی، مشاوره و اطلاع‌رسانی، مدیریت ساخت و اجرای، حمایت‌های فنی و اقتصادی و ظرفیت‌سازی به‌ویژه در بخش‌های غیردولتی.
- مدیریت طرح‌ها و پروژه‌های مرتبط با هدف و موضوع فعالیت شرکت.
- همکاری و اشتراک مساعی با شرکت‌ها و مؤسسات در جهت تحقق موضوع فعالیت و هدف شرکت.
- انجام اموری که شرکت مادر تخصصی توانیر انجام آن را به شرکت در حوزه فعالیت آن محول نماید.
- انجام هرگونه عملیات و معاملات که علاوه بر رعایت صرفه و صلاح، برای مقاصد شرکت ضروری و مرتبط باشد.

۱۳-۲-۳-۱- پژوهشگاه نیرو

به‌منظور تحقق بخشی از وظایف پژوهشی وزارت نیرو و نیز ارتقاء کیفی امور آن وزارتخانه، پژوهشگاه نیرو وابسته به وزارت نیرو تأسیس گردید. پژوهشگاه نیرو سازمانی دولتی که مسئولیت راهبری تحقیقات وابسته به صنعت برق و انرژی ایران برگزار می‌کند. پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۶ با اخذ مجوز سه پژوهشکده «برق»، «تولید نیرو» و «انتقال و توزیع نیرو» از شورای گسترش آموزش عالی به‌طور رسمی کار خود را آغاز و در سال ۱۳۷۷ با اخذ دو مجوز جدید پژوهشکده‌های «انرژی و محیط‌زیست» و «کنترل و مدیریت شبکه» را نیز به مجموعه خود افزود و در ادامه با ایجاد «مراکز شیمی و مواد»، «توسعه فناوری توربین‌های بادی» و «آزمایشگاه‌های مرجع» فعالیت‌های خویش را توسعه بخشید.

با توجه به نقش زیر بنایی صنعت برق در رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور، پژوهشگاه نیرو با انجام پروژه‌های بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای به‌منظور پاسخگویی بهتر و بیشتر به نیازهای صنعت برق و رفع مشکلات آن و دستیابی به فناوری‌های نوین اقدام به تعریف پروژه برنامه استراتژیک خود هم‌راستا با خواسته‌ها و برنامه‌های استراتژیک وزارت نیرو و برنامه توسعه پنجم کشور نموده و در سال ۱۳۸۷ پس از تبیین بیانیه‌های مأموریت، چشم‌انداز و ارزش‌های سازمانی با تحلیل محیط داخل و خارج و همچنین مطالعات تطبیقی در عرصه بین‌المللی استراتژی‌ها و اهداف پژوهشگاه را تدوین و در سال ۱۳۸۹ با استفاده از متدولوژی کارت امتیازی متوازن (BSC) با اجرای برنامه‌ها و دستیابی به اهداف کمی راه رسیدن به چشم‌انداز را هموار نموده است.

فلسفه وجودی مأموریت پژوهشگاه نیرو شامل ارتقاء فناوری، توسعه پژوهش و نوآوری جهت افزایش توانمندی، رقابت‌پذیری و بهره‌وری صنعت برق و انرژی کشور است.

محصولات و خدمات این مأموریت تکمیل چرخه مدیریت نوآوری و فناوری صنعت برق و انرژی از طریق:

- انجام تحقیقات توسعه‌ای و کاربردی و بنیادی در حوزه صنعت برق و انرژی
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلندمدت و با ریسک بالای صنعت برق و انرژی
- مدیریتِ تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای صنعت برق و انرژی
- آینده‌نگاری، سیاست پژوهی و برنامه‌ریزی فناوری‌های نوین در عرصه صنعت برق و انرژی
- اکتساب فناوری‌های نوین در عرصه صنعت برق و انرژی
- تجاری‌سازی نتایج تحقیقات و به‌کارگیری در صنعت برق و انرژی
- تهیه استانداردها و ارائه خدمات آزمایشگاهی و ارزیابی کیفیت تجهیزات و سیستم‌های صنعت برق و انرژی
- طراحی و توسعه زیرساخت‌های موردنیاز جهت ایجاد مراکز و شرکت‌های نوآور در حوزه صنعت برق و انرژی
- ایجاد و توسعه شبکه فناوری میان دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و قطب‌های علمی پژوهشی داخل و خارج کشور در حوزه صنعت برق و انرژی

۱۴-۲-۳-۱- دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)

در معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو، دفتری تحت عنوان دفتر استانداردهای فنی و مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی شکل‌گرفته است که با رویکرد حاکمیتی و با بهره‌گیری از دستاوردهای گذشته، به این مهم بپردازد.

به‌طورکلی نتایج نهایی فعالیت‌های صنعت برق از طریق کارآمدی و اثربخشی کوتاه‌مدت، میان‌مدت و درازمدت آشکار می‌شود و جامعه و مسئولین آن را از دو طریق درک می‌نمایند:

۱. تأثیرگذاری مثبت بر کیفیت زندگی مردم
۲. تأثیرگذاری مثبت بر توسعه پایدار ملی.

برای دستیابی به این نتایج، امور برق و انرژی وزارت نیرو در موارد زیر بر صنعت برق و تعاملات آن نظارت عالیه داشته و اعمال حاکمیت می‌نماید:

۱. حفاظت از حقوق متقابل مشتریان و بخش عرضه برق
۲. حفظ پایایی و امنیت سیستم قدرت کشور
۳. بهره‌وری بخش عرضه برق
۴. مدیریت تقاضای برق
۵. تعاملات صنعت برق با محیط‌زیست
۶. خوداتکایی علمی و فنی صنعت برق
۷. بازرگانی برق (بازرگانی داخلی و خارجی)
۸. توازن و پایداری اقتصادی صنعت برق

ابزار معاونت امور برق و انرژی وزارت نیرو برای نظارت عالیه و اعمال حاکمیت عبارت‌اند از: سیاست‌گذاری‌ها، برنامه‌ریزی‌های ملی، مقررات، استانداردها، ضوابط فنی، نقشه‌های راه فناوری، نظامنامه‌ها، آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها، ایجاد شرایط مناسب ملی و بین‌المللی.

دفتر استانداردهای فنی و مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی، به‌عنوان یک دفتر از معاونت امور برق و انرژی، مسئولیت تدوین استانداردها و مقررات فنی، مدیریت ظرفیت‌سازی برای استقرار و تحقق و نیز نظارت بر اجرا و بهبود مداوم آن‌ها را، در تمامی موارد هشت‌گانه فوق، با اثرگذاری مستقیم و یا با واسطه، بر عهده دارد.

ذکر این نکته ضروری است که دستیابی شهروندان، صنایع و سازمان‌ها به برق، الزاماً از طریق شبکه سراسری انجام پذیرد بلکه استفاده از شبکه‌ها و ظرفیت‌های محلی و خصوصی نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد که در این زمینه‌ها نیز استانداردها و مقررات فنی کاربرد گسترده‌ای دارند.

۱۵-۲-۳-۱- صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور

هدف از تأسیس صندوق، شکوفایی امور تحقیقاتی در راستای تولید علم، فناوری و تجاری‌سازی و بهره‌مند شدن مردم از نتایج آن‌ها، از طریق ارائه کمک‌ها و خدمات حمایتی و مادی و معنـوی به پژوهشگران و فناوران حوزوی و دانشگاهی ایرانی اعم از حقیقی و حقوقی است.

در صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور پروژه‌های تحقیقاتی مورد حمایت قرار می‌گیرند که بر اساس نیازها و مزیت‌های کشور توصیف شده باشند.

انواع حمایت‌های مادی و معنوی از پژوهشگران و فناوران به صورت زیر است:

- کمک به اجرای طرح‌های تحقیقاتی
- حمایت از دوره‌های پسادکترا
- حمایت از طرح‌های تحقیق و توسعه
- اعطای کرسی پژوهشی
- کمک به ثبت بین‌المللی اختراعات
- حمایت از ایجاد و توسعه زیرساخت‌های پژوهشی
- ثبت ایده‌ها و طرح‌ها (برخورداری صاحبان ایده‌ها و طرح‌ها از منافع حقوقی آن‌ها)

- گرنت
- کمک برای به ثمر رساندن نوآوری‌ها و خلاقیت‌های منجر به تولید
- و دیگر فعالیت‌های حمایتی

۱۶-۲-۳-۱- صندوق مالی توسعه تکنولوژی ایران

صندوق مالی توسعه تکنولوژی ایران در سال ۱۳۷۴ از تغییر نام صندوق مالی حمایت از محققین و مخترعین شکل گرفت. هدف اصلی صندوق عبارت است از تأمین منابع مالی موردنیاز طرح‌های مبتنی بر دانش و فناوری و کارآفرینان فناور، محققین و مخترعین نوآور (اعم از حقیقی و حقوقی) به منظور نیل به خودکفایی و استقلال اقتصادی کشور و رهایی از وابستگی و توسعه بازار داخلی و خارجی خدمات و محصولات مبتنی بر دانش و فناوری کشور.

اولویت‌های صندوق در حوزه‌های زیر است:

۱. بیو تکنولوژی
۲. صنایع پایین‌دستی پتروشیمی مبتنی بر فناوری
۳. مواد پیشرفته
۴. نانوتکنولوژی
۵. تجهیزات و سیستم‌های پیشرفته الکترونیکی و مخابراتی
۶. تجهیزات پیشرفته پزشکی
۷. صنایع شیمیایی و فرایندی پیشرفته [۳۲].

۱۷-۲-۳-۱- پارک‌های علم و فناوری

یک "پارک علمی" سازمانی است که به‌وسیله متخصصین حرفه‌ای مدیریت می‌شود و هدف اصلی آن افزایش ثروت در جامعه از طریق ارتقاء فرهنگ نوآوری و رقابت در میان شرکت‌های حاضر در پارک و مؤسسه‌های متکی بر علم و دانش است.

اهداف پارک‌های علم و فناوری در ذیل تشریح شده است.

۱. گسترش و تقویت روح پژوهش و تفکر علمی در جامعه
۲. تلاش منظم و مستمر به‌منظور رویارویی با نیازهای حال و آینده
۳. کمک به توسعه هماهنگ بخش‌های مختلف ازجمله دانشگاه‌ها و صنایع از طریق برقراری ارتباط سازمان‌یافته
۴. رشد و پرورش خلاقیت‌ها و ایجاد روحیه کارآفرینی در فارغ‌التحصیلان
۵. زمینه‌سازی مناسب جهت تجاری نمودن تحقیقات

وظایف آن نیز به شرح ذیل است:

۱. سازمان‌دهی امکانات تحقیق و توسعه برای ایجاد پیوند بین منابع و مهارت‌های دانشگاه‌ها و مراکز علمی و فناوری و صنعتی
۲. جهت دادن مؤثر جامعه علمی کشور به‌سوی تحقیق در رشته‌های موردنیاز
۳. برنامه‌ریزی و ایجاد زمینه مناسب به‌منظور کاربردی و تجاری کردن نتایج تحقیقات
۴. ایجاد فضای مناسب علمی و پژوهشی برای جذب دانشمندان و متخصصان داخل و خارج از کشور

۵. ارتقاء دانش فنی متخصصین برای بروز خلاقیت‌ها و نوآوری‌ها در زمینه فناوری
۶. دستیابی به آخرین اطلاعات و دانش فنی موردنیاز به‌منظور کسب و ایجاد فناوری برتر به‌منظور رقابت در جامعه جهانی
۷. اشاعه فرهنگ و سازمان‌دهی فعالیت‌های جمعی تحقیقاتی و فناوری و استفاده از امکانات پارک‌ها
۸. ایجاد بستر مناسب برای فعالیت واحدها و مؤسسه‌های علمی و فناوری غیردولتی و دولتی در پارک [۳۳].

۱۸-۲-۳-۱- دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی

تقریباً همه دانشگاه‌های کشور در زمینه ماشین‌های الکتریکی دوار فعالیت می‌کنند که می‌تواند ارائه‌کننده خدمات آموزشی و پژوهشی باشند.

۱۹-۲-۳-۱- صندوق غیردولتی پژوهش و فناوری صنعت برق

صندوق در تاریخ ۱۳۸۳/۱۱/۴ بر اساس مجوز ماده ۱۰۰ قانون برنامه سوم توسعه به‌صورت موسسه غیرتجاری تأسیس و تحت شماره ۱۷۷۱۳ به ثبت رسیده است. سرمایه صندوق توسط واحدهای فعال در زمینه‌های مختلف صنعت برق به شرح زیر تأمین شده است:

- شرکت مادر تخصصی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر)
- شرکت مادر تخصصی مدیریت تهیه و ساخت کالای آب و برق (ساتکاب)
- شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مپنا)
- شرکت سرمایه‌گذاری صنایع برق و آب (صبا)
- شرکت ایران ترانسفو

هدف صندوق عبارت است از حمایت از فعالیت‌های محققین و طرح‌های تحقیقاتی بخش غیردولتی صنعت برق به‌منظور:

- تولید و توسعه دانش فنی.
- ارتقاء سطح فناوری.
- جذب، انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های نوین جهان.

انواع حمایت‌ها:

- اعطای تسهیلات اعتباری (به‌صورت عقود اسلامی) جهت اجرای طرح‌های تحقیقاتی.
- اعطای یارانه سود برای طرح‌های تحقیقاتی که از سایر منابع مالی و اعتباری کشور تسهیلات دریافت داشته‌اند.
- صدور ضمانت‌نامه و تضمین برای بازپرداخت تسهیلات دریافتی طرح‌های تحقیقاتی از سایر منابع مالی و اعتباری کشور.
- مشارکت، سرمایه‌گذاری و تأمین سرمایه خطرپذیر به‌منظور اجرای طرح‌های تحقیقاتی.

شروط کلی:

- برخورداری از حمایت‌های صندوق مشروط به رعایت اولویت‌های بخش برق کشور و احراز صلاحیت‌های لازم ازجمله اثبات توجیه‌پذیری طرح و توانایی مجریان است.

اولویت‌های اصلی در پذیرش طرح‌ها:

- طرح‌های پژوهشی کاربردی.
- طرح‌های تدوین دانش فنی.
- طرح‌های تولید نمونه آزمایشگاهی.

- طرح‌های تولید نمونه نیمه‌صنعتی.
- طرح‌های پژوهشی توسعه‌ای.
- توسعه و بومی‌سازی فناوری‌های نوین

۲۰-۲-۳-۱- شرکت فن ژنراتور

- شرکت فن ژنراتور از اولین و مهم‌ترین مراکز ساخت و ارائه خدمات ماشین‌های الکتریکی است که در سال ۱۳۶۳ تأسیس شده است. این شرکت با صنایعی مختلف ازجمله صنایع نیروگاهی، صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، پروژه‌های آب‌رسانی، صنایع فولاد و لاستیک و سیمان در ارتباط بوده و نیازهای آن‌ها را برطرف کرده است. این حجم گسترده ارتباطات با صنایع مختلف تجربیات زیادی را برای این شرکت در زمینه طراحی، ساخت و تعمیرات اساسی ماشین‌های الکتریکی فراهم کرده است. توانایی‌های این شرکت به‌صورت خلاصه در زیر گردآوری شده است:
- تولید موتورهای الکتریکی فشارقوی آسنکرون
- تولید ژنراتورهای الکتریکی آسنکرون بادی با همکاری وایرالکتریک آلمان
- تولید موتورهای الکتریکی آسنکرون فشار ضعیف برای مصارف صنعتی
- تولید انواع شینه‌های ترانسپوزه برای ژنراتورهای نیروگاهی
- تولید انواع کویل سیم‌پیچی برای موتورها و ژنراتورها
- تولید سیم تخت مسی عایق‌دار و بدون عایق
- همکاری با شرکت ANSALDO برای تولید الکتروموتورهای پروژه مپنا
- بازسازی انواع موتورها و ژنراتورهای فشار ضعیف، جریان متناوب و جریان مستقیم

از جمله نکات مثبت شرکت فن ژنراتور تجربه این شرکت در ساخت مشترک ژنراتورهای آسنکرون برای توربین‌های بادی با شرکت WIER ELECTERIC آلمان است. در این راستا، شرکت فن ژنراتور تعداد ۳۵ دستگاه ژنراتور ۶۶۰KW و ۶۹۰V برای سازمان انرژی‌های نو ایران ساخته است. شرکت فن‌ژنراتور همچنین تجربه ساخت الکتروموتورهای ۲۳۵۰/۲۵۰۰/۲۸۰۰ کیلووات به همکاری شرکت ABB را در پروژه آب‌رسانی به مشهد در سد دوستی دارد. به‌علاوه الکتروموتورهای فشارقوی در رنج توانی ۹۷۰–۱۶۰ کیلووات تحت لیسانس زیمنس آلمان در این شرکت تولید می‌شود.

سایر الکتروموتورهای ساخته‌شده در این شرکت و نزدیک به نیازمندی‌های توربین بادی:

۱- طراحی و ساخت ۷ دستگاه الکتروموتور ۱۳۱۰ کیلووات به سفارش شرکت نفت

۲- طراحی و ساخت الکتروموتور ۲۶۰۰ کیلووات شرکت نفت با ولتاژ نامی ۶kV و سرعت ۳۰۰۰ rpm

با توجه به سوابق ساخت ماشین‌های القایی با رنج توانی مرتبط (۲۸۰۰–۱۳۰۰ کیلووات) ولتاژ ۶۰۰۰ ولت، توانایی ساخت ژنراتور ۲MW، ۱۵۰۰ rpm و با سطح ولتاژ ۶۹۰V توسط این شرکت کاملاً بدیهی به نظر می‌رسد.

البته باید توجه داشت که کلیه ماشین‌های القایی از نوع قفس سنجابی هستند. درنتیجه ذکر ۲ نکته ضروری است:

۱- ازآنجاکه در ماشین‌های القایی قفس سنجابی، توان انتقالی به روتور از طریق فاصله هوایی به‌صورت حرارت در مقاومت میله‌های روتور تلف می‌شود، توان ماشین قفس سنجابی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر اگر یک ژنراتور القایی قفس سنجابی را تبدیل به یک ژنراتور القایی روتور سیم‌پیچی شده تغذیه دوگانه کنیم، چون در این حالت تلفات مسی روتور کاهش می‌یابد و توان از طریق مبدل به شبکه منتقل می‌شود، توان ژنراتور حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و یک ژنراتور ۱۵۰۰ کیلووات تبدیل به یک ژنراتور ۱۶۰۰ الی ۱۸۰۰ کیلووات خواهد شد.

۲- امکانات این شرکت برای تولید ژنراتور روتور سیم‌پیچی شده باید بررسی گردد. به نظر می‌رسد این شرکت تنها دانش ساخت روتورهای قفس سنجابی را دارد.

توانایی ساخت اجزاء مختلف:

الف) هسته استاتور

این شرکت تجربه زیادی در بازسازی و ساخت استاتور ماشین‌های AC دارد. دامنه توانی استاتورهای مورد بازسازی از ۵۵۰ تا ۱۳۴۴۰ کیلووات را در برمی‌گیرد. در ضمن توانایی ساخت هسته استاتورهای توان بالا در این شرکت نیز با توجه به مطالب گفته شده در بالا مشخص است. با توجه به این موارد، توانایی این شرکت در برش و نصب ورقه‌های استاتور ژنراتور 2MW بسیار خوب ارزیابی می‌شود.

ب) روتور

در رزومه شرکت فن ژنراتور سابقه تولید روتور AC و ۳۱۵۰ کیلووات نیروگاه منتظری اصفهان به چشم می‌خورد. البته مشخص نیست که این روتور از نوع قفس سنجابی و یا روتور سیم‌پیچی شده است.

ج) ساخت شینه

شرکت فن ژنراتور با احداث یک کارگاه مستقل به مساحت ۱۰۰۰ مترمربع که مجهز به ماشین‌آلات و تجهیزات موردنیاز ساخت شینه‌های معمولی و خنک‌شونده با آب است، توانایی ساخت انواع شینه‌ها را دارد.

د) توانایی ساخت ماشین‌های با قطر خارجی استاتور بالا و تعداد قطب زیاد

این شرکت هیچ تجربه‌ای در زمینه ماشین‌های با تعداد قطب بالا ندارد و بنابراین برای ساخت ژنراتور سنکرون با تحریک مغناطیس دائم مناسب نیست.

۲۱-۲-۳-۱- شرکت توربوژنراتور

شرکت توربوژنراتور در سال ۱۳۶۹ به‌منظور تعمیر و بازسازی انواع ماشین‌های الکتریکی تأسیس شده است. این شرکت در حال سرویس‌دهی به صنایعی همچون پتروشیمی، پالایشگاه‌ها، راه‌آهن، فولاد، مس، سیمان، چوب و کاغذ و قند و شکر و لاستیک است. دامنه فعالیت‌های این شرکت شامل موارد زیر است:

- انواع الکتروموتورهای فشارقوی
- انواع الکتروموتورهای جریان مستقیم
- انواع کویل و شینه ژنراتورها
- انواع ماشین‌های الکتریکی با تحریک مغناطیس دائم

این شرکت دارای دو کارخانه است که یکی در شاهرود و دیگری در ایوانکی قرار دارد.

عمده فعالیت‌های شرکت بر بازسازی و تعمیر استوار است و تجربه کمتری در زمینه طراحی و ساخت در آن دیده می‌شود.

۲۲-۲-۳-۱- شرکت جمکو (جوین)

شرکت جوین از شرکت‌های تابع سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران است و در سال ۱۳۶۹ تأسیس شده است.

تولیدات این شرکت شامل انواع الکتروموتور و ژنراتورهای سه فاز صنعتی از ۱۵۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات است.

شرکت سابقه ساخت ماشین‌های القایی ۱۸۰۰ کیلووات روتور سیم‌بندی شده را نیز دارد. این ماشین در صورت استفاده به عنوان ژنراتور تغذیه دوگانه توانایی تولید توان بیش از MW ۲ را نیز خواهد داشت. ولتاژ این ژنراتور ۶ کیلوولت است و درنتیجه شرکت جمکو قادر خواهد بود ژنراتور فشار ضعیف ۶۹۰ ولت نیز تولید کند.

۲۳-۲-۳-۱- پارس ژنراتور

این شرکت یکی از زیرمجموعه‌های گروه مپنا است که در زمینه تولید ژنراتورهای نیروگاهی فعالیت می‌کند. تولید ژنراتورهای واحدهای آبی و گازی از مهم‌ترین تولیدات این شرکت به شمار می‌رود.

۲۴-۲-۳-۱- شرکت‌های سازنده سیم و کابل

یکی از تأمین‌کنندگان قطعات صنعت ماشین‌های الکتریکی دوار، تولیدکنندگان سیم و کابل می‌باشند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- شرکت سیمکات
- سیم وکابل مشهد
- سیم و کابل آمل
- سیم و کابل ابهر
- و ...

۲۵-۲-۳-۱- شرکت موتوژن

شرکت موتوژن یکی از شرکت‌های تولیدکننده الکتروموتور است که در سال ۱۳۵۲ با نام گلد الکتریک تأسیس شد و در سال ۱۳۵۴ به موتوژن تغییر نام داد و در حال حاضر بیش از ۲ میلیون دستگاه انواع الکتروموتورهای تک فاز و سه فاز باکاربردهای صنعتی و خانگی را مطابق با استانداردهای جهانی نظیر IEC و NEMAو DIN تولید و به بازارهای مصرف ایران، اروپا، آسیا و آفریقا عرضه می‌کند. طرح‌های تحقیقاتی که در خصوص موتورهای الکتریکی در این شرکت انجام شده شامل موارد زیر است:

- بهینه‌سازی و توسعه الکتروموتورهای تکفاز کولری با کوپل تسمه‌ای با هدف تنوع تولیدات و بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق افزایش راندمان.
- بهینه‌سازی و توسعه الکتروموتورهای تکفاز و سه‌فاز صنعتی به‌منظور افزایش رنج تولیدات سه‌فاز تا ۴۰۰ کیلووات، توانایی پاسخ به افزایش تقاضای بازار در مورد انواع الکتروموتورهای تکفاز، تلاش برای تنوع محصولات از طریق طراحی الکتروموتور با فریم اکسترود، الکتروموتورهای آسانسور، گیربکس و الکتروموتورهای سویچ رلوکتانس (SR)
- تولید الکتروموتورهای ضد انفجار تیپ‌های EEX-d, EEX-e, EEX-n به‌منظور استفاده در صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، نساجی، مواد غذایی و معادن
  ۱. نمایندگی فروش کلیه الکتروموتورهای ضد انفجار ولتاژ پایین شرکت ABB در ایران
  ۲. ارائه خدمات سرویس، تعمیر و نگهداری و خدمات پس از فروش کلیه الکتروموتورهای ضد انفجار ولتاژ پایین
  ۳. تولید الکتروموتورهای ضد انفجار ولتاژ پایین EEX-d تحت لیسانس شرکتABB
- تولید الکتروموتورهای DC خودرو شامل دینام، استارتر، برف‌پاک‌کن، شیشه‌بالابر، فن رادیاتور و تهویه و موارد مشابه به دلیل تقاضای زیاد بازار به خودرو و همچنین اتوماسیون خودروها و استفاده از الکتروموتورهای DC خودرو.

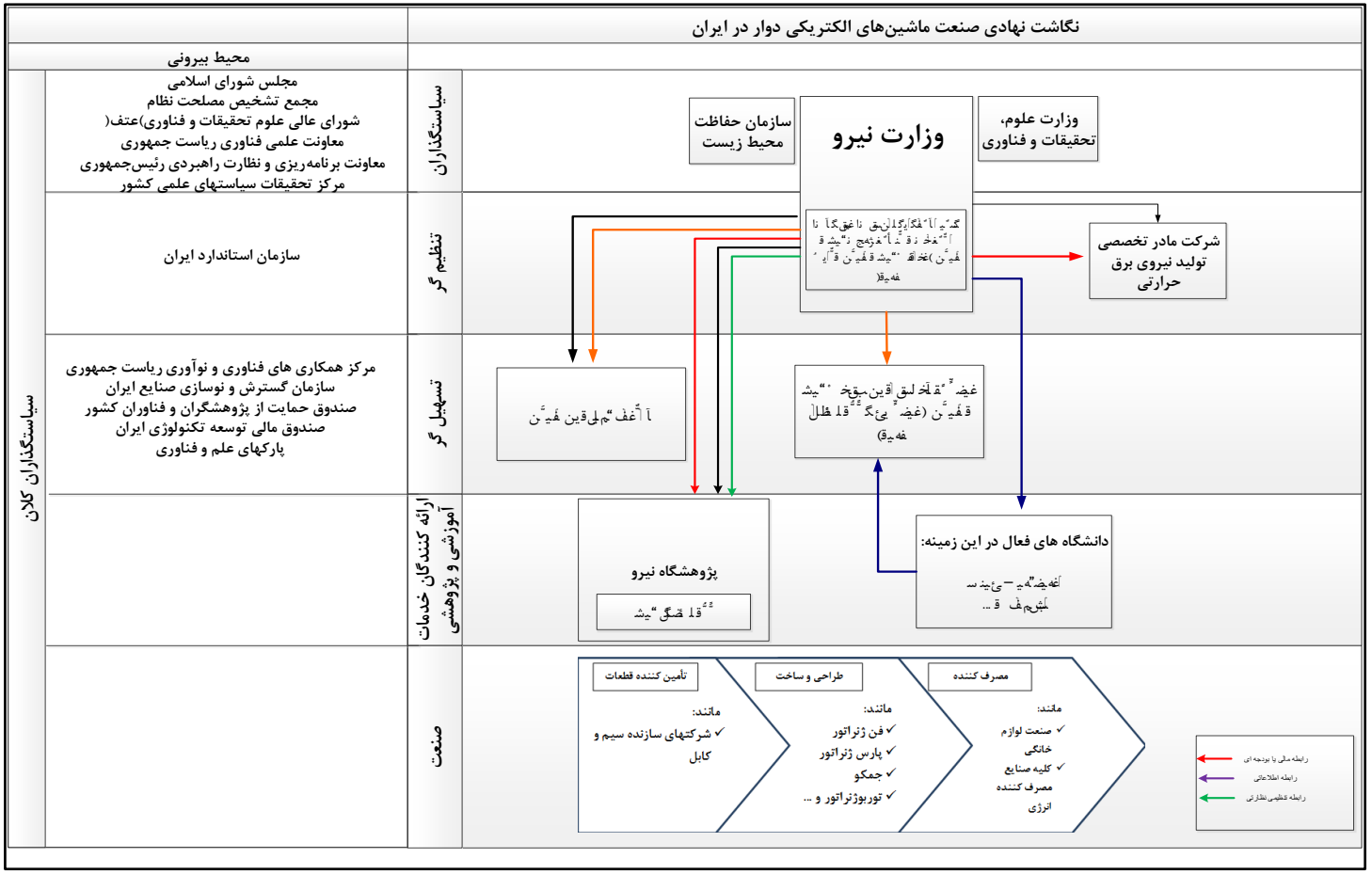
۲۶-۲-۳-۱- ترسیم نگاشت نهادی

جدول ۲۳-۱: ماتریس نهاد کارکرد صنعت ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات

کارکرد / نهاد	سیاست‌گذاری	تنظیم‌گری	تسهیل‌گری	ارائه کالا و خدمات		
				آموزشی	پژوهشی	صنعتی
مجلس شورای اسلامی	*					
مجمع تشخیص مصلحت نظام	*					

کارکرد نهاد	سیاست‌گذاری	تنظیم‌گری	تسهیل‌گری	ارائه کالا و خدمات		
				آموزشی	پژوهشی	صنعتی
شورای عالی علوم تحقیقات و فناوری (عتف)	*					
معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری	*					
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهوری	*					
دفتر همکاری‌های فناوری و نوآوری ریاست جمهوری			*			
وزارت نیرو	*					
شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی			*			
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری کشور	*					
پژوهشگاه نیرو					*	
سازمان حفاظت محیطزیست	*					
سازمان بهره‌وری انرژی	*					
مرکز تحقیقات سیاست‌های علمی کشور	*					
سازمان ملی استاندارد		*				
صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ایران			*			
صندوق مالی توسعه تکنولوژی ایران			*			
پارک‌های علم و فناوری			*			
دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی برق و انرژی (معاونت برق و انرژی وزارت نیرو)		*				
کلیه دانشگاه‌های کشور				*		
شرکت فن ژنراتور						*
شرکت توربو ژنراتور						*
شرکت پارس ژنراتور						*
شرکت‌های سازنده سیم کابل						*
شرکت جمکو						*
شرکت موتوژن						*

DOI: DOI: 10.30503/nripress.2020.325



شکل ۱۱-۱: نگاشت نهادی فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار

۲-هوشمندی بازار و فناوری در حوزه شرکت برق حرارتی

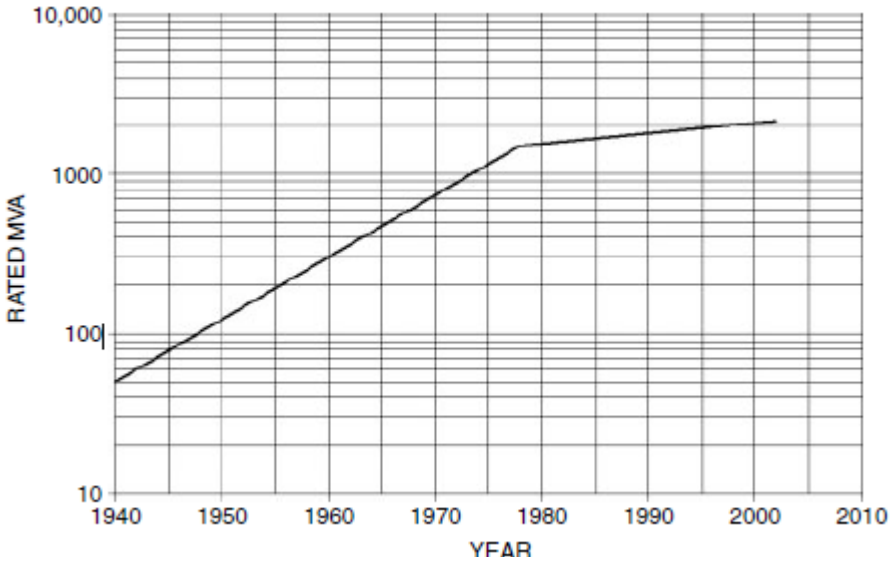
۱-۲- مقدمه

در ادبیات علمی مدیریت فناوری، توافق قابل ملاحظه‌ای بر اهمیت و ضرورت پایش و پیش‌بینی دقیق و سریع نیازهای آینده و روند پیشرفت‌های فناورانه وجود دارد. دلایل این امر شامل تغییر و تحولات سریع فناوری، جهانی شدن بازار و رقابت، افزایش نوآوری‌های فناورانه و کاهش چرخه عمر فناوری‌ها می‌باشد. لذا، هوشمندی فناوری در سطوح مختلف سازمان‌ها به منظور کمک به شناسایی تهدیدها و فرصت‌های فناورانه و بهبود تصمیم‌گیری‌های فناورانه در اینچنین محیط متغیری، پیشنهاد می‌شود. لذا در این فصل مطالعات آینده پژوهی بر روی حوزه ماشین‌های الکتریکی دوار و تجهیزات الکتریک نیروگاه حرارتی شامل ژنراتور، الکتروموتور، سیستم تحریک، راه‌انداز، درایو و سیستم پایش ارائه شده است.

۲-۲- آینده‌پژوهی فناوری و ترسیم نگاشت

۱-۲-۲- ژنراتور

ژنراتورهای الکتریکی از زمان ظهور و پیدایش انرژی الکتریکی، جزو یکی از اساسی‌ترین و جدایی‌ناپذیرترین ادوات و تجهیزات صنعت برق در جهان به شمار می‌روند و به همین دلیل محققین و بخش‌های تجاری و صنعتی، همواره توجهی به این تجهیز داشته‌اند. روند رو به رشد ساخت و توسعه توربوژنراتورهای مختلف بر اساس ظرفیت، در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توربوژنراتورهای ساخته‌شده در سال ۱۹۴۰ ظرفیتی کمتر از MVA ۱۰۰ داشتند، اما با شروع قرن بیست و یکم، ظرفیت آن‌ها به بیش از MVA ۱۴۰۰ نیز رسیده است و این توسعه‌ی ظرفیت هنوز هم ادامه دارد. در ادامه انواع ژنراتورهای الکتریکی معرفی می‌شوند و درباره آن‌ها توضیحاتی ارائه خواهد شد سپس کاربردهای انواع ژنراتورها در صنایع مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

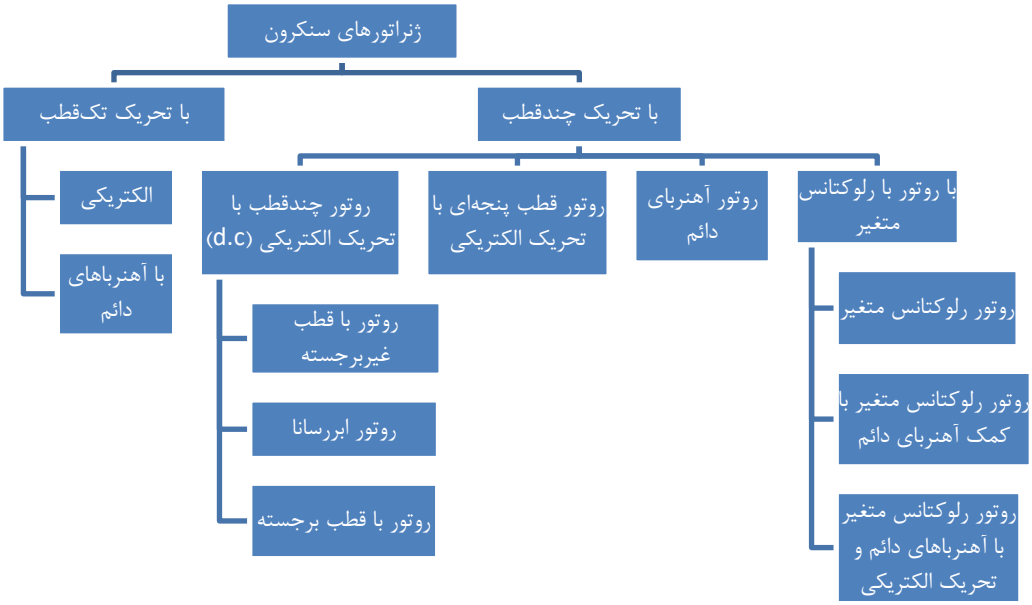


شکل ۱-۲: روند رو به رشد ظرفیت توربوژنراتورهای توسعه‌یافته در جهان از سال ۱۹۴۰

ژنراتورهای الکتریکی به چند روش قابل دسته‌بندی هستند. این تجهیزات را می‌توان بر اساس اصول ساخت و کارکرد و یا بر اساس نوع کاربردشان دسته‌بندی کرد. در صورت دسته‌بندی ژنراتورها بر اساس نوع کاربرد، سطح توانی آن‌ها تفکیک می‌شود. در این سند ژنراتورها بر اساس اصول ساخت و کارکرد به سه نوع اصلی تقسیم می‌شوند:

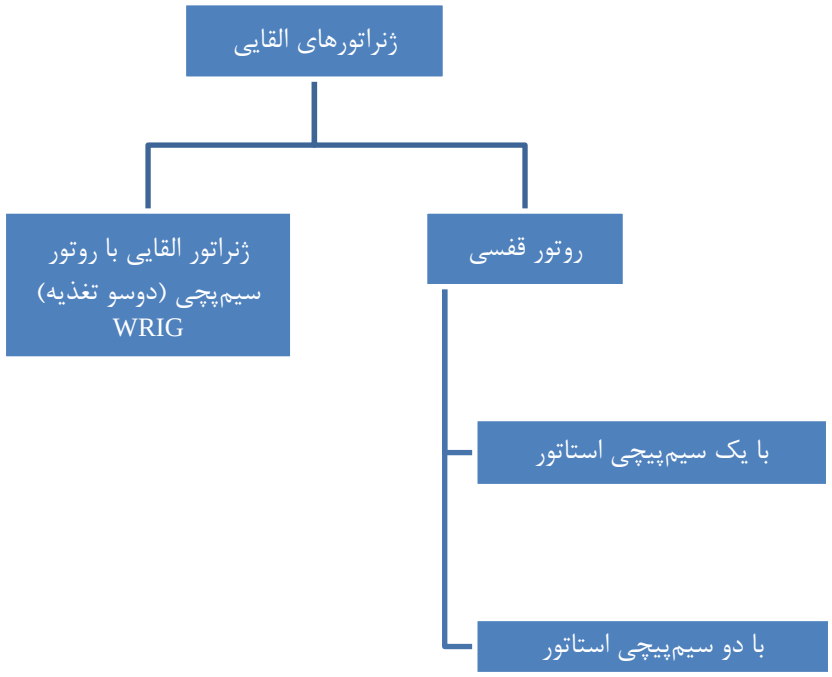
- ژنراتورهای سنکرون[1]
- ژنراتورهای القایی[2]
- ژنراتورهای پارامتریک[3] با ناهمسان‌گردی مغناطیسی و آهنرباهای دائم

هر کدام از این سه نوع اصلی ژنراتورها، شامل انواع مختلفی هستند که به ترتیب در شکل ۲-۲ و شکل ۳-۲ و شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

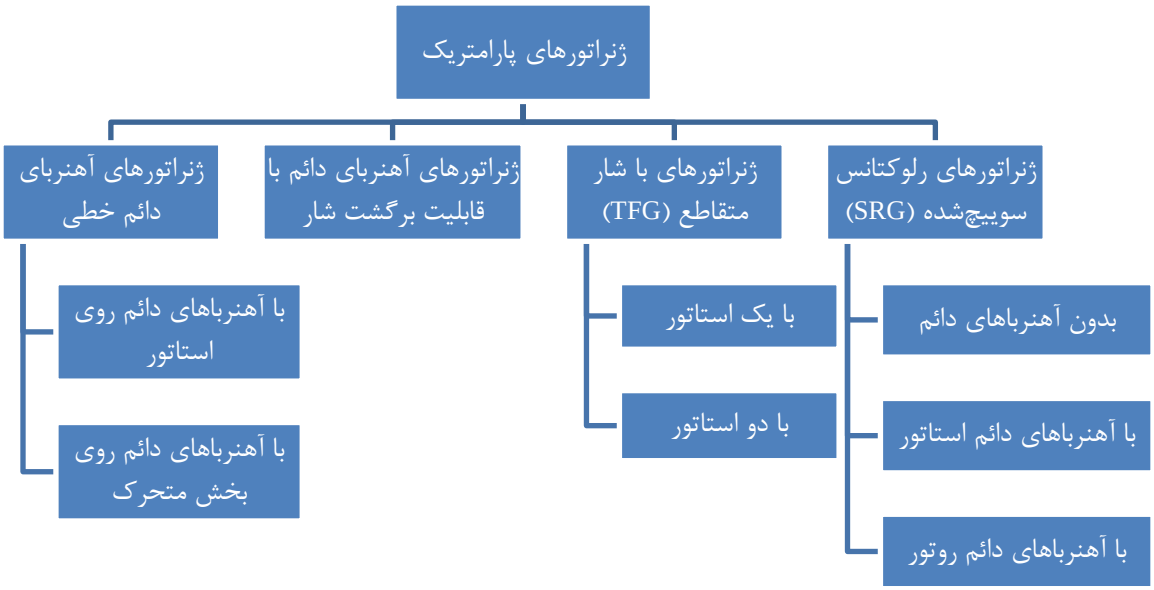


شکل ۲-۲: انواع ژنراتورهای سنکرون

[1] Synchronous
[2] Induction
[3] Parametric



شکل ۳-۲: انواع ژنراتورهای القایی



شکل ۴-۲: انواع ژنراتورهای پارامتریک

ژنراتورهای سنکرون دارای مدار مغناطیسی شامل استاتور، روتور و فاصله هوایی هستند. نوع طراحی روتور است که باعث دسته‌بندی انواع ژنراتورهای سنکرون مطابق شکل ۲-۲ می‌شود. در تمام ژنراتورهای سنکرون رابطه‌ی ثابتی بین سرعت مکانیکی (n)، فرکانس الکتریکی (f) و تعداد قطب‌ها (p) برقرار است که این رابطه در (۱-۲) آمده است.

$$n = \frac{f \times 60}{p/2} \qquad)$$

(۲-۱

ژنراتورهای سنکرونی که از طریق یک سیستم DC تحریک می‌شوند، نیازمند یک سیستم کنترلی الکترونیک قدرت در سیستم تحریک هستند، اما ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم از روتورهای رلوکتانس متغیر در استاتور از ادوات الکترونیک قدرت بهره می‌برند تا با سرعت‌های متغیر قابل بهره‌برداری باشند. حتی ممکن است برخی ژنراتورهایی که به صورت الکتریکی تحریک می‌شوند نیز در استاتور به ادوات الکترونیک قدرت مجهز باشند. این نوع ژنراتورها عمدتاً در شبکه‌های برق با خطوط انتقال فشارقوی DC مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر یک از این پیکربندی‌ها در ادامه مورد تشریح قرار خواهند گرفت.

برای محدوده‌ی توانی چند ده مگاوات و کمتر، ژنراتورهای القایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که در شکل ۲-۳ نیز نشان داده شده است، این نوع ژنراتورها به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

- با روتور قفسی و یک سیم‌پیچ استاتور
- با روتور قفسی و دو سیم‌پیچی استاتور (اصلی و کمکی) با تعداد قطب‌های مختلف
- با روتور سیم‌پیچی

به استاتور این نوع ژنراتورها، مبدل‌های مدولاتور پهنای پالس[1] متصل می‌شوند. اصل کارکرد ژنراتورهای القایی به معادله‌ی (۲-۲) وابسته است:

$$f_1 = p_1 n + f_2 \quad (۲-۲$$

که در آن f_1 فرکانس استاتور، f_2 فرکانس لغزش (روتور) و n سرعت روتور بر حسب دور در دقیقه هستند. لازم به ذکر است که فرکانس استاتور همواره مثبت است، اما فرکانس لغزش (روتور) می‌توان منفی نیز باشد. مقدار لغزش نیز مطابق (۲-۳) تعریف می‌شود:

$$s = \frac{f_2}{f_1} \quad (۲-۳$$

در صورتی که فرکانس لغزش (روتور) برابر صفر باشد، ژنراتور القایی به صورت ژنراتور سنکرون کار می‌کند.

در ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه، رابطه‌ی (۲-۴) بین سرعت و فرکانس برقرار است:

$$f_1 = p_1 n + f_2; \quad p_2 > p_1 \quad (۲-۴$$
$$f_1' = p_2 n + f_2'$$

از ژنراتورهای القایی دوسو تغذیه در شرایطی که توانی در حدود چند صد مگاوات موردنیاز است، استفاده می‌شود. به عنوان مثال، در برخی واحدهای نیروگاهی ۴۰۰ مگاواتی ژاپن از این نوع ژنراتورها استفاده شده است. همچنین در یکی از نیروگاه‌های تلمبه‌ذخیره‌ای در آلمان که متشکل از ۲ واحد ۳۰۰ مگاواتی است، این نوع ژنراتورها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در مقابل، از ژنراتورهای القایی روتور قفسی در مواردی استفاده می‌شود که توان‌هایی در مگاوات و کمتر مورد نیاز باشد.

ژنراتورهای پارامتریک به اصل رلوکتانس متغیر متکی هستند، اما بسیاری از آن‌ها از آهنرباهای دائم نیز بهره می‌برند تا سطح توانی تولیدی افزایش و تلفات کاهش یابد.

[1] Pulse-width Modulator (PWM)

- ژنراتورهای سنکرون

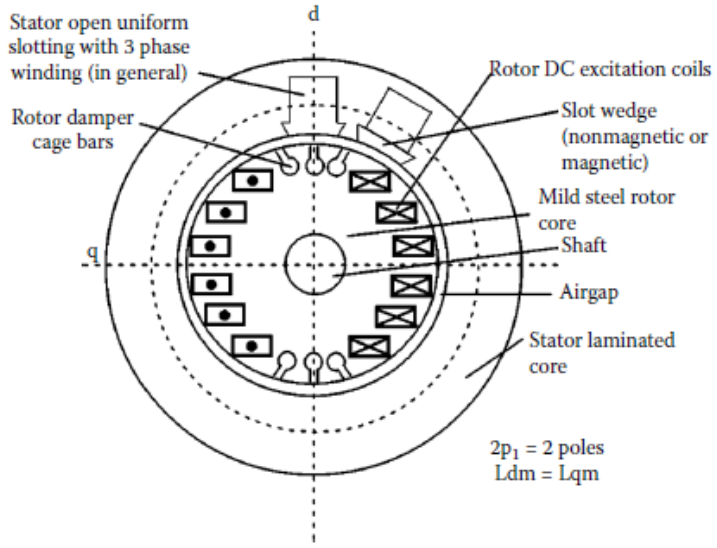
ژنراتورهای سنکرون، با یک استاتور یکنواخت شیاردار که به صورت ورقه‌ورقه ساخته شده و یک، دو یا سه کلاف با جریان AC را در شیارها جای می‌دهد و یک سیستم تحریک DC یا تحریک از طریق آهنربای دائم یا روتور قطب برجسته شناخته می‌شوند.

از آن‌جایی که تنها دو میدان مغناطیسی (میدان استاتور و میدان روتور) به صورت نسبی در تعامل هستند تا گشتاوری بدون ریپل تولید کنند، سرعت (n) وابستگی شدیدی به فرکانس گردش استاتور (f_1) دارد؛ چرا که میدان مغناطیسی تولیدشده توسط روتور DC است، مخصوصاً در ژنراتورهای سنکرون چند قطب.

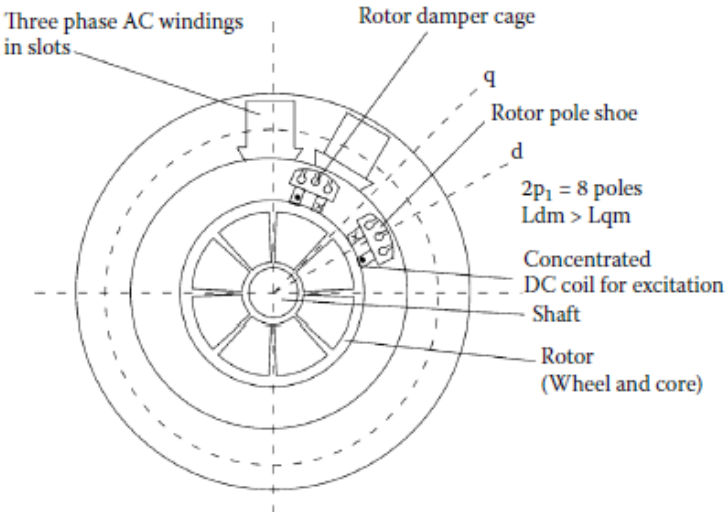
ژنراتورهای سنکرون به دو صورت با قطب‌های غیربرجسته

شکل ۵-۲ و یا با قطب‌های برجسته شکل ۶-۲ ساخته می‌شوند. ژنراتورهای سنکرون با قطب غیربرجسته معمولاً در مواردی که نیاز به سرعت بالا وجود دارد (توربوژنراتور) و ژنراتورهای سنکرون با قطب برجسته معمولاً در مواردی که به سرعت پایین نیاز است (هیدروژنراتورها) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هر چه توان بیشتری مورد نیاز باشد، سرعت روتور نیز افزایش می‌یابد. در توربوژنراتورهای بزرگ، ممکن است سرعت به بیش از ۱۵۰ متر بر ثانیه نیز برسد. بنابراین جای‌گیری تحریک DC در شیارها با اتصالات انتهای سیم‌پیچ DC که توسط حلقه‌هایی از جنس رزین در برابر نیروهای چرخشی محافظت می‌شود، ضروری است. همچنین توزیع میدان حاصل از جریان DC روتور در فاصله‌ی هوایی نزدیک به شکل موج سینوسی است.



شکل ۵-۲: ژنراتور سنکرون با سیستم تحریک **DC** چند قطب با قطب غیربرجسته



شکل ۶-۲: ژنراتور سنکرون با سیستم تحریک **DC** چند قطب با قطب برجسته

بدنه‌ی روتور این نوع ژنراتورها از جنس آهن ساخته شده است تا استحکام مکانیکی بهتر و انتقال حرارت مناسب‌تری فراهم شود.

شیارهای استاتور در ژنراتورهای سنکرون بزرگ باز هستند (

شکل ۵-۲ و شکل ۶-۲) و گاهی لبه‌های مغناطیسی برای‌شان ایجاد می‌شود تا هارمونیک‌های فضایی میدان را به میزان بیشتری کاهش دهند و بنابراین محتوای هارمونیکی نیروهای الکترومغناطیسی و تلفات اضافی در قفس دمپر روتور کاهش یابد.

به طور کلی در ژنراتورهای سنکرون به دلیل قرارگیری سیم‌پیچی‌ها در شیارها و به سبب بازبودن شیارها؛ از هارمونیک‌های فضایی نیروی الکترومغناطیسی استاتور صرف‌نظر می‌شود. این هارمونیک‌های فضایی ولتاژهایی القا می‌کنند و در نتیجه به تولید جریان‌های گردابی[1] در قفس دمپر روتور منجر می‌شوند (حتی در حالت دائم).

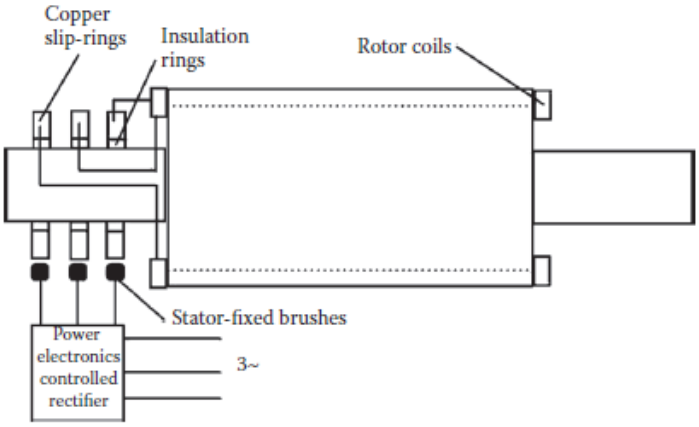
همچنین حتی در حالت دائم، اگر جریان‌های فاز استاتور متقارن نباشند، مولفه‌های معکوس آن‌ها جریان‌هایی با دو برابر فرکانس ذر قفس دمپر تولید می‌کنند. متعاقب این اتفاق، به منظور محدودکردن دمای روتور، درجه‌ی نامتقارنی جریان توسط استانداردهای مربوطه محدود می‌شود. ژنراتورهای سنکرون با تحریک DC و روتور با قطب غیربرجسته در مواردی که به سرعت بالا نیاز است (توربوژنراتور) با ۲ یا ۴ قطب ساخته می‌شوند. از این توربوژنراتورها همراه با توربین‌های گازی یا بخاری استفاده می‌شود. در صورتی که ژنراتورهای سنکرونی با سرعت‌های پایین‌تر و تعداد قطب‌های بیشتر (بیشتر از ۴ قطب) مورد نیاز باشند، روتورهای این نوع ژنراتورها با قطب‌های برجسته ساخته می‌شود.

کفه‌های قطب‌های روتور به صورت ورقه‌ورقه ساخته می‌شوند تا تلفات اضافی در روتور کاهش یابد، اما بدنه‌ی قطب‌ها و سیم‌پیچ‌ها از جنس فولاد مغناطیسی هستند. کفه‌های قطب‌های روتور شیارهایی دارند که میله‌های مسی اتصال کوتاه شده توسط حلقه‌های مسی را در خود جای می‌دهند تا یک قفس سنجابی کامل را شکل دهند. در نتیجه، قفس دمپر قوی‌تری به دست می‌آید.

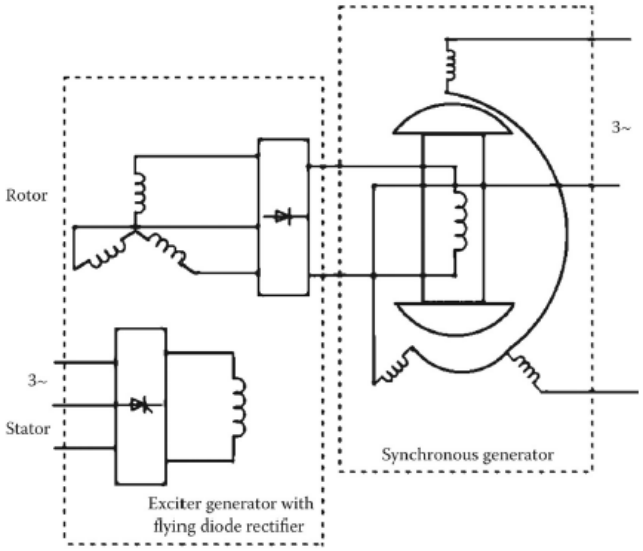
توان تحریک DC روتور ژنراتورهای سنکرون از یکی از دو طریق زیر منتقل می‌شود:

- جاروبک‌ها و حلقه‌های لغزش مسی شکل ۷-۲
- سیستم‌های تحریک بدون جاروبک شکل ۸-۲

[1] Eddy Current



شکل ۷-۲: سیستم تحریک **DC** یکسوساز الکترونیک قدرت با جاروبک حلقه‌ی لغزش



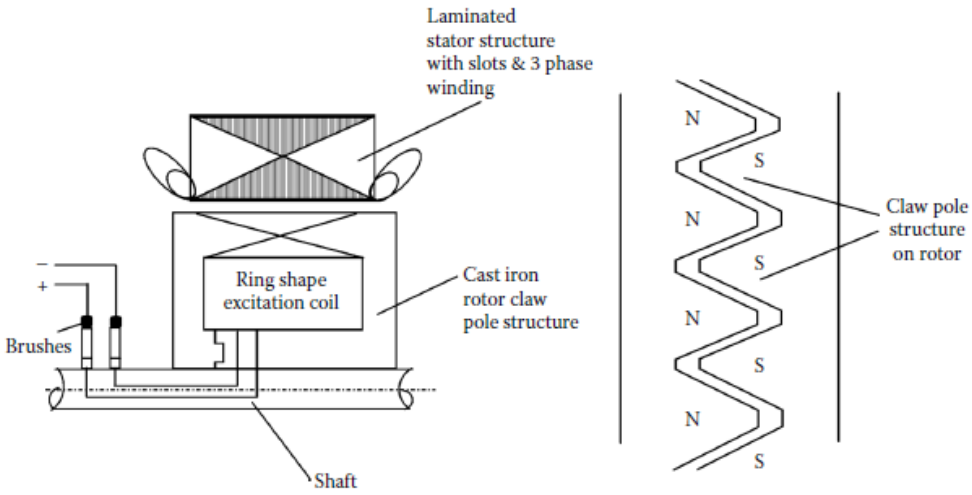
شکل ۸-۲: سیستم تحریک بدون جاروبک با یکسوساز "دیود فلاینگ" برای ژنراتورهای سنکرون

یک ژنراتور سنکرون معکوس (که سیم‌پیچ‌های سه فاز AC دارد و یکسوساز دیودی آن روی روتور و تحریک DC آن روی استاتور قرار گرفته است) می‌تواند نقش یک سیستم تحریک بدون جاروبک را ایفا کند(شکل ۸-۲) . جریان میدان سیستم تحریک از طریق یک یکسوساز نیمه کنترل‌شده توان پایین کنترل می‌شود.

ژنراتورهای سنکرون با قطب‌های پنجه‌ای عمدتاً به عنوان آلترنیتور خودرو مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این نوع ژنراتورها، توان سیم‌پیچی تحریک به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند تا قطر خارجی و حجم ماشین کاهش یابد.

ساخت قطب پنجه‌ای از چدن[1] شکل ۹-۲ کم‌هزینه‌تر است و سیم‌پیچ تحریک که به شکل یک تک حلقه ساخته شده، یک میدان فاصله‌ی هوایی چند قطب تولید می‌کند و حجم مس و تلفات DC نیز کاهش می‌یابد.

[1] Cast Iron



شکل ۹–۲: ژنراتور سنکرون قطب پنجه‌ای

- ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم

توسعه‌ی سریع آهنرباهای دائم با انرژی بالا و منحنی مغناطیس‌زدایی تقریباً خطی منجر به گسترش استفاده از موتورهای سنکرون آهنربای دائم برای درایوهای سرعت متغیر شد. از آن‌جایی که ماشین‌های الکتریکی قابلیت استفاده به صورت معکوس را دارا هستند، از این موتورهای به صورت رژیم کاری ژنراتوری نیز می‌توان استفاده کرد. این نوع ژنراتورهای اغلب در توربین‌های بادی که سطح توانی در حدود چند صد کیلووات یا چند مگاوات را دارا هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم فوق پر سرعت که توربین‌های گازی را به حرکت در می‌آورند و محدوده‌ی توانی در حدود ۱۰۰۰ کیلووات و سرعت‌هایی در حدود ۶۰ تا ۸۰ هزار دور در دقیقه دارند نیز معرفی شده‌اند. نهایتاً می‌توان پیش‌بینی کرد که در آینده‌ی نزدیک، ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم به عنوان ژنراتور استارتر خودرو مورد استفاده قرار بگیرند.

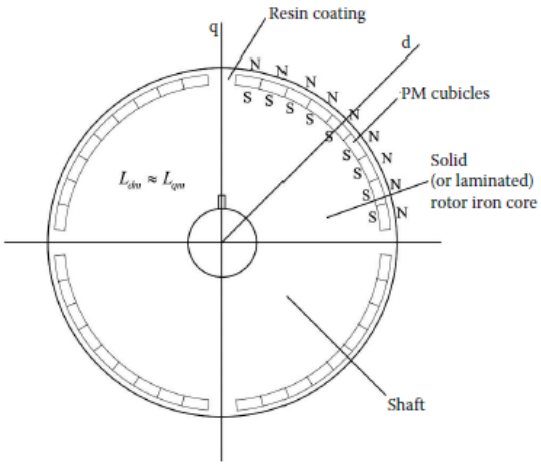
به طور کلی، دو نوع اصلی روتور برای ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم وجود دارد:

- روتورهایی با آهنرباهای دائم روی سطح (شکل ۱۰–۲) – روتور با قطب غیربرجسته (SPM)
- روتورهایی با آهنرباهای دائم داخلی (شکل ۱۱–۲) – روتور با قطب برجسته (IPM)

پیکربندی شکل ۱۰–۲ یک روتور آهنربای دائم ساخته‌شده با قطعات آهنربای دائم موازی را نشان می‌دهد به گونه‌ای که هر قطب به صورت محیطی و محوری به چند قطب دیگر وصله شده است.

آهنرباهای دائم توسط چسب‌هایی خاص به سیم‌پیچ‌های یکنواخت (یا ورقه‌ای) آهنی روتور چسبیده‌اند و یک عایق رزینی به شدت ارتجاعی به منظور حفظ استحکام مکانیکی آن، اضافه شده است.

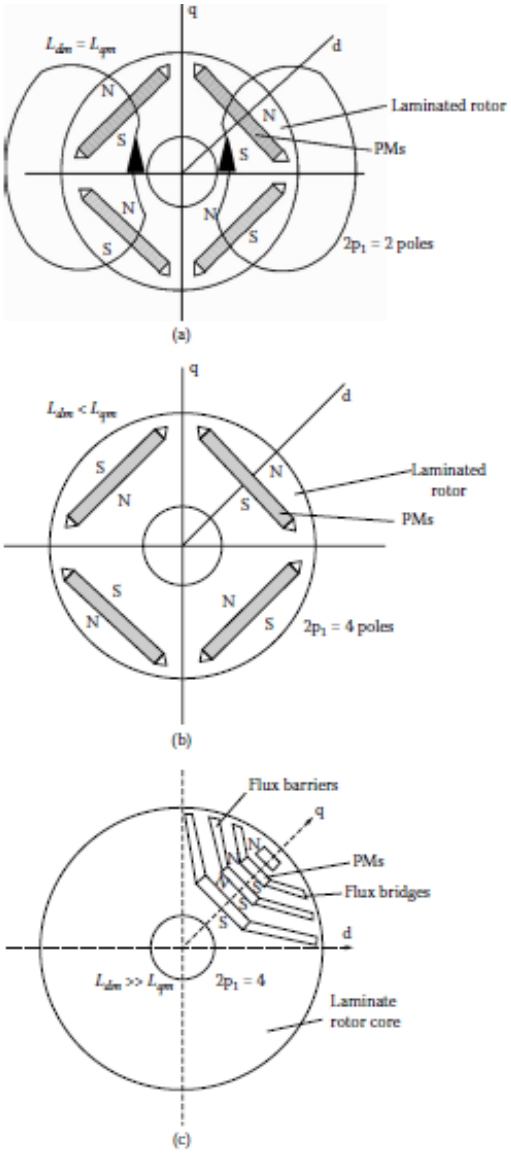
استاتور این نوع ژنراتورها متشکل از یک هسته‌ی ورقه‌ای با شیارهای یکنواخت است که محل قرارگیری سیم‌پیچی‌های سه‌فاز با هسته‌های توزیع‌شده (استاندارد) یا با هسته‌های متمرکز هستند.



شکل ۱۰-۲: سطح روتور آهنربای دائم (چهار قطب)

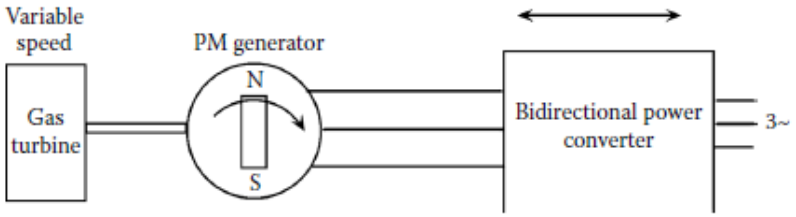
به منظور محافظت مکانیکی از آهنرباهای دائم و به منظور تولید گشتاور رلوکتانسی، روتورهایی معرفی شدند که آهنرباهای دائم در داخل قطب‌های آن‌ها واقع شده است. دو پیکربندی مرسوم از این نوع روتورها در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۱-۲ یک ساختار عملی برای روتورهای آهنربای دائم که در داخل قطب‌ها قرار داده شده‌اند (IPM) را نشان می‌دهد.



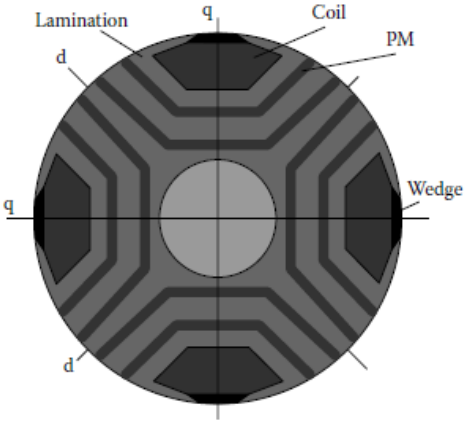
شکل ۱۱–۲: روتورهای با آهنرباهای دائم داخلی (**a**) دو قطب (**b**) چهار قطب و (**c**) با موانع شار روتور

ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم به چگالی گشتاور (توان) بالا و بازدهی بالا (تلفات تحریک در آن‌ها برابر صفر است) شناخته می‌شوند. با این حال، هزینه‌ی آهنرباهای دائم با انرژی بالا بیش از ۱۰۰ دلار به ازای هر کیلوگرم است. همچنین به منظور کنترل خروجی، لازم است تا ادوات تماماً الکترونیک قدرتی در استاتور قرار داده شوند. این ادوات در شکل ۱۲–۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۲–۲: کنترل دوجهته تماماً الکترونیک قدرتی

پیکربندی‌های بسیاری برای ژنراتوهای سنکرون آهنربای دائم معرفی شده‌اند. در بین این پیکربندی‌ها، به موردی اشاره می‌شود که از روتور رلوکتانسی IPM استفاده می‌کند (شکل ۱۱–۲) اما یک سیستم تحریک الکتریکی به آن اضافه شده است. این پیکربندی در شکل ۱۳–۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۳–۲: ژنراتور با روتور رلوکتانسی آهنربای دائم با سیستم تحریک دومحوری

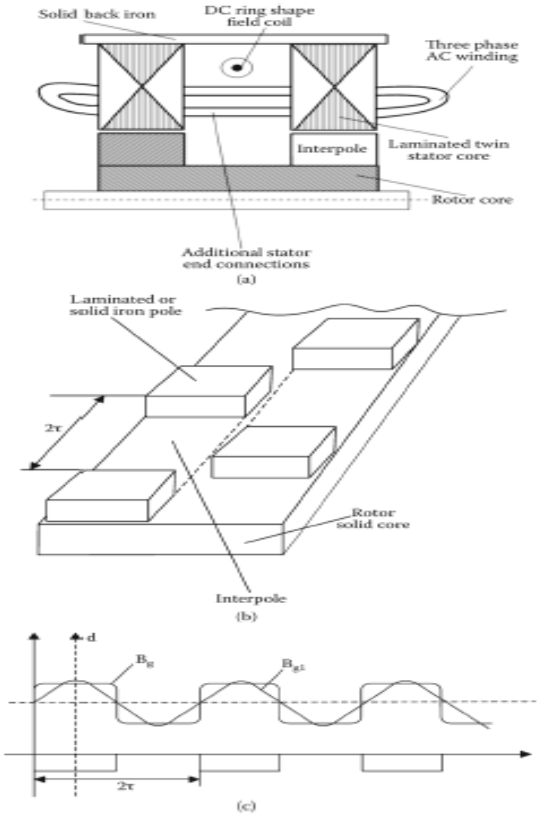
- ژنراتورهای سنکرون تک‌قطب

با قراردادن سیم‌پیچ‌های تحریک DC روی روتور و سیم‌پیچ‌های سه‌فاز AC روی استاتور، یک ماشین سنکرون تک قطب ساخته می‌شود. این نوع از ژنراتورهای سنکرون در شکل ۱۴–۲ نشان داده شده‌اند.

روتور نسبتاً قدرتمند با قطب‌های برجسته‌ی تو پر (حتی ورقه‌ای) و هسته‌ی تو پر یکی از مزایای این نوع ژنراتورها به شمار می‌رود. قطب‌های برجسته‌ی روتور و قطب‌های داخلی یک ساختار مغناطیسی برجسته با نسبت برجستگی قابل توجه، خصوصاً اگر فاصله‌ی هوایی کم باشد را تشکیل می‌دهند.

در نتیجه، میدان مغناطیسی تولیدشده توسط جریان میدان DC مسیرهایی را، که بخشی محوری و بخشی محیطی هستند، از طریق استاتور و روتور می‌بندد.

این نوع ماشین‌ها از نوع قطب برجسته با فاصله‌ی هوایی دو برابر هستند، اما به صورت ماشین‌های با روتور قطب غیربرجسته عملکرد دارند.

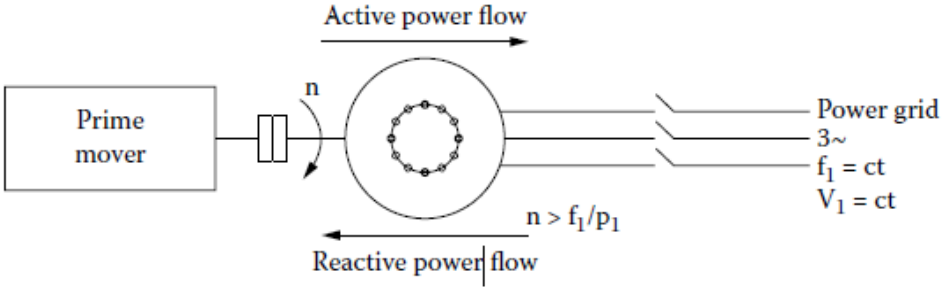


شکل ۱۴-۲: (**a**) و (**b**) ژنراتور سنکرون تک قطب و (**c**) توزیع میدان تحریک فاصله‌ی هوایی

- ژنراتورهای القایی

ماشین القایی روتور قفسی قابلیت استفاده به صورت موتور و ژنراتور را داراست. نکات زیر راجع به ماشین‌های القایی حائز اهمیت هستند:

- فرکانس f_1 از $n \times p_1$ کوچک‌تر است؛ یعنی لغزش این نوع ماشین‌ها منفی خواهد بود (شکل ۱۵-۲)
- یک منبع برای مغناطیسی‌کردن این نوع ماشین‌ها وجود دارد



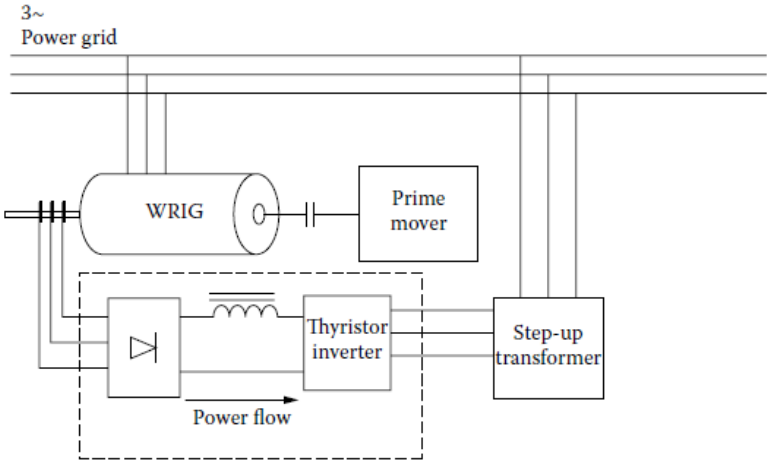
شکل ۱۵-۲: ژنراتور القایی روتور قفسی

یک ماشین القایی که به صورت موتوری کار می‌کند و از یک شبکه با فرکانس f_1 و ولتاژ V_1 تغذیه می‌شود، در صورتی که توسط یک محرک بالاتر با سرعت بیش از سرعت ایده‌آل بی‌باری f_1 / p_1 درایو شود، به ژنراتور تبدیل می‌شود.

برای یک ژنراتور القایی متصل به یک شبکه‌ی برق قوی (با فرکانس و ولتاژ ثابت)، زمانی که سرعت n افزایش پیدا می‌کند، توان اکتیو تحویلی به شبکه نیز افزایش می‌یابد، اما توان راکتیوی که از شبکه کشیده می‌شود نیز بیشتر خواهد شد. بسیاری از ژنراتورهای بادی موجود از ژنراتورهای القایی متصل به شبکه‌ی برق استفاده می‌کنند. سیستم کنترل نیز تنها مکانیکی است.

- ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه (WRIG)

ساخت این نوع ژنراتورها بین سال‌های ۱۹۰۷ و ۱۹۱۳ و با پیکربندی‌های آبشاری شربیوس۱ و کریمر۲، که هر دو طرح‌های بازیابی توان لغزشی از ماشین‌های القایی روتور سیم‌پیچی هستند، صورت گرفت. لئون‌هارد۳ در سال ۱۹۲۸ به شکل منظم این طرح‌ها را تحلیل کرد، اما ادوات الکترونیک قدرت مناسب برای آن در دسترس نبود. یک طرح بازیابی لغزش با ادوات تریستوری الکترونیک قدرت در شکل ۱۶–۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۶–۲: ژنراتور القایی روتور سیم‌پیچی (**WRIG**) با یکسوساز دیودی (سیستم بازیابی لغزش)

جریان توان تک‌جهته از روتور ژنراتور القایی به مبدل تنها به دلیل وجود یکسوساز دیودی امکان‌پذیر است. همچنین به یک ترانسفورماتور افزاینده به منظور تطبیق ولتاژ نیاز است. لازم به ذکر است که اینورتر تریستوری خروجی با ولتاژ و فرکانس ثابت تولید می‌کند. اصل عملکرد این نوع ژنراتورها مبتنی بر نظریه‌ی فرکانس میدآن‌های متحرک است:

$$f_1 = np_1 + f_2 \qquad (۲–۵)$$

که در آن f_1 ثابت و f_2 متغیری است که می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

فرکانس منفی به این معناست که جابجایی قطب‌های روتور با قطب‌های استاتور صورت می‌گیرد. حال اگر f_2 متغیر باشد، امکان دارد n نیز متغیر شود.

- ژنراتورهای پارامتریک

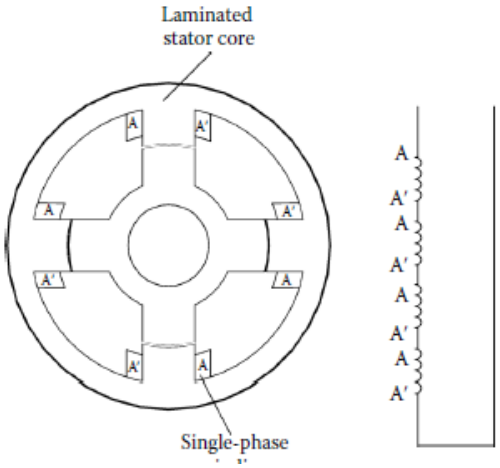
[1] Scherbius
[2] Kraemer
[3] Leonhard

ژنراتورهای پارامتریک از چرخش ناهمسان استاتور و روتور بهره می‌برند. ممکن است آهنرباهای دائم نیز به استاتور یا روتور این نوع ژنراتورها اضافه شوند. همچنین در برخی پیکربندی‌ها از آهنرباهای دائم برجسته روی روتور نیز استفاده می‌شود. ژنراتورهای پارامتریک از سیم‌پیچ‌های غیرهم‌پوشان به منظور کاهش تلفات مسی انتهای اتصالات در استاتور استفاده می‌کنند. از آن‌جایی که نیروی مغناطیسی استاتور یک میدان متحرک خالص تولید نمی‌کند، هم در استاتور و هم در روتور تلفات هسته وجود دارد. سادگی و استحکام چنین ژنراتورهایی باعث می‌شود برای برخی کاربردها انتخاب‌های مناسبی باشند.

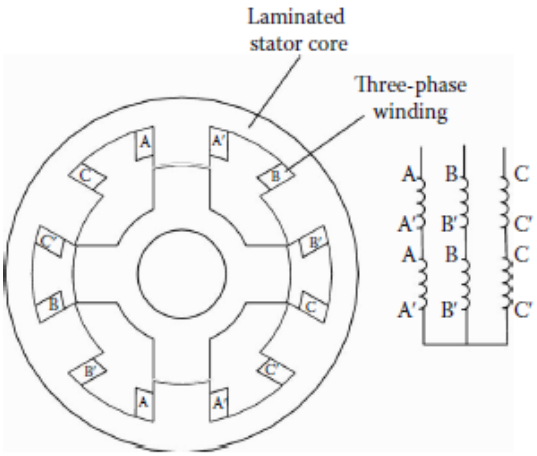
در بین ژنراتورهای پارامتریک، به برخی انواع شاخص‌تر اشاره می‌شود:

- ژنراتورهای رلوکتانس سوییچ‌شده (SRGها):
  - بدون آهنرباهای دائم
  - با آهنرباهای دائم روی استاتور یا روی روتور
- ژنراتورهای شار متقاطع (TFGها)
  - با آهنرباهای دائم در روتور
  - با آهنرباهای دائم در استاتور
- ژنراتورهای با قابلیت برگشت شار (FRGها):
  - با آهنرباهای دائم در استاتور
  - با آهنرباهای دائم در روتور (و متمرکزسازی شار)
- آلترنیتورهای حرکت خطی (LMAها):
  - با محرک سیم‌پیچ و آهنرباهای دائم در استاتور
  - با محرک آهنربای دائم لوله‌ای یا مسطح (با متمرکزسازی شار آهنربای دائم)
  - با محرک آهنی و آهنرباهای دائم در استاتور

SRG ساختاری مغناطیسی، ورقه‌ای و برجسته به صورت دوبل (در استاتور و روتور) دارد و همچنین سیم‌پیچ‌هایی متمرکز در استاتور آن تعبیه شده است (شکل ۱۷-۲ و **شکل ۱۸-۲**) در پیکربندی سه‌فاز مادامی که قطب‌های روتور یک به یک به فازهای استاتور نزدیک شوند، این فازها از طریق ولتاژ PWM تغذیه می‌شوند. اندوکتانس فازها بسته به موقعیت روتور تغییر می‌کند و حداقل در پیکربندی سه‌فاز، کمی کوپلینگ مغناطیسی بین فازها وجود دارد.



شکل ۱۷-۲: ژنراتور رلوکتانس سوییچ‌شده (**SRG**) تک‌فاز



شکل ۱۸-۲: ژنراتور رلوکتانس سوییچ‌شده (SRG) سه‌فاز

۱-۱-۲-۲- ژنراتورهای هیدرودینامیک مغناطیسی (MHD[1])

هیدرودینامیک مغناطیسی یک اصل آکادمیک است که دینامیک هادی‌های الکتریکی سیال را مورد بررسی قرار می‌دهد. یک ژنراتور توان MHD دستگاهی است که به وسیله‌ی جابجایی یک هادی سیال (که معمولاً به صورت گاز یا پلاسماست) و یک میدان مغناطیسی، برق تولید می‌کند. در این روش نیز ژنراتور MHD می‌تواند مانند سایر فرایندهای مستقیم تبدیل انرژی، انرژی گرمایی سوخت را به صورت مستقیم به برق تبدیل کند. در این روش تبدیل، مبدل انرژی استاتیک که هیچ بخش متحرک مکانیکی ندارد، می‌تواند تبدیل دینامیک را به شکل بهتری به انجام برساند و در دماهایی بسیار بالاتر از سایر فرایندهای مرسوم تبدیل انرژی کار کند. از دهه‌ی ۱۹۷۰، چندین کشور برنامه‌های تحقیقاتی MHD را در دستور کار قرار دادند و تمرکز ویژه‌ای را روی این موضوع گذاشتند که از زغال سنگ به عنوان سوخت این نوع ژنراتور استفاده شود.

در ادامه به معرفی برنامه‌های کلان و تحقیق و توسعه‌ی MHD در برخی کشورهای جهان پرداخته خواهد شد.

- ایالات متحده آمریکا

اولین ژنراتور MHD جهان در سال ۱۹۳۸ توسط آزمایشگاه تحقیقاتی وستینگ‌هاوس[2] در ایالات متحده آمریکا ساخته شد. بعد از آن، محققین زیادی در سرتاسر جهان با الهام از این ایده، شروع به تحقیق و بررسی روی تولید توان با استفاده از ژنراتورهای MHD کردند [۳۵].

اولین آزمایش تولید موفق ژنراتورهای MHD در سال ۱۹۵۹ با استفاده از سیستم Mark 1 MHD در آزمایشگاه AVCO Everett ایالات متحده آمریکا انجام شد. این ژنراتور از آرگون به عنوان سوخت سیال استفاده می‌کرد و حدود ۱۱ کیلووات توان در اختیار قرار می‌داد. در طول سه دهه‌ی بعدی، موسسه‌های زیادی در سرتاسر جهان برای تحقیق و توسعه روی ژنراتورهای MHD تأسیس شدند.

با حمایت مالی وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا، تحقیقات در AVCO Everett ادامه پیدا کرد. کمی بعد، یک سیستم Mark VI MHD با ظرفیت ۲۰ مگاوات با سوخت زغال سنگ ساخته شد.

[1] Magnetohydrodynamic Generators
[2] Westinghouse Research Laboratory

از سال ۱۹۷۱، محققین بخش تبدیل انرژی دانشگاه موسسه‌ی فضایی تنسی (UTSI) ایالات متحده آمریکا روی توسعه‌ی سیستم‌های تولید توان MHD حلقه باز با سوخت زغال سنگ شروع به کار کردند. موفقیت این محققین در تولید توان MHD با استفاده از زغال، پایه و اساس کار روی مولدهای توان MHD حلقه باز با سوخت زغال سنگ را ایجاد کرد. بهبودهایی در طراحی و ساخت این نوع مولدها منجر به نسل دوم سیستم‌های MHD (CFFF[1]) شد. در سال ۱۹۸۲، مهندسین آزمایشگاه ملی آرگون (ANL) ایالات متحده آمریکا یک آهنربای نوع ۶ تسلا برای سیستم CFFF ساختند. در سال ۱۹۸۴، کنترل‌کردن گوگرد دی‌اکسید، اکسیدهای نیتروژن و سایر گازهای متصاعدشده حین سوختن زغال سنگ در سیستم‌های MHD مورد بررسی قرار گرفت [۳۵].

- روسیه

در روسیه علاقه‌ی قابل توجهی به توسعه‌ی یک سیستم مولد توان MHD وجود داشت و در اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰، کارهای تحقیقاتی در این حوزه آغاز شدند. در سال ۱۹۷۱، اولین سیستم پایلوت MHD بزرگ در جهان، U-25، در موسسه‌ی تحقیقاتی دماهای بالای آکادمی علوم روسیه در مسکو به صورت عملیاتی مورد استفاده قرار گرفت. این سیستم از گاز طبیعی و هوای غنی‌شده با اکسیژن که از قبل تا دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده بود، به عنوان سوخت استفاده می‌کرد و برای تولید ۲۵ مگاوات توان ساخته شده بود. از دیگر ویژگی‌های U-25 این بود که به یک توربین بخار مجهز شده بود که امکان بررسی اشکالات مهندسی ایجادشده در کارکردش را فراهم می‌نمود [۳۵].

در حال حاضر مطالعات MHD بر روی U-25 متوقف شده است.

در سال ۱۹۷۴، یک برنامه‌ی تحقیقاتی مشترک بین ایالات متحده آمریکا و اتحاد جماهیر شوروی، روی MHD حلقه باز آغاز شد. یک سیستم تست با نام U-25B به عنوان یک حلقه‌ی بایپس U-25 برای تست‌های مشترک ساخته شد. ANL یک آهنربای ابررسانا برای این سیستم طراحی کرد. برنامه‌ی تست ژنراتور U-25B به طور عمده روی بررسی مشخصات عملکردی تحت شرایط پیش‌بینی‌شده برای نیروگاه‌های MHD تجاری متمرکز بود.

- ژاپن

برنامه‌ی ژاپنی‌ها در اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ روی سیستم تولید توان MHD حلقه بسته متمرکز بود. اولین سری آزمایش‌های اساسی ژاپن FUJI-1 نام داشت که در موسسه‌ی فناوری توکیو صورت گرفت. در سال ۲۰۰۴ با استفاده از تجربه‌ی ساخت یک سیستم FUJI-1 حلقه بسته با ظرفیت ۵ مگاوات، سیستم FUJI-2 ساخته شد. هدف از ساخت این ژنراتور، دست‌یابی به آنتالپی ۳۰ درصدی و بازدهی حرارتی ۶۰ درصدی بود.

در سال ۱۹۸۱، یک سیستم MHD حلقه باز با سوخت زغال سنگ و ظرفیت ۱۵ مگاوات در آزمایشگاه فنی الکتریکی (ETL) تحت نظر وزارت صنعت و تجارت بین‌الملل (Ministry of International Trade and Industry) به مدت حدوداً ۴۳۰ ساعت تولید برق داشت. پروژه‌ی MHD وزارت صنعت و تجارت بین‌الملل به اهدافش رسید، اما در سال ۱۹۸۹ متوقف شد و مراحل بعدی این پروژه هیچ‌گاه اجرایی نشدند. با این حال تحقیق روی مولدهای MHD حلقه باز در چندین دانشگاه از جمله دانشگاه هوکایدو، موسسه‌ی فنی توکیو و دانشگاه کیوتو ادامه پیدا کرد [۳۵].

- چین

تحقیق روی تولید توان MHD در چین در سال ۱۹۶۲ آغاز شد. در سال ۱۹۸۸، یک سیستم MHD با سوخت زغال سنگ پیاده‌سازی و اجرایی شد. یک سیستم MHD با سوخت زغال سنگ و ظرفیت ۲۵ مگاوات در موسسه‌ی مهندسی برق

[1] Coal Fired Fuel Facility

(IEE) پکن و یک سیستم MHD با سوخت زغال سنگ و ظرفیت ۵ مگاوات در موسسه‌ی تحقیقاتی ادوات قدرت شانگهای (SPERI) ساخته و نصب شدند [۳۵].

- سایر کشورها

تحقیق و توسعه در حوزه‌ی MHD در چندین کشور اروپایی در حال اجراست. برنامه‌ی ایتالیایی‌ها در سال ۱۹۸۹ آغاز شد و دارای سه بخش توسعه‌ای اصلی بود: مدل‌سازی MHD، توسعه‌ی آهنربای ابررسانا و مقاوم‌سازی سیستم‌های MHD نسبت به نیروگاه‌های با سوخت گاز طبیعی.

در لهستان، تحقیق روی MHD به سمت ساخت مولدهای MHD با سوخت زغال سنگ هدایت شد. تحقیقات با استفاده از یک سیستم MHD با ظرفیت ۴ مگاوات در دانشگاه فنی پوزنان و با استفاده از یک سیستم ۴.۵ مگاوات در موسسه‌ی تحقیقات هسته‌ای صورت گرفتند.

در بوسنی، اولین مولد MHD در سال ۱۹۸۹ در موسسه‌ی فناوری حرارتی و هسته‌ای (ITEN) ساخته شد.

در رومانی، سه سیستم MHD با نام‌های GMHD-01، GMHD-02 و GMHD-03 در موسسه‌ی تحقیق و توسعه‌ی ادوات قدرت بخارست ساخته شدند. در سال ۱۹۹۱، وزارت آموزش و علوم این کشور تصمیم گرفت حمایت مالی به منظور نصب آهنربای ابررسانا روی GMHD-03 را متوقف کند.

برنامه‌ی تحقیقاتی هند روی مولدهای MHD در اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ آغاز شد. در این کشور یک نیروگاه پایلوت ۵ مگاواتی ساخته شد. همچنین تا میانه‌های دهه‌ی ۱۹۹۰، ۱۷ آزمایش بزرگ با استفاده از گاز به عنوان سوخت این ژنراتورها در این کشور انجام شد.

برنامه‌ی توسعه‌ی مولدهای MHD در استرالیا به طور عمده روی مولدهای MHD حلقه باز با سوخت زغال سنگ متمرکز بوده است [۳۵].

در جدول ۱-۲ خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای MHD حلقه باز در سراسر دنیا ارائه شده است.

جدول ۱-۲: خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای **MHD** حلقه باز در برخی کشورهای جهان **[۳۵]**

کشور (سیستم MHD)	سوخت	Seed	ورودی حرارتی (MW)	توان خروجی (MW)	میدان مغناطیسی (T)	سال‌های عملیاتی
ایالات متحده آمریکا						
LORHO	تولوئن	–	۳۰۰	–	۱.۸	۱۹۶۶
AVCO-6	زغال سنگ	پتاسیم کربنات (خشک)	۲۰	۳۰۰ (کیلووات)	۳	۱۹۷۵-۱۹۸۲
AVCO-7	COM	–	–	–	۲.۵	۱۹۷۵-۱۹۸۲
HPDE	دیزل	–	–	–	۳.۵	۱۹۸۲
CDIF	زغال سنگ	پتاسیم کربنات (خشک)	۵۰	۱.۵	۳	۱۹۸۰-۱۹۹۳
CFFF	زغال سنگ	–	–	–	–	۱۹۸۰-۱۹۹۳
روسیه						
U-25	گاز طبیعی	پتاسیم کربنات	۲۵۰	۲۰	۲	۱۹۷۴-۱۹۹۰

U-25B	گاز طبیعی	پتاسیم کربنات	۳۰-۲۵	-	۵	۱۹۷۷
ژاپن						
ETL-5	دیزل	-	۲۵	-	۴.۲	۱۹۷۵
ETL-6	دیزل	-	۲.۵	-	۱.۹	۱۹۷۳-۱۹۷۷
ETL-7	دیزل	-	۱۵	-	۲.۵	۱۹۸۱-۱۹۸۹
چین						
KDD-2	دیزل	پتاسیم کربنات (مرطوب)	۷۰	۲	۲.۱	۱۹۸۱-۱۹۸۸
KDM-2	زغال سنگ	-	۲۵	-	۲.۱	۱۹۹۲-۱۹۹۹
SM-4	زغال سنگ	-	۵	-	۱.۷۵	۱۹۹۲-۱۹۹۴
JS-2	زغال سنگ	-	۴	-	۱.۹	۱۹۷۹-۱۹۹۶
Australia DISK	اتانول	پتاسیم اکسید (سوخت)	۲	-	۱.۴	-

در جدول ۲-۲، خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای MHD حلقه بسته در برخی کشورهای جهان ارائه شده است.

جدول ۲-۲: خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای **MHD** حلقه بسته در برخی کشورهای جهان [۳۵]

کشور	ژاپن	ایالات متحده آمریکا	ایالات متحده آمریکا	ایالات متحده آمریکا	آلمان	بریتانیا
موسسه	فناوری توکیو	NASA-Lewis	NASA-Lewis	U.FL	P.ARGAS	IRD
سوخت	Ar-Cs	Ar-Cs	He-Cs	He-Cs	Ar-Cs	He-Cs
دما (درجه سانتی‌گراد)	۱۵۲۷-۱۶۲۷	۱۸۲۷	۱۷۲۷	۱۴۲۷	۱۶۲۷	۱۴۲۷
فشار (MPa)	۰.۴۵	۰.۲۵	۰.۱۴	۰.۱۳	۰.۷	۰.۶
ورودی حرارتی (MW)	۰.۳	۱.۶	۱.۶	۰.۱۵	۴.۷	۰.۱۱
توان خروجی (MW)	-	۰.۳	۲.۲	۰.۰۰۱	۵	۰.۰۰۱
میدان مغناطیسی (T)	۴.۲	۱.۸	۱.۷	۲	۱.۳	۲.۲
سال‌های عملیاتی	۲۰۰۴ تا حالا	۱۹۶۸-۱۹۷۴	-	۱۹۷۶	۱۹۶۶-۱۹۷۰	۱۹۶۴-۱۹۶۸

ژنراتور MHD توانایی کار در دماهای بالاتری دارد، بنابراین با استفاده از آن‌ها امکان رسیدن به بازدهی بیشتر نسبت به ژنراتورهای مرسوم مورد استفاده در سایر نیروگاه‌ها وجود دارد. مطالعات و بررسی‌های فنی انجام‌شده‌ی پیشین روی ژنراتورهای MHD نشان می‌دهد که در صورت استفاده از آن‌ها در یک نیروگاه، بازدهی حدود ۴۵ تا ۵۵ درصد خواهد بود و تا ۶۰ درصد نیز قابل افزایش است. یک ژنراتور MHD، بخش متحرک ندارد، بنابراین قابل اطمینان بیشتری خواهد داشت. همچنین امکان شروع به کار سریع در بار کامل وجود دارد، به همین دلیل امکان استفاده از آن به منظور تولید توان پیک و در شرایط اضطرار فراهم است. علی‌رغم این‌که پیش‌بینی دقیق هزینه‌های تولید یک ژنراتور MHD دشوار است، تحلیل‌های فنی و اقتصادی این سیستم‌ها نشان می‌دهند که هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیروگاه‌هایی که ژنراتور MHD در آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته باشد با سایر نیروگاه‌ها قابل رقابت است و هزینه‌های تولید آن نسبت به نیروگاه‌های مرسوم کمتر هستند. علاوه بر این، سیستم‌های تولید توان MHD عملکرد زیست‌محیطی خوبی دارند و با سیستم‌های جمع‌آوری و ذخیره‌ی کربن[1] (CCS) سازگارند [۳۵]

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجهی که طی دهه‌ی ۱۹۸۰ و اواخر ۱۹۹۰ در زمینه‌ی توسعه‌ی نیروگاه‌های MHD با سوخت زغال سنگ در مقیاس تجاری انجام شد، پیشرفت‌های چشم‌گیرتری برای تجاری‌سازی این فناوری مورد نیاز است. برخی از چالش‌های فنی موجود در این فناوری به قرار زیر هستند:

- تبادل‌گر حرارتی[2] یا سیستم برای گرم‌کردن هوا[3] با دمای بالا
- سیستم بازیابی و تولید مجدد seed با بازدهی بالا
- کنترل‌کردن حذف خاکستر و تفاله‌های سوخت در سیستم احتراق MHD
- الکترودهای مقاومتی با دمای بالا
- طراحی بهینه‌ی ژنراتور MHD و سایر اجزای آن
- فرایند گازدهی دنباله‌دار

۲-۱-۲-۲- کاربردهای ژنراتورهای الکتریکی

ژنراتورهای الکتریکی با توان‌هایی از چند میلی‌وات تا چند صد مگاوات به ازای هر واحد، تقریباً در تمام صنایع کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند. در جدول ۳-۲ کاربردهای اصلی ژنراتورها به همراه برخی ژنراتورهای مناسب برای برآورده شدن آن کاربرد و حدودی از سطح توانی ژنراتور مورد نیاز، ارائه شده است.

جدول ۳-۲: برخی کاربردهای انواع ژنراتورهای الکتریکی **[۳۴]**

کاربرد	نوع ژنراتور مناسب
سیستم‌های قدرت بزرگ (گازی، زغال‌سنگ، هسته‌ای، هیدروژنی)	ژنراتورهای سنکرون با تحریک روی روتور، ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه (تا چند صد مگاوات به ازای هر واحد)
سیستم‌های توان پراکنده (بادی، آبی)	ژنراتورهای سنکرون با تحریک روی روتور، ژنراتورهای القایی روتور قفسی، ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم (تا ۱۰ مگاوات به ازای هر واحد)
ژنراتورهای دیزلی آماده به کار	ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم، ژنراتورهای القایی روتور قفسی

[1] Carbon Capture and Storage
[2] Heat Exchanger
[3] Air Preheater

ژنراتورهای استاتور خودروها	ژنراتورهای سنکرون IPM، ژنراتورهای القایی، ژنراتورهای با قابلیت شار برگشتی
لوکوموتیوهای دیزلی	ژنراتورهای سنکرون با تحریک روی روتور
تولید برق به صورت خانگی	ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم و LMAها
کاربردهای هوافضا	آلترنیتورهای حرکت خطی (LMAها)
کاربردهای هواپیمایی	ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم، ژنراتورهای القایی روتور قفسی یا دو سو تغذیه (تا ۵۰۰ کیلووات به ازای هر واحد)
کاربردهای کشتی‌رانی	ژنراتورهای سنکرون مجهز به سیستم تحریک (توانی در حد چند مگاوات)
باتری‌های اینرسیایی	ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم با فاصله‌ی هوایی محوری (تا چند صد مگاژول به ازای واحد)
ژنراتورهای فوق پر سرعت متصل به توربین‌های گازی	ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم (تا ۱۵۰ کیلووات و ۸۰ هزار دور در دقیقه)

۳-۱-۲-۲- پارامترها و مشخصه‌های عملکردی ژنراتورهای الکتریکی

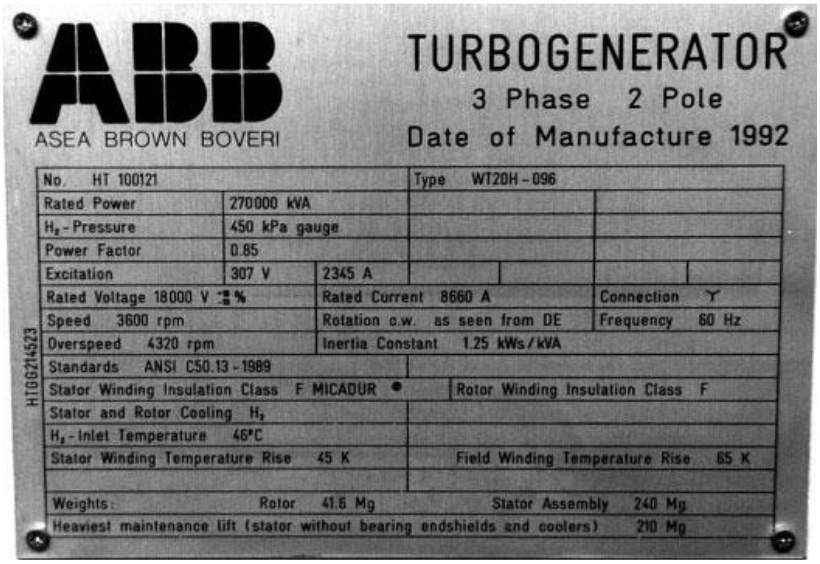
این بخش گزارش حاضر، به معرفی برخی پارامترهای توصیف‌کننده‌ی ژنراتورها و تشریح برخی مشخصه‌های عملکردی ژنراتورها می‌پردازد.

یک ژنراتور معمولاً با پارامترهای خاصی توصیف می‌شود. این پارامترها مربوط به نقطه‌ی حداکثر توان خروجی ژنراتور هستند. برخی از مهم‌ترین این پارامترها به قرار زیر هستند:

- توان ظاهری (MVA)
- توان حقیقی (MW)
- توان راکتیو (MVAr)
- ضریب توان
- ولتاژ ترمینال استاتور (V یا kV)
- جریان استاتور (A)
- ولتاژ میدان (V یا kV)
- جریان میدان (A)
- فرکانس (Hz)
- سرعت (rpm)
- قابلیت اضافه سرعت (rpm)
- فشار هیدروژن خنک‌سازی (psi) (در صورت استفاده از هیدروژن)
- دمای هیدروژن خنک‌سازی (درجه سانتی‌گراد) (در صورت استفاده از هیدروژن)
- کلاس عایقی سیم‌پیچی استاتور و روتور
- افزایش دمای سیم‌پیچی استاتور و روتور
- نسبت اتصال کوتاه

هر یک از پارامترهای بیان‌شده، یک کمیت محدود در طراحی ژنراتور است که محدودیت خاصی را نیز در بهره‌برداری از ژنراتور ایجاد می‌کند. در برخی موارد اگر از محدودیت‌های پارامتریک تجاوزی صورت گیرد، ژنراتور یا برخی از اجزای آن تحت تنش و فشار (اعم از مکانیکی، حرارتی یا الکتریکی) قرار می‌گیرد.

به منظور داشتن درک بهتری از پارامترهای یک ژنراتور، پلاک یک ژنراتور ساخت شرکت ABB به عنوان نمونه در شکل ۱۹-۲ نشان داده شده است [۳۶].

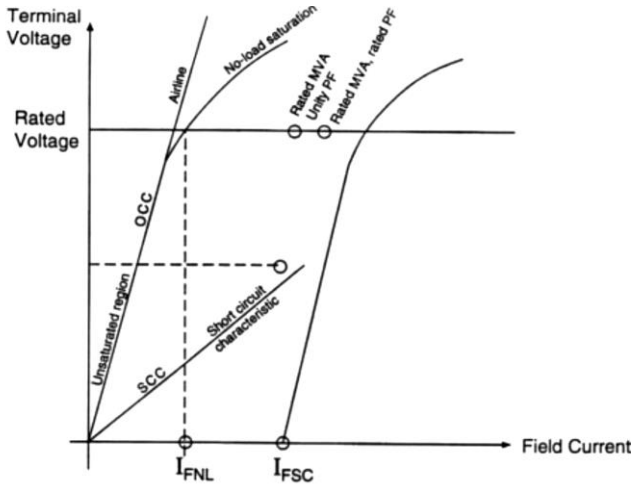


شکل ۱۹-۲: پلاک یک ژنراتور ساخت شرکت **ABB [۳۶]**

- مشخصه اشباع مدار باز

منحنی مشخصه اشباع مدار باز یک ژنراتور، مشخصه ولتاژ مدار باز ترمینال استاتور را به صورت تابعی از جریان میدان ارائه می‌کند. این مشخصه با این فرض که ژنراتور در سرعت نامی کار می‌کند، تهیه می‌شود. در صورتی که ولتاژ و به تبع آن شار سطح پایینی داشته باشد، رلوکتانس عمده مدار مغناطیسی ژنراتور، مربوط به فاصله هوایی است. این منحنی در واقع همان منحنی مشخصه هسته استاتور و روتور ژنراتور است و دارای سه بخش خطی (مربوط به فاصله هوایی)، منحنی (مربوط به خاصیت مغناطیسی) و اشباع می‌باشد که ناحیه‌ی مطلوب عملکرد ژنراتور به حساب می‌آید. در بخش خطی منحنی مدار باز، ولتاژ ترمینال و شار با جریان میدان متناسب هستند. این بخش خطی از منحنی اشباع، خط فاصله هوایی[1] نام دارد. در ولتاژهای بالاتر که شار افزایش پیدا می‌کند، آهن استاتور اشباع شده و برای عبوردادن شار مغناطیسی در آهن، نیاز به شدت جریان میدان بیشتری است. این مسئله ناشی از رلوکتانس بیشتر مدار مغناطیسی است. بنابراین، بخشی بالایی منحنی با روندی لگاریتمی یا نمایی از خط فاصله هوایی فاصله می‌گیرد. در صورتی که آهن در مدار مغناطیسی وجود نداشته باشد، خط فاصله هوایی به صورت خطی ادامه می‌یابد؛ یعنی ولتاژ ترمینال و شار ژنراتور به صورت خطی با افزایش شدت جریان میدان، افزایش خواهد یافت. یک نمونه از منحنی اشباع مدار باز ژنراتور در شکل ۲۰-۲ نشان داده شده است [۳۶].

[1] Airgap Line



IFNL = Field current required to produce open-circuit rated voltage
IFSC = Field current that produces rated armature current with short-circuited terminals

$$\text{Short-circuit ratio (SCR)} = \frac{I_{FNL}}{I_{FSC}}$$

In turbogenerators (most) SCR ≈ 0.5 - 0.6

شکل ۲۰-۲: منحنی مشخصه اشباع مدار باز (**OCC**) و اتصال کوتاه (**SCC**) ژنراتور **[۳۶]**

- مشخصه اشباع اتصال کوتاه

منحنی مشخصه اشباع اتصال کوتاه، جریان استاتور را به صورت تابعی از شدت جریان میدان ترسیم می‌کند. این منحنی با فرض این‌که سیم‌پیچی‌های استاتور اتصال کوتاه شده‌اند و ژنراتور با سرعت نامی کار می‌کند، ایجاد می‌شوند. منحنی اتصال کوتاه معمولاً شبیه به منحنی مدار باز رسم می‌شود. منحنی مشخصه اتصال کوتاه همواره خطی است، چرا که در شرایط اتصال کوتاه، سطح شار همواره کمتر از سطح اشباع آهن است. منحنی اتصال کوتاه، منحنی امپدانس سنکرون[1] نیز نامیده می‌شود، چون امپدانس سنکرون ژنراتور است که سطح جریان اتصال کوتاه ماشین را تعیین می‌کند. یک نمونه منحنی مشخصه اشباع اتصال کوتاه ژنراتور نیز در شکل ۲۰-۲ نشان داده شده است [۳۶].

لازم به ذکر است که از منحنی‌های مدار باز و اتصال کوتاه جهت بدست آوردن امپدانس سنکرون ژنراتور استفاده می‌شود.

- منحنی‌های قابلیت

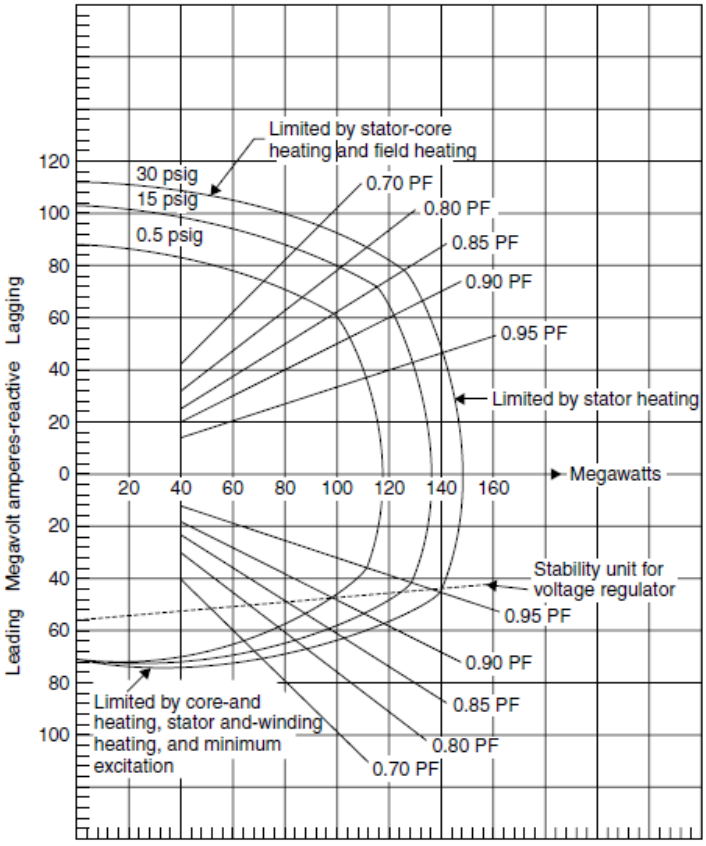
منحنی‌های قابلیت، توان ظاهری (MVA) ژنراتور را در ولتاژ نامی و با استفاده از توان اکتیو (MW) و توان راکتیو (MVAr) ترسیم می‌کند. یک منحنی مشخصه، که نمونه‌ای از آن در شکل ۲۱-۲ نشان داده شده است، محدوده‌ی بهره‌برداری مجاز از ژنراتور را نشان می‌دهد. بخش‌هایی که داخل منحنی باشند، نقاط مجاز و نقاط خارج از منحنی، نقاط غیرمجاز بهره‌برداری از ژنراتور به حساب می‌آیند.

در صورتی که یک دستگاه مختصات x-y ترسیم شود که در آن محور x بیانگر MW و محور y بیانگر MVAr باشد، دایره‌های ترسیم‌شده، MVA را نشان خواهند داد. در صورتی که ولتاژ در مقدار نامی تثبیت شود، هر نیم‌دایره ترسیم‌شده

[1] Synchronous Impedance Curve

نماینده‌ی یک مسیر جریان ثابت نیز خواهد بود. همچنین در همان نمودار رسم‌شده، هر خطی که شروع آن از محل تقاطع محورها باشد، نشان‌دهنده‌ی یک ضریب توان خاص است. بخش‌های مختلف منحنی قابلیت، توسط اجرای مختلف ماشین محدود می‌شوند. در این منحنی بخش‌هایی وجود دارد که توسط قابلیت سیم‌پیچی میدان، قابلیت سیم‌پیچی استاتور و گرم‌شدن انتهای هسته محدود می‌شوند.

از آن‌جایی که ضریب توان از فوق‌تحریک[1] کامل تا زیرتحریک[2] کامل متغیر است، جریان استاتور و متعاقب آن جریان انتهای هسته استاتور محدود می‌شوند. بر همین اساس، منحنی‌هایی که قابلیت توربوژنراتور را تعریف می‌کنند، دارای سه بخش هستند که به صورت تصویری تأثیر قابلیت سه مولفه در یک ماشین را نشان می‌دهند [۳۶].



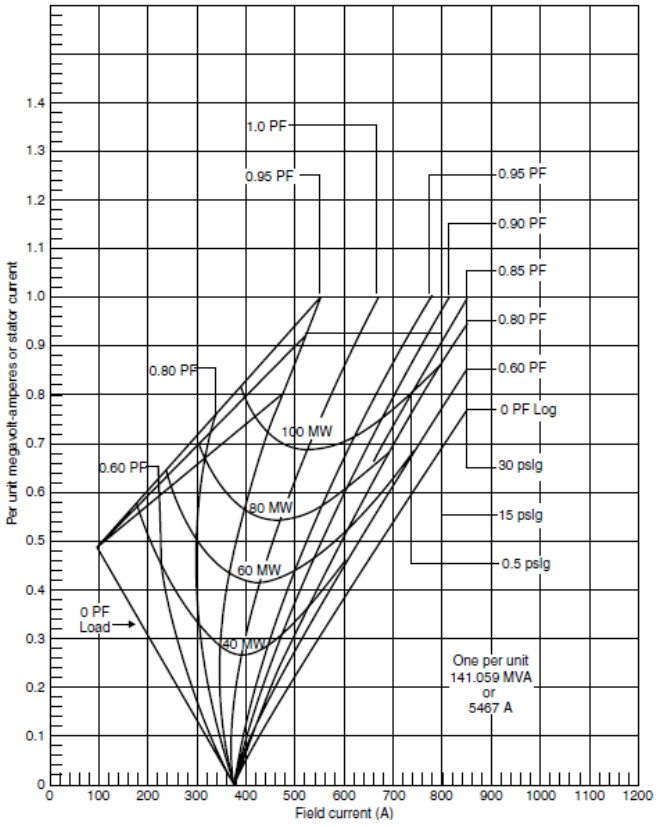
شکل ۲۱-۲: منحنی قابلیت در یک ژنراتور **[۳۶]**.

- منحنی‌های V

منحنی‌های V توان ظاهری (MVA) را به صورت تابعی از جریان میدان به تصویر می‌کشند که برای ضرایب توان مختلف و با حفظ سرعت و ولتاژ استاتور در مقادیر نامی، ترسیم می‌شوند. در این منحنی‌ها، خطوط افقی به معنای جریان ثابت استاتور هستند. پارامترهای ژنراتور، محل تقاطع خط توان ظاهری نامی و منحنی ضریب توان نامی خواهند بود. تمام منحنی‌های مربوط به ضرایب توان مختلف در یک نقطه مشترک در توان ظاهری صفر همگرا می‌شوند. این نقطه، مربوط به جریان میدان در ولتاژ نامی و حالت مدار باز است [۳۶].

[1] Overexcited
[2] Underexcited

خطوط عمودی و افقی برای قابلیت‌های سیم‌پیچی‌های میدان و استاتور در فشارهای متفاوت گاز هیدروژن خنک‌ساز نیز قابل نمایش هستند. کاهش قابلیت ناشی از گرم‌شدن انتهای هسته در سطوح تحریک پایین نیز قابل لحاظ کردن است. یک منحنی V مرسوم در شکل ۲۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۲-۲: یک منحنی **V** مرسوم **[۳۶]**.

این منحنی‌ها در واقع همان منحنی‌های جریان استاتور بر حسب جریان تحریک هستند.

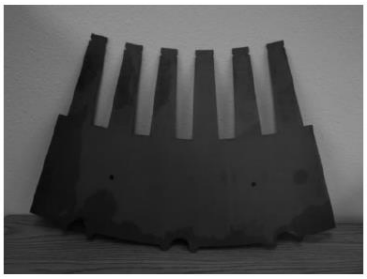
از دیگر مشخصه‌های ژنراتور می‌توان به امپدانس گذرای سنکرون (X_d') و امپدانس پیش‌گذرای ژنراتور (X_d'') اشاره کرد.

۴-۱-۲-۲- اجزای ژنراتورهای سنکرون

حوزه‌ی تمرکز این بخش بررسی ساختار ژنراتورهای سنکرون و اجزای مختلف آن‌هاست. همچنین، در این فصل به مسائلی که به شکل قابل توجهی روی طراحی اجزای مختلف ژنراتورها اثرگذار هستند، پرداخته خواهد شد. حوزه‌ی تحت بررسی این فصل، ژنراتورهای مورد استفاده در نیروگاه‌های گازی و بخاری هستند که اصطلاحاً توربوژنراتور نیز نامیده می‌شوند. این نوع ژنراتورها معمولاً در نیروگاه‌های هسته‌ای و یا سوخت فسیلی و نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. محدوده‌ی ظرفیت این ژنراتورها از چند مگاوات تا حدود ۱۹۰۰ مگاوات تغییر می‌کند. ژنراتورهای خاصی که در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرند دارای روتورهای دوار دو و چهار قطب با سرعت‌های دورانی ۳۶۰۰ و ۱۸۰۰ دور در دقیقه هستند و در آمریکای شمالی، بخش‌هایی از ژاپن و آسیا مورد استفاده قرار می‌گیرند (ژنراتورهای با ۳۰۰۰ و ۱۵۰۰ دور در دقیقه اغلب در اروپا، آفریقا، استرالیا، آسیا و آمریکای جنوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند) [۳۶].

- هسته استاتور

هسته‌ی استاتور از ورقه‌های نازک الکتریکی با ۳ یا ۴ درصد سیلیکون و فولاد ضخیم (۰.۳۵۵ یا ۰.۴۸۳ میلی‌متر) ساخته می‌شود. یک لایه از لایه‌های هسته‌ی استاتور ژنراتور در شکل ۲۳-۲نشان داده شده است.



شکل ۲۳-۲: یک ورق از ورقه‌های مورد استفاده برای ساخت هسته‌ی استاتور ژنراتور **[۳۶]**

برای کنار هم قراردادن تعدادی از این ورقه‌ها از پانچ‌کردن یا لمینه‌سازی استفاده می‌شود. این ورقه‌ها به صورت تکه‌تکه هسته را شکل می‌دهند؛ به عبارت دیگر، بسته به نوع ماشین که دو قطب یا چهار قطب باشد، چیزی بین ۱۰ تا ۲۴ ورقه کنار هم قرار می‌گیرند تا یک حلقه‌ی ۳۶۰ درجه شکل گیرد. هر کدام از این لایه‌ها موقعیت متزلزلی نسبت به لایه‌های بالایی و پایینی خود دارد و این موضوع باعث می‌شود لبه‌های هر لایه به لایه‌های مجاور کمک کند تا در نهایت هسته‌ای با استحکام و یکپارچگی بالا شکل گیرد. این موضوع در شکل ۲۴-۲ نشان داده شده است. همچنین به دلیل عدم تقارن مدار مغناطیسی، این ویژگی باعث می‌شود ولتاژ شفت روتور نیز کاهش یابد [۳۶].

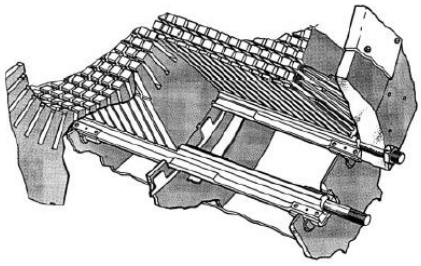
شکل ۲۴-۲: قرارگیری ورقه‌های هسته روی یکدیگر به منظور شکل‌گیری یک هسته‌ی یکپارچه **[۳۶]**

هر ورقه از هر دو سمت به وسیله‌ی موادی معدنی یا غیرمعدنی که ضخامتی بسیار کم دارند، نسبت به سایر ورقه‌ها عایق می‌شود. از مواد معدنی می‌توان به وارنیش و از مواد غیرمعدنی می‌توان به لایه‌ای اکسید اشاره کرد. هدف از عایق‌کردن هر ورقه نسبت به ورقه‌های دیگر، محدودکردن هر نوع جریان گردابی القایی به همان ورقه است و این‌که جریان مربوطه در سایر ورقه‌ها القا نشود. این کار باعث می‌شود مقاومت ورقه‌ها در برابر جریان‌های گردابی افزایش یابد، در نتیجه اندازه‌ی این جریان‌ها کاهش پیدا کرده و در نهایت به کاهش تلفات جریان گردابی و متعاقب آن به کاهش دمای هسته منجر می‌شود. حوادث غیرطبیعی حین بهره‌برداری از ژنراتور، مانند ایجاد بیش از حد شار در هسته، می‌توانند به اندازه‌ای دمای هسته را بالا ببرند که عایق بین ورقه‌ها از بین برود. این اتفاق می‌تواند منجر به خرابی کامل هسته شود [۳۶].

هسته از ورقه‌های نازک ساخته می‌شود تا حین بهره‌برداری، تلفات جریان‌های گردابی در هسته‌ی آهنی که ناشی از القای شار متناوب در هسته است، کاهش یابد. به دلیل شار نشتی در بخش‌های انتهایی هسته و همچنین انحراف شار،

فعالیت جریان‌های گردابی در این بخش‌های هسته افزایش می‌یابد. به منظور کاهش اثر جریان‌های گردابی ناشی از گیرافتادگی محوری شار در بخش‌های انتهایی هسته و متعاقب آن افزایش حرارت در این بخش‌ها، دندانه‌های هسته به صورت شکاف‌هایی به طول چند اینچ و از نظر محوری به سمت داخل از هر انتها به سمت هسته ساخته می‌شوند (شکل ۲-۲۴).

هسته‌ی استاتور یک توربوژنراتور از ده‌ها هزار ورقه‌ی لمینه‌شده تشکیل شده است که باید به شکل مستحکم و پایدار در کنار هم قرار بگیرند؛ مخصوصاً اگر ژنراتور افقی نصب شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته باشد. به منظور حفظ بخش‌های حلقه‌ی ورقه‌ورقه‌ی هر لایه در کنار هم آن‌ها را در یک سازه‌ی فریم استاتور به میله‌های کلیدی[1] نصب می‌کنند. این کار در شکل ۲-۲۴ و شکل ۲-۲۵ نشان داده شده است [۳۶].



شکل ۲-۲۵: هسته‌ی سوارشده روی فریم استاتور با کمک میله‌های کلیدی**[۳۶]**

سپس به منظور محکم‌کردن هسته، ورقه‌ها به صورت محوری گیر داده می‌شوند.

نگه‌دارنده‌ی هسته باید گشتاور ماشین را با وضعیت بهره‌برداری از ژنراتور تطبیق دهد. بار ثابت برای هسته به صورت گشتاور ثابت به نظر می‌رسد، اما حالت‌های گذرا باعث ایجاد گشتاورهای پیک می‌شوند که طراحی ماشین باید با آن‌ها سازگاری داشته باشد. این گشتاورها از طریق میله‌های کلیدی نصب‌شده در پشت هسته که شیارهای هسته در آن واقع شده‌اند، به فریم استاتور منتقل می‌شوند. میله‌های کلیدی نیز روی فریم استاور نصب شده‌اند تا به نوبه‌ی خود نگهدارنده‌ای برای کل ساختار ژنراتور باشند.

به دلیل سطح بالای نیروها و ارتعاشاتی که حین بهره‌برداری عادی و غیرعادی از ژنراتور ایجاد می‌شود، تجهیزات مکانیکی دمپینگ یا فنرهایی خاص به منظور کاهش اثرات منفی به هسته و فریم یا سایر بخش‌های استاتور به کار برده می‌شوند [۳۶].

در ژنراتورهای بزرگ، خنک‌سازی هسته با استفاده از گاز هیدروژن صورت می‌گیرد. به همین منظور از داکت‌های شعاعی در هسته استفاده می‌شود. تلفات ایجادشده در هسته با کمک گاز خنک‌کننده در سطح داکت‌های شعاعی پخش می‌شود. پهنای داکت‌ها و ضخامت هسته بسته به میزان تهویه‌ی موردنیاز از نظر مکانیکی و دمایی در هسته انتخاب خواهد شد. برای این‌که امکان ایجاد تهویه از طریق داکت‌های شعاعی وجود داشته باشد، بلوک‌های فاصله‌انداز[2] قرار داده می‌شوند تا مسیری شعاعی برای عبور گاز از منافذ استاتور به نواحی پشتی هسته و بالعکس شکل گیرد. این موضوع در شکل ۲-۲۶ نشان داده شده است.

[1] - Keybars

[2] –Space Blocks

شکل ۲۶-۲: بخشی از صفحه‌ی ضخیم هسته با بلوک‌های فاصله‌انداز **[۳۶]**

در استاتور شیارهایی به منظور ایجاد فضایی برای قرارگیری سیم‌پیچی‌های استاتور وجود دارند. در این بخش‌ها، مواد هسته حذف شده‌اند تا فضا برای سیم‌پیچی‌ها فراهم شود و بنابراین، چگالی شار دندانه‌ای در این نواحی بسیار زیاد است. همین موضوع در تلفات و گرمای تولیدی در هسته و سیم‌پیچی‌ها اثرگذار است و این گرما باید از طریق سیستم خنک‌سازی در سرتاسر ماشین پخش شود.

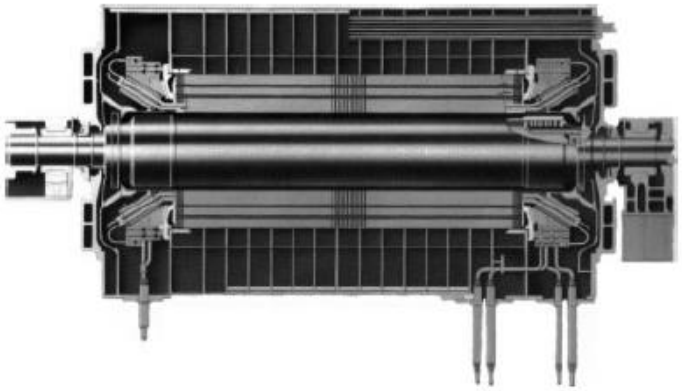
بخشی از هسته که زیر شیارهای سیم‌پیچی‌ها قرار دارد، یوغ[1] یا پشت هسته[2] نامیده می‌شود. سطح اشباع مغناطیسی و ارتعاش مکانیکی، عمق شعاعی یوغ در ژنراتورهای دو قطب را تعیین می‌کند. ژنراتورهایی که قطر بیرونی هسته‌شان کوچک‌تر است (ژنراتورهای چهار قطب)، معمولاً ماشین‌هایی هستند که شار کمتری در آن‌ها جریان پیدا می‌کند. ژنراتورهای با قطر بیرونی هسته‌ی بیشتر (ژنراتورهای دو قطب) معمولاً ماشین‌هایی هستند که شار بیشتری در آن‌ها جاری است [۳۶].

در ماشین‌هایی که سیم‌پیچی استاتورشان به صورت مستقیم خنک می‌شود، واکنش آرمیچر و شار منحرف‌شده زیاد است و لازم است در بخش‌های انتهایی هسته‌ی استاتور محافظت بیشتری از شار صورت گیرد تا تلفات در آن بخش‌ها کمینه شود و متعاقب آن دمای آن نواحی نیز کاهش یابد. محافظت از شار با استفاده از یک محافظ حامل جریان مسی یا از طریق فولاد مغناطیسی ورقه‌ورقه که به صورت موازی حامل شار باشد، صورت می‌گیرد.

- فریم استاتور

هدف اصلی از ساخت فریم استاتور، فراهم‌کردن نگه‌دارنده‌ای برای هسته‌ی استاتور و عملکرد به عنوان یک صفحه‌ی فشاری برای گاز هیدروژن خنک‌کننده در ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن است. همچنین فریم استاتور از داخل شکلی تفکیک‌شده دارد تا یک مدار تهویه در داخل ژنراتور ایجاد شود. این نکته در شکل ۲۷-۲ نشان داده شده است [۳۶].

[1] Yoke
[2] Core-back



شکل ۲۷-۲: برش مقطعی هسته و فریم استاتور [۳۶]

در ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با گاز هیدروژن، فریم استاتور به عنوان نگه‌دارنده‌ی خنک‌کننده‌های هیدروژنی (تبادل‌گرهای حرارتی) که به منظور جذب حرارت جذب‌شده توسط گاز هیدروژن مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز عمل می‌کند. در برخی ژنراتورهای بزرگ‌تر، سطح فشار گاز هیدروژن تا 75 psi نیز می‌رسد.

فریم استاتور متشکل از یک پوسته‌ی بیرونی است که اصطلاحاً صفحه‌ی رویه[1] نامیده می‌شود و دنده‌های محیطی و میله‌های کلیدی به آن متصل می‌شوند. بیرون رویه، پایه‌هایی جوش داده شده‌اند تا امکان قراردادن ژنراتور روی یک فوندانسیون فراهم باشد. پایه‌ها و فریم برای کنترل وزن ژنراتور ضروری هستند. ساختار فریم همچنین باید قادر به تحمل شرایط کاری غیرعادی ناشی از شبکه‌ی برق و خطاهای ژنراتور هستند و منجر به ایجاد فشارهای گذرای شدیدی به فریم می‌شوند، باشد. فریم استاتور همچنین باید قادر به تحمل شرایط عادی ناشی از شبکه برق و خطاهای ژنراتور باشد [۳۶].

از آن‌جایی که فریم، نگه‌دارنده‌ی اصلی هسته‌ی استاتور است، باید امکان جابجایی همراه با انبساط و انقباض هسته که ناشی از حرارت و کشش‌های مغناطیسی همراه با الگوهای شارهای چرخان در هسته را داشته باشد. به منظور سازگاری با تمام این شرایط، معمولاً کوپلینگ مکانیکی هسته به فریم با کمی انعطاف‌پذیری صورت می‌گیرد. در توربوژنراتورها، سازگاری طراحی فریم معمولاً با تجهیزات ایزوله‌سازی یا فنر رخ می‌دهد. این اقدام به دمپ‌کردن هسته و ارتعاشات فریم کمک کرده و آن‌ها را از فونداسیون ایزوله می‌کند. سختی فریم و فرکانس‌های طبیعی ارتعاش نیز پارامترهای مهمی هستند. به همین منظور اقدامات مهمی صورت می‌گیرد تا اطمینان حاصل شود که فرکانس‌های طبیعی هسته و فریم نزدیک به ۵۰/۶۰ یا ۱۰۰/۱۲۰ هرتز نباشند.

به منظور فراهم‌کردن سختی لازم برای پوسته‌ی بیرون فریم، در سراسر طول استاتور و با فواصل یکسان، دندانه‌های محیطی به رویه جوش داده شده‌اند. این دندانه‌ها به فریم استاتور قدرت لازم برای نگه‌داشتن هسته و عمل به عنوان یک صفحه‌ی فشار برای گاز هیدروژن خنک‌کننده (برای ماشین‌های مجهز به سیستم خنک‌سازی با گاز هیدروژن) را می‌دهند. کل ساختار فریم به گونه‌ای طراحی می‌شود که استحکام لازم را داشته باشد و از فرکانس‌های طبیعی مشخصه‌ی یک و دو بار در هر گردش ژنراتور جلوگیری شود. نوع فولاد مورد استفاده در فریم معمولاً ماده‌ای قابل جوش‌کاری با استحکام مناسب و شکل‌پذیری در دمای پایین (مثلاً فولاد میلد) است.

[1] Wrapper Plate

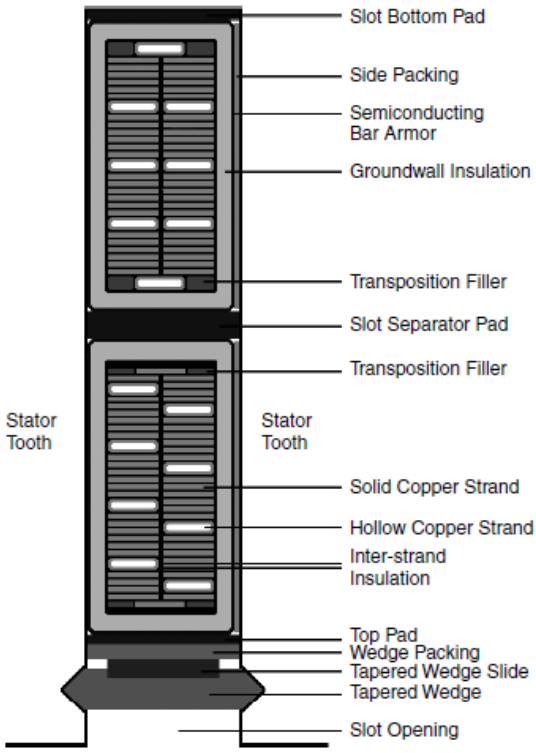
چارچوب تعدادی نقطه‌ی ذاتاً ضعیف خواهد داشت که باید در طراحی مد نظر قرار گیرند. این ضعف‌ها ناشی از بریدگی‌های درون ساختار فریم هستند که بخش‌های مختلف مسیر تهویه را در سرتاسر فریم به هم متصل می‌کنند. بعضی از این نقاط ضعف شامل درگاه‌های خنک‌کننده‌ی هیدروژن، ساختار جعبه‌ی ترمینال و محل اتصال ابزار دقیق هستند. البته باید مسیر تهویه فراهم باشد تا گاز خنک‌سازی از خروجی خنک‌کننده‌های هیدروژنی به بخش‌های مختلف هسته‌ی استاتور، روتور و ترمینال‌ها و سپس دوباره از به ابتدای مدار خنک‌سازی هدایت شود. البته اندازه‌یابی برش‌ها و مسیرهای خنک‌سازی با توجه به مقدار خنک‌سازی مورد نیاز در هر بخش ژنراتور تعیین می‌شود. همین نکات در ماشین‌های مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا نیز وجود دارد.

فریم‌های استاتور همچنین به گونه‌ای طراحی می‌شوند که امکان جابجایی و بلندکردن ماشین وجود داشته باشد. زمانی که یک ماشین ساخته شد، باید به محل بهره‌برداری تحویل داده شود و به همین دلیل نیازمند تجهیزاتی مانند کامیون‌های بزرگ برای ماشین‌های کوچک‌تر و جابجایی ریلی و کشتی برای ماشین‌های بزرگ‌تر هستیم. روش بلندکردن ژنراتورها معمولاً از طریق جرثقیل است. برای انجام این کار، صفحات بازویی شکل به کناره‌های فریم استاتور پیچ می‌شوند که اغلب صفحاتی بزرگ هستند و بنابراین کابل‌های جرثقیل برای بلندکردن ژنراتور قابل اتصال به این صفحات هستند. وزن برخی از بزرگ‌ترین استاتورها به ۵۰۰ تن نیز می‌رسد. در واقع، این نکته حائز اهمیت است که روش جابجایی است که حداکثر اندازه‌ی قابل ساخت ژنراتورها را تعیین می‌کند [۳۶].

- سیم‌پیچی‌های استاتور

سیم‌پیچ استاتور از کلاف‌های هادی مسی دارای عایق که حول قطر داخلی هسته‌ی استاتور پیچیده شده است، ساخته می‌شود. این سیم‌پیچ‌ها در شیارهایی که به فواصل یکسان تعبیه شده‌اند قرار می‌گیرند تا متقارن‌بودن شار نشتی با میدان تولیدی توسط روتور تضمین شود. هر شیار حاوی دو میله‌ی هادی است که یکی روی دیگری قرار دارد. نحوه‌ی قرارگیری هادی‌ها در شیارها در شکل ۲۸-۲ نشان داده شده است. این میله‌ها اصطلاحاً میله‌های بالایی و پایینی نامیده می‌شوند. میله‌های بالایی آن‌هایی هستند که به محل باز شیار نزدیک‌ترند و میله‌های پایینی در پایین شیار قرار دارند. ناحیه‌ای از هسته که بین این دو قرار دارد، دندانه‌ی هسته نام دارد.

سیم‌پیچی استاتور به سه فاز تقسیم می‌شود که به صورت wye متصل هستند. یکی از دلایل اتصال wye این است که امکان ایجاد نقطه‌ی زمین‌سازی خنثی به منظور حفاظت رله‌ای از سیم‌پیچی را فراهم می‌کند. سه فاز به گونه‌ای متصل می‌شوند که تقارن ۳۶۰ درجه‌ای در منفذ استاتور شکل دهند. توزیع این فازها نیز به گونه‌ای است که تفاوتی ۱۲۰ درجه‌ای در پیک ولتاژ هر فاز نسبت به دیگری وجود داشته باشد. ممکن است هر یک از این سه فاز یک یا چند مدار موازی درون فازی نیز داشته باشند. مدارهای موازی درونی ممکن است به صورت سری یا موازی یا در صورتی که ژنراتور چهار قطب باشد، به صورت ترکیبی از این دو متصل شوند [۳۶].



شکل ۲۸–۲: برش مقطعی شیار استاتور که در آن میله‌های استاتور به شکل غیرمستقیم خنک می‌شوند و سیستم گوه‌ای در آن نصب شده است [۳۶]

میله‌های استاتور در هر گروه فازی به گونه‌ای قرار می‌گیرند که مسیرهای موازی‌ای وجود داشته باشند که بین میله‌های بالایی و پایین هم‌پوشانی ایجاد شود (شکل ۲۸–۲) دقت شود. میله‌های بالایی یک سمت منفذ استاتور به میله‌هایی پایینی سمت دیگر منفذ استاتور در یک جهت متصل می‌شوند، درحالی‌که میله‌های پایینی در جهت دیگر سمت مخالف استاتور متصل هستند. این نوع اتصال با میله‌های سمت دیگر استاتور یک کشش[۱] یا گام[۲] از تعداد مشخصی شیار ایجاد می‌کند. بنابراین، گام تعدادی شیار است که میله‌های استاتور باید در آرک منفذ استاتور به آن برسند و دو میله‌ای که باید متصل شوند را جدا می‌کند. این گام همیشه از ۱۸۰ درجه کمتر است.

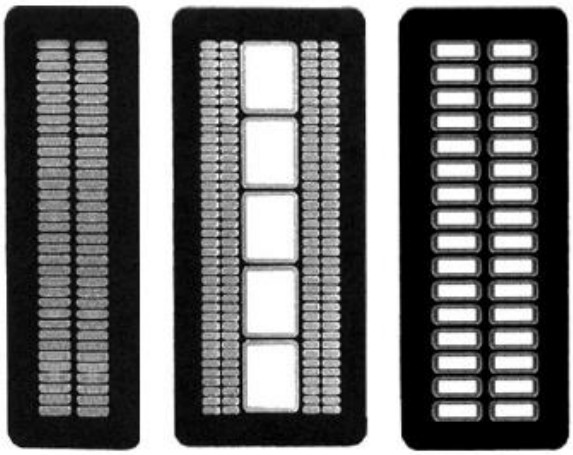
میله‌های استاتور پس از اتصال یک سیم‌پیچ یا یک تک حلقه را شکل می‌دهند. پهنای کلی موازی‌های هم‌پوشان، عرض[۳] نامیده می‌شوند. ترکیبی از گام و عرض،"سیم‌پیچی یا فاکتور توزیع" را ایجاد می‌کند. فاکتور توزیع به منظور کمینه‌کردن محتوای هارمونیکی ولتاژ تولیدشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. نوع اتصال به تعداد سایر مشکلات طراحی پیرامون قابلیت حمل جریان مس سیم‌پیچی بستگی خواهد داشت.

ظرفیت جریانی بالای مس میله‌های استاتور، باعث تولید حرارت قابل توجهی می‌شود. تلفات ناشی از عبور جریان از میله‌های مسی سیم‌پیچی، تلفات I^2R نامیده می‌شود. کنترل‌کردن تلفات در سیم‌پیچی استاتور مستلزم طراحی دقیق است، چون میدان مغناطیسی که از منفذ استاتور به سمت پایین شیار جریان دارد، دارای واریانس است. میدان مغناطیسی در بالای

[1] Reach
[2] Pitch
[3] Breadth

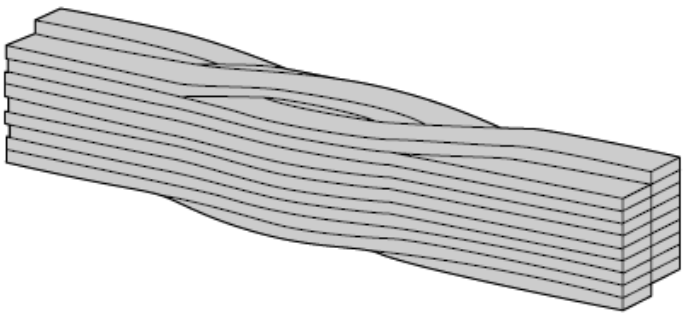
شیار شدت بیشتری دارد و بنابراین، میله‌های بالایی معمولاً گرمای بیشتری نسبت به میله‌های پایینی تولید می‌کنند. بین خود میله‌ها نیز جریان‌های گردابی ایجاد می‌شود که ناشی از نشتی محلی میدان مغناطیسی است.

به منظور کاهش جریان‌های گردابی در هر میله‌ی استاتور، هادی‌ها از تعداد زیادی رشته‌ی مسی ساخته می‌شوند. این موضوع در شکل ۲۹-۲ نشان داده شده است [۳۶].



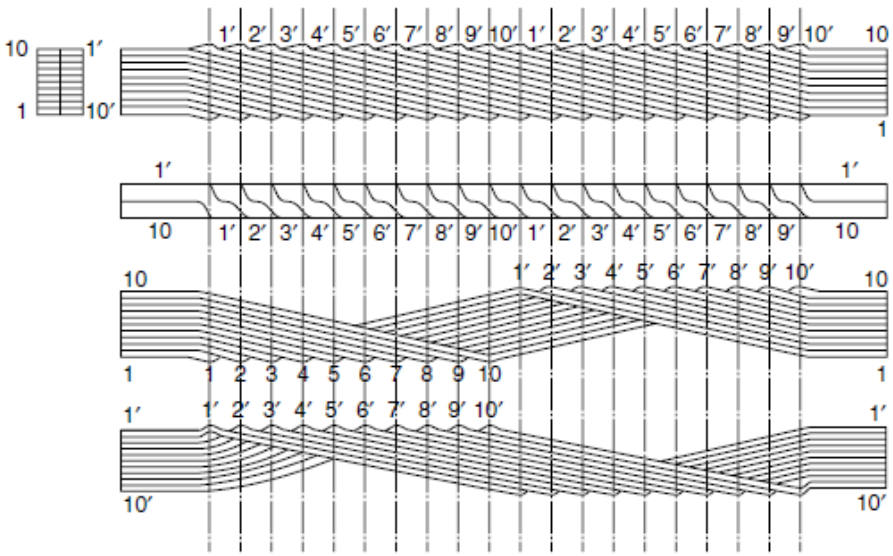
شکل ۲۹-۲: برش مقطعی میله‌ی هادی استاتور برای انواع ژنراتورها **[۳۶]**

دلیل این رشته‌ای سازی، مشابه دلیل ورقه‌ای کردن هسته‌ی استاتور به جای استفاده از فولاد یکپارچه است. با این حال، علی‌رغم این‌که در هر میله رشته‌ها از یکدیگر عایق شده‌اند، در نهایت به هر دو انتهای میله‌ی استاتور متصل می‌شوند. بنابراین، ممکن است در یک میله مقداری جریان گردشی اضافی از رشته‌های بالایی به سمت رشته‌های پایینی ایجاد شود. این اتفاق به دلیل تفاوت میدان مغناطیسی در بالا و پایین شیار است. به منظور کاهش جریان‌های گردشی، رشته‌ها در هر میله به صورت روبل جابجاشده[1] هستند. این نکته در شکل ۳۰-۲ و شکل ۳۱-۲ نشان داده شده است. منظور از روبل جابجاشده رشته‌های مسی جابجاکردن مجدد هر رشته در پشته‌ی میله‌ی استاتور به گونه‌ای است که هر فضای موجود در پشته را حداقل یک بار در کل میله‌ی استاتور اشغال کند [۳۶].



شکل ۳۰-۲: نمایش جابجایی روبل به صورت سه‌بعدی **[۳۶]**

[1] Roebel Transposed



شکل ۳۱-۲: نقشه‌ی جابجایی روبل [۳۶]

بسته به اندازه و روش خنک‌سازی مورد نیاز در ماشین، راه‌های زیادی برای طراحی کلاف‌های هادی استاتور وجود دارد. در ژنراتورهای با خروجی بالاتر، خنک‌سازی به طور خاص از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در همین راستا، خنک‌سازی مستقیم مطلوب‌ترین نوع خنک‌سازی به حساب می‌آید، زیرا قابلیت حمل جریان استاتور ژنراتور را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. مزیت این سیستم خنک‌سازی، کاهش سطح شار و بنابراین، کاهش ابعاد فیزیکی و وزن ژنراتور است. محدوده توانی ژنراتورهایی که به صورت مرسوم خنک‌سازی می‌شوند (مثلاً از طریق خنک‌سازی غیرمستقیم با گاز هیدروژن)، معمولاً در حوالی ۴۰۰ مگاولت‌آمپر است. با این حال، به تازگی سیستم‌های عایقی حرارتی جدیدی معرفی شده‌اند که امکان افزایش توان خروجی تا ۶۰۰ مگاولت‌آمپر را نیز فراهم می‌کنند. امروزه با سیستم‌های خنک‌سازی مستقیم، امکان ساخت ژنراتورهایی با حداکثر ۱۹۰۰ مگاوات توان خروجی نیز وجود دارد.

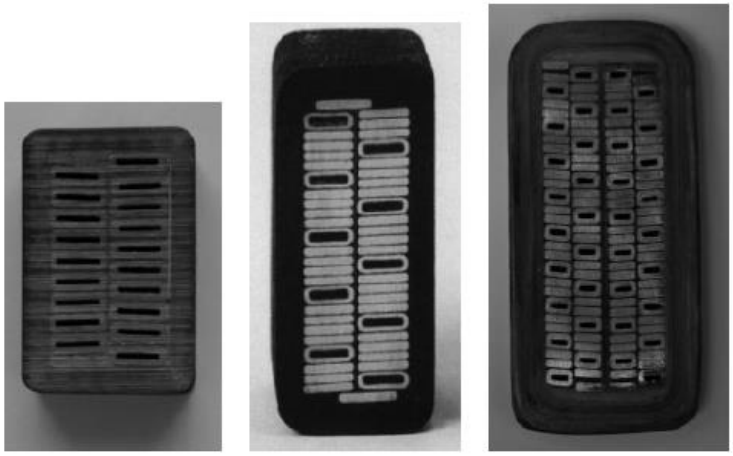
در ماشین‌هایی که به صورت غیرمستقیم خنک‌سازی می‌شوند، رشته‌های داخل کلاف‌های هادی تماماً تو پر هستند و گرمای تولیدشده در هادی‌ها با هدایت آن از طریق عایق دیواره‌ای هسته‌ی استاتور، حذف می‌شود. میزان هدایت حرارتی عایق دیواره‌ای به میزان قابل توجهی باعث محدودشدن اندازه‌ی ژنراتورها خواهد شد.

در میله‌هایی که از طریق گاز و به صورت مستقیم خنک می‌شوند، گاز در داکت‌هایی مستطیل‌شکل با رسانایی کم و دیواره‌هایی فلزی و غیرمغناطیسی از یک انتها به سمت انتهای دیگر عبور داده می‌شود. این داکت‌های خنک‌سازی با عایق از رشته‌های هادی مسی جدا می‌شوند. این نوع خنک‌سازی مستقیم بسیار کارآمدتر از خنک‌سازی غیرمستقیم است که به میزان حرارت قابل انتقال از طریق عایق دیواره‌ای بستگی داشت و همین موضوع باعث می‌شود امکان ساخت ژنراتورهایی با توان خروجی بیشتر فراهم باشد.

در میله‌هایی که به صورت مستقیم با آب خنک می‌شوند، رشته‌های مسی به صورت توخالی ساخته می‌شوند تا بتوانند حامل مایع خنک‌کننده باشند. رشته‌ها معمولاً مستطیلی هستند تا امکان پشته‌سازی وجود داشته باشد و علاوه بر جابجایی روبل، با عایق از یکدیگر ایزوله شده‌اند. نحوه‌ی قرارگیری میله‌های استاتور بسیار زیاد است. برخی از آن‌ها در شکل ۳۲-۲ نشان داده شده است [۳۶].

در سیستم ترکیبی، رشته‌های توخالی به صورت یکنواخت بین رشته‌های تو پر پراکنده می‌شوند. رشته‌های تو پر معمولاً نازک‌تر هستند تا شاید تلفات جریان گردابی کمتری تولید کنند. همچنین امکان نازک‌تر کردن آن‌ها نیز وجود دارد، چون

نگرانی‌ای بابت خراب‌کردن مسیر خنک‌کننده و محدودکردن جریان خنک‌کننده وجود نخواهد داشت. رشته‌ها را می‌توان به روش‌های مختلفی قرار داد تا طراحی‌های کارآمدتر حاصل شود و متعاقب آن، توان خروجی ژنراتور بیشتر شود.

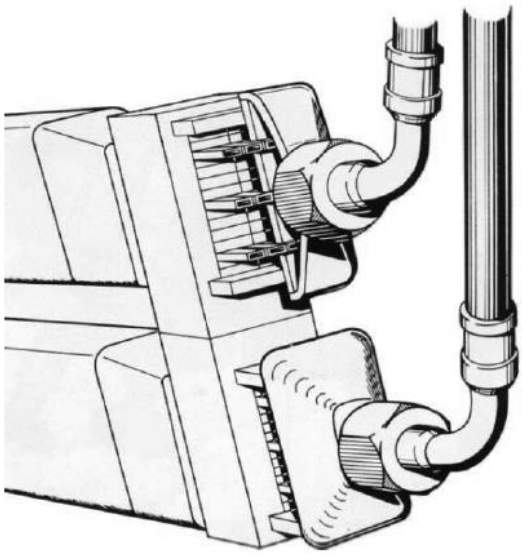


شکل ۳۲-۲: طراحی‌های مختلف میله‌ی استاتور برای ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی مستقیم. (**a**) تک پشته – تمام رشته‌ها توخالی هستند؛ (**b**) تک پشته – رشته‌های ترکیبی؛ (**c**) پشته دوبل – رشته‌های ترکیبی **[۳۶]**

در استاتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی مستقیم، افزایش چگالی جریان در سیم‌پیچی مسی استاتور به منظور دستیابی به توان خروجی بیشتر نیز امکان‌پذیر است. معمولاً هزینه‌فایده‌هایی بین اندازه‌ی شیارها و پیکربندی سیم‌پیچی صورت می‌گیرند تا سطح ولتاژ ترمینال بهینه نسبت به جریان جاری در سیم‌پیچی استاتور به دست آید.

از آن‌جایی که چگالی جریان استاتور در سیم‌پیچی‌هایی که مستقیم خنک می‌شوند بسیار بیشتر از سیم‌پیچی‌هایی است که غیرمستقیم خنک می‌شوند، طراحان باید اثر حالت‌های گذرا و افزایش دما را نیز در نظر بگیرند. ملاحظاتی پیرامون راکتانس و پایداری و بنابراین، نسبت اتصال کوتاه و عملکرد سیستم تحریک نیز باید صورت گیرند.

در طراحی برخی ژنراتورهای مدرن، رشته‌های مسی تو پر برای هدایت جریان الکتریکی و رشته‌های فولادی ضدزنگ تو خالی را برای هدایت خنک‌کننده ترکیب می‌شوند. این نوع طراحی در شکل ۳۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳۳-۲: رشته‌های میله‌ی استاتور با خنک‌سازی از طریق فولاد ضدزنگ **[۳۶]**

از این طراحی در ۳۰ سال گذشته استفاده شده و تجربه‌ای موفق بوده است. استفاده از رشته‌های ضدزنگ برای خنک‌سازی بسیاری از مشکلات صنعتی در زمینه‌ی خوردگی مس و خوردگی میله‌های استاتور را مرتفع کرده است. استفاده‌ی ترکیبی از میله‌های مسی و فولادی نیز باعث ایجاد استحکام بیشتری نسبت به استفاده‌ی تنها از میله‌های مسی می‌شود.

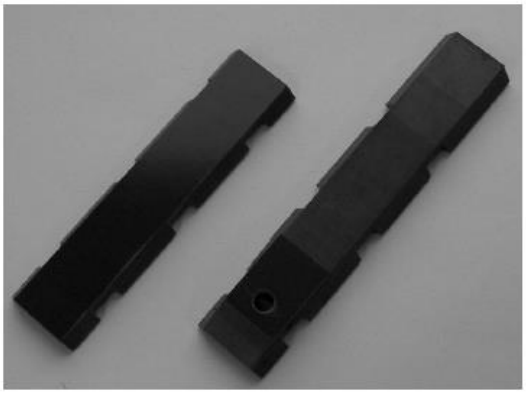
در ماشین‌هایی که به صورت مستقیم با آب خنک می‌شوند، خنک‌سازی مستلزم وجود یک سیستم خارجی برای حذف گرمای جذب‌شده توسط آب خنک‌کننده‌ی استاتور بعد از عبور از سیم‌پیچی استاتور است. بنابراین، سیستم خارجی همراه ژنراتور خواهد بود و از یک تبادل‌گر حرارتی برای انجام این کار بهره خواهد برد. برای چرخاندن آب نیز به پمپ و لوله‌کشی نیاز است. به علاوه، سیستم فیلترینگ برای حذف تمام ذرات معلق در آب خنک‌کننده‌ی استاتور که امکان مسدودکردن سیم‌پیچی درونی استاتور را فراهم کنند، مورد نیاز خواهد بود. از آن‌جایی که آب با هادی‌های مسی حامل جریان در تماس است، که با ولتاژهایی از ۰ تا ۲۷ کیلوولت کار می‌کنند، آب باید تا حد امکان خالص باشد تا از ایجاد جرقه جلوگیری شود. به منظور حفظ خلوص آب، به یک سیستم دی‌یونیزاسیون نیاز است.

کارکرد اصلی عایق الکتریکی سیم‌پیچی استاتور حفظ عایق اصلی بین هادی‌ها و هسته‌ی استاتور و سایر تجهیزات زمین‌شده و حفظ عایق بین دورها در سیم‌پیچ‌های چند دور و بین رشته‌های یک دور خاص است.

عایق دیواره‌ای باید به گونه‌ای طراحی شود که در تمام طول عمر ژنراتور توانایی تحمل ولتاژ خط به خط AC را داشته باشد. به علاوه، عایق دیواره‌ای باید قادر به تحمل اضافه ولتاژها در صورت خرابی‌های سیستم نیز باشد. عایق دور باید تحمل ولتاژ عادی سیم‌پیچ در طول عمر آن و اضافه ولتاژهای کوتاه‌مدت در صورت ایجاد ولتاژ ضربه با دامنه بالا[1] را نیز داشته باشد. عایق رشته‌ها در معرض ولتاژ بسیار پایینی است و همچنین در حالت‌های گذرا، اضافه ولتاژهای بسیار کمی را متحمل می‌شود [۳۶].

- گوه‌های سیم‌پیچی استاتور

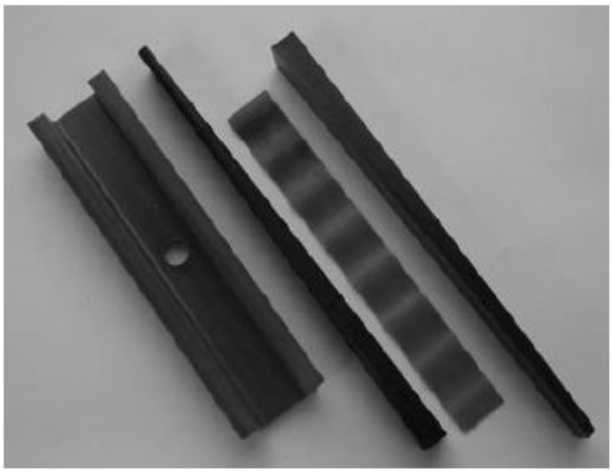
سازنده‌های مختلف، سیستم‌های گوه مختلفی را در ژنراتورهای خود به کار گرفته‌اند، اما هدف مشترک تمام این سیستم‌ها محکم‌کردن میله‌های استاتور در شیارهاست. چند نمونه از سیستم‌های گوه در شکل ۳۴-۲ و شکل ۳۵-۲ و شکل ۳۶-۲ و شکل ۳۷-۲ نشان داده شده است.



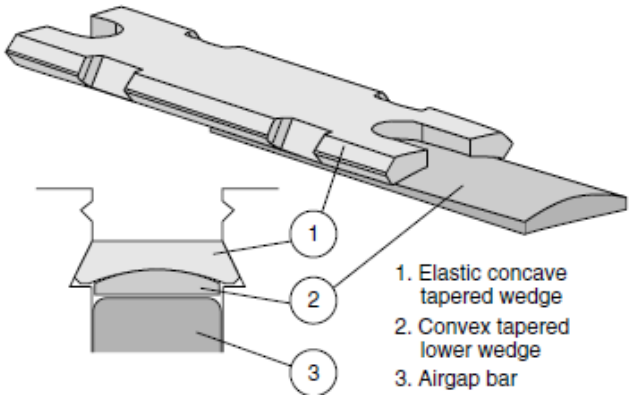
شکل ۳۴-۲: گوه‌ی شیار استاتور تک تکه تخت **[۳۶]**

[1] Surge

شکل ۳۵-۲: سیستم گوه‌ی شیار استاتور دو تکه مخروطی [۳۶]



شکل ۳۶-۲: سیستم گوه‌ی شیار استاتور چهار بخشی با گوه‌ی کانالی ۲ مخروطی و فنر مواج شعاعی [۳۶]



شکل ۳۷-۲: سیستم گوه‌ی شیار استاتور مقعر [۳۶]

با این حال، گوه‌گذاری برای میله‌های استاتور تنها با هدف تقویت استحکام استاتور صورت نمی‌گیرد. از آن‌جایی که حرارت قابل توجهی در میله‌ی استاتور وجود دارد، انبساط و انقباض حرارتی و ایجاد چروک در عایق نیز باید مورد توجه قرار گیرند. در صورتی که میله‌ها به خوبی با گوه محکم نشده باشند، انبساط و انقباض حرارتی باعث می‌شود آن‌ها از شیارهای خود خارج شوند و اثر گرما روی سیستم‌های عایقی نیز موضوع حائز اهمیتی است.

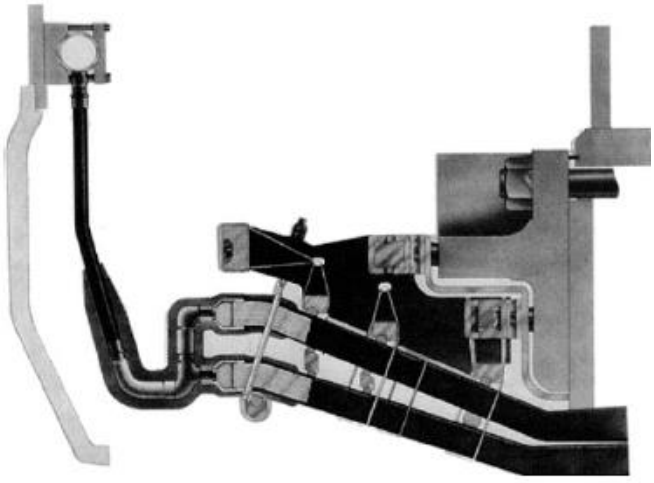
- سیستم‌های نگهدارنده انتهای سیم‌پیچی

علاوه بر شیار، نیروهای قابل توجهی در بخش‌های انتهایی سیم‌پیچ‌های استاتور نیز وجود دارند. هندسه‌ی انتهای سیم‌پیچی پیچیده است و به یک سازه‌ی نگه‌دارنده نیاز دارد که در حالت‌های خاصی منعطف و در حالت‌هایی دیگر مستحکم باشد. داشتن این دو ویژگی به صورت همزمان به این دلیل است که بتواند انتهای سیم‌پیچی را در شرایط بهره‌برداری عادی و غیرعادی مهار کند. به علاوه، وجود میدان‌های الکتریکی قوی در بخش انتهایی ایجاب می‌کند که از نگه‌دارنده‌هایی غیررسانا استفاده شود. اغلب سیستم‌های نگه‌دارنده از بلوک، تجهیزات کششی و حلقه استفاده می‌کنند. استفاده از این تجهیزات همراه با خود میله‌ها، یک ساختار مستحکم را شکل می‌دهد. نگه‌داری در جهت شعاعی معمولاً باید بسیار قوی باشد تا سطح ارتعاشات را در کمترین مقدار ممکن حفظ کند. در جهت محوری، لازم است این امکان برای انتهای سیم‌پیچی فراهم شود که بتواند به صورت محوری جابجا شود و خود را با انبساط حرارتی محوری شیار سیم‌پیچی سازگار نماید.

اتصال‌های کوتاه فاز به فاز ناگهانی قابل توجه ترین حالت‌های گذرا هستند که نیروهای اضافی شدیدی در سیم‌پیچی استاتور تولید می‌کنند. این اتصال‌های کوتاه و حالت‌های گذرا نیز باید در طراحی سیم‌پیچی و سیستم‌های نگه‌دارنده در شیار و انتهای سیم‌پیچی مورد توجه قرار گیرند.

نیروهای ارتعاشی در انتهای سیم‌پیچی ژنراتورهای بزرگ که تحت بار عادی بهره‌برداری می‌شوند نیز زیاد هستند و باید کنترل شوند تا اطمینان حاصل شود که بر اثر سایش یا فشار، آسیبی به انتهای سیم‌پیچ‌ها وارد نشود. چرخش حرارتی و اثرات ناشی از انقباض نیز می‌توانند باعث افزایش لقی و ارتعاش شدید شوند.

شکل ۳۸-۲ یک سیستم نگه‌دارنده‌ی انتهای سیم‌پیچی استاتور مجهز به سیستم خنک‌سازی مستقیم با آب و شکل ۳۹-۲ یک سیستم نگه‌دارنده‌ی انتهای سیم‌پیچی استاتور مجهز به سیستم خنک‌سازی غیرمستقیم را نشان می‌دهند [۳۶].

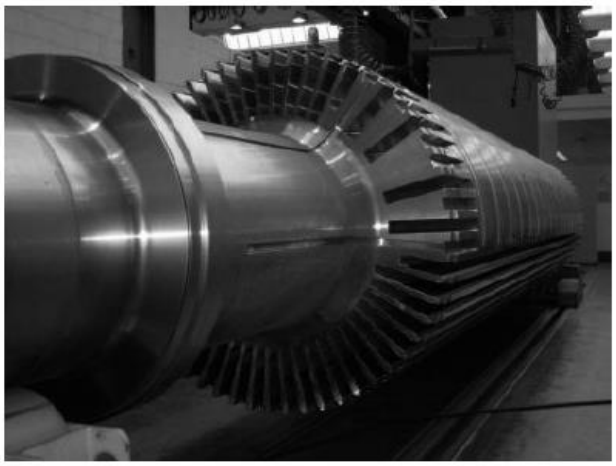


شکل ۳۸-۲: سیستم نگه‌دارنده‌ی انتهای سیم‌پیچی استاتور [۳۶]

شکل ۳۹-۲: سیستم نگه‌دارنده‌ی انتهای سیم‌پیچی یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی غیرمستقیم با هیدروژن **[۳۶]**

- قالب‌بندی[1] روتور

قالب‌بندی روتور معمولاً به صورت یک قطعه فولادی تو پر ساخته می‌شود، اما روتورهایی نیز وجود دارند که به صورت بخش‌بخش ساخته شده و آن بخش‌ها کنار یک‌دیگر قرار داده می‌شوند تا روتور شکل گیرد. روتورهای دو تکه به دلیل نیاز به تکنولوژی پیشرفته در اخت فولاد دیگر کاربرد چندانی ندارند. همچنین ساخت روتورهای بزرگ‌تر با یک تکه فولاد بسیار ساده‌تر است. در شکل ۴۰-۲ و شکل ۴۱-۲، دو نمونه روتور نشان داده شده است [۳۶].



شکل ۴۰-۲ : قالب‌بندی روتور دو قطب **[۳۶]**

[1] Forging

شکل ۴۱-۲ : قالب‌بندی روتور چهار قطب **[۳۶]**

نوع ماده‌ی مورد استفاده در ساخت روتور از جنس فولاد مغناطیسی با نفوذپذیری مغناطیسی بالا است تا بتواند شار تولیدی توسط سیم‌پیچی روتور را انتقال دهد. به این دلیل که روتور یک جز دینامیک در ژنراتور است و با سرعت زیادی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد، مواد آن به شدت تحت فشار هستند و باید قدرت لازم برای گنجاندن سیم‌پیچی مسی در خود را داشته باشند و بتوان از آن در شرایط بارگذاری مکانیکی و حرارتی شدید استفاده کرد. در دندانه‌های شیارهای روتور، نواحی تحت کشش و به طور کلی هر جایی که تراش‌خوردگی وجود داشته باشد، فشار بیشتری وجود خواهد داشت. فشارهایی که یک روتور در معرض آن‌ها قرار می‌گیرد، از نوع مکانسیم‌های با چرخه‌های کوتاه و شدید حین سنکرون کردن و توقف ژنراتور، فشارهای پیچشی حین بهره‌برداری و حین خطا و تنش‌های با چرخه‌های طولانی گردش و وزن خود روتور هستند. فاکتورهای ایمنی در شرایط ۲۰ درصد اضافه سرعت ژنراتور، معمولاً ۱۵۰ درصد حالت عادی در نظر گرفته می‌شوند. این کار به این دلیل انجام می‌گیرد که اطمینان حاصل شود در هیچ بخشی از روتور شکاف و ترکی ایجاد نخواهد شد.

یکی از دشواری‌های طراحی روتورهای توربوژنراتورها این است که لازم است طولی بسیار زیاد و در عین حال نازک و با سرعت بالا باشند. روتورهای دو قطب نسبت به روتورهای چهار قطب نسبت طول به قطر بسیار بیشتری دارند، اما صرف‌نظر از این نکته، هر دوی این روتورها بالاتر از سرعت بحرانی ثانویه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. بنابراین، علاوه بر فشارهای شدید، متعادل‌سازی نیز یکی از مسائل مهم در این روتورهاست. دشوار در حصول تعادل مناسب به دلیل سایر اجزای نصب‌شده در روتور است که حین بهره‌برداری در معرض بارگذاری حرارتی قرار می‌گیرند و انبساط پیدا می‌کنند. همچنین سیستم‌های عایقی نیز باید در شرایط بهره‌برداری با سرعت بالا کار خود را به خوبی انجام دهند.

فورجینگ روتور به عنوان سازه‌ی اصلی روتور عمل می‌کند، اما دارای اجزای زیادی است که هر کدام وظایف خاص خود را انجام می‌دهد تا عملکرد کلی روتور شکل گیرد. داخل خود فورجینگ، یک بدنه‌ی اصلی وجود دارد که شیارهای سیم‌پیچی روتور، برش‌های رویه‌ی قطب و شیارهای محوری روی آن تراش خورده‌اند. همچنین شفت نگه‌دارنده‌ی اصلی روتور روی یاتاقان‌هاست، کوپلینگ توربین، سطوح آب‌بندی‌شده با هیدروژن، شیارهای سربی اصلی که در داخل یا روی روتور قرار دارند و سیم‌پیچی‌های مسی و سیستم عایقی را در خود جای می‌دهند، گوه‌های شیارهای سیم‌پیچی، حلقه‌های نگه‌دارنده‌ی انتهای

سیم‌پیچی، حلقه‌های متعادل‌کننده، مسدودکننده‌های انتهای سیم‌پیچی، فن‌ها و دمنده‌ها، گل‌میخ‌های ترمینال‌ها، حلقه‌های جمع‌کننده و یک فن خنک‌کننده برای حلقه‌ی جمع‌کننده از دیگر اجزای فورجینگ روتور هستند [۳۶].

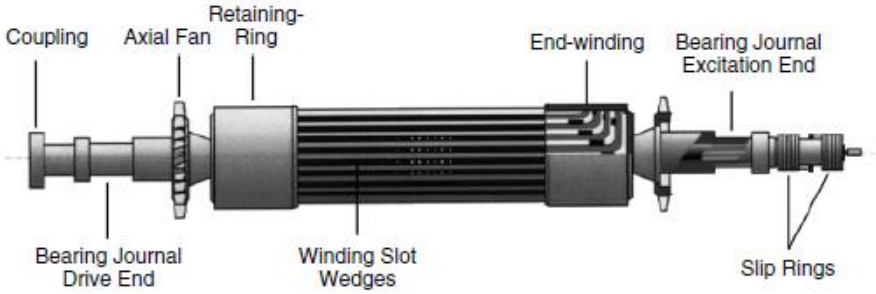
بدنه‌ی اصلی فورجینگ روتور متشکل از یک ناحیه برای قطب‌ها و شیارهایی است که به صورت محوری تراش داده شده‌اند تا سیم‌پیچی‌های مسی و عایق‌های مربوطه را در خود جای دهند. بین شیارها دندانه‌هایی ایجاد شده‌اند که به دلیل بارگذاری مس حین چرخش روتور با سرعت زیاد، تحت فشار شدیدی قرار می‌گیرند. شیارهایی نیز به صورت محوری نزدیک به بالای شیارهای سیم‌پیچی تراش داده شده‌اند که با گوه‌های نگه‌دارنده‌ی سیم‌پیچی‌ها و عایق در شیارها تطبیق پیدا کنند. بنابراین، در شرایط بهره‌برداری از ژنراتور، گوه‌ها نیز تحت فشار خواهند بود.

بدنه‌ی اصلی فورجینگ روتور است که شار را حمل می‌کند. این اتفاق هم در بدنه‌ی فورجینگ در قطب‌ها و هم زیر نواحی سیم‌پیچی روتور رخ می‌دهد. طراحی روتور باید به گونه‌ای باشد که تضمین شود مواد مغناطیسی کافی برای تطبیق با تمام فشارهایی که پیش‌تر درباره‌ی آن‌ها صحبت شد، وجود خواهد داشت.

بخش شفت فورجینگ روتور کل وزن فورجینگ و تمام تجهیزات نصب‌شده روی روتور را تحمل می‌کند. قطر شفت به گونه‌ای انتخاب می‌شود که تحت تمام شرایط بهره‌برداری به شکل مناسبی روتور را نگه دارد و مشخصه‌ی ارتعاشات روتور و کل توربوژنراتور را در هنگام کوپل‌شدن با توربین در سطح مناسبی حفظ کند. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، روتورهای توربوژنراتورها معمولاً بالاتر از سرعت بحرانی ثانویه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند و قطر شفت تا حد زیادی روی فرکانس‌های طبیعی روتور اثرگذار است [۳۶].

- سیم‌پیچی روتور

سیم‌پیچی‌های روتور در شیارهای تراش‌خورده در بدنه‌ی اصلی فورجینگ نصب شده و به صورت متقارن حول روتور و بین قطب‌ها توزیع می‌شوند. این موضوع در شکل ۴۲-۲ نشان داده شده است.



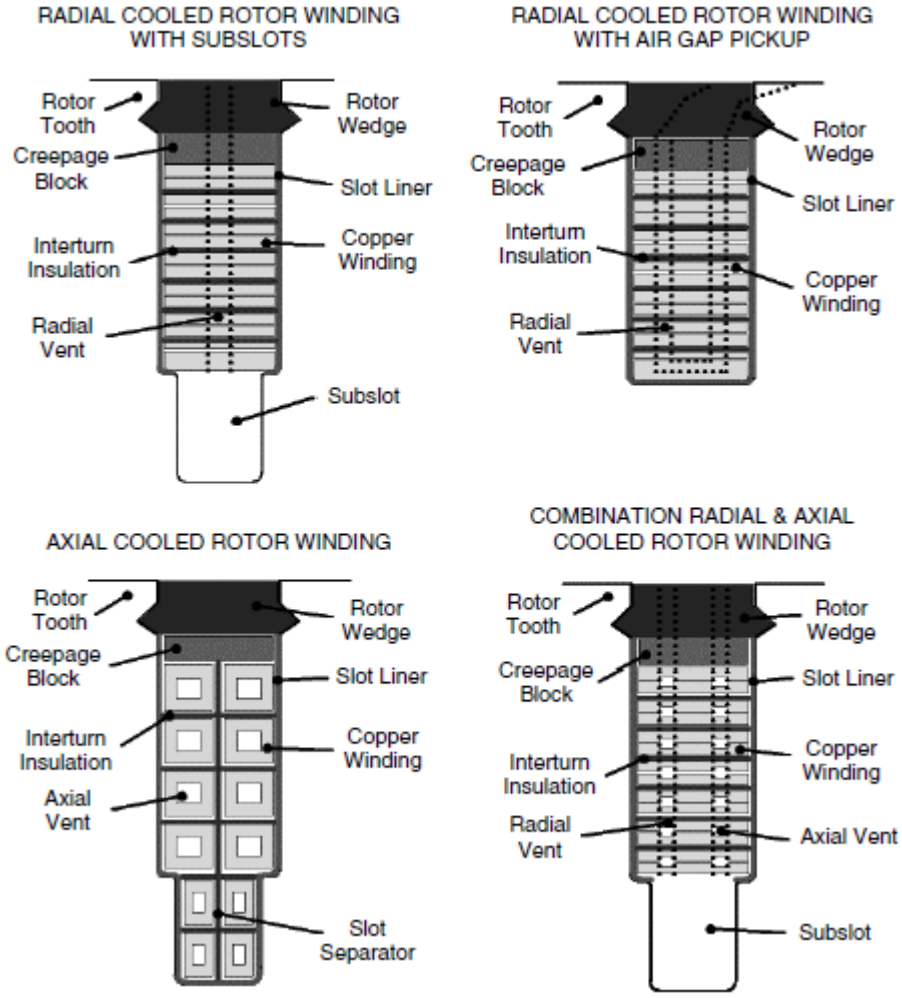
شکل ۴۲-۲ : سیم‌پیچی روتور و سایر بخش‌های مربوطه **[۳۶]**

خود سیم‌پیچی از تعداد دورهای زیادی سیم مسی تشکیل شده که به صورت سری به هم متصل هستند. تمام دورهایی که در یک شیار قرار می‌گیرند، یک کویل[1] نامیده می‌شوند. کویل‌ها در شیارهای سیم‌پیچی فورجینگ قرار داده می‌شوند.

تعداد زیادی طراحی سیم‌پیچی مسی وجود دارد که در روتورهای ژنراتورها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما عملکرد تمام سیم‌پیچی‌های روتورها به یک شکل است. نحوه‌ی پیکربندی سیم‌پیچی‌ها بسته به نوع سیستم خنک‌سازی مورد استفاده حین بهره‌برداری از ژنراتور، متفاوت خواهد بود. به علاوه، تقریباً سیم‌پیچی‌های مسی روتور تمام توربوژنراتورهای بزرگ به

[1] Coil

صورت مستقیم و با استفاده از هوا یا گاز هیدروژن، خنک‌سازی می‌شوند. چند نمونه پیکربندی سیم‌پیچی‌های روتور بسته به نوع سیستم خنک‌سازی مورد استفاده، در شکل ۴۳-۲ نشان داده شده است.



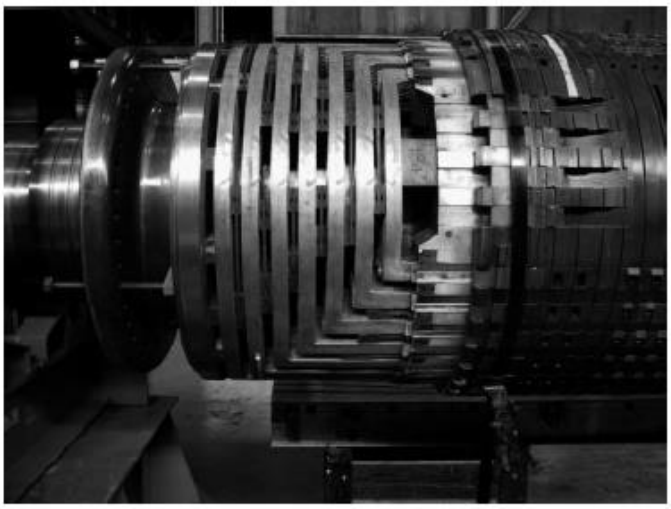
شکل ۴۳-۲ : چندین نوع پیکربندی سیم‌پیچی روتور بسته به نوع سیستم خنک‌سازی مورد استفاده **[۳۶]**

در سیم‌پیچی‌هایی که به صورت محوری خنک می‌شوند، گاز از طریق مسیرهای محوری در هادی‌ها جریان پیدا می‌کند و در مرکز روتور از طریق فاصله‌ی هوایی تخلیه می‌شود. در سایر طراحی‌ها، مسیرهای شعاعی در پشته‌ی هادی‌ها از زیرشیارهای تراش‌خورده در سرتاسر طول روتور و زیر هر شیار به منظور خنک‌سازی تزریق می‌شود. در روش برداشتن[1] گاز فاصله‌ی هوایی، گاز خنک‌ساز از فاصله‌ی هوایی برداشته شده و خنک‌سازی در طول کوتاهی از روتور صورت می‌گیرد و دوباره به فاصله‌ی هوایی برگردانده می‌شود. خنک‌کردن نواحی انتهای سیم‌پیچی‌ها بسته به نوع طراحی متفاوت خواهد بود. در توربوژنراتورهای کوچک‌تر، روش خنک‌سازی غیرمستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (مثل سیستم خنک‌سازی سیم‌پیچی‌های استاتور).

[1] Pick-up

سیم‌پیچی روتور به وسیله‌ی گوه‌هایی در شیارها محکم می‌شود. تفاوت محکم‌کردن سیم‌پیچی‌های روتور و استاتور در این است که به دلیل نیروهای گریز از مرکز موجود در روتور حین بهره‌برداری از ژنراتور، سیم‌پیچی‌های روتور و گوه‌های آن نسبت به استاتور در معرض فشارهای بسیار شدیدتری قرار می‌گیرند. همچنین در سیم‌پیچی‌های روتور، گوه‌ها خیلی محکم و سفت قرار داده نمی‌شوند تا در صورت انبساط‌های ناشی از حرارت حین بهره‌برداری از ژنراتور، فضای لازم وجود داشته باشد [۳۶].

همچنین طراحی‌ها و پیکربندی‌های بسیاری برای ساختار انتهای سیم‌پیچی‌های روتور و روش‌های خنک‌سازی آن‌ها وجود دارند. سیم‌های مسی انتهای سیم‌پیچی‌ها باید نسبت به یکدیگر عایق باشند تا بین دورهای سیم‌پیچی اتصال کوتاه رخ ندهد. بنابراین از سیستم بسته‌بندی و مسدودسازی به منظور جداسازی کویل‌ها از یکدیگر استفاده می‌شود. سیم‌پیچی‌های روتور دو قطب و چهار قطب به ترتیب در شکل ۴۴-۲ و شکل ۴۵-۲ نشان داده شده‌اند.



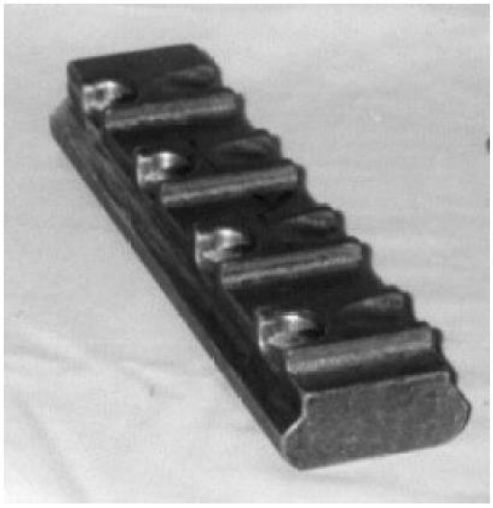
شکل ۴۴-۲ : سیم‌پیچی روتور دو قطب **[۳۶]**

شکل ۴۵-۲ : سیم‌پیچی روتور چهار قطب **[۳۶]**

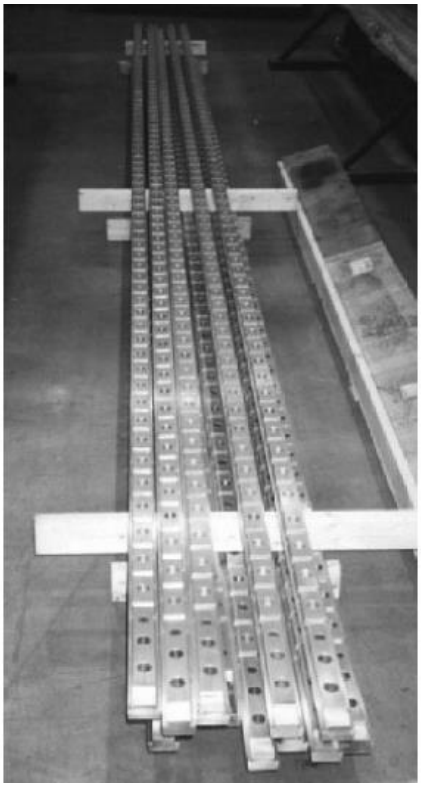
- گوه‌های شیارهای سیم‌پیچی روتور

گاهی اوقات طراحی گوه‌هایی که سیم‌پیچی‌های روتور را در شیارها نگه می‌دارند پیچیدگی‌هایی دارد، اما ذکر این نکته حائز اهمیت است که این گوه‌ها همیشه تحت فشارهای شدیدی هستند. گوه‌ها باید سیم‌پیچی‌های مسی و عایق‌های آن را نگه دارند و امکان عبور گاز خنک‌ساز را نیز فراهم نمایند. به همین دلیل همواره تحت فشارهای شدیدی هستند. معمولاً دریچه‌هایی برای خنک‌سازی روی گوه‌ها تراش می‌شود که همین موضوع باعث کاهش قابل توجه استحکامشان خواهد شد. همچنین دمای بالای گاز خنک‌ساز می‌تواند باعث تضعیف بیشتر آن‌ها شود. شکل ۴۶-۲، شکل ۴۷-۲ و شکل ۴۸-۲، سه نوع گوه‌ی نگه‌دارنده‌ی سیم‌پیچی روتور را نشان می‌دهند.

شکل ۴۶-۲ : گوه‌ی روتور کوتاه **[۳۶]**



شکل ۴۷-۲ : گوه‌ی روتور با پیکاب فاصله‌ی هوایی **[۳۶]**

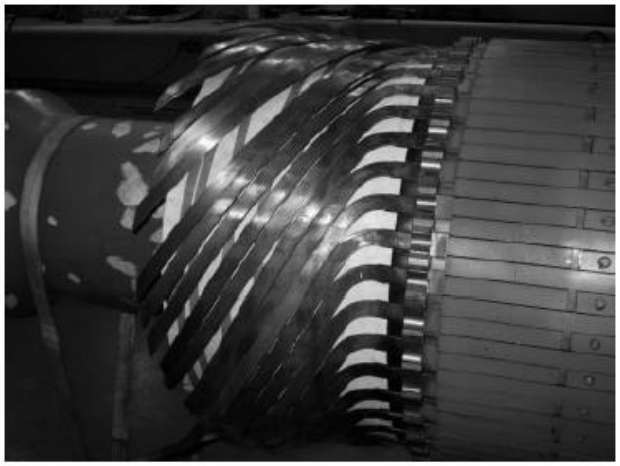


شکل ۴۸-۲ : گوه‌ی روتور بلند (آلومینیومی) **[۳۶]**

گوه‌ها معمولاً از موادی سبک مانند آلومینیوم یا برنج ساخته می‌شوند. این ناحیه معمولاً حامل شار مغناطیسی مفیدی نیست، بنابراین نیاز نیست جنس گوه‌ها از مواد مغناطیسی باشد. همچنین ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که گوه‌ها در داخل شیارها خیلی سفت و محکم قرار داده نمی‌شوند تا در شرایط انبساط حرارتی مشکلی ایجاد نشود.

- سیم‌پیچی میراکننده

روتورهای مدرن از یک سیم‌پیچی میراکننده یا دمپر به منظور از بین بردن نوسانات پیچشی و فراهم‌کردن مسیری برای جاری‌شدن جریان‌های القایی استفاده می‌کنند. سیم‌پیچی میراکننده یک سیم‌پیچی مجزا و ضروری‌ست که زیر گوه‌های روتور و حلقه‌های نگه‌دارنده هستند که به شکل مشابهی به قفس سنجابی یک موتور القایی نصب می‌شوند. این سیم‌پیچی هنگام جاری‌شدن جریان (با توالی فاز منفی) یک گشتاور مخالف تولید می‌کند و این اتفاق به میراشدن نواسانات پیچشی و اضافه‌کردن پایداری به روتور حین رخدادهای تنش‌زا در سیستم کمک می‌نماید. در بعضی لحظات که گوه‌های تماماً آلومینیومی در روتور مورد استفاده قرار گرفته باشند، می‌توان از آن‌ها به عنوان بخشی از سیم‌پیچی میراکننده استفاده کرد. همچنین در برخی طراحی‌ها از حلقه‌های نگه‌دارنده به عنوان اتصال کوتاه‌کننده در انتهای روتور استفاده می‌شود. این سیم‌پیچ هنگام جاری‌شدن جریان (با توالی فاز منفی) یک گشتاور مخالف ایجاد می‌کند. شکل ۴۹-۲ یک نوع سیم‌پیچی میراکننده خاص را نشان می‌دهد [۳۶]



شکل ۴۹-۲ : سیم‌پیچی میراکننده **[۳۶]**

- حلقه‌های نگهدارنده

معمولاً حلقه‌های نگه‌دارنده‌ی ژنراتورها بیش از بقیه‌ی بخش‌ها در معرض تنش و فشار قرار دارند. استفاده از آن‌ها به منظور نگه‌داشتن مس انتهای سیم‌پیچی روتور در برابر نیروهای گریز از مرکز حین بهره‌برداری از ژنراتور ضروری است. در هر سمت روتور یک حلقه قرار داده می‌شود تا این کار را انجام دهد. طراحی‌های مختلفی برای حلقه‌های نگه‌دارنده ارائه شده است. یک نمونه از حلقه‌های نگه‌دارنده در شکل ۵۰-۲ نشان داده شده است.

شکل ۵۰-۲ : یک نوع حلقه‌ی نگه‌دارنده **[۳۶]**

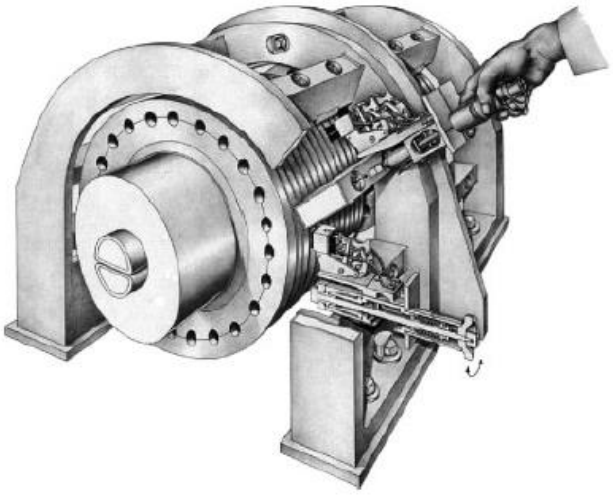
- حلقه‌های جمع‌کننده لغزش[1] و دنده‌ی جاروبک[2]

[1] Slip-Collector
[2] Brush-Gear

لازم است یک جریان DC به سیم‌پیچی روتور اعمال شود تا یک میدان مغناطیسی دوار تولید کند. این کار با یک سیستم تحریک بدون جاروبک یا با مجموعه‌ای از حلقه‌های لغزش یا جمع‌کننده مثبت و منفی قابل انجام است.

سیستم تحریک بدون جاروبک بحث مفصلی دارد که در گزارش‌های مربوط به سیستم‌های تحریک مورد تشریح قرار خواهد گرفت، اما به طور خلاصه تحریک‌کننده‌ی سوار بر شفت با چرخش خود یک خروجی AC چند فاز از سیم‌پیچی‌اش تولید می‌کند که به تحریک‌کننده متناوب کمکی موسوم است. خروجی با استفاده یکسوسازهای سوار بر شفت یکسو می‌شود و جریان به شکل مستقیم و بدون نیاز به حلقه‌های جمع‌کننده لغزش به سیم‌پیچی روتور تحویل داده می‌شود.

این حلقه‌ها روی شفت روتور، بالای یک اسلیو[1] عایق که معمولاً از شیشه‌ی اپوکسی یا میکا ساخته شده است، سوار می‌شوند. هر حلقه از نظر پلاریته مخالف دیگری است، چون یکی جریان را وارد سیم‌پیچی روتور کرده و دیگری جریان را از سیم‌پیچی خارج می‌کند. انتقال جریان از طریق حلقه‌ها در سرعت بالا رخ می‌دهد و بنابراین نیاز به سطح تماس کشویی روی حلقه‌ها احساس می‌شود. هدایت حلقه‌ها به وسیله‌ی جاروبک‌های گرافیتی صورت می‌گیرد که در سرتاسر سطح در حال چرخش حلقه‌ها به صورت کشویی قرار گرفته‌اند. یک نمونه از دنده‌ی جاروبک در شکل ۵۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۵۱-۲ : دنده‌ی جاروبک **[۳۴]**

اصطکاک بین حلقه و سطوح جاروبک حرارت قابل توجهی تولید می‌کند. به منظور خنک نگه‌داشتن حلقه‌ها و جاروبک حین بهره‌برداری از ژنراتور، شیارهای مارپیچی درون سطح حلقه ایجاد شده‌اند تا سطح تماس حین بهره‌برداری را تغییر دهند و امکان جاری‌شدن هوای خنک‌کننده را فراهم کنند. در برخی طراحی‌ها دریچه‌های اضافی در حلقه‌ها وجود دارند تا وجود جریان هوای خنک‌کننده تضمینش شود.

- کوپلینگ انقباضی روتور

روتور ژنراتور باید به توربین کوپل شود تا قادر به چرخیدن و انتقال گشتاور چرخشی تولیدشده حین بهره‌برداری به توربین باشد. کوپلینگ یا بخشی از فورجینگ تراش‌خورده است یا به صورت قابل انقباض و جداگانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. سوراخ‌هایی بیرون کوپلینگ تعبیه شده‌اند تا امکان چفت‌شدن روتور ژنراتور و توربین فراهم شود. یک نمونه از کوپلینگ انقباضی روتور در شکل ۵۲-۲ نشان داده شده است.

[1] Sleeve

شکل ۵۲-۲ : کوپلینگ انقباضی **[۳۴]**

- چرخ‌دنده گردان روتور

روتور تمام ژنراتورها معمولاً مجهز به یک چرخ‌دنده‌ی گردان است. چرخ‌دنده‌ی گردان به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد که وقتی ژنراتور در حال خارج‌شدن از خط است و شروع به خنک‌شدن می‌کند، به آرامی روتور را بچرخاند. قالب‌بندی روتور به شدت بلند، نازک و سنگین است. اگر روتور چرخانده نشود، ممکن است وقتی هنوز در حال خنک‌شدن است یک قوس در شفت روتور شکل گیرد. چرخ‌دنده‌ی گردان، احتمال چنین رخدادی را کاهش می‌دهد. همچنین لازم است تا روتور از جریان نشتی شفت[1] ژنراتور محافظت شود.

ممکن است وزن روتورهای دو قطب از چند تن برای ژنراتورهای بسیار کوچک تا ۸۰ یا ۹۰ تن برای ماشین‌های بزرگ‌تر تغییر کند. روتورهای چهار قطب نیز ممکن است در حدود ۱۵۰ تن وزن داشته باشند.

همچنین از چرخ‌دنده‌ی گردان به منظور چرخاندن روتور قبل از آغاز به کار استفاده می‌شود تا گشتاور اینرسیایی ناگهانی هنگام شروع به کار ایجاد نشود. وزن روتورهای بزرگ نیز می‌تواند باعث ایجاد قوس حین چرخش ناگهانی شود. علاوه بر این، ممکن است روتور روی یاتاقان‌هایش جابجا شده و باعث آسیب‌دیدن یاتاقان‌ها شوند [۳۴].

یک نمونه از چرخ‌دنده‌ی گردان در شکل ۵۳-۲ نشان داده شده است.

[1] Shaft Protection Current

شکل ۵۳-۲ : چرخ‌دنده‌ی گردان **[۳۴]**

- یاتاقان‌ها

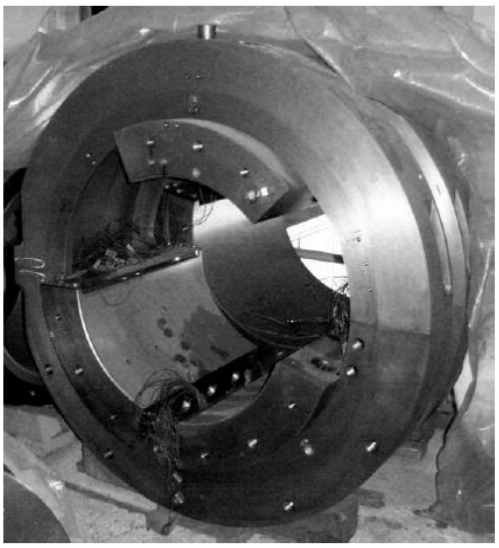
تمام توربوژنراتورها نیاز به یاتاقان‌هایی دارند تا با کمترین حد اصطکاک و ارتعاش به صورت آزادانه بچرخند. بدنه‌ی اصلی روتور ژنراتور باید در هر دو سمت توسط یک یاتاقان نگه داشته شود. در برخی موارد که شفت روتور در سمت تحریک ماشین بسیار بلند است، یک یاتاقان ایستا بیرون حلقه‌های جمع‌کننده لغزش نصب می‌شود. این کار اطمینان حاصل می‌کند که سمت تحریک شفت روتور لرزشی ایجاد نمی‌کند که از طریق شفت منتقل شود و باعث تشدید ارتعاش در سرتاسر روتور ژنراتور یا کل توربوژنراتور گردد.

به طور کلی دو نوع یاتاقان رایج در ژنراتورهای بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ یاتاقان‌های ژورنال[1] و تیلتینگ پد[2]. این دو نوع یاتاقان به ترتیب در شکل ۵۴-۲ و شکل ۵۵-۲ نشان داده شده‌اند. یاتاقان‌های ژورنال بیشتر رایج هستند. هر دوی این نوع یاتاقان‌های نیاز به سیستم‌های روان‌کننده و روغن جکینگ دارند.

هنگام نصب یاتاقان‌ها باید به لحاظ ارتفاع و زاویه به گونه‌ای باشند که اطمینان حاصل شود روتور به شکل مناسبی روی یاتاقان‌ها سوار شده است.

[1] Journal
[2] Tilting Pad

شکل ۵۴-۲ : یاتاقان ژورنال **[۳۴]**



شکل ۵۵-۲ : یاتاقان تیلتینگ پد **[۳۴]**

- خنک‌سازی با هوا و هیدروژن

بسیاری از اجزای داخلی ژنراتور به نوعی طراحی می‌شوند که امکان خنک‌سازی به صورت مستقیم و با مایع را ندارند و با این حال، حین بهره‌برداری متحمل تلفات قابل توجهی می‌شوند. بنابراین، ژنراتورهای بزرگ نیاز به یک سیستم خنک‌سازی دارند که ویژگی انتقال حرارت مناسبی داشته باشد.

در توربوژنراتورها معمولاً از هوا یا گاز هیدروژن به عنوان خنک‌ساز داخلی استفاده می‌شود. در ماشین‌های کوچک‌تر (امروزه ظرفیت‌هایی حدود ۳۰۰ مگاولت‌آمپر جزو ماشین‌های کوچک به حساب می‌آیند) از هوا استفاده می‌شود، اما گاز هیدروژن موثرترین گاز برای تهویه‌ی یک ماشین چرخان است و بنابراین در ماشین‌های بزرگ‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وقتی از هیدروژن به عنوان گاز خنک‌ساز در ژنراتورها استفاده می‌شود، باید خلوصی در حدود ۹۸ درصد یا بیشتر داشته باشد. نکته‌ی حائز اهمیت این است که باید یک منبع بزرگ گاز هیدروژن در اختیار باشد تا بعد از اورهال، ژنراتور مجدداً از این گاز پر شود. دلیل کاهش سطح فشار هیدروژن در ژنراتورها، جذب‌شدن آن توسط روغن آب‌بندی و نشتی‌های جزئی از

خنک‌کننده، گل‌میخ‌های ترمینال‌های روتور یا محفظه‌ی ژنراتور است. همچنین Core center rotor bore و کاهش فشار و خلوص شکستن حلقه‌های نگهدارنده می‌توانند از دلایل کاهش سطح فشار گاز هیدروژن خنک‌کننده باشند. لازم به ذکر است که یک تنظیم‌کننده‌ی فشار نیز به منظور حفظ سطح فشار گاز هیدروژن در سطحی خاص، مورد نیاز است [۳۴].

چگالی گاز هیدروژن با خلوص ۹۸ درصد حدود یک‌دهم چگالی هوا در فشاری یکسان است. همین موضوع باعث کاهش قابل توجه مزاحمت هوایی و تلفات فن می‌شود. به همین دلیل، امکان افزایش فشار گاز هیدروژن تا 75 psi نسبت به فشار جو وجود دارد. به دلیل مزاحمت بادی و اصطکاک کم، افزایش فشار باعث کاهش بازدهی نخواهد شد.

مزیت اصلی افزایش فشار هیدروژن این است که تا حد زیادی قابلیت جذب حرارت را بیشتر می‌کند. ویژگی‌های گاز هیدروژن به گونه‌ای هستند که انتقال حرارت توسط آن ۵۰ درصد موثرتر از هوا با سطح فشار یکسان است. بنابراین گاز هیدروژن برای جذب حرارت از یک سطح بسیار کارآمدتر است.

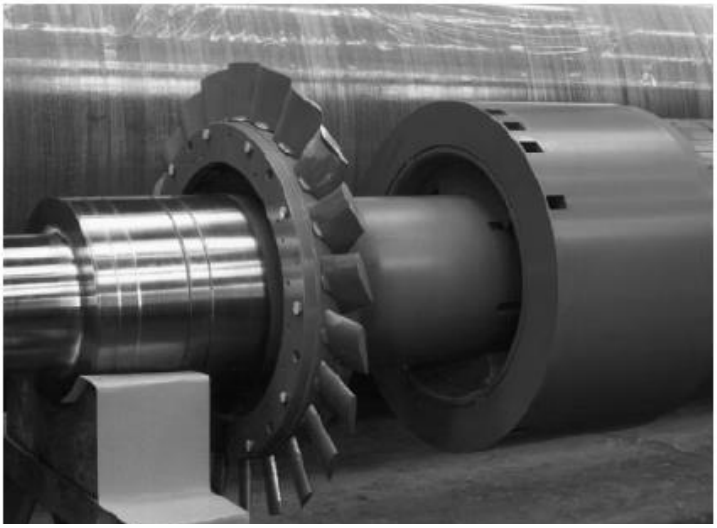
قابلیت حرارتی به ازای واحد حجم گاز هیدروژن تقریباً برابر با قابلیت حرارتی هوا در سطح فشار یکسان است. بنابراین، در صورتی که نرخ جریان حجم دو گازی که برای مقدار یکسانی حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرند یکسان باشد، افزایش دمای گاز هیدروژن و هوا تقریباً برابر خواهد بود. جدول ۴-۲ ویژگی‌های خنک‌سازی گاز هیدروژن، روغن و آب را نسبت به هوا مقایسه کرده است.

جدول ۴-۲ : مقایسه ویژگی‌های خنک‌سازی گاز هیدروژن، روغن و آب نسبت به هوا **[۳۴]**

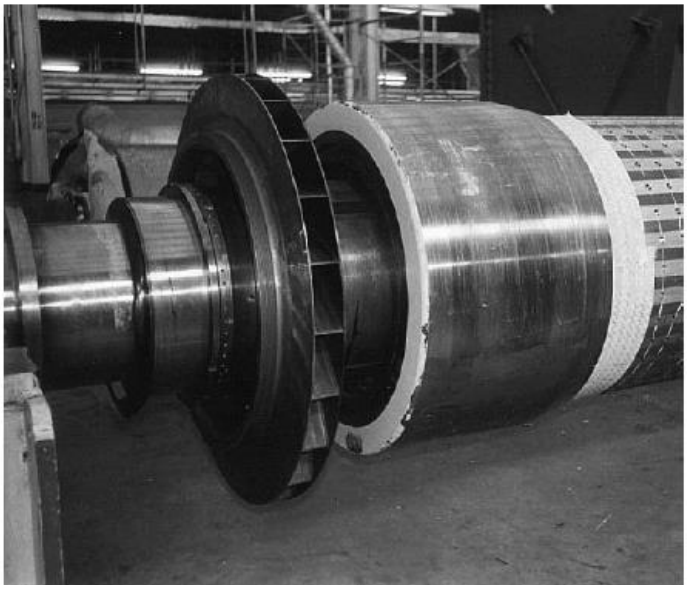
خنک‌ساز	حرارت مشخص	چگالی مشخص	حجم جریان	ظرفیت خنک‌سازی
هوا	۱	۱	۱	۱
گاز هیدروژن با فشار 30 psi	۱۴/۳۶	۰/۲۱	۱	۳
گاز هیدروژن با فشار 45 psi	۱۴/۳۶	۰/۲۶	۱	۴
گاز هیدروژن با فشار 60 psi	۱۴/۳۶	۰/۳۵	۱	۵
روغن	۲/۰۹	۸/۸۴	۰/۰۱۲	۲۱
آب	۴/۱۶	۱۰۰۰	۰/۰۱۲	۵۰

گاز هیدروژن توسط فن‌ها یا دمنده‌های سوار بر شفت در سرتاسر ژنراتور چرخانده می‌شود. گاز داغ روتور بعد از جذب‌کردن حرارت تلفات سیم‌پیچی میدان در فاصله‌ی هوایی تخلیه می‌شود. گاز هیدروژن در سرتاسر هسته و ترمینال‌های استاتور نیز چرخانده می‌شود و سپس برای خنک‌کردن و چرخشش مجدد دوباره به خنک‌کننده برگردانده می‌شود. به منظور حذف یا تزریق هیدروژن به ژنراتور یک سیستم بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرد که از کربن دی اکسید برای پاک‌سازی هیدروژن هنگام حذف و پاک‌سازی هوا هنگام تزریق هیدروژن به ماشین بهره می‌برد. با این سیستم اطمینان حاصل می‌شود که ترکیب انفجاری گاز هیدروژن و اکسیژن رخ نخواهد داد.

در شکل ۵۶-۲ و شکل ۵۷-۲ به ترتیب یک فن روتور محوری و یک فن روتور شعاعی (چرخشی) نشان داده شده‌اند.



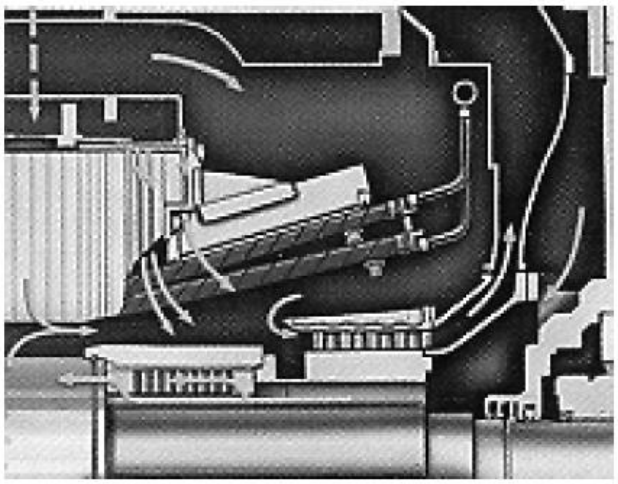
شکل ۵۶-۲ : فن روتور محوری **[۳۴]**



شکل ۵۷-۲ : فن روتور شعاعی (چرخشی) **[۳۴]**

- فن‌های روتور

سیستم خنک‌سازی درونی ژنراتور باید ماده خنک‌کننده را در سرتاسر بخش‌ها مختلف ماشین بچرخاند تا حرارت تولیدشده در این بخش‌ها حذف شوند. چرخاندن گاز خنک‌کننده با استفاده یک فن یا دمنده در روتور انجام می‌پذیرد. انواع مختلفی از دمنده‌ها و فن‌ها قابل استفاده هستند که دو نمونه از آن‌ها در شکل ۵۶-۲ و شکل ۵۷-۲ نشان داده شده‌اند. علاوه بر دو مورد مذکور، می‌توان از دمنده‌های چندمرحله‌ای نیز استفاده کرد. یک نمونه دمنده‌ی چندمرحله‌ای در شکل ۵۸-۲ نشان داده شده است.



شکل ۵۸-۲ : یک دمنده‌ی محوری چندمرحله‌ای [۳۴]

۵-۱-۲-۲- چالش‌های موجود و راهکارها

هر کدام از شرکت‌های سازنده‌ی ژنراتورهای نیروگاهی سال‌های سال است که از فناوری‌های مختلفی برای تولید ژنراتور استفاده می‌کنند. عوامل فیزیکی و الکتریکی وجود دارند که می‌توانند روی عملکرد ژنراتورها اثر منفی داشته باشند. از برخی از این اثرات منفی می‌تواند به کاهش بازدهی ژنراتور و نیروگاه، ایجاد خطر برای کارکنان نیروگاه، افزایش احتمال ضرر مالی برای مالک و بهره‌بردار نیروگاه، افزایش خرابی ژنراتور و تجهیزات مرتبط، کاهش قابلیت اطمینان برق مشرکین صنعتی و خانگی، ایجاد اختلال در شبکه‌ی سراسری برق، ایجاد ضرر مالی برای کشور و صنعت برق و ... اشاره کرد. شرکت‌های فعال در حوزه‌ی ژنراتورها و توربوژنراتورهای نیروگاهی با فعال‌کردن بخش تحقیق و توسعه، سعی در حل این چالش‌ها داشته‌اند.

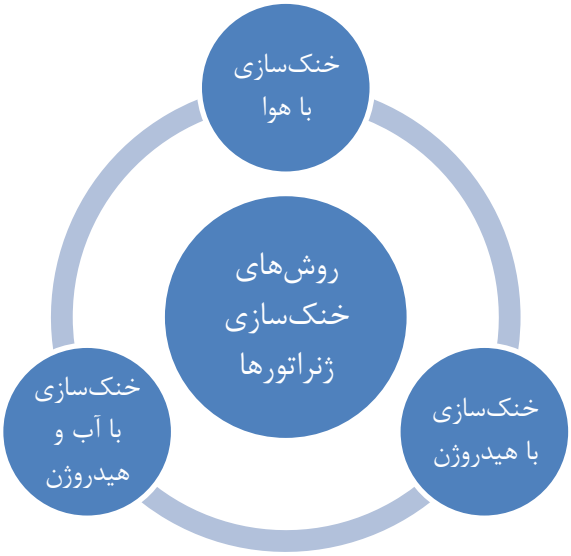
در این فصل ابتدا به معرفی مهم‌ترین چالش‌های موجود در توربوژنراتورهای مورد استفاده در نیروگاه‌های حرارتی پرداخته می‌شود. سپس اقداماتی که توسط محققین و متخصصین پیشنهاد کرده و به مرحله‌ی اجرا رسانده‌اند تشریح خواهد شد و در انتها مسیری برای آینده‌ی این حوزه بیان می‌شود.

- سیستم خنک‌سازی ژنراتورها

کم‌کردن گرمای سیم‌پیچ‌های روتور و استاتور یکی از چالش‌های اصلی در طراحی ژنراتور است. نحوه‌ی انجام این کار یکی از مهم‌ترین پارامترهایی‌ست که طراح ژنراتور باید آن را مدنظر قرار دهد. به طور کلی از سه ماده‌ی اصلی برای خنک‌سازی ژنراتورها استفاده می‌شود: هوا، هیدروژن و آب. هر یک از این موارد، معایب و مزایای خاص خود را دارند.

ژنراتورهای بزرگ طبق استانداردهای IEC باید به گونه‌ای طراحی شوند که حداکثر دمای ۱۵۵ درجه‌ی سانتی‌گراد را تحمل کنند. هر چند، از نظر عملی طراحی ژنراتورها به گونه‌ای است که دمای آن‌ها حین کار از ۱۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشتر نشود. این نوع طراحی به منظور پوشش‌دادن شرایط اضافه بار و همچنین افزایش طول عمر ژنراتور انجام می‌شود [۳۷].

به طور کلی سه روش برای خنک‌کاری سیم‌پیچ‌های استاتور و روتور و سایر اجزای ژنراتورها مورد استفاده قرار گرفته است. این سه روش در شکل ۵۹-۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۵۹-۲ : انواع سیستم‌های خنک‌سازی ژنراتورها [۳۷]

همان‌طور که در جدول ۵-۲ نشان داده شده است، هوا کم‌اثرترین سیال برای کاهش حرارت، اما آسان‌ترین و در عین حال ارزان‌ترین روش خنک‌سازی ژنراتور است. در ساده‌ترین روش، هوای خنک‌کننده به داخل ژنراتور کشیده شده و سپس هوای داغ از سمت دیگر خارج می‌شود. در برخی سیستم‌های پیچیده‌تر، از حلقه‌های بسته برای جریان هوا و یا تبادل‌گرهای حرارتی هوا با آب برای کنترل‌کردن دما استفاده می‌شود.

جدول ۵-۲ : قابلیت نسبی خنک‌سازی انواع سیالات [۳۷]

سیال خنک‌کننده	قابلیت نسبی خنک‌سازی
هوا	۱
هیدروژن (با فشار ۲.۰۷ بار)	۳
هیدروژن (با فشار ۳.۱ بار)	۴
آب	۵۰

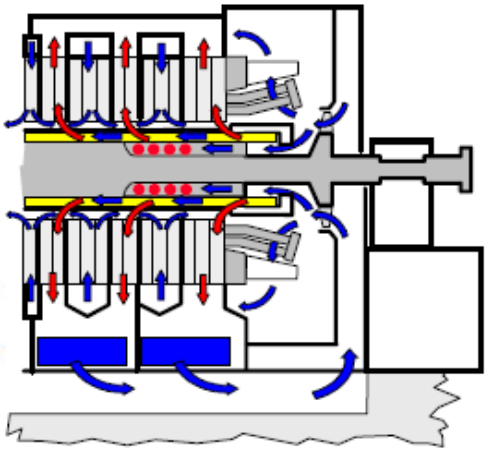
نوع سیستم خنک‌سازی ژنراتور به اندازه و نوع ژنراتور بستگی دارد. به طور معمول، برای ژنراتورهای با سوخت فسیلی مرسوم تا توان حدود ۴۰۰ مگاولت‌آمپر از هوا، تا توان حدود ۷۰۰ مگاولت‌آمپر از هیدروژن و برای واحدهای ژنراتوری با توان بیش از ۷۰۰ مگاولت‌آمپر از آب استفاده می‌شود. البته این محدوده‌ها برای هر سازنده می‌تواند متفاوت باشد. شکل ۶۰-۲ سیستم‌های خنک‌سازی مرسوم مورد استفاده برای ژنراتورهای با توان خروجی خاص را نشان می‌دهد [۳۷].

شکل ۶۰-۲ : سیستم‌های خنک‌سازی مرسوم مورد استفاده برای محدوده توان خروجی ژنراتورها **[۳۷]**

- سیستم خنک‌سازی با هوا

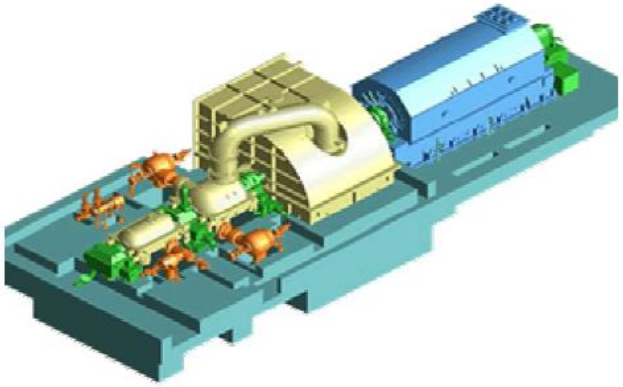
استفاده از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا از حدود سال ۱۹۸۴ به شدت مورد توجه قرار گرفت. در موارد زیادی، سادگی بهره‌برداری یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا نسبت به ابعاد و بازدهی بهتر یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن، اولویت ایجاد می‌کند. شناسایی دلایل توجه ویژه به این نوع ژنراتورها و همچنین آگاهی از مزایای ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن، خصوصاً در شرایطی که توان خروجی بالاتری مورد نیاز باشد، توسعه‌هایی در ساخت ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ایجاد شده است. اصلی‌ترین چالش‌های طراحی این نوع ژنراتورها، ارائه‌ی یک طراحی اقتصادی است که بازدهی و قابلیت اطمینان لازم و همچنین تعمیر و نگهداری ساده را برای کاربر فراهم کند. برش مقطعی یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا در شکل ۶۱-۲ نشان داده شده است. اصول سیستم خنک‌سازی این نوع ژنراتورها در شکل ۶۲-۲ ارائه شده است [۳۸].

شکل ۶۱-۲ : برش مقطعی یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا **[۳۸]**



شکل ۶۲-۲ : مکانیسم خنک‌سازی در توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۳۸]

همچنین شکل ۶۳-۲ شمایی از یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا که همراه با توربین بخاری مورد استفاده قرار می‌گیرد را نشان داده است.



شکل ۶۳-۲ : شمایی از یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا با قابلیت اتصال به توربین بخاری [۳۸]

ریشه‌ی پیدایش ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا به اواخر دهه ۱۹۶۰ برمی‌گردد. این ژنراتورها در سال‌های بعد از آن به مرور و با توجه به نیاز روزافزون و گسترش توربین‌های گازی مورد استفاده، بیشتر مورد توجه قرار گرفتند. ژنراتورهای بزرگ مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا محدوده توانی ۱۵۰ تا ۲۵۰ مگاوات را پوشش می‌دهند [۳۸].

نحوه توسعه و گسترش فناوری‌های مربوط به ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا در جدول ۶-۲ نشان داده شده است. معرفی ژنراتورهای بزرگ‌تر همراه با معرفی توربین‌های گازی مختلف صورت گرفت.

جدول ۶-۲ : وضعیت ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا (تا سال ۲۰۰۶) [۳۸]

محدوده توانی (MVA)	سال معرفی	کاربرد
حداکثر تا ۲۵۰	۱۹۸۴	توربوژنراتورهای اندازه متوسط و توربوژنراتورهای بزرگ ۶۰ هرتز
حداکثر تا ۳۰۰	۱۹۹۵	توربوژنراتورهای بزرگ ۵۰ هرتز
حداکثر تا ۵۰۰	۱۹۹۸	توربین‌های بخاری ۵۰ هرتز

در صورت استفاده از توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا به جای توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن، مزایایی اقتصادی مطابق جدول ۷-۲ حاصل خواهد شد.

جدول ۷-۲ : مزایای اقتصادی استفاده از توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۳۸]

ذخیره‌سازی سرمایه اولیه	**ذخیره‌سازی مالی از جهت بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری**
طراحی ساده این نوع ژنراتورها (نیازی به فریم فشرده‌سازی‌شده و روغن‌کاری شفت نیست)	نیازی به مصرف گاز هیدروژن و کربن دی اکسید نیست
نیازی به تجهیزات کمکی مانند مخزن گاز هیدروژن و کربن دی اکسید، سیستم توزیع گاز و سیستم روغن‌کاری ندارند	مصرف برق تجهیزات کمکی کاهش می‌یابد
لوله‌کشی داخلی جهت خنک‌سازی وجود ندارد	ادوات و تجهیزات یدکی لازم کاهش می‌یابند
کاربری ساده‌تری دارند	نظارت کمتری بر عملکرد این نوع ژنراتورها و تعمیر و نگهداری‌شان نیاز است
فضای کمتری اشغال می‌شود و نیروی کار کمتری برای بهره‌برداری از آن‌ها مورد نیاز است	خطر احتمالی ناشی از انفجار گاز هیدروژن وجود ندارد. میزان آموزش کارکنان با این نوع ژنراتورها نیز کمتر است.
کارهای مهندسی و مدیریت پروژه کاهش می‌یابند	قابلیت اطمینان و در دسترس بودن بیشتری دارند
زمان تحویل تجهیزات کاهش می‌یابد	–
نصب و راه‌اندازی این ژنراتورها ساده‌تر و در مدت‌زمان کوتاه‌تری قابل انجام است	–
نتیجه: حداقل ۴۰٪ در هزینه‌های اولیه لازم برای تولید یک ژنراتور صرفه‌جویی می‌شود (چیزی در حدود ۱ تا ۱/۵ میلیون یورو برای یک ژنراتور ۳۰۰ مگاولت‌آمپری)	**نتیجه: تخمین زده شده است که برای یک ژنراتور ۳۰۰ مگاولت‌آمپری، سالانه حدود ۱۵۰ تا ۳۰۰ هزار یورو در هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری صرفه‌جویی خواهد شد.**

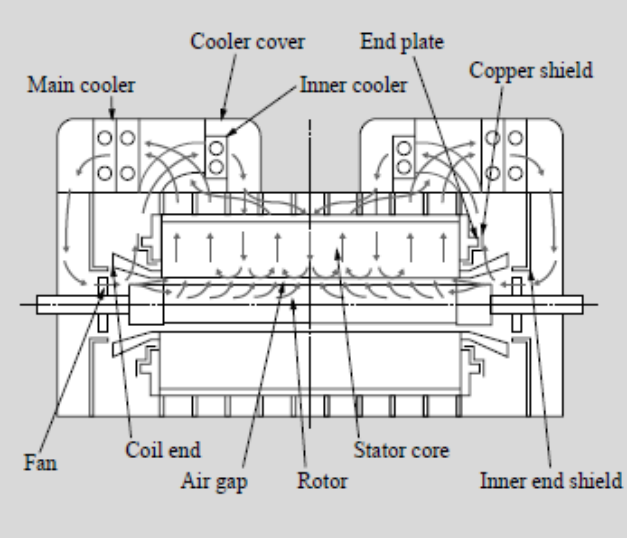
بهینه‌کردن جریان خنک‌سازی، مخصوصاً در ژنراتورهایی که با هوا خنک می‌شوند، یکی از قابل‌توجه‌ترین روش‌های کاهش تلفات و افزایش بازدهی است. در یک ژنراتور که با هوا خنک می‌شود، تلفات مدار خنک‌سازی یکی از بخش‌های اصلی تلفات است، به همین دلیل بهینه‌کردن آن مزایای قابل توجهی خواهد داشت.

طی سال‌های مختلف، شرکت‌ها و محققین مختلف روش‌های مختلفی را به منظور افزایش توان خروجی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا و نیز افزایش بازدهی و بهبود عملکرد این نوع ژنراتورها انجام داده‌اند. در ادامه به برخی از این اقدامات اشاره خواهد شد.

شرکت هیتاچی در سال ۲۰۰۱ ژنراتور ۲۵۰ مگاولت‌آمپری ۵۰ هرتز مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا را به پایان رساند. در گزارش‌ها آماده است که با توجه به استفاده از سیستم تهویه‌ی بهینه با کمک خنک‌کننده‌های داخلی و ساختار بهینه‌ی کویل استاتور، بازدهی ژنراتور حین بهره‌برداری با فرکانس ۵۰ هرتز و ضریب توان ۰/۹ به حدود ۹۸/۸ درصد رسیده است.

هدف از کاری که توسط شرکت هیتاچی انجام شده، رساندن بازدهی ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا به حوالی بازدهی یک ژنراتور معمولی مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن بوده است. با فرض این‌که این ژنراتور قرار است به یک توربین گازی با ظرفیت بالا متصل شود، طراحی ژنراتور به گونه‌ای است که با ضریب توان ۰/۸۵ و راه‌اندازی تریستوری انجام می‌شود.

یکی از اصلی‌ترین مسائل در توسعه‌ی ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا که بازدهی بالایی داشته باشد، کاهش‌دادن تلفات مکانیکی است. در این نوع ژنراتورها، بیش از ۸۰ درصد تلفات مکانیکی ناشی از اصطکاک موجود در سیستم تهویه است. از آن‌جایی که این اصطکاک در تهویه متناسب با توان سوم سرعت چرخشی است، تلفات مکانیکی تقریباً نیمی از تلفات کل را شامل خواهد شد. به منظور افزایش بازدهی، قابلیت اطمینان و نگهداشت‌پذیری، تکنولوژی‌های مختلفی روی این ژنراتور به کار برده شده‌اند. در ارتباط با سیستم خنک‌سازی، در این ژنراتور نیز مانند نسخه‌ی قبلی از یک خنک‌کننده داخلی استفاده شده است. پیکربندی ژنراتور و خنک‌ساز داخلی آن در شکل ۶۴-۲ نشان داده شده است [۳۹].



شکل ۶۴-۲ : شماتیک نحوه خنک‌سازی خنک‌ساز داخلی تعبیه‌شده در ژنراتور **[۳۹]**

در این ساختار، نحوه قرارگیری داکت هسته استاتور و سیستم تهویه‌ی هر بخش بهینه شده است و در نتیجه دمای کویل استاتور کاهش می‌یابد و توزیع محوری دما نیز متعادل می‌شود. در نتیجه‌ی تقویت سیستم تهویه، حاشیه‌ی اضافه‌ای برای افزایش دمای کویل استاتور ایجاد می‌شود که کاهش حجم کل جریان هوای مورد نیاز را ممکن می‌سازد. علاوه بر این، به جای فن‌های مرسوم از یک فن با فشار پایین استفاده شده است که متعاقب آن تلفات ناشی از اصطکاک تهویه حدود ۲۰ درصد کاهش یافته است [۳۹].

شرکت Brush Electrical Machines در راستای گسترش محدوده‌ی حداکثر ظرفیت ژنراتورهایی است که با هوا خنک‌سازی می‌شوند، اقداماتی را انجام داده است. این شرکت نیاز به ژنراتورهای بزرگی که با هوا خنک می‌شوند و همراه با توربین‌های گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند را شناسایی کرده است. شرکت Brush ژنراتورهایی با خنک‌سازی هوا تولید می‌کند که ظرفیتی در حدود ۲۰۰ مگاولت‌آمپر دارند، اما طبق ادعای مدیر توسعه‌ی شرکت، برنامه‌ی افزایش ظرفیت این نوع ژنراتورها تا ظرفیتی در حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ مگاولت‌آمپر را دارند، چرا که بازار چنین تقاضایی دارد [۴۰].

به ادعای یکی از مهندسین ارشد طراحی در Brush Electrical Machines، این شرکت در حال اجرای طرحی به منظور بهینه‌سازی کامل سیستم تهویه‌ی ژنراتورهاست. این کار امکان ساخت ژنراتورهای با سیستم خنک‌سازی هوا در محدوده‌ی توانی بالاتر را ممکن می‌سازد. شرکت Ansaldo نیز در حال اجرای طرحی مشابه است و در حال حاضر در فرایند ساخت ژنراتورهای ۴۰۰ مگاولت‌آمپری با سیستم خنک‌سازی هوا است [۴۰].

در این زیر بخش، به کاری اشاره خواهد شد که محققین در آن به بررسی عیوب و ارائه راهکار برای رفع آن‌ها در ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ۳۰۰ مگاولت‌آمپری پرداخته‌اند. کلیات این عیوب، راهکارهای پیشنهادی و

نتیجه‌ی حاصل از انجام راهکار پیشنهادی به طور خلاصه در جدول ۸-۲ ارائه شده‌اند. همچنین، جزییات این مطالعه در [۴۱] قابل مشاهده است.

جدول ۸-۲ : برخی عیوب موجود در واحدهای ۳۰۰ مگاواتی مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا **[۴۰]**

عیب	راهکار	نتیجه
چند مورد شکستگی و ترک در قلاب‌های اتصال کوتاه متصل به نگه‌دارنده انتهای سیم‌پیچی استاتور	انجام تحلیل FEM دینامیک نشان‌دهنده این نکته بود که حین بهره‌برداری در شرایط واقعی، نگه‌دارنده‌ی انتهای سیم‌پیچی به این قلاب‌ها نیازی ندارد. در نتیجه، راهکار پیشنهادی، حذف قلاب‌ها بود.	راهکار پیشنهادی در واحدها اجرایی شد. مشکل حل شده و ترک و شکستگی جدیدی حاصل نشد.
ورقه‌های مسی بین حلقه‌ی نگه‌دارنده و انتهای سیم‌پیچی روتور ژنراتورهای واحدهای ۶۰ هرتزی، متحمل خزش و ضربه می‌شدند	در تمام واحدهای ۶۰ هرتزی، ماده‌ی مورد استفاده در ورقه‌ها از مس به تیتانیوم تغییر کرد.	راهکار پیشنهادی در تمام واحدهای ۶۰ هرتز اجرایی شد. مشکل مذکور دیگر رخ نمی‌داد.
روغن‌کاری لبه جداساز محفظه استاتور بی‌دوام شده بود. نبود روغن در این بخش منجر به مشکل در جریان خنک‌کاری و متعاقباً منجر به کمی افزایش دما می‌شد.	موادی با مشخصه‌ی بهتر جهت خنک‌کاری مورد استفاده قرار گیرند. مثلاً از ماده‌ای به نام وایتون استفاده شود.	راهکار پیشنهادی در تمام واحدها اجرایی شد. مشکل مذکور دیگر رخ نداد.

در بررسی این ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا، برخی اقدامات به منظور افزایش ظرفیت خروجی و بهبود عملکرد آن‌ها صورت گرفته است که در ادامه به طور مختصر به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد [۳۸]:

- ✓ **بهبود عملکرد فن:** فن‌های محوری ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا به طور معمول در یک رژیم کاری بهینه کار می‌کنند. فشار هوای تولیدی تا حد خاصی قابل افزایش است. این کار با افزایش زاویه چرخش پره‌های فن قابل انجام می‌باشد. علی‌رغم این‌که انجام چنین کاری باعث خارج‌شدن فن از رژیم کاری بهینه‌اش شود، اما منجر به افزایش فشار هوای تولیدی و بنابراین خنک‌سازی بهتر خواهد شد. لازم به ذکر است که حین انجام چنین کاری باید توجه ویژه‌ای به محدوده‌ی پایداری فن صورت گیرد. معمولاً با چنین کاری می‌توان توان خروجی ژنراتور را تا حداکثر ۳٪ افزایش داد.
- ✓ **افزایش فشار استاتیک در محفظه ژنراتور:** ایجاد ۰/۲ بار افزایش فشار در محفظه ژنراتور امکان افزایش حدوداً ۵ درصدی توان خروجی ژنراتور را فراهم می‌کند. ژنراتورهای بزرگ مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا که مدار خنک‌سازی‌شان کاملاً بسته است، برای ایجاد این افزایش فشار بسیار مناسب‌اند. پکیج مورد استفاده برای این منظور شامل یک دمنده‌ی بیرونی درایوشونده با موتور با سرعت متغیر است که از طریق لوله‌کشی به ژنراتور متصل می‌شود [۴۲]. ساختار کلی این پکیج در شکل ۶۵-۲ نشان داده شده است.

شکل ۶۵-۲ : پکیج ایجاد افزایش فشار در محل ژنراتور [۳۸]

- ✓ **کاهش‌دادن دمای ورودی خنک‌ساز آبی:** یک روش برای افزایش توان خروجی ژنراتور، کم‌کردن دمای ورودی خنک‌ساز و در نتیجه ایجاد امکان افزایش بیشتر دما با توجه به محدودیت‌های کلاس عایقی و حرارتی است. برای ژنراتورهای TWEAC مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا، این کار با واحد تبرید موجود در منبع آب خنک‌ساز ژنراتور قابل انجام است [۴۳].
- ✓ **عملکرد کلاس F:** با بهبود عملکرد عایقی ژنراتور، امکان افزایش فشار حرارتی سیم‌پیچی استاتور حین بهره‌برداری در حالت پیک فراهم می‌شود. به لطف طراحی محافظه‌کارانه در بهره‌برداری از ژنراتور در شرایط نامی، تمام نقاط داغ در محدوده کلاس بهره‌برداری (کلاس B) باقی می‌مانند. به طور کلی، در صورتی که کلاس عایقی ژنراتور F (۱۵۵) باشد، حدود ۱۰٪ افزایش توان خروجی قابل حصول است. این نوع عایق در ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا به مدت ۱۰ سال بدون دچار شدن به هیچ مشکلی قابل استفاده است [۳۸].
- ✓ **طراحی عایق:** طی سالیان زیاد، یک روش بسیار موثر برای بهبود عایق در برابر اضافه ولتاژ، افزایش قدرت نامی میدان الکتریکی با یکنواخت‌کردن شدت پیک میدان در لبه‌های میله‌های سیم‌پیچی‌های استاتور بوده است. با استفاده از کوپلینگ حرارتی بهتر به دیواره‌ی شیار و قراردادن مس بیشتر در شیار، مزایای این روش دو برابر می‌شوند. یک روش اثبات‌شده برای افزایش شعاع لبه‌های میله‌ها از طریق قراردادن نوارها و بتونه‌های پرکننده در سمت کوچک رشته‌های ترنسپوزشده است [۴۴]. پیشرفت قدرت نامی میدان طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۶ حدود ۱۵ درصد بوده و در ادامه نیز بیشتر شده است. در واحدهای قدیمی‌تر، ممکن است سیم‌پیچی مجدد نیز مزایایی داشته باشد.

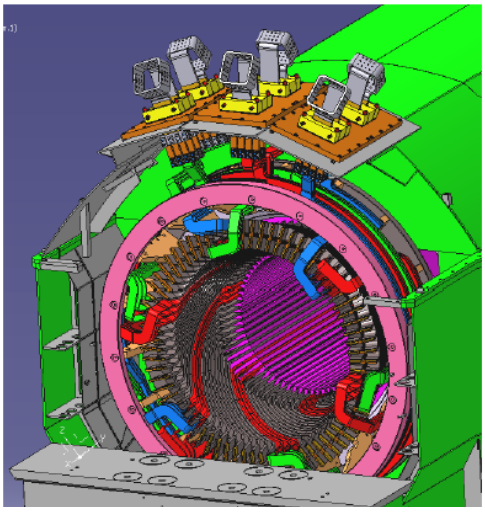
در این بررسی، همچنین ارتقای توان خروجی ژنراتور ۳۰۰ مگاولت‌آمپری معرفی‌شده به ۳۴۰ و ۴۰۰ مگاولت‌آمپر نیز مد نظر قرار گرفته است. ویژگی‌های این دو ژنراتور با توان خروجی ارتقایافته در جدول ۹-۲ ارائه شده است [۳۸].

جدول ۹-۲ : ویژگی‌های ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا با توان خروجی بیشتر [۳۸]

توان ظاهری نامی	۳۰۰ مگاولت‌آمپر	۳۴۰ مگاولت‌آمپر	۴۰۰ مگاولت‌آمپر
ولتاژ نامی	۱۹ کیلوولت	۲۱ کیلوولت	
ضریب توان	۰/۸	۰/۸	
نسبت اتصال کوتاه	۰/۵	۰/۵	

کلاس عایقی	(F) ۱۵۵		
کلاس بهره‌برداری	(B) ۱۳۰		
ویژگی‌های جدید	–	طول بلندتر	طول بلندتر
		–	شیارهای بیشتر در استاتور
		–	اضافه فشار استاتیک

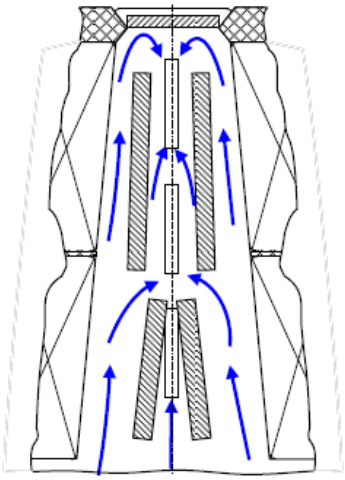
طراحی پایه‌ی این ژنراتورها با توان خروجی بیشتر، بدون تغییر باقی می‌ماند. دینامیک روتور با توجه به افزایش طولی که ایجاد شده باید به دقت مورد بررسی قرار بگیرند و مشکل دینامیکی وجود نداشته باشد. تعداد اتاقک‌های خنک‌سازی نیز ثابت می‌ماند. با افزایش تعداد حلقه‌های نگه‌دارنده، هسته‌ی استاتور این ژنراتورها تقویت خواهد شد. همچنین در ژنراتور۴۰۰ مگاولت‌آمپری، تعداد شیارهای بیشتری وجود دارد تا چگالی جریان افزایش یابد و امکان حذف بهتر حرارت ایجاد شود. همچنین با یک چارچوب جدید برای سیم‌پیچی، ولتاژ استاتور در حدود مقادیری باقی می‌ماند که ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا تجربه می‌کند. این چارچوب سیم‌پیچی در شکل ۶۶-۲ نشان داده شده است.



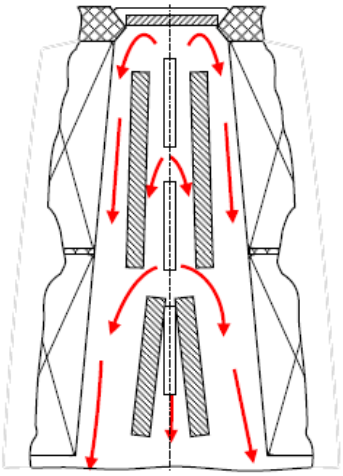
شکل ۶۶-۲ : چارچوب سیم‌پیچی ژنراتور ۴۰۰ مگاولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا [۳۸]

اصلی‌ترین محدودکننده‌ی ظرفیت توربوژنراتورهای دارای خنک‌سازی غیرمستقیم با گاز، گرم‌شدن سیم‌پیچی استاتور است [۴۵]. هنگام افزایش بارهای فعلی که تعیین‌کننده توان ژنراتور هستند، بهبود بخشیدن به خنک‌سازی شیارها با استفاده از تشدید تبادل حرارت به صورت همرفتی در کانال‌های استاتور ضروری است. دقیقاً همین مشکل در برخی ساختارهای توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا رفع شده است. در ساختار اولیه با کانال‌های U-شکل، هوای خنک از محفظه‌های فشار پیرامون استاتور می‌چرخد، وارد کانال‌های شعاعی بین سیم‌پیچ‌ها و فولاد فعال می‌شود و از مسیر منفذ مربوطه می‌گذرد. سپس، در جهت معکوس از اطراف استاتور به محفظه‌های رقیق‌سازی باز می‌گردد [۴۶].

ایده‌ی کانال U–شکل و مفهوم جابجایی متناوب در نواحی غیرمشابه در حوالی استاتور مورد نظر بوده است. با این حال، به جای کانال مستقر در یک صفحه (شعاعی–مماس)، در این حالت کانالی در فضا تعبیه شده و با کنارگذرکردن[1] هوا بین کانال‌های شعاعی مجاور از طریق کانال‌های محوری شکاف‌گونه که در دندانه‌ها ایجاد شده‌اند، مشهود است. برای درک بهتر این موضوع، شکل ۶۷–۲ و **شکل ٦٨–۲** ارائه شده‌اند.



شکل ۶۷–۲ : جریان هوا در داکت‌های شعاعی جلو [۴۵]



شکل ٦٨–۲ : جریان هوا در داکت‌های شعاعی پشت [٤٥]

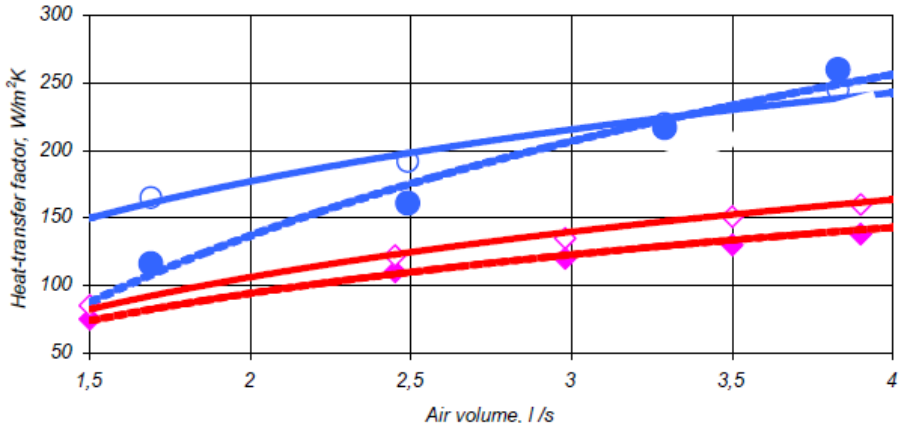
به منظور بررسی ویژگی‌های این ساختار جدید، آزمایش‌هایی با نرخ جریان‌های هوا و بارهای گرمایشی متفاوت صورت گرفته تا تفاوت‌های موجود در این سیستم خنک‌سازی با سیستم‌های پیشین مقایسه شوند.

محاسبات حرارتی ساختار جدید که مبتنی بر نتایج حاصل از آزمایش هستند، کاهش دما در دندانه‌های سیم‌پیچی استاتور را نشان داده‌اند. در ادامه این تغییر ساختارها و آزمایش‌ها، سعی بر ساخت ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با ظرفیتی بالاتر از ۳۰۰ مگاولت‌آمپر بوده است.

[1] Bypass

آزمایش‌های مقاوت بادی در هر دو ساختار (کانال‌های U–شکل و بایپس هوا از طریق کانال‌های محوری) نشان داده‌اند که ممکن است این سیستم‌های تهویه با توجه به ظرفیت ژنراتور، یکی در نظر گرفته شوند. با این حال، ظرفیت ژنراتور به طور کامل کیفیت سیستم تهویه را مشخص نمی‌کند. شاخص‌های ایجاد توزیع یکنواخت تلفات در سرتاسر کانال‌های شعاعی موازی در دندانه‌ها نیز اهمیت دارند. این توزیع یکنواخت خود به خود حاصل نمی‌شود [۴۵].

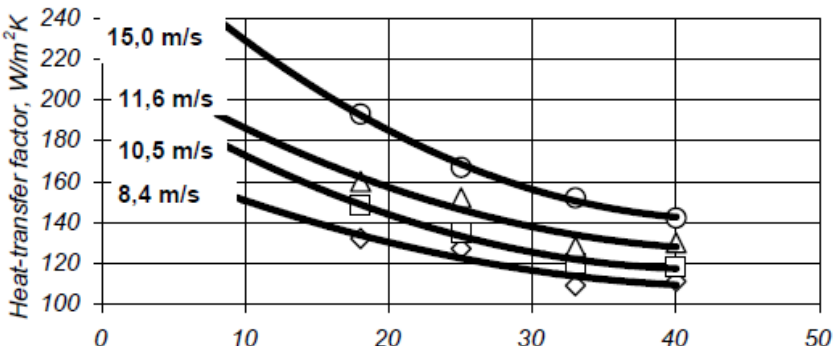
منحنی‌های ضریب انتقال حرارت در ناحیه دندانه‌های کانال‌های شعاعی نسبت به نرخ جریان هوا، در شکل ۶۹–۲ نشان داده شده‌اند. در این شکل، منحنی‌های متناظر با کانال‌های U–شکل با خطوط قرمز ترسیم شده‌اند.



شکل ۶۹–۲ : ضریب انتقال حرارت در ناحیه دندانه‌ای کانال‌های شعاعی (خطوط توخالی مربوط به داکت‌های جلو و خطوط توپر مربوط به داکت‌های پشت هستند) **[۴۵]**

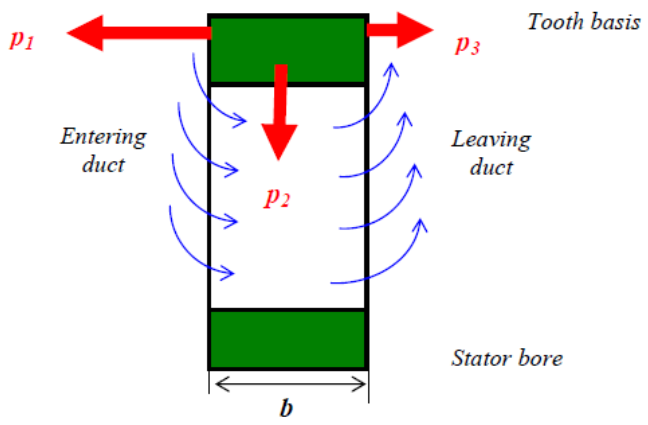
در صورت مقایسه کانال‌ها شعاعی با کانال‌های U–شکل، مشاهده می‌شود که تشدید تبادل حرارت همرفتی در مورد اول حاصل شده است. افزیش ضریب انتقال حرارت با توربولاسیون مصنوعی و در هم شکستن لایه‌ی مرزی به دلیل چند شاخه شدن جریان هوا در کانال‌های محوری قابل توجیه است. دلیلی غیرمستقیم از جریان‌های موجود در هم شکسته در کانال شعاعی با استفاده از ترموگرام‌های به شدت حساس قابل حصول است. ثابت‌های متوسط انتقال حرارت در ساختار جدید بین ۱/۵ تا ۱/۶ برابر کانال‌های U–شکل با نرخ جریان هوای یکسان هستند [۴۵].

توزیع تجربی ثابت‌های انتقال حرارت در سرتاسر کانال‌های محوری در شکل ۷۰–۲ نشان داده شده است. شدت معقول انتقال حرارت همرفتی در این کانال‌ها با ثابت‌های متوسط در حدود ۱۲۰ تا ۱۶۰ وات بر مترمربع کلوین مشخص می‌شود که با سرعت هوای متوسط (در حدود ۸ تا ۱۵ متر بر ثانیه) حاصل شده‌اند. چنین نتیجه‌ی مثبتی اصطلاحاً با عنوان اثر آشفتگی جریان هوا در ورودی کانال محوری شناخته می‌شود [۴۷].



شکل ۷۰–۲ : توزیع ثابت‌های انتقال حرارت در سرتاسر کانال محوری **[۴۵]**

فرایند حرارتی در ناحیه دندانه‌ای ساختار جدید، به صورت شماتیک در شکل ۲-۷۱ نشان داده شده است. تلفات کل در بخش شیار سیم‌پیچی استاتور و دندانه P در جریان‌های حرارتی به p1، p2 و p3 تقسیم شده و به سمت کانال‌های (۱) جلو، (۲) محوری و (۳) پشت حرکت می‌کند.



شکل ۲-۷۱ : جریان‌های حرارت در سیستم خنک‌سازی [۴۵]

از معادلات تعادل حرارتی داریم:

$$\begin{cases} \dfrac{p_1}{k_1F_1}+\dfrac{p_1}{2cQ}=\dfrac{p_2}{\alpha_2F_2}+\dfrac{p_1}{cQ}+\dfrac{p_2}{2cQ}=\dfrac{p_3}{k_3F_3}+\dfrac{p_1+p_2}{cQ}+\dfrac{p_3}{2cQ}=\Delta\theta \\ p_1+p_2+p_3=P \end{cases} \quad (۲-۶)$$

معادله فوق به این منجر می‌شود که افزایش دمای متوسط بخش دندانه‌ای نسبت به دمای هوا در سطح پایینی شیار روی دندانه بخش جلو طبق رابطه (۲-۷) قابل محاسبه است.

$$\Delta\theta=\frac{\dfrac{m_2+0.5}{m_2-0.5}(m_1+0.5)}{1+\dfrac{m_2+0.5}{m_2-0.5}+\dfrac{m_2-0.5}{m_3+0.5}}\cdot\frac{P}{cQ} \quad (۲-۷)$$

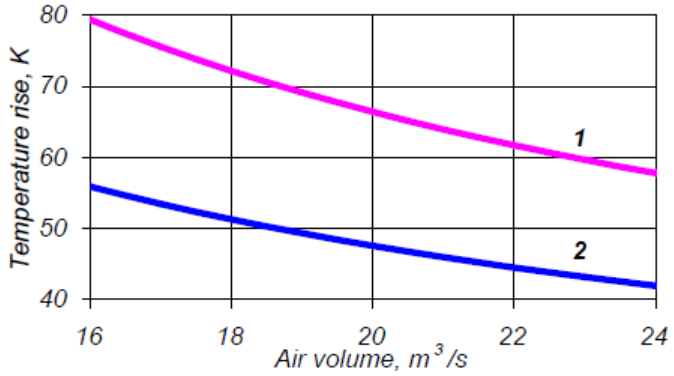
$$m_1=\frac{cQ}{k_1F_1},m_2=\frac{cQ}{\alpha_2F_2},m_3=\frac{cQ}{k_3F_3}$$

که در آن، c حرارت خاص حجم واحد هوا بر حسب kJ/m^3K، Q نرخ جریان حجم هوا بر حسب m^3/s و k_1 و k_3 ثابت‌های انتقال حرارت در ناحیه دندانه‌ای نسبت به کانال‌های (۱) جلو و (۳) پشت بر حسب W/m^2K هستند و مطابق با (۲-۸) محاسبه می‌شوند.

$$k_{1,3_{avg}}=\frac{1}{\dfrac{1}{\alpha_{1,3}}+\dfrac{b}{6\lambda}} \quad (۲-۸)$$

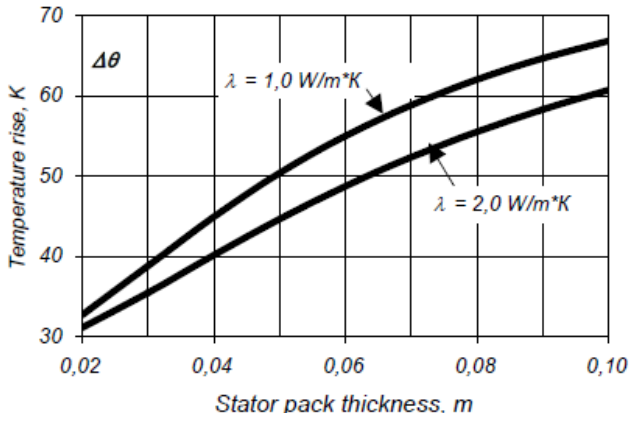
در این رابطه، α_1 و α_3 ضرایب انتقال حرارت کانال‌های (۱) جلو و (۳) پشت بر حسب W/m^2K هستند.

رابطه بین افزایش دمای متوسط محاسبه‌شده دندانه استاتور و نرخ جریان هوا در شکل ۲-۷۲ نشان داده شده است. در طراحی پایه ژنراتور ۲۶۵ مگاولت‌آمپری، هسته ورقه‌های استاتور ضخامتی ۳۰ میلی‌متری و در طراحی با مدل پیشنهادی، ضخامتی ۴۰ میلی‌متری دارند [۴۵].



شکل ۷۲-۲ : بستگی افزایش دمای دندانه استاتور به حجم هوا [۴۵]

رابطه بین افزایش دمای دندانه و ضخامت ورقه‌ها و هدایت حرارتی در شکل ۷۳-۲ نشان داده شده است. هر چه جذب حرارت درکانال‌های شعاعی بدتر باشد، جریان حرارت ورودی به شکاف که ناشی از افت افزایش دما در سطح آن است، بهتر می‌شود. بنابراین، کاهش هدایت حرارتی دوبرابری، تنها به حدود ۵ درجه افزایش دما در بخش دندانه‌ای منجر می‌شود [۴۵].



شکل ۷۳-۲ : بستگی افزایش دما به ضخامت ورقه‌ها و هدایت حرارتی [۴۵]

- سیستم‌های خنک‌سازی با گاز هیدروژن

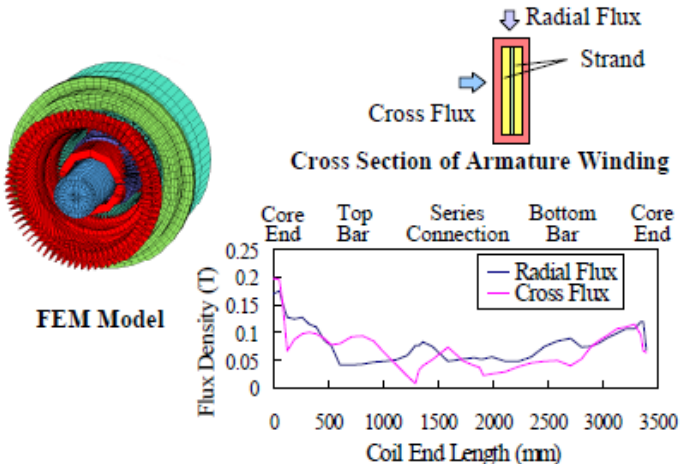
گاز هیدروژن برای کاهش حرارت ژنراتور بسیار موثرتر از هواست. این ماده بسته به فشار می‌تواند ۳ تا ۴ برابر موثرتر از هوا باشد. با این حال، استفاده از هیدروژن چالش‌هایی ایجاد می‌کند که باید مرتفع شوند. از آن‌جایی که هیدروژن با فشار عملیات خنک‌سازی را انجام می‌دهد، محفظه‌ی ژنراتور باید قادر به تحمل فشار داخلی ۲ تا ۳ بار باشد. این گاز قابلیت اشتعال و انفجار بسیار بالایی دارد، بنابراین باید نظارت دقیقی صورت گیرد تا نشتی اتفاق نیفتد و مقدار هوایی که با هیدروژن ترکیب می‌شود باید در محدوده‌ی مجاز باشد تا خطر اشتعال و انفجار وجود نداشته باشد. به علاوه، سیستمی برای چرخاندن گاز و همچنین سیستمی به منظور فراهم‌کردن گاز راکد برای ورود هیدروژن به ژنراتور و خروج این گاز از ژنراتور مورد نیاز است. تمام این موارد به پیچیدگی و هزینه‌ی ساخت ژنراتور می‌افزایند [۴۰].

اولین ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن دنیا در سال ۱۹۳۷ توسط شرکت برق و روشنایی دیتون[1] واقع در دیتون ایالت اوهایو آمریکا مورد بهره‌برداری عملیاتی قرار گرفت. از دلایل اصلی استفاده از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با گاز هیدروژن در نیروگاه‌های حرارتی در سرتاسر جهان می‌توان به بازدهی بالا و سادگی بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری آن‌ها اشاره کرد. از آن‌جایی که در این ژنراتورها هادی‌های استاتور از بیرون عایق اصلی با گاز هیدروژن خنک می‌شوند و این خنک‌سازی غیرمستقیم است، به دلیل مقدار گرمای زیاد تولیدشده در داخل سیم‌پیچی‌های استاتور، توان خروجی این نوع ژنراتورها به حدود ۷۰۰ مگاولت‌آمپر می‌رسد [۴۰]. در ادامه به تشریح برخی اقدامات انجام‌شده روی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن به منظور بهبود عملکرد و افزایش توان خروجی آن‌ها، اشاره خواهد شد.

در سال ۲۰۰۲، شرکت Toshiba در مقاله‌ای صحبت از توسعه‌ی توربوژنراتوری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن زد که قادر به ارائه توان خروجی ۶۰۰ مگاولت‌آمپر نیز بود.

به طور کلی هر چه ظرفیت یک توربوژنرتور افزایش یابد و طراحی آن فشرده‌تر شود، چگالی تلفات در استاتور و روتور آن افزایش می‌یابد. تخمین دقیق توزیع تلفات و تغذیه‌ی موثر گاز هیدروژن به منظور خنک‌سازی روتور و استاتور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در همین راستا، استفاده از تحلیل سه‌بعدی میدان‌های مغناطیسی به استخراج توزیع دقیق تلفات کمک می‌کند [۳۹].

توزیع چگالی شار سیم‌پیچی حول انتهای سیم‌پیچی استاتور توربوژنراتور توسعه‌یافته توسط شرکت Toshiba در شکل ۲-۷۴ نشان داده شده است.



شکل ۲-۷۴ : توزیع چگالی شار حول انتهای سیم‌پیچی استاتور [۳۹]

همچنین توزیع تلفات سیم‌پیچی استاتور در جدول ۲-۱۰ ارائه شده است.

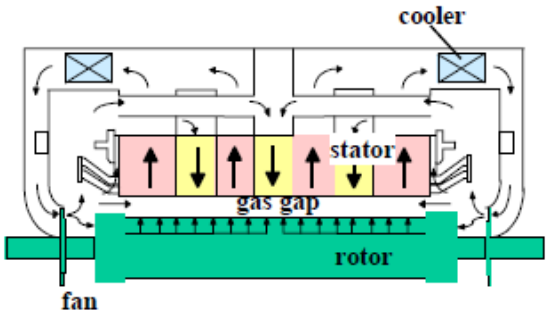
جدول ۲-۱۰ : تلفات در سیم‌پیچی استاتور [۳۹]

	بخش شیار		بخش انتهایی	
	تلفات DC	تلفات AC	تلفات DC	تلفات AC
میله	۲۰٪	۱۵٪	۱۳٪	۷٪

[1] Dayton Power & Light Co.

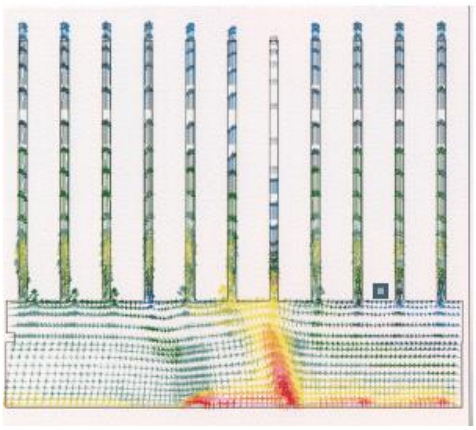
بالایی				
میله پایینی	۲۲٪	۲٪	۱۴٪	۷٪

در شکل ۷۵-۲، مدار خنک‌سازی توربوژنراتور نشان داده شده است.



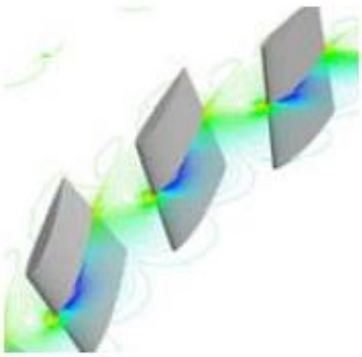
شکل ۷۵-۲ : مدار خنک‌سازی **[۳۹]**

نحوه خنک‌سازی به این شکل است که هسته به صورت محوری به چندین اتاقک تقسیم شده است. توزیع جریان گاز بسته به وضعیت قرارگیری داکت هر یک از اتاقک‌ها تغییر می‌کند. این نحوه قرارگیری شامل طول و تعداد هر اتاقک توسط تحلیل محاسبه دینامیک سیالات (CFD) بهینه می‌شود. شکل ۷۶-۲ توزیع سرعت جریان گاز در فاصله‌ی هوایی را نشان می‌دهد. دمای گاز خنک‌کننده خروجی از روتور نسبت به گاز خنک‌کننده خروجی از استاتور بیشتر است. گاز خروجی از روتور در داکت‌های خاصی از استاتور جمع شده و همین موضوع باعث ایجاد یک ناحیه با دمای بالای در این داکت‌ها می‌شود [۳۹].



شکل ۷۶-۲ : توزیع سرعت جریان گاز در فاصله‌ی هوایی حاصل از تحلیل **CFD [۳۹]**

نحوه قرارگیری داکت استاتور بهینه‌سازی می‌شود تا تفاوت دمایی در داکت‌های استاتور به حداقل برسد. همان‌طور که در شکل ۷۷-۲ نشان داده شده است، پیکربندی فن روتور نیز با تحلیل سه‌بعدی بهینه‌سازی می‌شود تا بازدهی آن افزایش یابد.

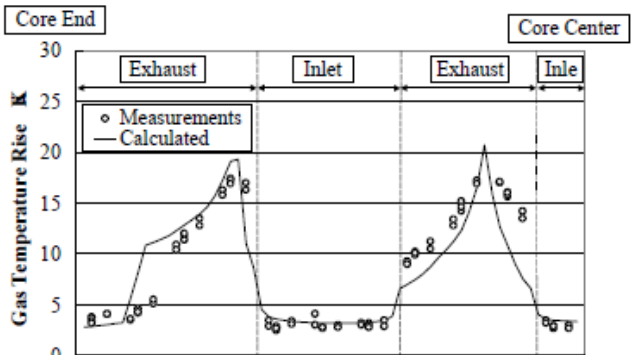


شکل ۷۷-۲ : بهینه‌سازی پیکربندی فن روتور حاصل از تحلیل **CFD** [۳۹]

در این ژنراتورها، توزیع جریان گاز خنک‌کننده در ژنراتور و عملکرد خنک‌سازی روتور با مدل آزمون اندازه نصفه[1] مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است. شکل ۷۸-۲، شمای کلی از این آزمون و تجهیزات انجام آن را نشان می‌دهد.

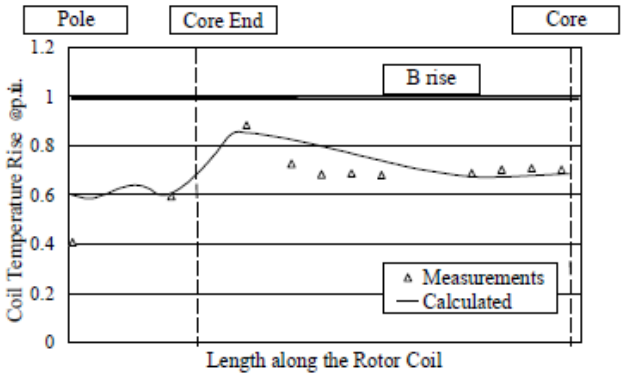
شکل ۷۸-۲ : تجهیزات آزمون تهویه اندازه نصفه [۳۹]

در نهایت، شکل ۷۹-۲ و شکل ۸۰-۲، به ترتیب دماهای اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده‌ی گاز و سیم‌پیچی روتور را نشان می‌دهند. شکل‌ها حاکی از این هستند که تطابق مناسبی بین نتایج آزمون و نتایج حاصل از تحلیل وجود دارد و می‌توان ادعا کرد طراحی سیستم خنک‌سازی و الکتریکی این ژنراتور مورد تأیید قرار می‌گیرد [۳۹].



شکل ۷۹-۲ : توزیع دمایی گاز در داکت‌های استاتور [۳۹]

[1] Half-Size Test

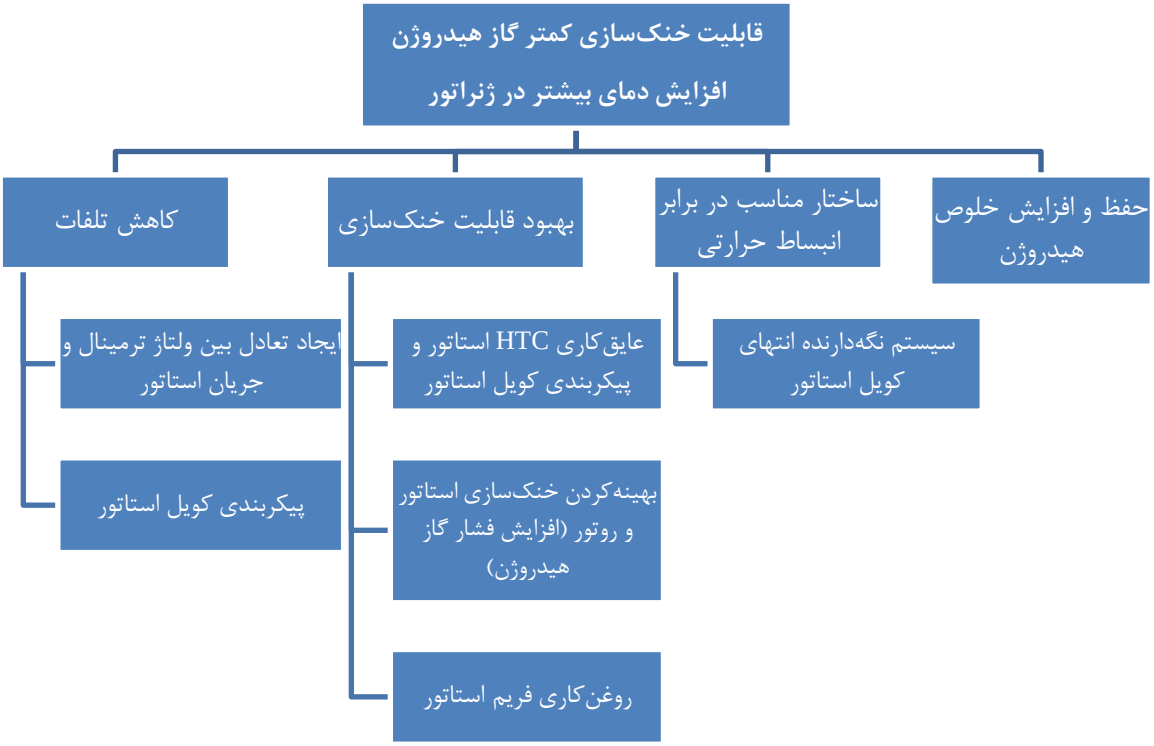


شکل ۸۰–۲ : توزیع دمایی سیم‌پیچی روتور **[۳۹]**

از آن‌جایی که گاز هیدروژن توانایی خنک‌سازی کمتری نسبت به آب دارد، هنگام ساخت توربوژنراتور ۶۷۰ مگاولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن توسط شرکت Toshiba در سال ۲۰۱۰، چالش‌هایی مطابق شکل ۸۱–۲ وجود داشت. همچنین مشخصات فنی ژنراتور توسعه‌یافته توسط Toshiba در جدول ۱۱–۲ ارائه شده است.

جدول ۱۱–۲ : مشخصات فنی ژنراتور ۶۷۰ مگاولت‌آمپری توسعه‌یافته توسط **Toshiba**

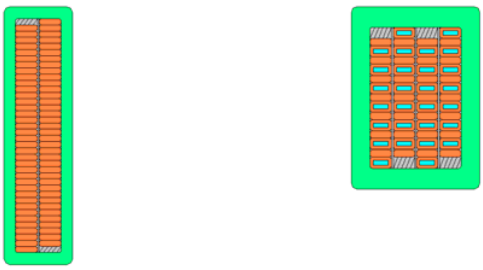
ظرفیت (kVA)	۶۷۰،۰۰۰
سرعت (min^{-1})	۳۶۰۰
ولتاژ (V)	۱۹،۰۰۰
جریان (A)	۲۰،۳۶۰
ضریب توان	۰/۹
نسبت اتصال کوتاه	بیش از ۰/۵۸
فشار هیدروژن (kPa.g)	۵۲۰
کلاس عایقی / افزایش دما	دسته F / افزایش B
استاندارد	JEC 2130-2000
خنک‌سازی کویل استاتور / روتور	غیرمستقیم با هیدروژن / مستقیم با هیدروژن



شکل ۸۱-۲ : چالش موجود در فناوری خنک‌سازی با گاز هیدروژن و راهکارهای پیشنهادی [۴۸]

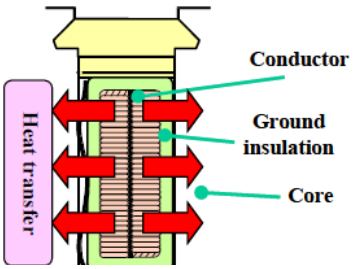
در ادامه به معرفی برخی فناوری‌های اعمالی حین توسعه این ژنراتور برای مرتفع‌کردن چالش‌های موجود اشاره خواهد شد.

- **ایجاد تعادل بین ولتاژ ترمینال و جریان استاتور:** از نقطه‌نظر خنک‌سازی غیرمستقیم با گاز هیدروژن، هر چه ضخامت عایق کویل استاتور کمتر باشد، بهتر است. جریان کمتر در میله‌ی استاتور نیز از نقطه‌نظر کاهش تلفات، گزینه‌ی مناسبت‌تری است. به منظور کاهش ولتاژ ترمینال و کاهش جریان میله‌ی استاتور، از اتصال موازی چند کویل استاتور استفاده می‌شود. در نتیجه، ولتاژ ترمینال و جریان استاتور در ژنراتور توسعه‌یافته توسط Toshiba به ترتیب برابر ۱۹ کیلوولت و ۲۰/۳۶ کیلوآمپر می‌شود. این پارامترها برای ژنراتورهای مرسوم، برابر ۲۲ کیلوولت و ۱۷/۵۸۳ کیلوآمپر بوده‌اند. همچنین هر چه مساحت سطح بیشتر باشد، از نقطه‌نظر هدایت حرارتی انتخاب بهتری خواهد بود. شکل ۸۲-۲ سطح مقطع میله‌ی استاتور ژنراتور توسعه‌یافته توسط Toshiba و ژنراتورهای مرسوم ۶۷۰ مگاولت‌آمپری را نشان می‌دهد. مساحت سطح مقطع هادی کویل استاتوری که به صورت غیرمستقیم با گاز هیدروژن خنک‌سازی می‌شود، نسبت به کویل استاتوری که به صورت مستقیم با آب خنک‌سازی می‌شود، بزرگ‌تر است. در نتیجه، تلفات مقاومتی کویل استاتور کاهش می‌یابد [۴۸].



شکل ۸۲–۲ : مقایسه سطح مقطع میله استاتور (سمت چپ: ژنراتور توسعه‌یافته توسط **Toshiba** و سمت راست: ژنراتور مرسوم) **[۴۸]**

- **عایق HTC استاتور:** گرمای تولیدی در میله‌های استاتور که به صورت غیرمستقیم خنک می‌شوند از طریق هادی‌ها، عایق دیواره، هسته و گاز خنک‌ساز منتقل می‌شود. این نکته در شکل ۸۳–۲ قابل مشاهده است. در این مسیر انتقال حرارت، هدایت گرمایی عایق دیواره بسیار کمتر از سایر اجزاست. در نتیجه، توسعه‌دهندگان ژنراتور Toshiba از عایق HTC استفاده کرده‌اند که هدایت حرارتی دو برابری نسبت به عایق‌های مرسوم دارند. این فناوری از سال ۲۰۰۰ در ژنراتورهای شرکت Toshiba به شکل موفقیت‌آمیز مورد استفاده قرار گرفته است [۴۸].

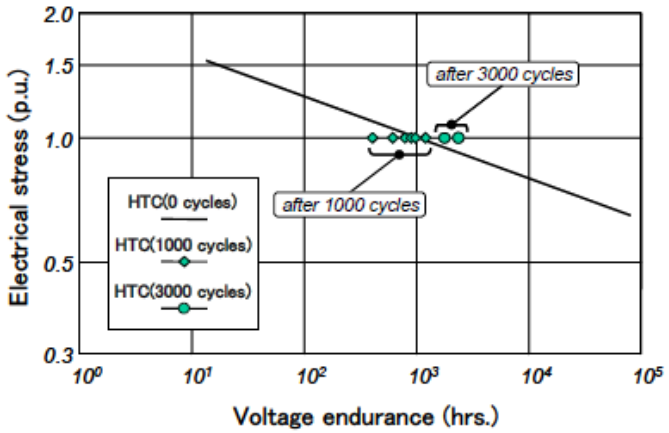


شکل ۸۳–۲ : مسیر انتقال حرارت میله‌ی استاتور **[۴۸]**

- با در نظر گرفتن راه‌اندازی و خاموش‌شدن مداوم ژنراتور مذکور، یک آزمون چرخه حرارتی با ۳۰۰۰ چرخه به علاوه آزمون ۱۰۰۰ چرخه حرارتی اضافه توسط Toshiba انجام شده است [۴۹]. شرایط آزمون ۳۰۰۰ چرخه مشابه آزمون ۱۰۰۰ چرخه است؛ یعنی دما از ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ۱۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. شمای کلی این آزمون در شکل ۸۴–۲ نشان داده شده است.

شکل ۸۴–۲ : آزمون چرخه حرارتی توسط **Toshiba** [۴۸]

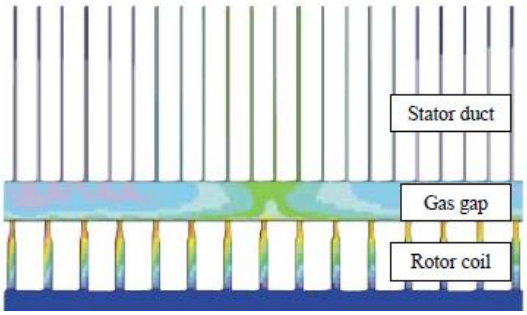
- مشخصه پایداری ولتاژی بعد از آزمون ۳۰۰۰ چرخه در شکل ۸۵–۲ نشان داده شده است. مشخصه پایداری ولتاژی میله‌ی تازه و میله‌های تحت آزمون بعد از ۱۰۰۰ چرخه نیز به شکل اضافه شده‌اند. این میله‌ها با عایق HTC، مشخصه‌ی مشابهی را نشان می‌دهند.



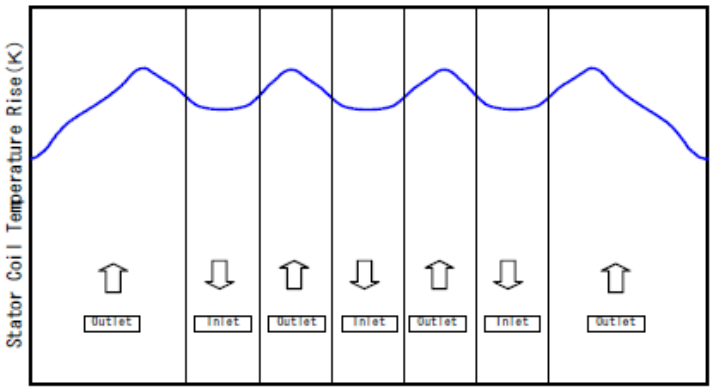
شکل ۸۵–۲ : مشخصه پایداری ولتاژی بعد از ۳۰۰۰ چرخه [۴۸]

- **بهینه‌کردن سیستم خنک‌سازی استاتور و روتور:** به منظور بهبود قابلیت خنک‌سازی، گاز هیدروژن با فشار ۵۲۰ kPa.g مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد و پهنای مقطع داکت‌های استاتور به گونه‌ای بهینه‌سازی می‌شوند که تلفات دمایی در سرتاسر میله‌های استاتور کمینه شود. این اتفاق باعث از بین رفتن تلفات مقاومت بادی ناشی از جریان گاز نیز خواهد شد. در ژنراتورهای توسعه‌یافته توسط Toshiba از جریان شعاعی استفاده شده تا کویل‌های روتور و استاتور به شکل موثرتری خنک شوند و تلفات مقاومت بادی کاهش یابد. در این طراحی، ناحیه‌ی زیرین، گام‌های داکت شعاعی و مسیر تهویه‌ی هسته بهینه‌سازی شده‌اند تا تفاوت دمایی در سرتاسر میله‌های روتور به حداقل برسد. به طور کلی، خنک‌سازی با جریان مورب بسیار موثرتر از سیستم خنک‌سازی با جریان شعاعی است، اما در ژنراتورهای بزرگ به منظور کاهش هر چه بیشتر مقاومت بادی، از سیستم خنک‌سازی شعاعی استفاده می‌شود. خنک‌سازی با جریان شعاعی مزیت دیگری نیز

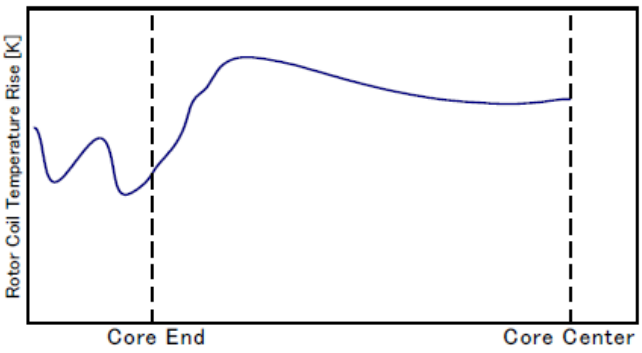
دارد که به دلیل کوچک‌تربودن حفره‌های سیستم تهویه نسبت به خنک‌سازی مورب، تلفات مسی میدان را نیز کاهش می‌دهد. مدار خنک‌سازی این نوع ژنراتورها در شکل ۷۵–۲، تحلیل دمایی گاز هیدروژن در شکل ۸۶–۲، افزایش دمای کویل استاتور در شکل ۸۷–۲، افزایش دمای کویل روتور در شکل ۸۸–۲، جریان خنک‌سازی شعاعی روتور در شکل ۸۹–۲ و جریان خنک‌سازی مورب روتور در شکل ۹۰–۲ نشان داده شده‌اند.



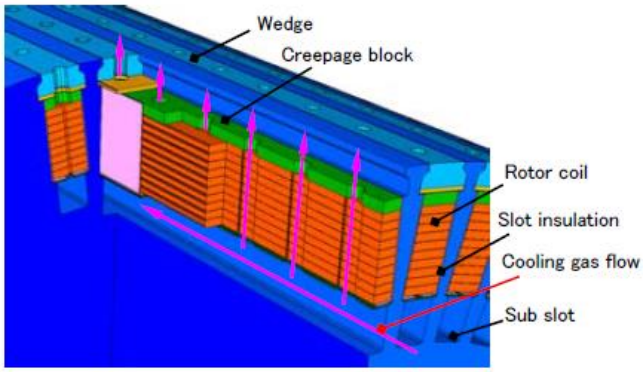
شکل ۸۶–۲ : تحلیل دمایی گاز هیدروژن [۴۸]



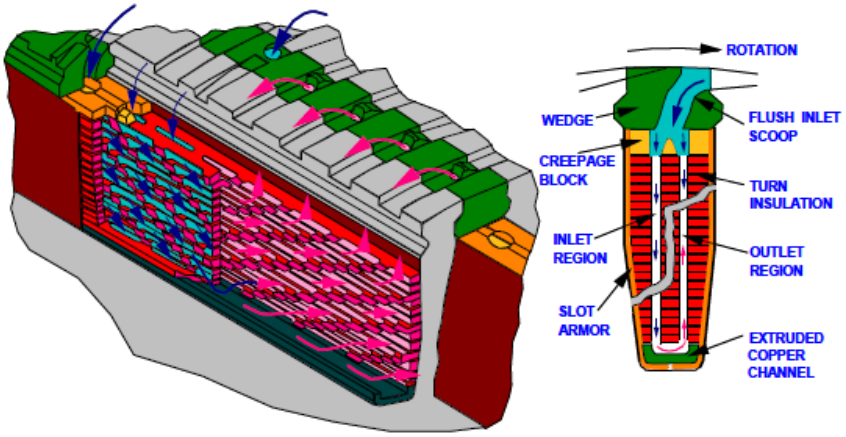
شکل ۸۷–۲ : افزایش دمای محاسبه‌شده کویل استاتور [۴۸]



شکل ۸۸–۲ : افزایش دمای محاسبه‌شده کویل روتور [۴۸]

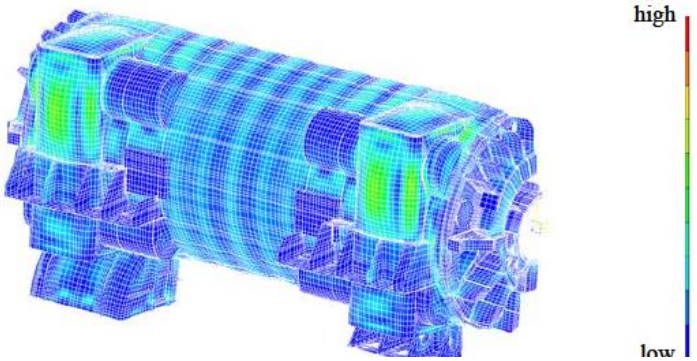


شکل ۸۹-۲ : خنک‌سازی شعاعی روتور [۴۸]



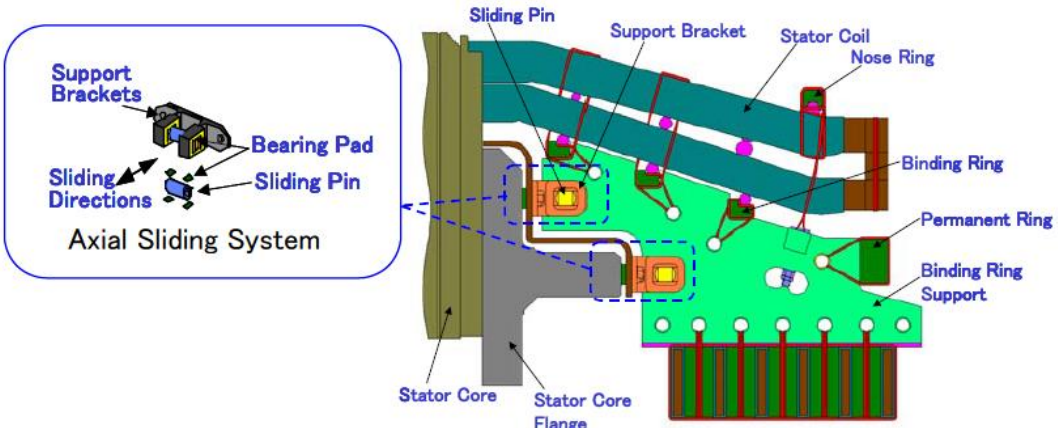
شکل ۹۰-۲ : خنک‌سازی مورب روتور [۴۸]

- **روغن‌کاری فریم استاتور و گاز هیدروژن:** سیستم روغن‌کاری فریم استاتور و گاز هیدروژن، اجزای اصلی برای ذخیره‌سازی گاز هیدروژن تحت فشار در ژنراتور هستند. فشارهای مکانیکی وارد بر فریم استاتور و از فرم در آمدن آن با تحلیل FEM مورد بررسی قرار می‌گیرند. شکل ۹۱-۲ نتیجه‌ی تحلیل FEM فشار وارد بر فریم استاتور را نشان می‌دهد. مطابق با استاندارد IEC 60034-3، فشار اعمالی برابر ۸۰۰ kPa.g است. فشار در تمام بخش‌های فریم استاتور و قلاب‌های یاتاقان‌ها کمتر از نصف مقادیر مجاز بیان‌شده در استاندارد EN 13445-3 هستند.



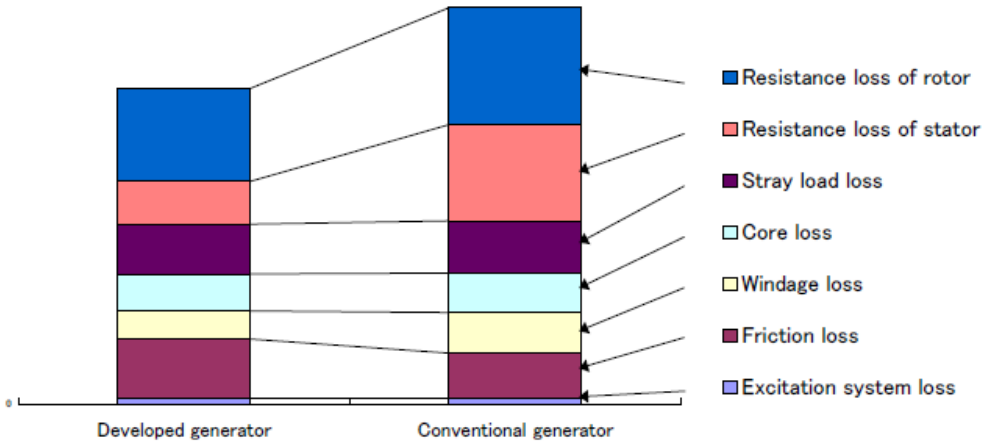
شکل ۹۱-۲ : تحلیل فشار وارد بر فریم استاتور [۴۸]

- **نگه‌دارنده انتهای کویل استاتور:** انبساط حرارتی و نیروی الکترومغناطیسی ژنراتور توسعه‌یافته توسط Toshiba بیش از مقداری است که ژنراتور مرسوم مجهز به سیستم خنک‌سازی با گاز هیدروژن تجربه می‌کنند. مقدار نیروی الکترومغناطیسی وارد، در حدودی است که ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب تجربه می‌کنند. سیستم نگه‌دارنده انتهای سیم‌پیچی مورد استفاده در ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب برای توسعه‌ی ژنراتور Toshiba مورد استفاده قرار گرفته است. این سیستم با توجه به انبساط حرارتی و نیروهای الکترومغناطیسی موجود، مناسب است. سیستم نگه‌دارنده‌ی مورد استفاده در شکل ۹۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۹۲-۲ : سیستم نگه‌دارنده انتهای کویل استاتور [۴۸]

پس از انجام تست‌های مختلف روی ژنراتور توسعه‌یافته و ژنراتورهای مرسوم، انواع تلفات و برخی پارامترهای دو ژنراتور با هم مقایسه شده و در شکل ۹۳-۲ و جدول ۱۲-۲ قابل مشاهده است.



شکل ۹۳-۲ : مقایسه تلفات ژنراتور توسعه‌یافته توسط **Toshiba** و سایر ژنراتورهای مرسوم **[۴۸]**

جدول ۱۲-۲ : مقایسه برخی پارامترهای ژنراتور توسعه‌یافته توسط **Toshiba** و ژنراتور مرسوم **[۴۸]**

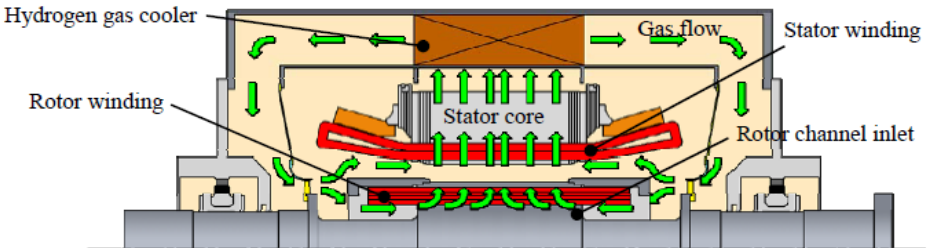
پارامتر	واحد	ژنراتور ۶۷۰ MVA توسعه‌یافته توسط Toshiba	ژنراتور ۶۷۰ MVA مرسوم
طول	p.u.	۱/۰۲	۱/۰۰
عرض	p.u.	۱/۱۳	۱/۰۰
ارتفاع	p.u.	۱/۰۱	۱/۰۰
وزن استاتور	p.u.	۱/۰۸	۱/۰۰
وزن روتور	p.u.	۱/۰۶	۱/۰۰
وزن کل	p.u.	۱/۰۸	۱/۰۰
بازدهی	٪	۹۹/۱	۹۸/۹

شکل ۹۴-۲، یک توربوژنراتور ۸۷۰ مگاولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی غیرمستقیم با گاز هیدروژن را نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۵ توسعه یافته و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

شکل ۹۴-۲ : توربوژنراتور ۸۷۰ مگاولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن توسعه‌یافته در سال ۲۰۱۵ [۳۷]

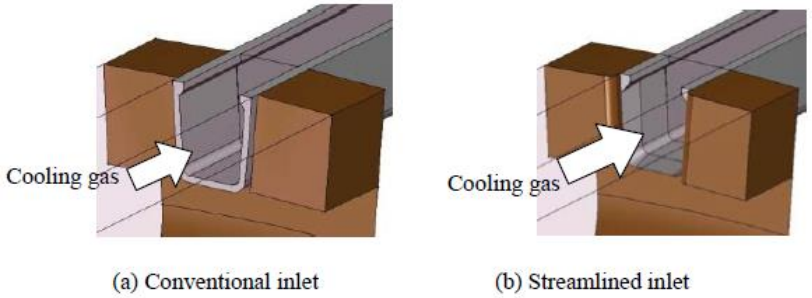
توان خروجی این ژنراتور ۸۷۰ مگاولت‌آمپر، ضریب توان نامی آن ۰/۹ پس‌فاز، سرعت چرخشی آن ۳۶۰۰ دور در دقیقه (دو قطب و با فرکانس نامی ۶۰ هرتز) و بازدهی آن ۹۹ درصد است. این ژنراتور نسبت به ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن با همین مقدار توان خروجی، از نظر ابعاد حدود ۲۰ درصد کوچک‌تر شده است. مجموعه‌ای از این ژنراتورهای جدید با حداکثر توان خروجی ۹۰۰ مگاولت‌آمپر در سال ۲۰۱۵ وارد بازار شد [۳۷].

شکل ۹۵-۲، دیاگرام شماتیک جریان تهویه یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با گاز هیدروژن را نشان می‌دهد. در این روش خنک‌سازی، یک سیستم تهویه ساده به صورت شعاعی در هسته استاتور تعبیه شده است. شکل مسیرهای تهویه با استفاده از محاسبه پویایی سیالات (CFD) و آزمون‌های تونل بادی بهینه شده است.



شکل ۹۵-۲ : جریان تهویه برای یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن [۳۷]

شکل ۹۶-۲، مثالی از بهینه‌سازی را نشان می‌دهد. شکل ورودی کانال تهویه روتور به گونه‌ای است که گاز خنک‌کننده سیم‌پیچی روتور که به صورت محوری در جریان است، با کمترین مقاومت هوایی عبور می‌کند و تلفات ناشی از فشار نسبت به ژنراتورهای مرسوم در حدود ۶۰ درصد کاهش می‌یابد.

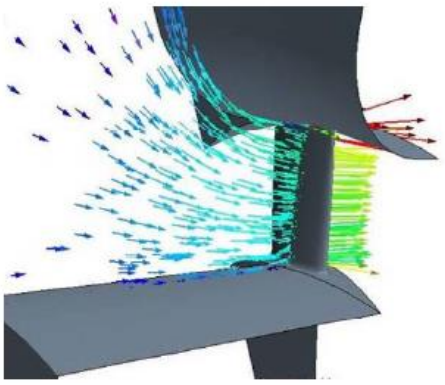


شکل ۹۶-۲ : بهینه‌سازی شکل ورودی کانال روتور [۳۷]

والان تهویه با تحلیل شبکه حرارتی و تهویه تنظیم شده است تا توزیع دمایی یکنواختی در داخل ژنراتور ایجاد شود. دمای سیم‌پیچی استاتور، هسته استاتور و سیم‌پیچی روتور بر اساس آزمون‌های تأیید کارخانه اندازه‌گیری می‌شوند و پس از اندازه‌گیری‌ها، مشاهده شده است که مقادیر به دست آمده به استانداردهای بین‌المللی سازگاری مناسبی دارند.

علی‌رغم این‌که با بهبود عملکرد سیستم خنک‌سازی چگالی توان خروجی ژنراتور ۸۷۰ مگاولت‌آمپری افزایش یافته است، اما باید به گرم‌شدن بیش از حد انتهای هسته استاتور که ناشی از شار مغناطیسی نشتی است، جلوگیری شود. بنابراین، محاسبه تلفات و دما اطراف ناحیه انتهایی هسته استاتور با تحلیل حرارتی و الکترومغناطیسی سه‌بعدی پیشنهاد می‌شود.

از دیگر نکات مهم در سیستم خنک‌سازی این نوع ژنراتورها، تلفات مقاومت بادی است. مقاومت بادی یک توربوژنراتور به تلفات توان درایو فن، تلفات فشار و تلفات اصطکاکی مسیر تهویه قابل دسته‌بندی است. شکل پره‌های فن و ساختار ناحیه ورودی هوا به فن با استفاده از تحلیل محاسبه دینامیک سیالات (CFD) و مطابق شکل ۹۷-۲ بهینه‌سازی می‌شوند و در نتیجه‌ی این اقدام، بازدهی ژنراتور ۸۷۰ مگاولت‌آمپری در مقایسه با ژنراتورهایی که از فن‌های مرسوم استفاده می‌کنند، تقریباً ۰.۱ درصد افزایش پیدا می‌کند [۳۷].



شکل ۹۷-۲ : تحلیل **CFD** روی فن تهویه **[۳۷]**

- سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن

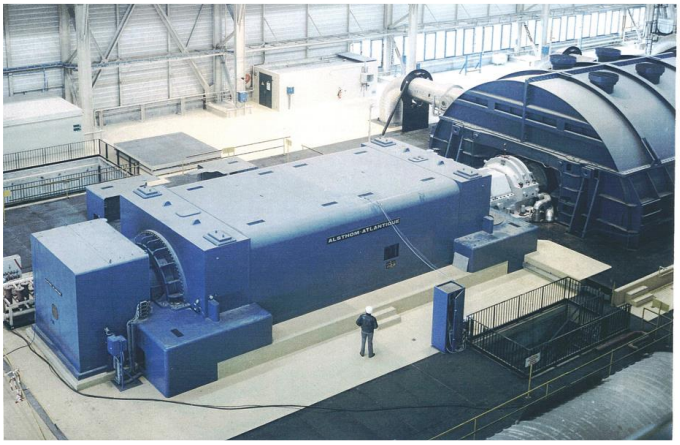
سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰، تمایل افزاینده‌ای به استفاده از توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن تا ظرفیت ۱۲۰۰ مگاولت‌آمپر (برای ژنراتورهای دو قطب) و ۱۶۰۰ مگاولت‌آمپر (برای ژنراتورهای چهار قطب) ایجاد شد. یکی از اصلی‌ترین دلایل این تمایل افزاینده، توسعه‌ی فناوری تولید برق هسته‌ای بود. در اواسط دهه ۱۹۸۰، یک مجموعه جدید و کامل از ژنراتورهای دو قطب توسط یک شرکت سوییسی ساخته و به بازار معرفی شد[۵۰]. به طور موازی در فرانسه، تعدادی از نیروگاه‌های هسته‌ای به ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن چهار قطب مجهز شدند [۵۱]. در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ نیز دو سازنده دیگر به برنامه جهانی ساخت توربوژنراتورها پیوستند.

به منظور داشتن بهترین اثر خنک‌کنندگی از آب استفاده می‌شود. آب نسبت به هوا ۵۰ برابر و نسبت به هیدروژن ۱۰ برابر موثرتر است، اما پیاده‌سازی سیستمی مبتنی بر آب برای خنک‌سازی ژنراتور، از هیدروژن نیز پیچیده‌تر است. به همین علت، تنها در بزرگ‌ترین ژنراتورها از آب استفاده می‌شود. معمولاً آب برای خنک‌کردن استاتور و هیدروژن برای خنک‌کردن روتور مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵۰].

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن توسط توربین‌های بخاری قابل راه‌اندازی هستند. دو نمونه از پیاده‌سازی‌های عملی این نوع ژنراتورها همراه با توربین‌های بخاری در شکل ۹۸-۲ و شکل ۹۹-۲ نشان داده شده است. جدول ۱۳-۲ نیز برخی واحدهای ساخته‌شده با استفاده از ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن را نشان می‌دهد که ساخت آن‌ها از اواسط دهه ۱۹۸۰ آغاز شده بود. تا سال ۲۰۰۸، جمعاً ۱۸ واحد ۵۰ و ۶۰ هرتزی

با استفاده از این نوع ژنراتورها در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. مجموع EOH[1] این واحدها بیش از ۱ میلیون ساعت بوده است [۵۲].

شکل ۹۸-۲ : ژنراتور دو قطب ۹۵۰ مگاوات‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در نیروگاه مانجونگ **[۵۲]**



شکل ۹۹-۲ : ژنراتور چهار قطب ۱۷۲۲ مگاولت‌آمپری یکی از نیروگاه‌های برق هسته‌ای فرانسه از سری **N4 [۵۲]**

جدول ۱۳-۲ : ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در جهان تا سال ۲۰۰۸ **[۵۲]**

نوع نیروگاه	توان (MW)	تعداد واحدها	۵۰ هرتز	۶۰ هرتز	پیاده‌سازی عملی
هسته‌ای	۱۲۰۰	۱	*		Liebstadt
زغال‌سنگ	۹۰۰	۲	*		Lippendorf
زغال	۸۰۰	۱		*	Zimmer

[1] Equivalent Operating Hours

سنگ					
زغال‌سنگ	۷۰۰	۵	*		Manjung, Amer 9, Hemweg 8
زغال‌سنگ	۶۰۰	۹ ۶	* *	*	Shidongkou, Staudinger, Rutenberg, China

همچنین نیروگاه‌های حاوی ژنراتورهای چهار قطب مجهز خنک‌سازی با آب و هیدروژن که از ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۸ در جهان مورد استفاده بوده‌اند، در جدول ۱۴–۲ لیست شده است.

جدول ۱۴–۲ : ژنراتورهای چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در جهان تا سال ۲۰۰۸ **[۵۲]**

نوع نیروگاه	توان (MW)	تعداد واحدها	۵۰ هرتز	۶۰ هرتز	پیاده‌سازی عملی
هسته‌ای	۱۵۰۰	۵	*		N4, Oskarshamn 3
هسته‌ای	۱۳۰۰	۱۸	*		ادامه‌ی P4
هسته‌ای	۱۲۰۰	۲	* *		Lin Ao II Hong Yan He
هسته‌ای	۱۰۰۰	۶	*	*	Ulchin, Koeberg, Chinon

ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن، بالاترین عدد بهره‌برداری[1] را دارند. عدد بهره‌برداری مطابق (۹–۲) تعریف می‌شود.

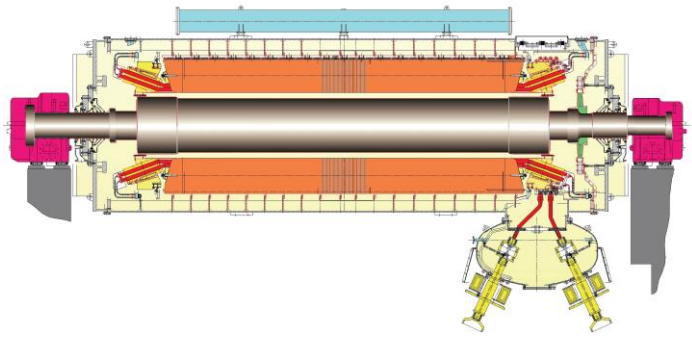
$$C_{Esson} = S_n / (D_r^2 . l_{fe} . n) \quad (۹-۲)$$

که در آن S_n توان ظاهری، D_r قطر روتور، l_{fe} طول هسته و n سرعت چرخشی هستند.

در هر دو نوع دو قطب و چهار قطب این نوع ژنراتورها، عدد بهره‌برداری نزدیک به $۴۰\ kVAmin/m^3$ است. واضح است که چنین عدد بهره‌برداری بالایی همراه با چگالی تلفات بالایی در اجزای مختلف ژنراتور خواهد بود. در این نوع ژنراتورها، از هیدروژن به عنوان سیال اصلی برای جذب حرارت از سیم‌پیچی روتور و هسته استاتور استفاده می‌شود، اما حذف تلفات ناشی از انحراف میدان در نواحی انتهایی سیم‌پیچی نیز ضروری است. آبِ خنک‌کننده‌ی میله‌های سیم‌پیچی استاتور پیش‌نیاز رسیدن به عدد بهره‌برداری بالاست.

شمای کلی از ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در شکل ۱۰۰–۲ نشان داده شده است.

[1] Utilization Number



شکل ۱۰۰-۲ : ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۲]

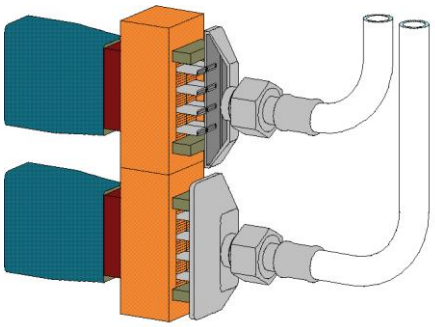
از ویژگی‌های این نوع ژنراتورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۵۲]:

- محفظه مدولار و خنک‌سازهای عمودی با فلنج مرکزی
- محدود پوشش‌داده‌شده با سه قطر روتور استانداردشده و طول پله‌ای هسته
- یاتاقان‌های ستونی برای ایزوله‌کردن شفت از ارتعاشات فریم
- خنک‌سازی دومسیره سیم‌پیچی روتور که توسط یک فن شعاعی با بازدهی بالا روی NDE، که امکان جداسازی روتور، بدون جداسازی فن را فراهم می‌کند
- سیستم تحریک استاتیک با فناوری ساده و واکنش سریع

اصلی‌تری فناوری‌های مورد استفاده در این نوع ژنراتورها نیز به قرار زیر هستند:

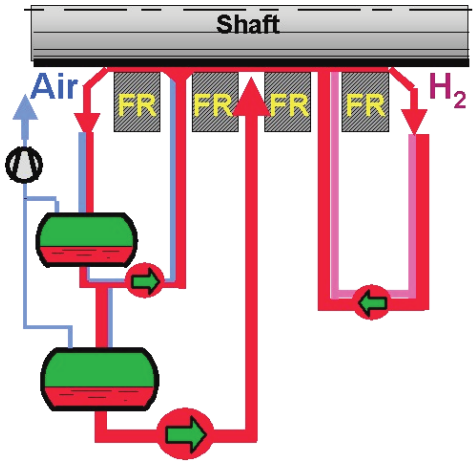
- انتهای سیم‌پیچی استاتور: محکم بین حلقه‌های نگه‌دارنده گیر داده شده و از نظر محوری قابل جابجایی است
- لوله‌های آب در میله‌های استاتور از جنس فولاد ضدزنگ
- هسته مخروطی‌شکل ورقه‌ورقه
- سیستم روغن‌کاری شفت تک و سه مداره

لوله‌کشی آب در میله‌های استاتور با استفاده از فولاد ضدزنگ انجام شده که بیش از ۴۰ سال است مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۰]. شمایی از این فناوری در شکل ۱۰۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۰۱-۲ : لوله‌کشی آب با فولاد ضدزنگ و جدایی عملیاتی اتصال میله و مخزن آب [۵۲]

سیستم روغن‌کاری شفت سه‌مداره یک سیستم منحصر به فرد است که بیش از ۴۵ سال در ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن مورد استفاده قرار می‌گیرد. نحوه کارکرد این سیستم به این صورت است که یک مخزن روغن اشباع از هوا و یک مخزن روغن اشباع از گاز هیدروژن با تزریق روغن خلاء از هم جدا شده‌اند. برای درک بهتر این ساختار، شکل ۱۰۲-۲ ارائه شده است.



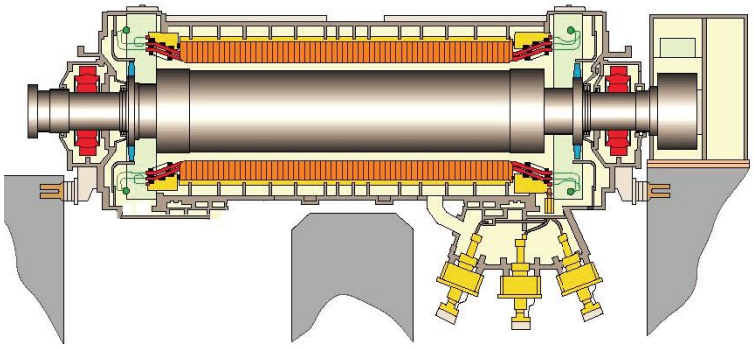
شکل ۱۰۲-۲ : سیستم روغن‌کاری شفت سه‌مداره (**FR**: حلقه‌های شناور و جریان‌های روغن جداساز) **[۵۲]**

مشخصات کلی یک نوع ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در دول ۱۵-۲ نشان داده شده است.

دول ۱۵-۲ : مشخصات یک نوع ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن **[۵۴]**

مدل	۲ GIGATOP قطب
دسته	۹۳۴ مگاوات
ظرفیت نامی	۱۱۶۷ مگاولت‌آمپر
ضریب توان	۰/۸
ولتاژ نامی	۲۷ کیلوولت
سرعت	۳۰۰۰ دور در دقیقه
نسبت اتصال کوتاه	۰/۵۱
فشار گاز هیدروژن	۵ بار
بازدهی	۹۸/۸۸ درصد
سیستم تحریک	استاتیک

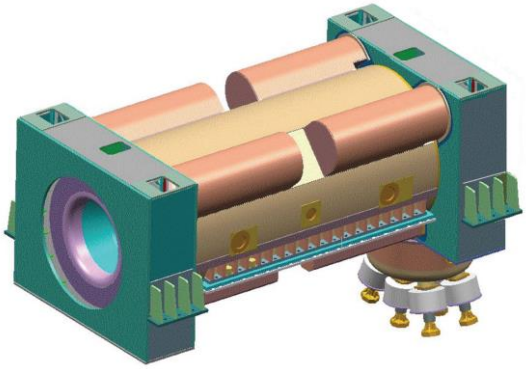
در شکل ۱۰۳-۲، نیز شمای کلی یک ژنراتور چهار قطب نشان داده شده است.



شکل ۱۰۳-۲ : ژنراتور چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۲]

برخی از ویژگی‌های اصلی این نوع ژنراتورها به قرار زیر هستند:

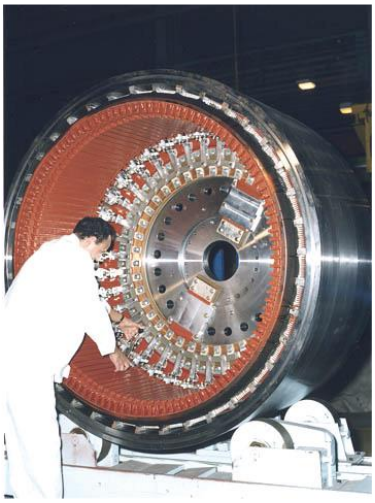
- محفظه مدولار، کانال‌های فلنجی برای داکت گاز هیدروژن و خنک‌سازهای عمودی در بخش‌های انتهایی (به شکل ۱۰۴-۲ مراجعه شود)
- جعبه ترمینال روی NDE در صورت نیاز
- محدود پوشیده‌شد با دو قطر روتور استانداردشده و طول پله‌ای هسته
- یاتاقان‌های انتهای محافظ
- روغن‌کاری شفت تک‌مداره و سه‌مداره
- خنک‌سازی شعاعی و عرضی روتور و فن‌های محوری در هر دو انتها



شکل ۱۰۴-۲ : ساختار محفظه یک ژنراتور چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۲]

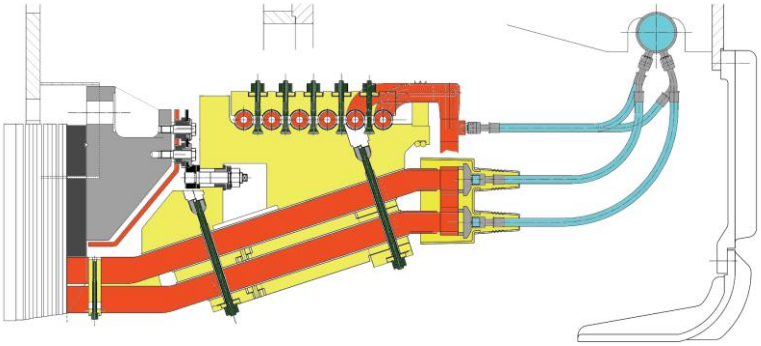
برخی فناوری‌های به کار رفته در این نوع ژنراتورها نیز به قرار زیر هستند:

- یک سیستم تحریک بدون جاروبک دارای کنسول (شکل ۱۰۵-۲): آرمیچر و دیودها در این نوع منحصر به فرد سیستم‌های تحریک در یک حلقه فولادی به شکل زنگوله که به انتهای روتور فلنج شده است، قرار می‌گیرند. میدان DC به شکل کواکسیال در منفذ آرمیچر تزریق می‌شود. طراحی کوتاه این سیستم تحریک باعث حذف یاتاقان سوم می‌شود که به طور معمول در این نوع ژنراتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این طراحی کوتاه باعث کلی طول ژنراتور و رفتار دینامیکی عالی شفت می‌شود.



شکل ۱۰۵-۲ : سیستم تحریک بدون جاروبک دارای کنسول [۵۲]

- یک سیستم نگه‌دارنده تقویت‌شده در انتهای سیم‌پیچی استاتور (شکل ۱۰۶-۲) که در ژنراتورهای زیادی باعث ایجاد پایداری و استحکام مکانیکی و دینامیکی شده است. یک حلقه بیرونی تو پر از جنس فایبرگلس و انتهای سیم‌پیچی که به حلقه‌ی بیرونی پیچ و مهره شده است، از مشخصه‌های اصلی این سیستم نگه‌دارنده هستند. سیستم نگه‌دارنده استحکام شعاعی و محیطی قابل قبولی به ژنراتور می‌دهد.



شکل ۱۰۶-۲ : نگه‌دارنده انتهای سیم‌پیچی استاتور [۵۲]

مشخصات کلی یک نوع ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن در جدول ۱۶-۲ نشان داده شده است.

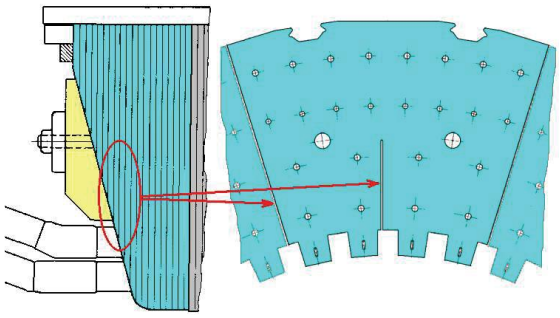
جدول ۱۶-۲ : مشخصات یک نوع ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن [۵۴]

مدل	GIGATOP ۴ قطب
دسته	۱۵۵۰ مگاوات
ظرفیت نامی	۱۷۲۲ مگاولت‌آمپر
ضریب توان	۰/۹
ولتاژ نامی	۲۰ کیلوولت
سرعت	۱۵۰۰ دور در دقیقه
نسبت اتصال	۰/۳۸

کوتاه	
فشار گاز هیدروژن	۳/۸ بار
بازدهی	۹۸/۹۳ درصد
سیستم تحریک	بدون جاروبک دارای کنسول
ترمینال	جعبه ترمینال دوبل

به طور کلی، ارتقای سیستم محصولات به صورت پیوسته شامل بهبود اجزای آن و آموختن نکاتی از تجربه‌های پیشین و فناوری‌هاست. در ادامه به برخی اقدامات انجام‌شده توسط شرکت Alstom به منظور ارتقای عملکرد توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن اشاره می‌شود:

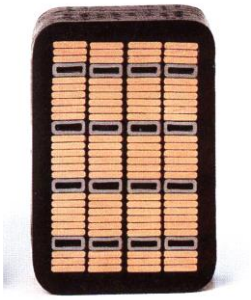
- **صفحه‌ی پرس‌شده مخروطی‌شکل ورقه‌ورقه:** یک مسئله اصلی در ژنراتورهای دو قطب بزرگ و مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن، گرم‌شدن انتهای هسته در شرایط بهره‌برداری زیرتحریک[1] است. به همین منظور، این نوع ژنراتورها صفحه‌های پرس‌شده و ورقه‌ورقه در انتهای هسته دارند. این صفحه‌ها متشکل از ورقه‌های پشته‌مانندی هستند که با رزین VPI ورقه‌ورقه شده‌اند. به دلیل این‌که یک سمت این ورقه‌ها مخروطی‌شکل است، چنین صفحه‌ی پرس‌شده‌ای بخشی از شار مغناطیسی منحرف‌شده‌ی انتهای سیم‌پیچی را با کمترین تلفات دریافت می‌کند. مواجه‌ی مستمر با به روز رسانی ژنراتورهای دو قطب، تحقیقاتی خاصی در حوزه بهبود عملکرد صفحه‌ی پرس‌شده صورت گرفته است. همچنین با بهره‌گیری از محاسبات عددی الکترومغناطیسی و حرارتی، بهبودهایی در این زمینه حاصل شده است. اصلی‌ترین بهبودها حاصل از بزرگ‌کردن فاصله‌ی عرضی ورقه‌های مجاور و ایجاد شکاف‌های شعاعی از پایین شیار به سمت یوغ هستند. این موضوع در شکل ۱۰۷-۲ نشان داده شده است. هر دوی این اقدامات، به شکل پایداری جریان‌های گردابی حاصل از مولفه‌های محوری شار را کاهش می‌دهند [۵۲].



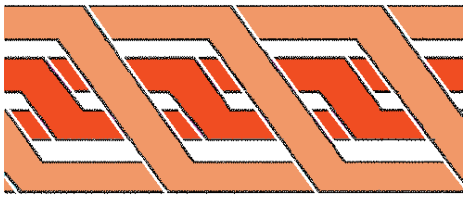
شکل ۱۰۷-۲ : صفحه‌ی پرس‌شده ورقه‌ورقه با افزایش فاصله‌ها و ایجاد شکاف‌های شعاعی **[۵۲]**

[1] Underexcited

- **میله‌های روبل چهارپشته‌ی جابجاشده‌ی ضربدری:** استفاده از میله‌های روبل در میله‌های سیم‌پیچی ژنراتورهای بزرگ مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن یک راه‌حل قابل توجه است. برای درک بهتر از مفهوم بیان‌شده، شکل ۱۰۸-۲ ارائه شده است. با این حال، این میله‌ها به اتصال منحصر به فرد کویل در انتهای سیم‌پیچی و یک تغییر ضربدری اضافه به اضافه هر سیم‌پیچی دارند. برای درک بهتر این موضوع نیز، شکل ۱۰۹-۲ ارائه شده است.



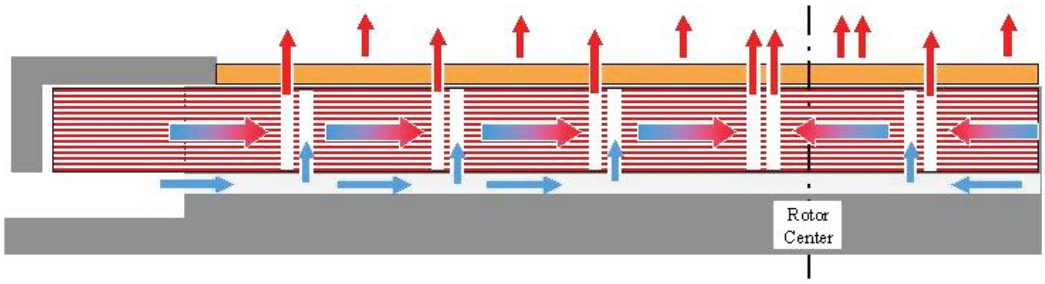
شکل ۱۰۸-۲ : میله‌ی روبل دوبل [۵۲]



شکل ۱۰۹-۲ : اصل میله‌ی روبل جابجاشده ضربدری [۵۲]

- **خنک‌سازی روتور ژنراتورهای چهار قطب:** همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، سیم‌پیچی روتور ژنراتورهای چهار قطب به یک سیستم خنک‌سازی شعاعی عرضی مجهز است [۵۱]. علی‌رغم این‌که راه‌حل‌های پیشنهادی موجود عملکرد مثبتی را نشان داده‌اند، نسبتاً پیچیده به شمار می‌روند. مواجهه با چنین شرایطی باعث شد مفهوم خنک‌سازی با هوا در ژنراتورهای کوچک بررسی شود و به پتانسیل استفاده از آن مفهوم در ژنراتورهای بزرگ نیز وجود دارد. سیستم خنک‌سازی با جریان هوای رو به جلو و چندمسیره، توزیع یکنواخت دما در جهت محوری و شعاعی را با استفاده از گاز خنک‌کننده و با بازدهی بالا را ایجاد می‌کند. از آن‌جایی هادی‌ها دو داکت گاز موازی دارند، جریان گاز نشان‌داده‌شده در شکل ۱۱۰-۲ برای خنک‌سازی نیمی از پشته‌ی مس مورد استفاده قرار می‌گیرد. خنک‌سازی نیمه‌ی دیگر با یک جابجایی انجام می‌شود و بنابراین توزیع دمایی به شکل یکنواخت در ژنراتور ایجاد می‌شود.

همچنین از روش‌های تجربی کاهش تنش‌های الکتریکی توربوژنراتورها می‌توان به محدودکردن ولتاژ ترمینال هنگام باز کردن کلید کنترل در زمان بسیار کوتاه، قراردادن VT/SA در قسمت ترمینال‌های ژنراتور، افزایش سرعت سیستم تحریک ژنراتور، جلوگیری از سلفی کار کردن ژنراتور و تلاش برای کارکرد خازنی آن اشاره کرد.



شکل ۱۱۰-۲ : اصل خنک‌سازی با جریان هوای رو به جلو و چندمسیره در سیم‌پیچی روتور [۵۲]

به طور خلاصه شرکت Alstom با توجه به نیاز بازار و برای ارتقای عملکرد ژنراتورهای تولیدی خود، روش‌هایی را مطابق زیر پیاده‌سازی کرده است:

- افزایش فشار گاز هیدروژن
- مقدار متعادلی افزایش طول
- مقدار متعادلی افزایش قطر روتور
- کاهش دما در بخش‌های انتهایی
- خنک‌سازی پربازده روتور
- افزایش ولتاژ نامی
- ارتقای عملکرد سیستم تحریک

- استحکام عایقی

سیستم عایقی در ماشین‌های الکتریکی، تعیین‌کننده‌ترین بخش برای طول عمر ماشین‌های الکتریکی می‌باشد. یکی از عوامل مهم دخیل در تخریب تدریجی عایق اصلی سیم‌پیچی استاتور ژنراتورهای نیروگاهی، پدیده تخلیه‌های جزئی[1] می‌باشد تخلیه‌های جزئی در عایق سیم‌پیچی استاتور، بطور کلی به چهار دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: تخلیه شیار (بین سطح خارجی شینه و شیار هسته استاتور)، بین لایه‌های عایقی (درون لایه عایق اصلی)، بین کنداکتور و عایق اصلی سیم‌پیچی و روی بازوهای سیم‌پیچی استاتور (نواحی خارج از هسته استاتور). عمدتاً به دلیل اعمال خم ترنسپوزیشن به استرندهای تشکیل‌دهنده سیم‌پیچ در ژنراتورهای با سطح ولتاژ بالا، سطح خارجی استرندهای تشکیل‌دهنده شینه‌ها، دارای برآمدگی و فرورفتگی‌های زیادی می‌باشد که جهت داشتن سطح صاف، جهت اعمال لایه‌های عایقی، لازم است تا بوسیله مواد پرکننده، غیریکنواختی سطح شینه‌ها برطرف گردد. برای این منظور، از مواد ترکیبی رزین و میکا استفاده می‌شود. این مواد، تحت حرارت و فشار، حالت سیال پیدا کرده و طی پروسه پرس گرم، تمامی خلل و فرج موجود در سطح شینه را می‌پوشانند. اما به دلیل عواملی همچون کیفیت نامناسب مواد پرکننده، وجود نواحی گوشه‌ای و... علی‌رغم رعایت نکات مربوط به ساخت، حفره‌های هوایی در این نواحی باقی می‌مانند که پس از اعمال لایه‌های عایقی و پخت عایق، این حفره‌هایی در زیر لایه

[1] Partial Discharge

عایق اصلی سیم‌پیچی استاتور محبوس شده و در طول عملکرد ژنراتور، باعث بروز پدیده تخلیه جزئی می‌شود. همچنین این حفره‌های هوایی نتایج تست تانژانت دلتای شینه‌ها را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند.

به‌لحاظ عایقی، ژنراتوری را می‌توان سالم نامید که نتایج آزمون‌هایی مانند مقاومت عایقی (میگر)، ولتاژ شکست عایقی (های‌پات)، تانژانت‌دلتا و... آن مناسب باشد. در صورت انجام این آزمون‌ها بر روی عایق ژنراتور و تطبیق نتایج آزمون با استانداردهای بین‌المللی، می‌توان ژنراتور را به‌لحاظ عایقی سالم در نظر گرفت.

عایق‌های الکتریکی برخلاف هادی‌ها و هسته در ماشین‌های الکتریکی، اجزاء غیرفعال محسوب می‌شوند. بدین‌معنا که هیچ نقشی در تولید میدان مغناطیسی و یا هدایت آن و همچنین تولید گشتاور و هدایت جریان ندارند، در عین حال نیاز به جداسازی الکتریکی، انتقال حرارتی و حفاظت مکانیکی را در میان اجزاء فعال در ساختمان ماشین‌های الکتریکی دوار فراهم می‌سازند. عایق‌های الکتریکی در میان هادی‌های مختلف حامل جریان در ولتاژهای مختلف و نیز بین شیارهایی که هادی‌ها را در خود جای می‌دهند جداسازی الکتریکی را ممکن می‌سازند. آن‌ها با هدایت حرارت به پوسته، نقش حرارتی و با محکم نگه‌داشتن هادی‌ها در داخل شیارها نقش مکانیکی خود را ایفا می‌کنند [۵۵].

با توجه به نکات یادشده، میزان اهمیت سیستم عایقی در ماشین‌های الکتریکی بخصوص ژنراتورهای بزرگ نیروگاهی ولتاژ بالا مشخص است. بنابراین در ذیل به مرور روش‌هایی برای غلبه بر پدیده تخلیه جزئی که عامل اصلی تخریب تدریجی عایق اصلی ماشین‌های دوار ولتاژ بالا است پرداخته خواهد شد.

- افزایش کلاس عایقی

به‌طور کلی در ماشین‌های الکتریکی ۳۷٪ موارد نقایص ایجاد شده در اثر شکست عایق استاتور و در نتیجه اتصال کوتاه در سیم‌پیچی می‌باشد و ۱۰٪ موارد نقص به علت نقص در سیم‌پیچی ماشین می‌باشد که در این حالت ارتعاشات شدید، سرو صدای زیاد، عدم امکان بارگیری کامل مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که اکثر مشکلات ایجاد شده در اثر نقص در سیم‌پیچی ماشین‌های الکتریکی می‌باشد.

مطالعات و تحقیقات نشان داده است که علت ریشه ای نقص در سیم‌پیچی ها معمولا به‌دلیل از دست رفتن کیفیت مواد عایقی در اثر تنش‌های حرارتی، الکتریکی، مکانیکی و محیطی می باشد. پیری مواد عایقی باعث کاهش قدرت تحمل الکتریکی و مکانیکی مواد عایقی می‌گردد. در بعضی موارد شوک الکتریکی و یا شوک مکانیکی ناشی از نیروهای شدید مکانیکی در اثر راه‌اندازی باعث خورده شدن و یا شکستن عایق می‌گردد که در نتیجه باعث وقوع اتصال‌کوتاه در سیم‌پیچی ماشین الکتریکی می‌گردد. ازآنجایی‌که پیری عایقی یکی از عوامل مهم در تعیین طول عمر ماشین الکتریکی می‌باشد لذا سعی طراحان بر این است که سیستم‌های عایقی را به گونه‌ای در نظر بگیرند که زمان پیرشدگی عایقی با توجه به شرایط کارکرد و طول عمر موتور اتفاق نیافتد. بنابراین طراحان بایستی شرایط کارکرد نامناسب در طی بهره برداری از ماشین‌های الکتریکی را در طی طراحی در نظر داشته باشند. این فعالیت‌ها معمولا نیاز به دیدگاهی وسیع در مورد ارزیابی مواد عایقی در زمان پیری عایق دارند [۵۵].

کلاس حرارتی و یا کلاس عایقی یک ماشین الکتریکی در ارتباط با سیستم عایقی آن می‌باشد. کلاس حرارتی عبارت است از حداکثر دمایی که مواد عایقی می‌توانند آن را به صورت پیوسته، بدون از دست دادن خصوصیات و یا کاهش عمر ماشین الکتریکی تحمل نمایند.

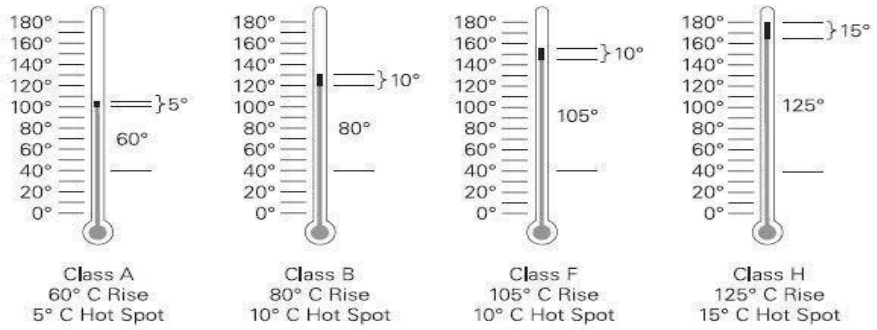
Thermal Class یا Insulation Class فاکتوری برای بیان این مشخصه روی پلاک ماشین‌های الکتریکی می‌باشد. در استاندارد IEC62114 به بیان مشخصات انواع کلاس‌های عایقی استاندارد پرداخته شده است.

سیستم‌های عایق‌کاری الکتریکی با در نظر گرفتن پایداری حرارتی مواد به کار برده شده در ساختار آن کلاس‌بندی می شود. در کلاس‌بندی قید شده در ذیل فرض بر این است که طول عمر همه این سیستم‌ها در دمای قید شده یکسان می باشند. کلاس حرارتی و یا کلاس عایقی یک ماشین الکتریکی در ارتباط با میزان افزایش دما (Temperature Rise)

می‌باشد. میزان افزایش دما نسبت به دمای محیط در نظر گرفته می‌شود. در استاندارد دمای محیط برابر ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود. همیشه میزان افزایش دما به‌اضافه دمای محیط بایستی کوچکتر مساوی کلاس حرارتی باشد. در غیر اینصورت عمر سیستم عایقی کاهش می‌یابد [۵۶].

افزایش دما + دمای محیط ≤ کلاس حرارتی

در شکل ۱۱۱-۲ برخی کلاس‌بندی‌های عایقی با در نظر گرفتن دمای محیط استاندارد (۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) نشان داده شده‌اند.



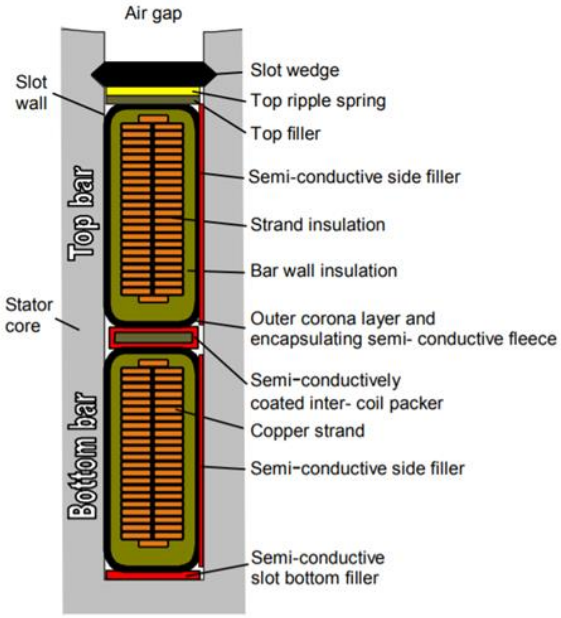
شکل ۱۱۱-۲ : کلاس‌بندی عایقی با در نظر گرفتن دمای محیط استاندارد (۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) **[۵۷]**

در ادامه به بررسی مواد تشکیل‌دهنده‌ی هر یک از این کلاس‌های عایقی پرداخته می‌شود [۵۷]:

- **کلاس ۹۰ (Y):** دارای مواد یا ترکیبات موادی همچون کتان، ابریشم و کاغذ بدون زرین است.
- **کلاس ۱۰۵ (A):** دارای مواد یا ترکیباتی همچون کتان، ابریشم، کاغذ که با رزین آغشته شده و لاک‌های پلی وینیل استال است.
- **کلاس ۱۳۰ (B):** دارای مواد یا ترکیباتی همچون میکا و لاک‌های پلی‌استر می است.
- **کلاس ۱۵۵ (F):** این سیستم عایقی از ترکیب موادی همچون میکا، فایبرگلاس و آزبست تشکیل یافته، همچنین لاک‌های پلی‌استر و پلی‌یورتان در این طبقه‌بندی قرار دارند.
- **کلاس ۱۸۰ (H):** این سیستم عایقی دارای ترکیبات موادی همچون الاستومرهای سیلیکونی، میکا، همراه با مواد نگه‌دارنده و مستحکم‌کننده‌هایی همچون لاک‌های پلی‌استرایمید اصلاح‌شده، پلی‌یورتان لحیم-پذیر است.
- **کلاس ۲۲۰ (C):** این سیستم عایقی از ترکیب موادی همچون میکا و پلی استرآمید با پوشش پلی-آمیدایمید تشکیل یافته است.

استفاده از مواد عایقی با ترکیبات مستحکم‌تر، یکی از مواردی است که در تحقیقات جدید و با پیشرفت تکنولوژی ساخت ماشین‌های الکتریکی مورد توجه است. استفاده از مواد عایقی مستحکم‌تر، عایق مطلوب‌تری را با بکار بردن حجم کمتری از مواد در اختیار سازنده قرار می‌دهد. بنابراین با وجود حجم ثابتی از فریم ماشین و اندازه هسته، سازنده امکان انتخاب بارگذاری الکتریکی بیشتری خواهد داشت که در نهایت، سبب افزایش راندمان خواهد شد [۵۸].

در شکل ۱۱۲–۲، یک نمونه از جانمایی مس و عایق رشته‌ی استرند شده، عایق بنده و عایق اصلی در یک شیار نشان داده شده است.



شکل ۱۱۲–۲ : جانمایی مس و عایق هر رشته‌ی استرند شده، عایق بدنه و عایق اصلی در یک شیار **[۵۸]**

- رفتار پایدار عایق در برابر تنش‌های حرارتی

تحقیقات جدید درصدد یافتن موادی هستند که به‌لحاظ عایقی رفتار پایداری در برابر انبساط حرارتی داشته باشند. برای مثال در خرابی عایق استاتور در یک ژنراتور ۱۵۰ مگاولت‌آمپر با خنک‌کننده هوا که در انگلیس مورد مطالعه قرار گرفته است و عایق اصلی نوار میکای پیوندیافته با نوع خاصی از اپوکسی می‌باشد، نتیجه به این صورت حاصل شده که این عایق خاص پس از تنش‌های حرارتی زیاد، کمی متورم شده و در استفاده طولانی‌مدت زمینه برای تخریب تدریجی عایق اصلی، ارتعاشات سیم‌پیچ در شیار و پدیده تخلیه جزئی فراهم می‌شود. بنابراین یافتن ترکیبات عایقی که رفتار پایداری در برابر انبساط حرارتی داشته باشند، یکی از موضوعاتی است که در تکنولوژی ساخت ژنراتور و موتورهای فشارقوی مورد توجه است [۵۵].

- سیستم عایق‌کاری پر رزین[1]

در این سیستم عایقی، نوار میکای پر رزین معمولاً به‌صورت نیمه هم‌پوشانی با کشش حدود ۵۰ نیوتن، به دور هادی پیچیده می‌شود. با انتخاب تعداد دور دقیق نوارپیچی، ضخامت مورد نظر عایق مشخص می‌شود. سپس شینه یا مس استرند شده نوارپیچیده شده در میان پرسی با دمای حدود ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرد. در این روش دو دما مورد استفاده قرار می‌گیرد. دمای اول جهت غرق شدن سیم‌پیچ در رزین و دمای دوم که در حدود ۱۵۰ الی ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و می‌تواند تا یک ساعت به طول بیانجامد جهت سخت شدن عایق می‌باشد. در تمامی زمان‌ها فشار پرس نیز بایستی کاملاً یکنواخت باشد تا رزین در تمامی نقاط به‌صورت صحیح و متقارن توزیع شود و ضخامت دقیق عایقی مورد نیاز به‌وجود آید. چنانچه روند گرمایشی و فشار به نحو صحیح صورت نگیرد، تماس بین لایه‌های عایق و یا تماس بین هادی و عایق ضعیف خواهد بود. در ضمن بایستی دقت شود که از چروک شدن عایق مخصوصاً در کناره‌ها جلوگیری به عمل آید. سپس مرحله

[1] Resin-Rich

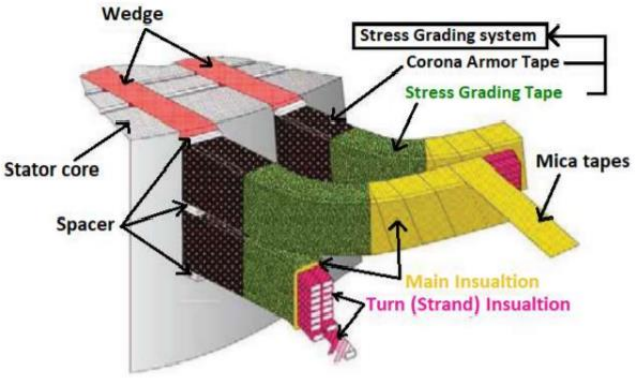
پخت عایقی سرکلاف‌ها می‌رسد که تحت فشار نوارهای شرینک و در دمای حدود ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌پذیرد. ساخت دستگاه‌هایی پیشرفته و بهره‌گیری از تکنولوژی نوین برای داشتن پرسی یکنواخت و جلوگیری از چروک عایق در نقاط خم از نکاتی است که همواره مورد توجه سازندگان بوده است [۵۶] و [۵۹].

- سیستم عایق‌کاری با پخت فشار و خلاء[1]

معمولاً نوار عایق در این نوع سیستم دارای رزین کمتری می‌باشد و می‌تواند به‌راحتی توسط رزین اشباع شود. در این روش سیم‌پیچ، شینه و یا کل بدنه استاتور بعد از جای‌گذاری شینه‌ها در داخل تانک VPI قرار می‌گیرد. شینه‌ها یا کلاف‌ها یا کل بدنه استاتور ابتدا گرم شده و سپس در رزین غوطه‌ور می‌شوند. در مرحله بعد تانک توسط یک پمپ، تحت خلاء قرار می‌گیرد و فشار داخلی تانک به ۰.۱ بار کاهش می‌یابد. به واسطه خلا شدن تانک، هوای موجود در لابه‌لای عایق به بیرون هدایت شده و رزین کاملا به داخل عایق نفوذ می‌کند. سپس شینه یا کلاف یا کل بدنه استاتور در کوره و با دمایی حدود ۱۰۰ درجه خشک و سخت می‌شود. این روش متشکل از سه پروسه خلاء (Vacuum)، اشباع‌سازی (Impregnation)، فشار (Pressurizing) می‌باشد و به نام VPI در میان سازندگان شناخته می‌شود.

این روش ابتدا با قیر داغ روی شینه‌های ژنراتور تجربه شد و در سال‌های بعد استفاده از این روش توسعه یافت و بجای قیر از رزین‌های مصنوعی هیدروکربنی استفاده شد.

در شکل ۱۱۳-۲، یک نمونه از جانمایی نوارهای میکا و نوارهای نیمه‌هادی به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۱۳-۲ : جانمایی نوارهای میکا و نوارهای نیمه‌هادی **[۵۶]**

امروزه در این سیستم، نوارهای میکا که حاوی مقدار کمی رزین می‌باشند در عایق‌کاری شینه‌های ژنراتور استفاده می‌شوند. جزئی از این رزین‌های مصنوعی جهت اشباع‌کردن میکا و جزئی دیگر جهت ایجاد چسبندگی با سایر مواد موجود در نوار می‌باشند. یافتن ترکیبات بهینه رزین‌های مصنوعی هیدروکربنی که بهترین میزان چسبندگی با سایر مواد عایقی را ایجاد کند و در درازمدت سبب خوردگی و آسیب به دیگر مواد عایقی به کار رفته در ماشین نشود، از جمله موارد همواره مطرح در صنعت ساخت الکتروموتورها و ژنراتورهای فشارقوی می‌باشد. همچنین جزئیات ساختار نوارهای عایقی به‌عنوان نگهدارنده پولکهای میکا همواره به لحاظ مشخصات مکانیکی، حرارتی و الکتریکی مورد توجه بوده‌اند. پارچه‌های با بافت شیشه‌ای به دلیل پایداری بهینه در برابر تنش‌های مکانیکی، حرارتی و الکتریکی بیشترین کاربرد را امروزه در صنعت عایق فشارقوی دارند.

- پر کردن فضای فاصله‌ی هوایی داخل شیار با روکش‌های عایق اضافی

[1] Vaccum Pressure Impregnation (VPI)

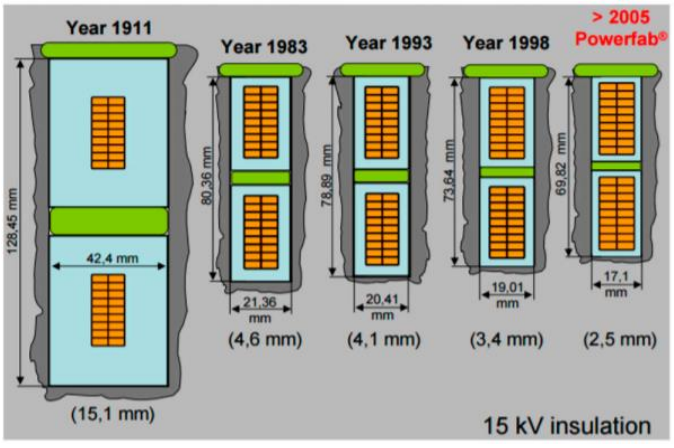
وجود اختلاف ولتاژ بین هادی‌های شیار و بدنه آن و بروز تنش‌های الکتریکی می‌تواند هوای موجود در فواصل هوایی را شکسته و منجر به تخلیه جزئی شود. تخلیه‌های جزئی سرانجام موجب ساییده شدن و حتی ایجاد حفره در عایق و یا دیواره هسته می‌شوند.

به منظور جلوگیری از این پدیده، عایقی نیاز است تا فاصله‌های هوایی میان کلاف‌ها و دیواره‌های هسته را حذف و مانع از پدیده تخلیه‌جزیی و در نتیجه ایجاد خطا در سیستم ماشین الکتریکی شود. جهت حذف پدیده تخلیه جزیی در سطح کلاف‌ها و میله‌ها از روکش‌های عایق اضافی استفاده می‌شود. همچنین سازندگان از پوشش‌های نیمه هادی در فاصله بین کلاف‌ها و دیواره شیارها استفاده می‌کنند. این پوشش معمولا ترکیباتی از جنس کربن می‌باشد که با مقاومت اهمی کافی در تماس با شیار و هسته پتانسیل زمین خواهد بود. به این ترتیب ولتاژ دو سر فواصل هوایی صفر بوده و تخلیه جزیی نخواهیم داشت.

پوشش نیمه هادی مابین کلاف‌ها و شیارها، معمولا حدود چند سانتی‌متر از دو لبه انتهایی شیارها را نیز پوشش می‌دهند. همچنین روکش سطح کلاف‌ها و میله‌ها نیز تا حدود زیادی، نزدیکی اتصالات انتهایی را پوشش می‌دهند. اما به هر ترتیب حفاظت نقاط اتصال سر سیم پیچ‌ها را فراهم نمی‌سازند. از آنجا که عایق‌های این نقاط نیز در معرض فواصل هوایی قرار دارند و همچنین از طرفی یکنواخت نمودن میدان الکتریکی در خارج از فضای هسته و شیارها و غلبه بر شار پراکندگی، از دیگر مسائل سازندگان ماشین‌های الکتریکی است، باید پوششی را برای حذف فواصل هوایی و یکنواخت نمودن میدان در سر سیم پیچ‌ها در نظر گرفت. این نیازمندی‌ها با به کار گیری نوار کاربید سیلیکون در اتصال سرسیم‌پیچ‌ها برآورده شده است. کاربید سیلیکون دارای مشخصه‌ای است که با افزایش تنش‌های الکتریکی مقاومت آن کاهش می‌یابد، بدین معنا که اهمی نیست. این خاصیت مقاومت متغیر موجب هادی شدن آن هنگام اضافه ولتاژ و هدایت آن به هسته زمین شده استاتور و همچنین عدم انتقال سایر شرایط نامی به هسته و عایق‌های آن در حالت کار عادی ماشین می‌شود. با حذف اضافه ولتاژها، امکان آسیب سیستم عایقی در سرسیم پیچ‌ها در اثر تخلیه جزیی نیز حداقل می‌شود.

ترکیبات ساختار نوار نیمه‌هادی مانند ترکیبات عایقی همواره مورد توجه سازندگان بزرگ بوده است، بطوریکه با اختصاص فضای کمتری درون شیار به عایق، بتوانند حجم هادی مس را افزایش دهند و به راندمان ماشین الکتریکی خود بیفزایند.

تاریخچه‌ای از روند کاهش ضخامت دیواره عایقی استاتور در شکل ۱۱۴-۲ زیر جمع‌آوری شده است.



شکل ۱۱۴-۲ : روند تغییرات ابعاد شیار لازم برای سطح ولتاژ ۱۵ کیلوولت [۵۸]

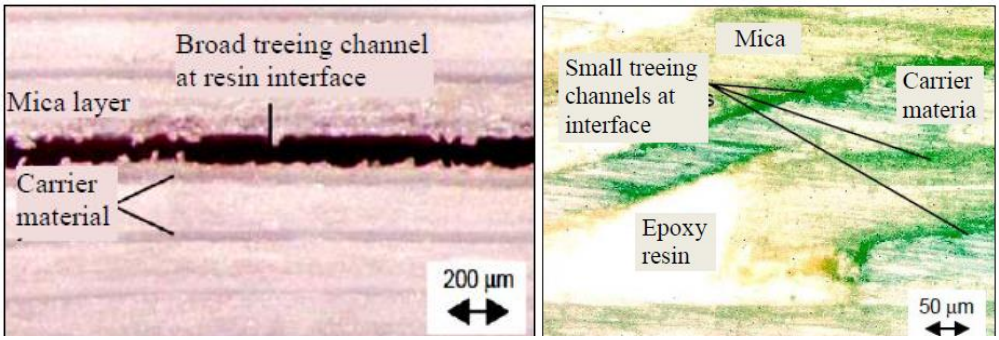
همانطور که در شکل ۱۱۴-۲ مشخص است، در سال ۱۹۱۱ با توجه به سطح تکنولوژی و کیفیت مواد عایقی برای سطح ولتاژی ۱۵ کیلوولت، نیاز به ابعاد شیاری در حدود ۱.۵ در ۱۲.۸ سانتی‌متر بوده است تا میزان مس و عایق مورد نیاز در شیار جاسازی شود. منتها با پیشرفت تکنولوژی صنعت ماشین‌سازی و مواد و متریال عایقی در سال ۲۰۰۵ با ابعاد شیاری در حدود

۱.۷ در ۶.۹ سانتی‌متر مس و عایق مورد نیاز سطح عایقی ۱۵ کیلوولت، درون شیار جاسازی شده است. یکی از چالش‌های موجود در حوزه سیستم‌های عایقی این است که در زمان تعمیرات اساسی، رطوبت جذب عایق می‌شود که عامل تضعیف آن است. همچنین تریپ‌های مکرر ژنراتور نیز از عوامل تضعیف سیستم عایقی است [۵۸].

- استفاده از عایق نانوکامپوزیتی برای سیم‌پیچی استاتور

از آن‌جایی که سیم‌پیچی استاتور یکی از اجزای اصلی توربوژنراتورهاست، طی سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه استفاده از نانوتکنولوژی به منظور ارتقای ویژگی‌های الکتریکی و مکانیکی سیستم عایق اصلی ژنراتور انجام گرفته است. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، فشارهای حرارتی، مکانیکی و محیطی مختلف حین بهره‌برداری طولانی‌مدت از ژنراتور، ساختار عایقی آن را تضعیف کرده و قدرت الکتریکی سیستم عایقی را کاهش می‌دهد [۶۰].

شدت میدان مغناطیسی بیشتر در لبه‌های کوچک برجستگی‌های رشته‌های مسی در هادی داخلی می‌تواند اولین خرابی در عایق را ایجاد کند. به دلیل افزایش اجتناب‌ناپذیر میدان مغناطیسی ناحیه‌ای، خرابی درخت‌گونه در سرتاسر سیست عایقی اپوکسی–میکا و از طریق مسیر رزین در نوار عایقی میکا اشباع‌شده با خلاء گسترش پیدا می‌کند. تصویر میکروسکوپی از این پدیده در شکل ۱۱۵–۲ نشان داده شده است. لایه غیرمعدنی میکا به عنوان یک مانع قوی در مقابل شدت الکتریکی عمل می‌کند. بنابراین، کانالی درخت‌گونه و کوچک با سطح مقطعی در حدود ۱۰ میکرومتر سطح رزین بین لایه میکا و ماده حامل را دنبال می‌کند [۶۱].



شکل ۱۱۵–۲ : گسترش کانال‌های درخت‌گونه کوچک در سیستم عایقی اپوکسی–میکا [۶۲]

فناوری پردازش نانوکامپوزیت اثری شگرف روی عملکرد الکتریکی و مکانیکی سیستم عایقی تجهیزی که در حال ساخته‌شدن است، دارد [۳۰]. بنابراین، توجه ویژه‌ای به یافتن روش پردازش مناسب برای نانوکامپوزیت اپوکسی وجود داشته و دارد. نانوذره‌ها به صورت محلول آلکالین آب‌دار کلوئیدی سیلیکا[1] که اصطلاحاً فرایند آب‌شیشه[2] نامیده شده و سدیم سیلیکات آغاز می‌شود، آماده می‌گردند. محلول‌های سیلیکا به منظور بیشینه‌کردن پایداری سیستم‌های از نوع اپوکسی معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به کار گیری ماده مناسب و صحیح به منظور ایجاد پایداری طولانی‌مدت با توجه به تغییرات چسبناکی و اندازه متوسط بهینه‌شده ذره بسیار مهم است [۶۲].

پس از پیاده‌سازی این فناوری روی سیستم عایقی اپوکسی–میکا با نانوذرات برای سیم‌پیچی استاتور، لازم است تا عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته و مزایا و معایب آن با عایق‌های پیشین مقایسه شوند. در ادامه به برخی از این نتایج پرداخته خواهد شد.

[1] Alkaline Aqueous Colloidal Silica Solution
[2] Water-Glass Process

به منظور بررسی طول عمر اصلی این نوع عایق، تعدادی نمونه تیوبی مطابق با شکل ۱۱۶-۲ و با ولتاژ نامی ۱۱ کیلوولت مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. این تیوب‌ها مطابق با فرایند ساخت اصلی، از فناوری VPI با رزین اپوکسی بهره می‌برند. جدول ۱۷-۲ ویژگی‌های این تیوب‌ها را نشان می‌دهد [۶۲].

شکل ۱۱۶-۲ : شش تیوب سیم‌پیچی آماده برای آزمون مقاومت در برابر ولتاژ **[۶۲]**

جدول ۱۷-۲ : مشخصات تیوب‌های تحت آزمون **[۶۲]**

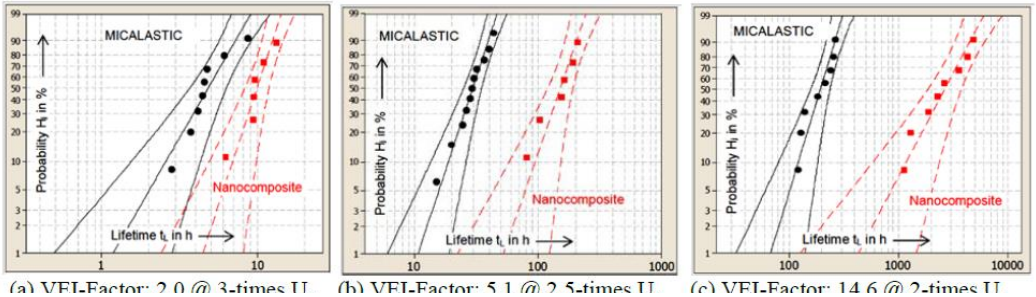
طول تیوب	۶۰۰ میلی‌متر
تعداد لایه‌های نوار میکا	۶
نوار میکا	فایبرگلس میکا مرغوب پخته‌شده
ضخامت عایق	۱/۵ میلی‌متر
طراحی / مشخصه تیوب تحت آزمون	تیوب‌های فلزی گرد با قطر ۳۰ میلی‌متر
ولتاژ نامی	۱۱ کیلوولت
رزین (مرجع)	سیستم اپوکسی خالص بدون حلّال
رزین (طراحی جدید)	اپوکسی حاوی نانوذره SiO_2
تعداد نمونه‌ها	۶ تا ۱۱ (از هر نوع رزین و ولتاژ)

به منظور مقایسه قدرت الکتریکی و طول عمر سیستم عایقی مرسوم و سیستم عایقی نانوکامپوزیتی پیشنهادی، مجموعه‌ای از آزمون‌های مقاومت در برابر ولتاژ با سه سطح استرسی مختلف که به ترتیب ۲، ۲/۵ و ۳ برابر ولتاژ نامی را شامل می‌شوند، روی این نمونه‌های تیوبی انجام می‌شود.

توزیع طول عمر الکتریکی t_L به صورت احتمال ویبول[1] در شکل ۱۱۷-۲ نشان داده شده است. در تمام سه سطح ولتاژ تحت آزمون، عایق نانوکامپوزیتی SiO_2 پیشنهادی باعث افزایش طول عمر الکتریکی عایق نسبت به عایق MICALASTIC مرسوم شده است. ضریب بهبود مقاومت در برابر ولتاژ[2] (VEI) به صورت ۶۳٪ مقدار متوسط توزیع

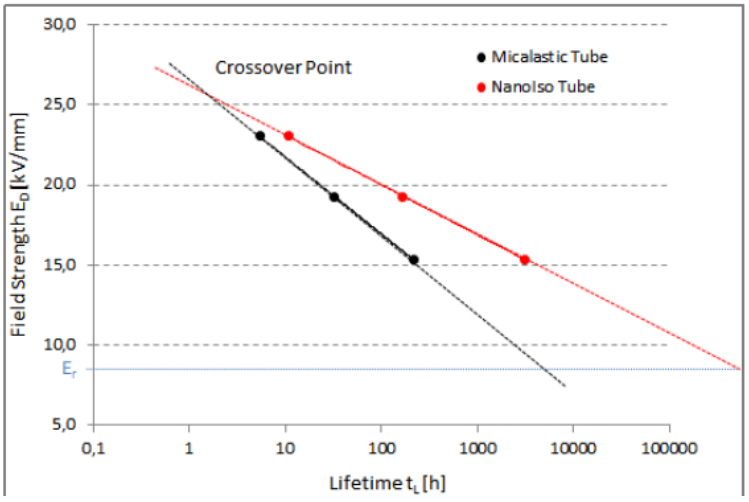
[1] Weibull Probability
[2] Voltage Endurance Improvement

ویبول بین نمونه‌های مجهز به عایق MICALASTIC و نانوکامپوزیت تعریف می‌شود. همچنین در بخش‌های (a) تا (c) شکل ۱۱۷-۲ نشان داده شده است که ضریب VEI به سطح ولتاژ آزمون بستگی داشته و در صورت تغییر ولتاژ آزمون از ۳ برابر ولتاژ نامی به ۲ برابر ولتاژ نامی، از ۲ به ۱۴/۶ افزایش می‌یابد. هر چه ولتاژ اعمالی کمتر باشد، ضریب VEI بزرگ‌تر است [۶۲].



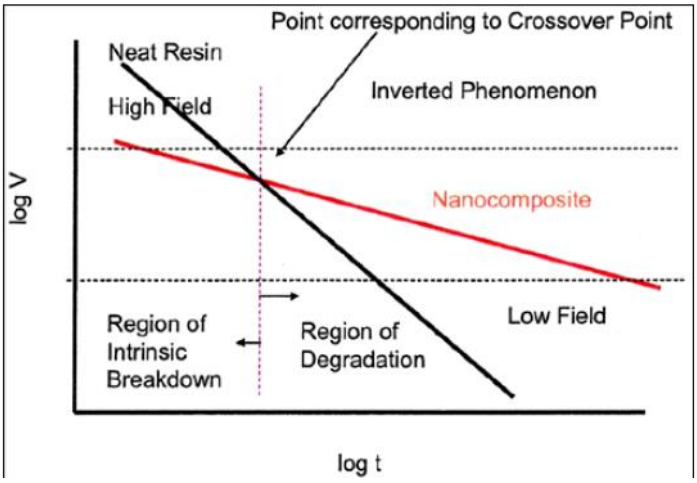
شکل ۱۱۷-۲ : نمایش توزیع ویبول نتایج ولتاژ آزمون سیستم عایقی **MICALASTIC** و سیستم عایقی نانوکامپوزیت پیشنهادی در (**a**) ۳ برابر ولتاژ نامی، (**b**) ۲/۵ برابر ولتاژ نامی و (**c**) ۲ برابر ولتاژ نامی **[۶۲]**

در شکل ۱۱۸-۲، مقادیر متوسط (۶۳٪ ویبول) سه ولتاژ آزمون در مقیاس نیمه‌لگاریتمی و به صورت شدت میدان الکتریکی E_D نسبت به طول عمر t_L نشان داده شده‌اند. این دو منحنی به شکل واضحی نشان می‌دهند که اضافه‌کردن نانوذرات SiO_2 به سیستم عایقی، باعث افزایش طول عمر الکتریکی عایق به میزان قابل توجهی شده است.



شکل ۱۱۸-۲ : مقایسه منحنی طول عمر الکتریکی تیوب‌های مجهز به سیستم عایقی **MICALASTIC** و نانوذرات **[۶۲]**

در [۶۴] طول عمر و مکانسیم مستعمل‌شدن الکتریکی نانوکامپوزیت‌های اپوکسی مورد بررسی قرار گرفته است. طبق این بررسی، مشخصه مقاومت در برابر ولتاژ در نمودارهایی شبیه به شکل ۱۱۹-۲ قابل ترسیم است. این نمودارها به شکل واضحی شیب طول عمر متفاوت و نقطه تلاقی در میدان‌های الکتریکی با شدت بسیار زیاد را نشان می‌دهند.



شکل ۱۱۹-۲ : مشخصه‌ی مقاومت در برابر ولتاژ رزین اپوکسی خالص و نانوکامپوزیت **[۶۲]**

گروه تحقیق و توسعه آزمایشگاه نانودی‌الکتریک در بنگال هند، آزمون‌های مقاومت در برابر ولتاژی انجام داده‌اند که در آن‌ها، تجهیز تحت آزمون در معرض دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و میدان‌های الکتریکی همگن با شدت ۶ kV/mm، ۷ kV/mm و ۸ kV/mm قرار گرفته‌اند. در این آزمون‌ها نیز تأیید شده است که شیب طول عمر رزین اپوکسی خالص، حدود ۵٪ با نانوکامپوزیت SiO_2 متفاوت است. در نتیجه، طول عمر الکتریکی سیستم عایقی نانوکامپوزیت SiO_2 حدود ۹ برابر سیستم‌های عایقی MICALASTIC مرسوم است [۶۵].

بعد از حصول نتایج موفقیت‌آمیز استفاده از عایق‌های حاوی نانوکامپوزیت نسبت به عایق‌های مرسوم، گام‌هایی برای آینده و ارتقای بیشتر عملکرد سیستم‌های عایقی تعریف شده است که در مطابق زیر هستند [۶۲]:

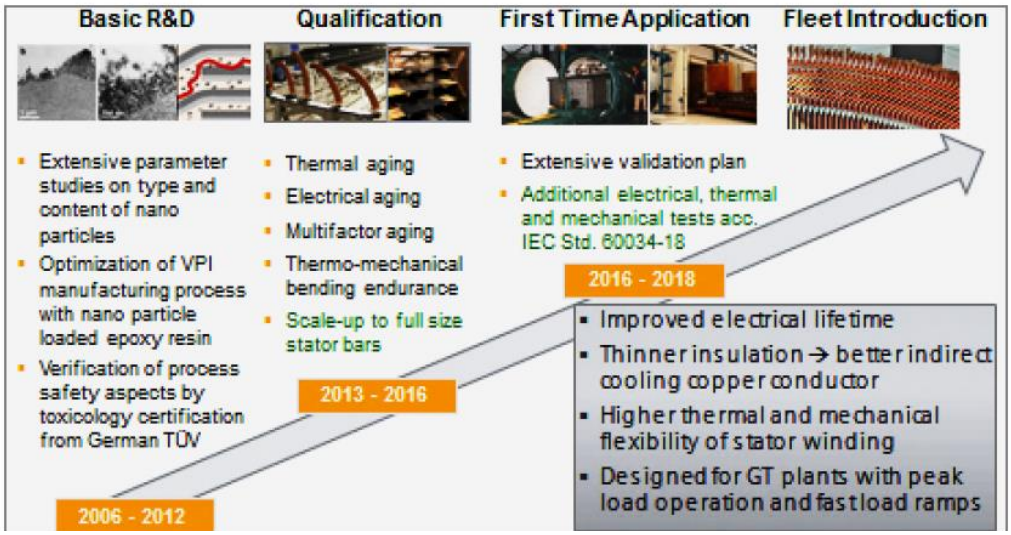
۱) انتقال برنامه آزمون اعتبارسنجی برای توربوژنراتورهایی با ولتاژ نامی ۲۲ کیلوولت و میله‌هایی با طول ۶ متر. روند اعتبارسنجی سیستم عایقی پیشنهادی جدید در مقایسه با عایق‌های اثبات‌شده مورد استفاده و مرسوم باید با استاندارد IEC 60034-18 مطابقت داشته باشد [۶۶]. این برنامه اعتبارسنجی باید شامل موارد زیر باشد:

- آزمون‌های دسته‌بندی و مستعمل‌شدن حرارتی در سه دمای مختلف؛
- مستعمل‌شدن الکتریکی – آزمون‌های مقاومت در برابر ولتاژ در سه سطح مختلف که منجر به منحنی‌های مختلف طول عمر می‌شوند؛
- مستعمل‌شدن چندعاملی با اعمال موازی چرخه حرارتی و فشار الکتریکی به عایق؛
- مقاومت در برابر خم‌شدگی ترمومکانیکی به صورت موازی با فشار الکتریکی به صورت یک آزمون مستعمل‌شدن چندعاملی

۲) در صورتی که سیستم عایقی جدید حاوی نانوکامپوزیت عملکرد مناسبی را نشان داد، یک ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی غیرمستقیم با هوا به یک سیم‌پیچی استاتور جدید با سیستم عایقی بسیار نازک‌تر، با هدایت حرارتی بهتر و منعطف‌تر با نانوذره‌های SiO_2 مجهز شود. انتظار می‌رود که عایق نانوکامپوزیت عملکرد کلی ژنراتور (از نظر توان خروجی) را حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش دهد.

۳) به منظور اعتبارسنجی بهتر سیم‌پیچی استاتور دیمندهای گذرا در شبکه که ناشی از نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیرند، یک پروژه تحقیقاتی پایه‌ای آغاز شود که از نانوذرات الاستیک خاص برای منعطف‌تر کردن سیستم عایقی اصلی سیم‌پیچی استاتور و دمپ‌کردن دینامیک استفاده کند.

خلاصه‌ای از وضعیت تحقیق و توسعه و نقشه راه سیستم‌های عایقی نانوکامپوزیت برای استفاده در سیم‌پیچی استاتور توربوژنراتورها و هیدروژنراتور، در شکل ۱۲۰–۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲۰–۲ : نقشه راه و پروژه تحقیق و توسعه سیستم‌های عایقی نانوکامپوزیتی برای سیم‌پیچی‌های استاتور توربوژنراتورها و هیدروژنراتورها [۶۲]

شرکت‌های Brush و Ansaldo پیشرفت‌هایی در زمینه‌ی طراحی نواری که برای عایق‌کردن سیم‌پیچی استاتور از هسته حاصل کرده‌اند. نوارهای مرسوم مقاومت حرارتی نسبتاً بالایی دارند که باعث کاهش جریان گرمایش و در نتیجه خنک‌شدن استاتور می‌شوند. نوارهای توسعه‌یافته توسط این شرکت‌ها که رسانایی حرارتی بالاتری دارند، به جریان خنک‌سازی کمک می‌کنند. همچنین، نوارهایی که توانایی تحمل ولتاژهای بیشتری داشته باشند نیز در حال توسعه هستند. این ویژگی باعث می‌شود هسته‌ها بتوانند در ولتاژهای بالاتر و در نتیجه در جریان‌های پایین‌تری کار کنند که تولید حرارت مقاومتی را کاهش می‌دهد [۴۰].

- ارتعاش‌های مکانیکی

ارتعاشات هر تجهیز دوار (چه از نظر دامنه و چه از نظر سایر مشخصات ارتعاش) ارتباط مستقیمی با وضعیت آن دارد و هرگونه تغییر در وضعیت تجهیز (هر چند جزیی) با تغییر در وضعیت ارتعاشات آن تجهیز همراه خواهد بود. منظور از تغییر وضعیت تجهیز، تغییر در شرایط بهره‌برداری تجهیز، بروز اشکال (مکانیکی، الکتریکی و غیره) در تجهیز، تغییر بار وارد بر آن و موارد دیگر می‌باشد. بنابراین اندازه‌گیری و تحلیل ارتعاشات یکی از روش‌های اصلی برای پایش وضعیت تجهیزات و ماشین‌آلات دوار به شمار می‌رود. توجه به این نکته ضروری است که در اغلب موارد وجود ارتعاشات بالا باعث ایجاد نویز صوتی در ماشین الکتریکی می‌شود. نویز و ارتعاش دو پدیده پیوندیافته در ماشین‌های الکتریکی دوار هستند و منابع هر دو، یکسان است. نویز و ارتعاشات عبارتند است از حرکت نوسانی اجسام در اثر نیروهای مربوط به این حرکات نوسانی. کلیه سازه‌های مهندسی و ماشین‌ها، مستعد بروز نویز و ارتعاشات هستند. بنابراین در طراحی آن‌ها باید رفتار نوسانی‌شان را مورد توجه قرار داد. ماشین‌های الکتریکی واحدهای مرکبی شامل قطعات ثابت، دوار و نوسان‌کننده هستند. حتی یک ماشین ساده

مانند گیربکس کاهنده باید به صورت یک ارتعاش‌کننده چند جرمی با تعدادی از فرکانس‌های طبیعی در نظر گرفته شود. بنابراین قابل تصور است که ژنراتورهای بزرگ نیروگاهی با وزنی معادل چند ده تن و قطعات دوار سنگین و حجیم تا چه اندازه مستعد بروز نویز و ارتعاشات می‌باشند [۶۷] و [۶۸].

بدیهی است که رسیدن به حالت ایده‌آل امکان‌پذیر نیست. همیشه تا حدی لرزش و ارتعاش و به تبع آن نویز صوتی در ژنراتورها وجود دارد. همواره با راه‌اندازی ژنراتورهای نیروگاهی همانند هر ماشین دوار دیگری، کمی نویز حاصل از میدان الکترومغناطیسی و حرکت قطعات دوار به گوش خواهد رسید. اما با در نظر گرفتن این نکته که بر اثر گذشت زمان و بر اثر بروز اشکالات بعدی، ممکن است میزان ارتعاشات نسبت به حد مجاز افزایش یابد، این مهم که ماشین الکتریکی با کمترین سطح قابل وصول ارتعاش و نویز ساخته شود (طراحی و متریال بهینه)، همواره از دغدغه های اصلی سازندگان بوده است و مطالعات گسترده‌ای پیرامون انواع روش‌های کم‌کردن منابع نویز و ارتعاش در ماشین الکتریکی صورت گرفته است [۶۷] و [۶۸].

- منابع ایجاد نویز و ارتعاش در ژنراتورها

به طور کلی، دو نوع نیروی استاتیکی و دینامیکی در ماشین‌آلات وجود دارد. نیروهای ارتعاش‌زا از نوع نیروهای دینامیکی هستند که بر اثر وجود کاستی‌هایی در ماشین ایجاد می‌شوند.

برخی از زمینه‌های بروز کاستی (انحراف از حالت ایده‌آل) عبارتند از:

- محدودیت‌های طراحی
- محدودیت‌های ساخت
- اشکال در نصب اولیه
- اشکال در بهره‌برداری
- بروز اشکالات حین تعمیرات
- ضعیف‌شدن تجهیزات و پیچیدگی در اثر فرسودگی و کار مداوم

رابطه زیر میزان ارتعاش ماشین را تعیین می‌کند:

$$\text{Vibration} = \text{Vibratory Force} / \text{Impedance}$$

مقاومت مکانیکی در برابر حرکت / نیروی ارتعاشی = ارتعاش

نیروهای ارتعاش‌زا در داخل ماشین و معمولاً در سیستم روتور (بخش در حال دوران ماشین) تولید می‌شوند. امپدانس یا مقاومت مکانیکی از مشخصات هر سیستم مکانیکی است و مسیر انتقال ارتعاش را توصیف می‌کند.

ارتعاشاتی که معمولاً از روی استاتور (بخش ساکن ماشین) اندازه گیری می‌شود، تحت تأثیر دو پارامتر فوق است. حال دو پارامتر فوق، یعنی نیروهای ارتعاش‌زا و امپدانس را جداگانه بررسی می‌کنیم.

برخی از عوامل ایجاد نیروهای ارتعاش‌زا در ماشین‌آلات، عبارتند از:

- عدم تعادل و توازن ماشین
- سایش اجزا و قطعات
- نیروهای آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی
- نیروهای الکترومغناطیسی

- تماس قطعات متحرک و ثابت
- اصطکاک

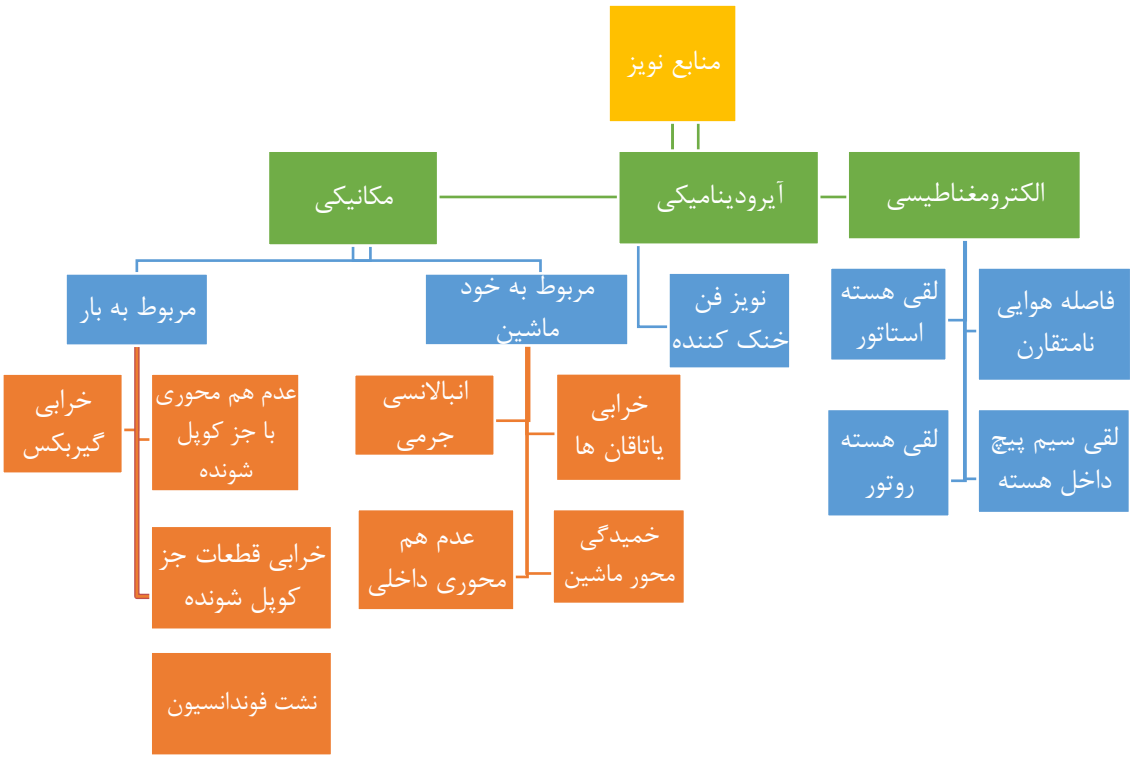
امپدانس (مقاومت مکانیکی در برابر حرکت) سه مؤلفه دارد که عبارتند از:

- جرم
- سفتی
- میرایی

برخی عوامل بدون این‌که از خود نیرویی تولید کنند، تنها از طریق تأثیر بر امپدانس، منجر به تشدید ارتعاش می‌شوند. مهم‌ترین این عوامل عبارتند از:

- لقی مکانیکی
- تحریک فرکانس‌های طبیعی اجزا (رزونانس)
- ضعف در فوندانسیون و یا شاسی ماشین‌آلات
- ضعیف‌بودن سازه

با توجه به مطالب یادشده عامل ایجاد ارتعاش و نویز، نیرو است. با وارد شدن یک نیروی متناوب یا گذرا به یک سیستم، اجزای مختلف آن شروع به حرکت‌های متناوب یا گذرا می‌کنند. این حالت از سیستم که نویز یا ارتعاش خوانده می‌شود، با اندازه‌گیری هر یک از پارامترهای جابه‌جایی، سرعت و شتاب ارتعاشی در یکی از نقاط بحرانی سیستم قابل بیان است. منابع نویز و ارتعاشات در ماشین‌های الکتریکی را می‌توان به سه دسته‌ی نیروهای آیرودینامیکی، مکانیکی و الکترومغناطیسی تقسیم‌بندی کرد. البته برخی از پژوهشگران منبع الکترونیکی را نیز به این منابع اضافه کردند و به صورت مجزا مورد تحلیل و بررسی قرار داده‌اند اما از آنجا که واکنش‌های این منبع موجب آثار الکترومغناطیسی در سیستم می‌گردد، می‌توان آن را جدا از منبع الکترومغناطیسی ندانست. منبع الکترومغناطیسی منبعی است که اثرات آن، در توان اسمی پایین تا متوسط نامی ماشین‌ها بر مابقی علل غلبه می‌کند. با مطالعه بسیار دقیق محققان این حوزه، به جرأت می‌توان گفت که منشأ ارتعاش و نویز صوتی در ماشین‌های الکتریکی کوچک تا متوسط، منبع الکترومغناطیسی و در ماشین‌های الکتریکی بزرگ، منبع مکانیکی است. شاید بتوان نویز صوتی انتشار یافته در ماشین‌های الکتریکی را بیشتر ناشی از واکنش متقابل بین نیروهای الکترومغناطیسی و قاب و بدنه استاتور دانست. منابع ارتعاش و نویز در ماشین الکتریکی را می‌توان در شکل ۱۲۱–۲ مشاهده کرد [۶۹].



شکل ۱۲۱-۲ : منابع ارتعاش و نویز در ماشین‌های الکتریکی **[۶۹]**

در ادامه به تشریح هر یک از منابع نویز پرداخته خواهد شد.

یکی از منابع مهم تولید نویز و ارتعاش در ژنراتورهای نیروگاهی همانند هر ماشین دوار دیگری، منابع مکانیکی هستند. هرگونه مشکل مرتبط با ساختار مکانیکی خود ماشین، ساختار پایه فوندانسیونی که ماشین بر روی آن قرار گرفته است یا ساختار جز کوپل شونده با ماشین می‌تواند عاملی جهت تولید نویز مکانیکی در ماشین باشد. ساختار مکانیکی خود ماشین ممکن است دچار معایبی باشد که باعث حرکت یک قطعه حول موقعیت ایستایی خود و ارتعاش آن شود. معایبی مانند عدم توازن جرمی روتور، یاتاقان‌های معیوب، خمیدگی یا ترک شفت، عدم هم‌محوری قالپاق‌ها با پوسته ماشین یا خارج از مرکزی روتور، خوردگی هوزینگ یاتاقان‌ها، تماس محوری روتور باعث ایجاد نویز و ارتعاشات مکانیکی در ماشین می‌شوند. همچنین کارکرد نامناسب [۷۰].

فوندانسیون سازه‌ای است که نیروی گرانش یک سیستم مکانیکی را تحمل می‌کند. هر ماشین نیاز به پایه‌ای صلب دارد که هنگام نصب بر روی آن پیچ شود تا هنگام کار از حالت هم‌راستایی خارج نشود. همچنین پایه فوندانسیون هر گونه بار دینامیکی را جذب کرده و آن را به زمین منتقل می‌کند. بنابراین هرگونه خرابی و ناهم‌راستایی در پایه فوندانسیون ماشین می‌تواند سبب بروز نویز و ارتعاش شود. ماشین‌کاری بسیار دقیق پایه‌های ماشین، به طوری که با حصول به سطحی با بیشترین میزان صافی و همواری، کیفیت نصب ماشین بر روی پایه فوندانسیون را افزایش دهد، به طوری که کمترین نیاز به واسطها (شیم‌گذاری) وجود داشته باشد، از دغدغه‌های سازندگان در طول سالیان بوده است. با توجه به ابعاد بزرگ فریم در ژنراتورهای بزرگ نیروگاهی، قابل تصور است که حصول به این مهم تا چه اندازه در پروسه تولید مهم و چالشی است [۷۰].

تحقیقات و تکنولوژی جدید ساخت ژنراتورها و ماشین‌های دوار سنگین، برای غلبه بر عوامل مکانیکی تولید ارتعاش و نویز، پارامترهای زیادی را مد نظر قرار داده‌اند و در حال تحقیقات روزافزونی بر روی این پارامترها هستند.

در ادامه به برخی پارامترهای تحت مطالعه برای کم‌کردن ارتعاش و نویز مکانیکی اشاره می‌شود.

- روش‌های نوین بالانس استاتیکی و دینامیکی با در نظر گرفتن گریدهای بالای کیفیت بالانس (گرید بالانس بر حسب مقدار عدم تعادل مجاز فرضی و بیشترین سرعت دورانی به دست می‌آید.)
- یافتن نقاط با بیشینه استرس و تنش مکانیکی در شفت با استفاده از مدل‌سازی شفت در نرم‌افزارهای اجزا محدود[1]، ارزیابی تنش در نقاط بحرانی[2]، شناسایی تنش‌های نوسانی ناشی از خمش، شناسایی تنش‌های نوسانی ناشی از پیچش و تنش‌های ناخواسته‌ی محوری در شفت در اثر انبساط ناشی از تغییرات دمایی، تنش‌های نوسانی ناشی از پیچش و تنش‌های ناخواسته‌ی محوری در شفت در اثر انبساط ناشی از تغییرات دمایی [۷۱].
- مطالعه‌ی گسترده روی ساختار مواد شفت و تقویت آلیاژ مورد نظر مانند فولادهای کم کربن، سرد کشیده یا نورد گرم مانند ANSI 1020-1050، فولادهای آلیاژی مانند ANSI 1340,3140,4140,5140,8650، یا فولادهای ضدزنگ[3] و انواع روش‌های سخت‌کاری سطحی (کربن‌دهی) برای قسمتی که داخل یاتاقان قرار می‌گیرد.

یکی دیگر از منابع تولید نویز و ارتعاش، نیروهای آیرودینامیکی هستند. ماشین آلاتی که با سیالاتی مثل آب، روغن و هوا کار می‌کنند، غالباً نویز و ارتعاشات ناشی از عکس‌العمل پره‌هایی که با سیال برخورد می‌کنند را خواهند داشت. این نوع ارتعاشات برای پمپ‌ها، فن‌ها و توربین‌ها بسیار متداول و به سرعت قابل تشخیص است. این سبک از نویز و ارتعاشات، ناشی از نیروهای ذاتی هیدرولیکی است و ممکن است از طراحی نامناسب ماشین، لوله یا کانال‌کشی حاصل شود. جدای از نیروهای ذاتی هیدرولیکی، هرگونه تغییر در عملکرد متقابل پره و سیال مانند شکستگی پره‌ها یا تغییر گران‌روی سیال مانند از بین رفتن کیفیت اولیه روغن در یاتاقان‌های ژورنال می‌تواند باعث بروز این‌گونه نویز و ارتعاشات در ماشین شود.

یکی از مهم‌ترین منابع آیرودینامیکی تولید نویز در ژنراتورهای بزرگ نیروگاهی که همواره مورد نظر سازندگان بوده و فرایند طراحی و ساخت آن همواره در طول زمان با پیشرفت تکنولوژی بهبود یافته، طراحی و ساخت یاتاقان‌های ژورنال بوده است [۷۲].

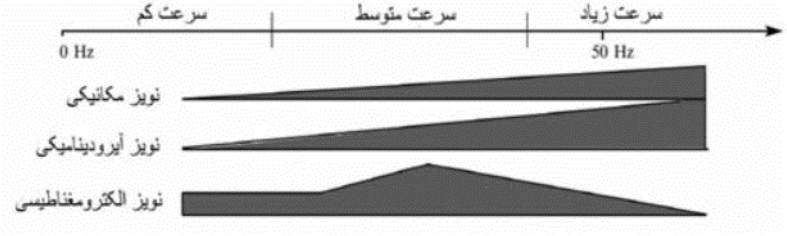
یکی دیگر از منابع تولید نویز در ماشین‌های الکتریکی، نیروهای الکترومغناطیسی هستند. منشأ نیروهای الکترومغناطیسی را می‌توان ناشی از هارمونیک‌های فضایی و زمانی بالا در فاصله‌ی هوایی، شیارزنی، عدم تعادل فازی، اشباع مغناطیسی و افزایش نیروهای مگنتواسترکتیو در ورقه‌های هسته دانست. عواملی مانند لقی هسته استاتور، لقی سیم‌پیچ داخل هسته، لقی هسته روتور، عدم تقارن فاصله هوایی، انتخاب نامناسب پارامترهای طراحی از قبیل ابعاد شیار، اتصال حلقه در سیم‌پیچ‌های استاتور، بریدگی سیم‌های مربوط به سیم‌پیچی روتور در زیر حلقه‌های نگهدارنده، جاری‌شدن هارمونیک سوم در ژنراتور و تعداد شیار که باعث اشباع مغناطیسی ورقه‌های هسته در منطقه باریک‌شونده آن شود و پرس نامناسب ورقه‌های هسته، می‌توانند باعث به وجود آمدن نویز و ارتعاش الکترومغناطیسی شوند.

[1] Finite Elemnt
[2] Critical Points
[3] Stainless Steel

همچنین در سیستم‌های تحریک بدون جاروبک، بوجود آوردن ولتاژ ریپل‌دار ناشی از سوختن تعدادی از دیودها و فیوزهای گردان و در سیستم‌های تحریک دارای جاروبک، افزایش پدیده کموتاسیون و ایجاد مقاومت اهمی و سلفی در محل تمامی جاروبک‌ها نیز از منابع نویز الکترومغناطیسی به شمار می‌روند.

از لحاظ سرعت، در سرعت‌های بالا، منابع مکانیکی و آیرودینامیکی بر الکترومغناطیسی چیره می‌گردد و در سرعت‌های پایین تا متوسط کمتر از ۱۵۰۰ دور بر دقیقه منبع الکترومغناطیسی در تولید نویز غالب است [۶۹].

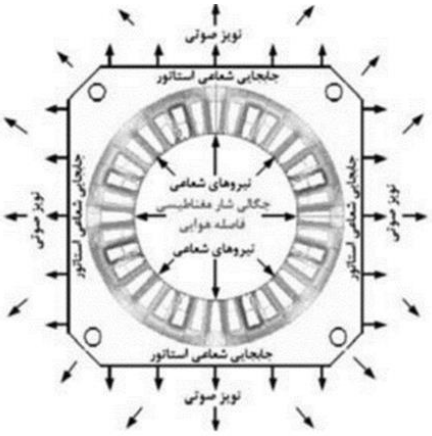
در شکل ۱۲۲-۲ تأثیر سرعت در تولید نویزهای مکانیکی، آیرودینامیکی و الکترومغناطیسی نشان داده شده است.



شکل ۱۲۲-۲ : تأثیر سرعت در تولید نویزهای مکانیکی، آیرودینامیکی و الکترومغناطیسی **[۶۷]**

نیروهای الکترومغناطیسی دخیل در تولید ارتعاشات ماشین و نویز مغناطیسی، به سه دسته کلی قابل تقسیم هستند:

- نیروهایی که روی سطح دندانه‌های استاتور عمل می‌کنند و می‌توانند موجب تولید ارتعاشات مماسی و شعاعی بزرگی در ماشین شوند.
- نیروهای اثرگذار بر سیم‌پیچ‌های حامل جریان در استاتور که موسوم به نیروهای لاپلاس هستند و تولیدکننده‌ی ارتعاش در سیم‌پیچ‌ها می‌باشند. در صورت افزایش بیش از حد این نیروها، شاهد بروز شکست عایقی، اتصال کوتاه و آسیب‌دیدگی ورقه‌های استاتور خواهیم بود.
- نیروهای مغناطیسی؛ که اگر استاتور تحت اشباع شدید در معرض تغییرات سریع میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروهای مغناطیسی بزرگی به وجود خواهند آمد که در منجر به ایجاد ارتعاش در ماشین می‌شوند. در شکل ۱۲۳-۲ مکانیسم تولید ارتعاش و نویز صوتی ناشی از منابع الکترومغناطیسی به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۲۳-۲ : مکانیسم تولید ارتعاش و نویز صوتی ناشی از منابع الکترومغناطیسی **[۶۷]**

ریپل گشتاور مهم‌ترین جزء منبع الکترومغناطیسی است که کاهش بهینه آن علاوه بر کاهش نویز صوتی، موجب بهترشدن عملکرد موتور و ژنراتور نیز خواهد شد. ریپل گشتاور و نیروهای شعاعی مغناطیسی از منابع اصلی نویز

الکترومغناطیسی محسوب می‌شوند. البته باید دقت داشت که کاهش ریپل گشتاور تا حدودی ممکن است و هم‌چنان‌که صد در صد امکان‌پذیر نیست، کاهش آن نباید خللی در عملکرد ماشین ایجاد کند.

یکی از عوامل مهم در به وجود آمدن ریپل گشتاور، غیر سینوسی بودن شار در فضای فاصله هوایی است. شار به وجود آمده در فضای فاصله هوایی به دلیل وجود سیم‌پیچی، شیار دار بودن، اشباع و عدم یکنواختی طول فاصله هوایی که باعث به وجود آمدن شار پراکندگی شیار، شار پراکندگی نوک دندانه، شار پراکندگی شکسته یا زیگزاگ، شار پراکندگی اتصالات پیشانی، شار پراکندگی تفاضلی (دیفرانسیل) و شار پراکندگی محیطی می‌شوند، هیچ‌گاه توزیع سینوسی خالص نداشته و شار پایه همواره با هارمونیک‌های تولید شده با هم در فاصله هوایی قرار می‌گیرند. مطالعات در زمینه طراحی ماشین‌های الکتریکی، در طول سالیان همواره به‌دنبال لحاظ کردن ملاحظاتی بوده است که بتواند ریپل گشتاور موجود در فضای فاصله هوایی را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. برخی از این ملاحظات در ادامه به صورت فهرست‌گونه گرداوری شده است [۷۳].

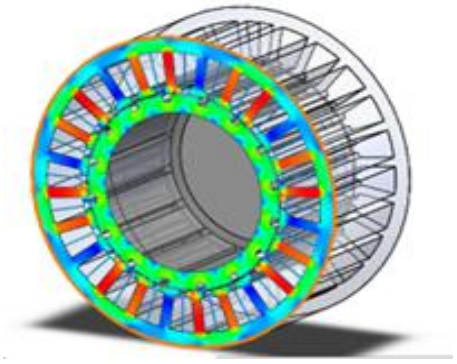
- افزایش طول فاصله هوایی برای غلبه بر نویز

طراحان همواره در انتخاب طول فاصله هوایی با چند مساله ضد و نقیض روبرو بوده‌اند. نیروی محرکه مغناطیسی لازم برای تامین شار فاصله هوایی حاصل ضرب چگالی شار و طول فاصله هوایی است. حتی در چگالی شار بسیار کم نیروی محرکه لازم برای فاصله هوایی بیشتر از نیروی محرکه مغناطیسی لازم برای بقیه مدار مغناطیسی است. پس طول فاصله هوایی عملاً جریان مغناطیس‌کننده ماشین را تعیین می‌کند. مقدار جریان مغناطیس‌کننده باید تا حد امکان کوچک باشد تا ضریب توان خوبی به دست آید. بنابراین فاصله هوایی کوچک برای به دست آوردن ضریب توان (ضریب قدرت) خوب، لازم است.

از طرفی در ماشین‌های با فاصله هوایی کوچک، کوچک‌ترین بی‌نظمی یا لنگی ایجاد شده در محور یا هسته روتور منجر به ایجاد یک بی‌نظمی بزرگ در طول فاصله هوایی شده و در نتیجه، عدم تعادل و کشش مغناطیسی زیاد می‌شود که در ماشین‌های با طول فاصله هوایی بزرگ لنگی کم محور قادر به ایجاد نامتعادلی قابل ملاحظه‌ای نخواهد بود.

در ماشین‌های با فاصله هوایی بزرگ فاصله بین داکت‌های روتور و استاتور زیاد شده، بنابراین مسیر عبور هوا بیشتر و خنک‌کاری بهتری صورت می‌گیرد.

بنابراین هرگاه ضریب توان بالایی برای ماشین مد نظر بود لازم است که طول فاصله هوایی تا حد ممکن کم و هرگاه ظرفیت اضافه بار بالاتر، خنک‌سازی بهتر، کاهش در نامتعادلی کشش مغناطیسی، کاهش در سر و صدا و نویز ماشین مد نظر باشد، طول فاصله هوایی بزرگ انتخاب می‌شود. یک نمونه از فواصل هوایی مناسب برای شیارها در شکل ۱۲۴-۲ نشان داده شده است.



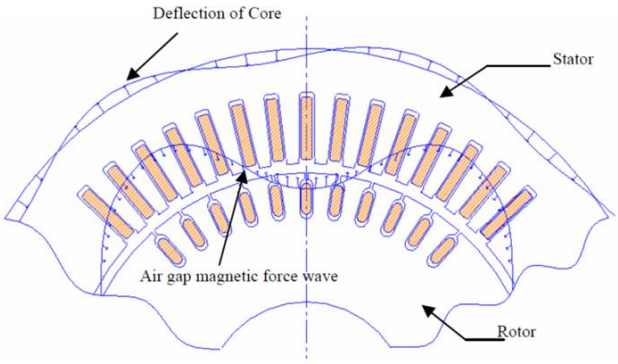
شکل ۱۲۴-۲ : فواصل هوایی مناسب برای شیارها **[۷۳]**

- انتخاب تعداد شیارهای استاتور به صورت بهینه و با توجه به قطب‌های ماشین برای غلبه بر نویز

ملاحظاتی که در انتخاب تعداد شیار مطرح است، این است که اولاً نیروی محرکه مغناطیسی دوار هم‌زمانی که توسط استاتور تولید می‌شود روی هر p قطب اصلی، توزیع سینوسی داشته باشد و ثانیاً نیروی محرکه مغناطیسی ناشی از جریان‌های با فرکانس لغزش القاشده در روتور روی p قطب اصلی، به طور یکنواختی توزیع شده باشد.

- ساخت هسته استاتور به صورت چند ضلعی برای غلبه بر نویز

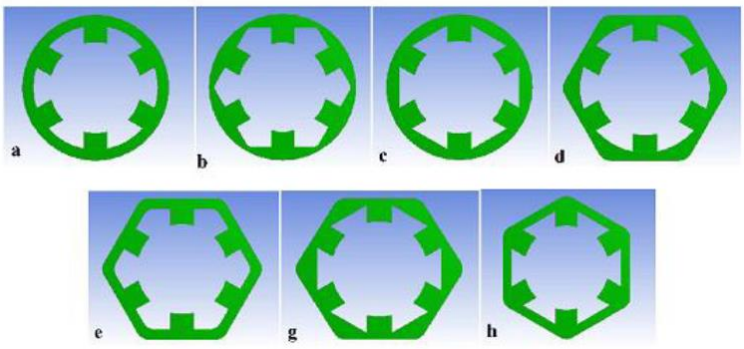
برای این‌که تغییر شکل هسته استاتور ناشی از نیروهای شعاعی به حداقل ممکن برسد، تحقیقاتی در زمینه ساخت هسته استاتور به صورت چند ضلعی صورت گرفته است. البته که چنین تغییر بزرگی در ساختار ماشین، توام با انواع چالش‌های مکانیکی و الکتریکی خواهد بود [۷۳]. نمونه‌ای از انحنا و تغییر شکل هسته‌ی استاتور در اثر نیروهای مغناطیسی در شکل ۱۲۵-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲۵-۲ : انحنای هسته‌ی استاتور در اثر نیروهای مغناطیسی [۷۳]

- طراحی بهینه یوغ استاتور برای کم‌کردن اثرات ناشی از نیروهای شعاعی

یکی از عوامل تاثیرگذار در ارتعاشات و نویز صوتی، تغییر شکل استاتور ناشی از نیروهای شعاعی می‌باشد. بنابراین، طراحی یک شکل استاتور مناسب که تغییرات در اثر نیروی شعاعی را به حداقل می‌رساند، موجب کاهش ارتعاشات و نویز صوتی می‌شود. بنابراین طراحی یوغ استاتور نقش مهم و تعیین‌کننده‌ای در کاهش نویز الکترومغناطیسی دارد. هفت طرح مختلف استاتور با اشکال داخلی و خارجی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است [۷۴]. هفت مدلِ پیشنهادی، در شکل ۱۲۶-۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۲۶-۲ : انواع مدل‌های طراحی یوغ استاتور [۷۴]

با استفاده از مدل‌سازی‌های اجزاء محدود و مطالعه بر روی حالت‌های گذرا و دائمی، اثبات شده است که شکل استاتور نوع 'c' دارای حداقل نیروی شعاعی و ارتعاش است؛ اما این تغییر نیز مانند تغییر شکل هسته استاتور، توام با انواع چالش‌های پروسه ساخت و خنک‌کاری می‌باشد.

- استحکام پوسته ماشین برای غلبه بر نویز

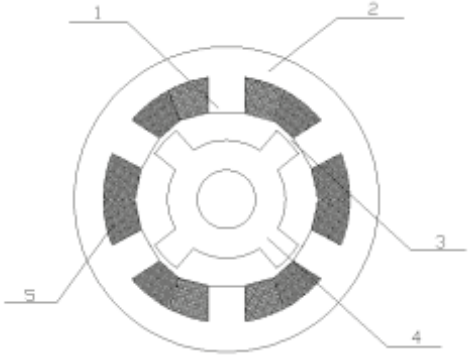
طراحی فریم ماشین‌ها نیز می‌تواند به عنوان عاملی جهت کاهش ارتعاش و نویز صوتی آن‌ها مورد توجه قرار گیرد. ارتعاش و صدا با تغییر شکل‌های فریم با ساختارها و مواد مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه بررسی‌ها نشان داده است که استفاده از پوسته‌های دارای شیار شعاعی و پوسته فولادی صاف می‌تواند استحکام آن را افزایش دهد و باعث کاهش نویز الکترومغناطیسی شود که در میان این اشکال، مؤثرترین شکل برای کاهش ارتعاشات فولاد صاف انتخاب شده است. این تغییر نیز مانند دیگر تغییرات ساختار مکانیکی ماشین، توام با انواع چالش‌های پروسه ساخت و خنک‌کاری می‌باشد [۷۵]. انواع مدل‌های طراحی جهت استحکام پوسته‌ی استاتور در شکل ۱۲۷-۲ و شکل ۱۲۸-۲ نشان داده شده‌اند.

شکل ۱۲۷-۲ : انواع مدل‌های طراحی جهت استحکام پوسته‌ی استاتور (۱) **[۷۵]**

شکل ۱۲۸-۲ : انواع مدل‌های طراحی جهت استحکام پوسته‌ی استاتور (۲) **[۷۵]**

- استفاده از ویژگی ذاتی مهار نویز در مایع

یکی دیگر از راه‌های کاهش نویز الکترومغناطیسی استفاده از ویژگی مهار مایعات برای کاهش ارتعاش و نویز استاتور می‌باشد. دراین روش شکاف‌های استاتور بدون ایجاد اختلال در فاصله هوایی با یک مایع خنک‌کننده تبخیرپذیر پر می‌شوند، محفظه تبخیری علاوه بر بهینه‌سازی خنک‌کاری موتور به کاهش ارتعاشات موتور و نیروهای شعاعی به وجود آمده کمک می‌کند و باعث می‌شود نویز صوتی به طور قابل توجهی کاهش یابد [۷۵]. در شکل ۱۲۹-۲ نمونه‌ای از پرکردن فاصله‌ی هوایی با یک مایع خنک‌کننده‌ی تبخیرپذیر نشان داده شده است.



شکل ۱۲۹-۲ : پرکردن فاصله‌ی هوایی با یک مایع خنک‌کننده‌ی تبخیرپذیر **[۷۵]**

در این شکل، (۱) قطب‌های استاتور، (۲) هسته‌ی استاتور، (۳) فاصله‌ی هوایی، (۴) عایق استفاده‌شده برای جداسازی و (۵) مایع خنک‌کننده‌ی تبخیرپذیر هستند.

- بررسی وضعیت سیستم‌های نگه‌دارنده سیم‌پیچی استاتور در توربوژنراتورها

از دست رفتن یکپارچگی مکانیکی سیم‌پیچی استاتور یک موضوع مهم در توربوژنراتورهای بزرگ به شمار می‌رود، چراکه منجر به ارتعاش‌های تقویت‌شده و در نهایت خرابی تجهیزات می‌شوند. در یک بررسی منتشرشده در نشریات سیگره در سال ۲۰۱۷، نتایج حاصل از بررسی وضعیت سیستم نگه‌دارنده استاتور توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا، گاز هیدروژن و آب ارائه شده است. این بررسی شامل طراحی‌های مختلف، مشکلات شناسایی‌شده، روش‌های مختلف ارزیابی و تحلیل ریشه‌ی مشکل می‌شود.

قابلیت اطمینان و یکپارچگی مورد انتظار از یک ژنراتور در حال کار به میزان قابل توجهی به طراحی و عملکرد سیستم نگه‌دارنده سیم‌پیچی استاتور آن وابسته است. سیستم نگه‌دارنده باید به گونه‌ای عمل کند که یکپارچگی سیم‌پیچی استاتور هم در انتهای سیم‌پیچی‌ها و هم در شیارها تضمین شود. سیستم‌های نگه‌دارنده جزو اصلی‌ترین اجزایی به شمار می‌روند که می‌توانند باعث از دسترس خارج شدن ژنراتور به دلیل سایش مکانیکی عایق شوند [۷۶].

اگر سیستم‌های نگه‌دارنده به شکل مناسبی طراحی و نصب نشده باشند و یا به شکل صحیحی تعمیر نشوند، ارتعاش‌های عادی سیم‌پیچی که ناشی از نیروهای الکترومغناطیسی هستند می‌توانند سایش عایق را تشدید کنند. اگر فرکانس‌های طبیعی سیم‌پیچی ضرایبی نزدیک به فرکانس شبکه داشته باشند، منجر به ارتعاشات تقویت‌شده می‌شوند که اصطلاحاً معروف به پدیده رزونانس است.

سیستم نگه‌دارنده انتهای سیم‌پیچی یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن در شکل ۱۳۰-۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۳۰-۲ : سیستم نگه‌دارنده انتهای سیم‌پیچی یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن **[۷۶]**

علاوه بر این، به منظور اطمینان از یکپارچگی مکانیکی سیم‌پیچی، سیستم‌های نگه‌دارنده آن باید به گونه‌ای طراحی شوند که سیکل بار و بهره‌برداری متناوب نیز در نظر گرفته شده باشد. توجه به این نکته باعث می‌شود انبساط و انقباض عادی سیم‌پیچی که ناشی از تغییرات دما حین بهره‌برداری و چرخه‌های راه‌اندازی و توقف است، مورد توجه قرار گیرد.

در بررسی صورت‌گرفته توسط این کارگروه، از دست رفتن یکپارچگی مکانیکی سیستم نگه‌دارنده سیم‌پیچی استاتور در ژنراتورهای مختلفی مشاهده شده است و منحصر به یک سازنده، یک فناوری یا ژنراتوری با ابعاد خاص نیست. جنبه‌های فنی مختلفی اعم از سازنده، سال ساخت، توان خروجی و سیستم خنک‌سازی و همچنین ساعت‌ها و شرایط بهره‌برداری از ژنراتور نیز مورد توجه بوده‌اند. در این بررسی ابتدا به معرفی ناحیه‌ای پرداخته شده که باعث از دست رفتن یکپارچگی مکانیکی شده است. برای تحلیل بیشتر، لازم است مشخص شود که مشکل مربوط به انتهای سیم‌پیچی است یا مربوط به شیارها. تقریباً تمام بهره‌برداران حاضر در این بررسی، به نوعی دچار مشکل یکپارچگی مکانیکی بودند. اغلب مشکلات یا در نواحی انتهایی سیم‌پیچی یا هم در بخش‌های انتهایی سیم‌پیچی و هم در بخش شیارها گزارش شد [۷۶].

در بررسی‌های مربوطه روی ژنراتورهایی با سیستم‌های خنک‌سازی مختلف، ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب کمتر دچار مشکل بودند، اما ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با گاز هیدروژن یا هوا بیشتر در معرض مشکلات مربوط به ارتعاش سیم‌پیچی هستند.

در این بررسی مشاهده شده است که ماشین‌هایی که در اواخر دهه ۱۹۹۰ و اواخر سال ۲۰۰۰ ساخته شده‌اند، در اولین سال بهره‌برداری در یکپارچگی دچار مشکل شدند. در این بررسی، نشانه‌های ارتعاش انتهای سیم‌پیچی در تمام طراحی‌های گوناگون وجود داشت، هر چند به نظر می‌رسد ماشین‌هایی که ساختار نگه‌دارنده سیم‌پیچی مستحکم‌تری دارند، در اثر ارتعاشات انتهای سیم‌پیچی بیشتر در معرض آسیب هستند [۷۶].

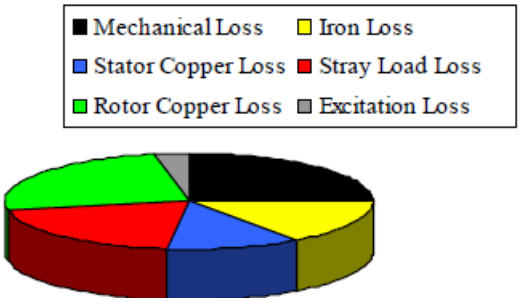
- تلفات الکتریکی

حوزه‌ی دیگری که در طراحی و بهره‌برداری از ژنراتورها مهم به شمار می‌رود، کاهش تلفات الکتریکی در کویل ژنراتور (افزایش بازدهی الکتریکی) است. کاهش تلفات الکتریکی به مواد مورد استفاده بستگی دارد. کاهش تلفات الکتریکی مقاومتی در سیم‌پیچی هسته با کاهش مقاومت هسته امکان‌پذیر است [۴۰].

تلفات توربوژنراتورها به تلفات مس استاتور، تلفات مس روتور، تلفات مکانیکی، تلفات آهن، تلفات پراکندگی بار، تلفات سیم‌پیچی دمپر و تلفات تحریک قابل تقسیم هستند. این دسته‌بندی در شکل ۱۳۱-۲ نیز نشان داده شده است [۷۷].

شکل ۱۳۱-۲ : دسته‌بندی تلفات توربوژنراتورها [۷۷]

همچنین به عنوان مثال، جداسازی تلفات معمول موجود در یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن در شکل ۱۳۲-۲ نشان داده شده است. مطابق این جداسازی، تلفات آهن چیزی در حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد تلفات کل را تشکیل می‌دهد. از طرفی، تلفات پراکندگی بار در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد کل تلفات توربوژنراتور است. تلفات آهن و تلفات پراکندگی بار متناظر با تلفات ادی‌کارنت و هیسترزیس تولیدشده در اجزای ژنراتور هستند که هر کدام به صورت جداگانه از طریق تحلیل‌های عددی و الکترومغناطیسی قابل محاسبه‌اند.



شکل ۱۳۲-۲ : مثالی از جداسازی تلفات یک توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی غیرمستقیم با هیدروژن [۷۷]

جدول ۱۸-۲ و جدول ۱۹-۲ نشان‌دهنده بخش‌هایی از ژنراتور هستند که باعث ایجاد تلفات آهن، تلفات پراکندگی بار و شار مغناطیسی و میدان‌های مغناطیسی تولیدکننده‌ی تلفات می‌شوند. بخش عمده‌ی تلفات آهن ناشی از شار اصلی موجود در هسته‌ی ورقه‌ورقه استاتور است. باقی تلفات آهن عمدتاً از تلفات تولیدشده در بخش‌های آهنی هسته به دلیل شار نشتی انتهای سیم‌پیچی، تلفات ایجادشده در سیم‌پیچی‌های استاتور به دلیل شار نشتی شیار و شار نشتی انتهای سیم‌پیچی و تلفات تولیدشده در دریچه‌های انگشتی درون هسته‌های آهن حاصل از شار اصلی، ناشی می‌شود [۷۷].

جدول ۱۸-۲ : بخش‌های مختلف تولیدکننده تلفات آهن در ژنراتور [۷۷]

انواع تلفات	بخش‌های ژنراتور	شار و میدان پیوندی
تلفات آهن اصلی (جریان گردابی و هیسترزیس)	صفحه ورقه‌ورقه هسته	شار اصلی
تلفات جریان گردابی در بخش انتهایی سیم‌پیچی	سطح انتهایی صفحه ورقه‌ورقه هسته	شار نشتی سیم‌پیچی‌های روتور
تلفات جریان گردابی در سیم‌پیچی‌های استاتور	رشته‌های کویل استاتور (تلفات ادی‌کارنت محلی)	شار نشتی سیم‌پیچی‌های روتور
تلفات جریان گردابی در سطح روتور	قطب، گوه، میله میراکننده و ...	میدان هارمونیکی ناشی از شیارهای استاتور
سایر تلفات	منفذهای انگشتی، صفحه هسته	شار اصلی
	پیچ هسته، نگه‌دارنده هسته	شار نشتی در سطح بیرونی هسته استاتور

تلفات پراکندگی بار به طور کلی شامل تلفاتی است که اطراف هسته آهنی، در سیم‌پیچی استاتور و سطح روتور ایجاد می‌شوند. دو نوع تلفات حول هسته آهنی ایجاد می‌شوند: (۱) تلفات تولیدی در دندانه‌های هسته آهنی به دلیل شار نشتی شیار و (۲) تلفات تولیدی در هسته آهنی و بخش‌های آن و انتهای فریم به دلیل شار نشتی انتهای سیم‌پیچی.

جدول ۱۹-۲ : بخش‌های مختلف تولیدکننده تلفات پراکندگی بار در ژنراتور [۷۷]

نوع تلفات	بخش‌های ژنراتور	شار و میدان پیوندی
تلفات آهن اضافی (ادی‌کارنت و هیسترزیس)	صفحه ورقه‌ورقه هسته (مخصوصاً بخش‌های دندانه‌ای)	شار نشتی شیار استاتور
تلفات ادی‌کارنت در بخش انتهایی	سطح انتهایی صفحه ورقه‌ورقه، محافظ انتهای مغناطیسی، انتهای فریم و غیره	شار نشتی سیم‌پیچی‌های استاتور و روتور، شار نشتی حلقه‌های موازی
تلفات ادی‌کارنت در سیم‌پیچی‌های استاتور	رشته‌های کویل استاتور، اتصالات سری در انتهای کویل، حلقه موازی و غیره (تلفات ادی‌کارنت محلی)	شار نشتی شیار استاتور، شار نشتی سیم‌پیچی‌های استاتور و روتور، شار نشتی حلقه‌های موازی
	رشته‌های کویل استاتور (ادی‌کارنت چرخشی)	شار نشتی شیار استاتور، شار نشتی سیم‌پیچی‌های استاتور و روتور
تلفات ادی‌کارنت در سطح روتور	قطب، گوه، میله میراکننده	میدان هارمونیکی ناشی از سیم‌پیچی‌های استاتور
سایر تلفات	جعبه سربی، بوشینگ	شار نشتی سرب اصلی

در ادامه روش‌هایی برای تحلیل تلفات تولیدشده در هر بخش ژنراتور که سعی در تلفات آهن و پراکندگی بار دارد، ارائه خواهد شد.

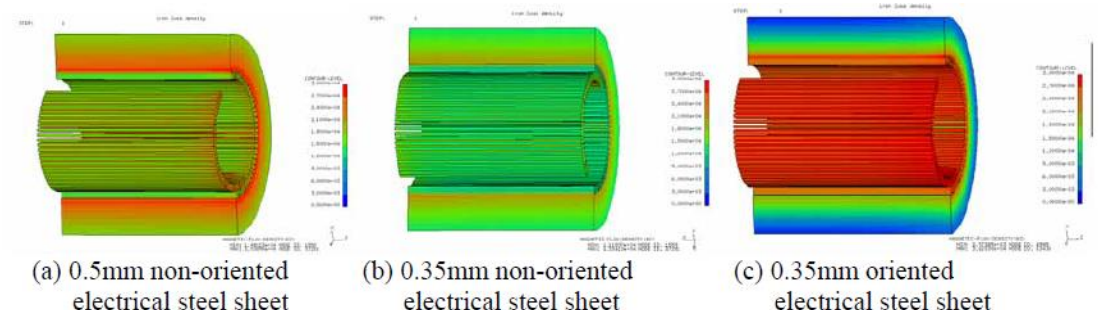
- تلفات اصلی آهن

تلفات تولیدشده در هسته ورقه‌ورقه استاتور با تعیین هیسترزیس چگالی شار هر المان و با استفاده از مدل کلی ژنراتور بر اساس داده‌های اندازه‌گیری‌شده از چگالی شار و تلفات آهن در ماده سازنده هسته، محاسبه می‌شود [۷۸]. در صورتی که مش ایجادشده تمام داکت‌های تهویه را پوشش دهد، بخش‌های مش به شدت زیاد شده و فرایند محاسبه غیرعملی خواهد شد. به همین دلیل، در مدل پیشنهادی از داکت‌های تهویه صرف‌نظر شده است. در مدل پیشنهادی، مشخصات مغناطیسی هسته آهنی با استفاده از (۱۰-۲) شبیه‌سازی می‌شود.

$$B_{\mathrm{mod}}(H) = \mu_0(1-p)H + pB(H) \qquad (۱۰-۲)$$

در این رابطه منظور از $B_{mod}(H)$ مشخصه‌ی مغناطیسی مورد استفاده در محاسبه، μ_0 نفوذپذیری مغناطیسی خلاء، p چگالی وزنی هسته و $B(H)$ مشخصه‌ی مغناطیسی اندازه‌گیری‌شده هسته آهنی هستند.

شکل ۱۳۳-۲، توزیع تلفات اصلی آهنی را در یک آزمون مدار باز و حین استفاده از صفحات فولاد الکتریکی بدون جهت با ضخامت ۰/۵ و ۰/۳۵ میلی‌متر در مقایسه با استفاده از صفحات فولاد الکتریکی جهت‌دار با ضخامت ۰/۳۵ میلی‌متر نشان می‌دهد. از روی شکل صفحات فولادی جهت‌دار و به دلیل این‌که تلفات در دندانه‌ها زیاد است، تلفات آهنی کل صفحات فولادی جهت‌دار در مقایسه با صفحات فولادی بدون جهت ۰/۳۵ میلی‌متری چندان هم کم‌تر نیست. نسبت تلفات اصلی سه حالت صفحات بدون جهت با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر، صفحات بدون جهت با ضخامت ۰/۳۵ میلی‌متر و صفحات جهت‌دار با ضخامت ۰/۳۵ میلی‌متر به ترتیب ۱، ۰/۷۶ و ۰/۶۲ است. به همین دلیل و به دلیل تفاوت ناچیز موجود، استفاده از صفحات بدون جهت پیشنهاد شده است [۷۷].

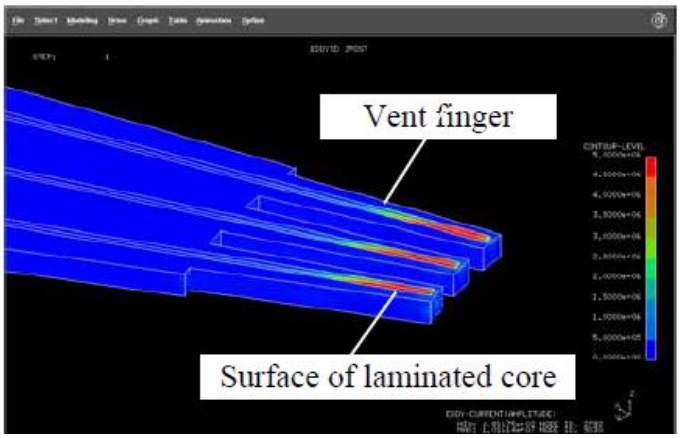


شکل ۱۳۳-۲ : توزیع تلفات اصلی آهنی **[۷۷]**

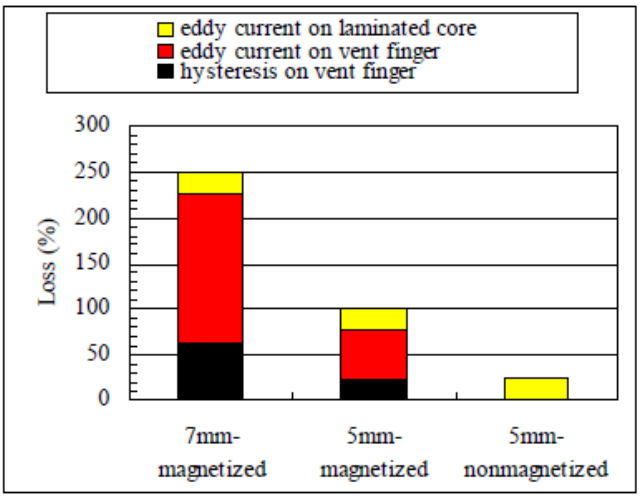
- تلفات حول داکت‌های تهویه

ابتدا لازم است تا یک تحلیل سه‌بعدی بر اساس مدل نیمه‌بسته بین داکت‌های تهویه انجام شده و سپس تلفات ادی‌کارنت تولیدی در منفذهای انگشتی و سطح هسته آهنی ورقه‌ورقه محاسبه شود. در مواردی که منفذهای انگشتی از مواد مغناطیسی ساخته شده باشند، لازم است تلفات هیسترزیس تولیدی نیز محاسبه شود. به منظور محاسبه‌ی تلفات ادی‌کارنت در سطح هسته آهنی ورقه‌ورقه، از روش همگن‌سازی استفاده شده است. در این روش ناهمسان‌گردی رسانش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۷۹].

شکل ۱۳۴-۲ توزیع چگالی تلفات ژنراتور را طی یک آزمون مدار باز در بخش منفذهای انگشتی مغناطیسی‌شده نشان می‌دهد. پیکربندی منفذهای انگشتی ناحیه پشت هسته ساده‌سازی شده است، چرا که تلفات بخش انگشتی داکت عمدتاً در بخش نوک دندانه استاتور تولید می‌شود. شکل ۱۳۵-۲ نیز تفکیک تلفات حول داکت‌های تهویه را طی یک آزمون مدار باز نشان می‌دهد [۷۷].



شکل ۱۳۴-۲ : توزیع چگالی تلفات حول داکت‌های تهویه **[۷۷]**



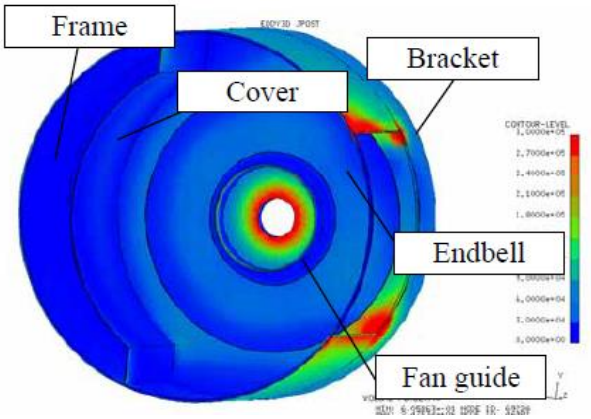
شکل ۱۳۵-۲ : تفکیک تلفات حول داکت‌های تهویه [۷۷]

سپس نتایج با حالتی که مقایسه شده است که بخش‌های انگشتی تهویه از مواد مغناطیسی با ضخامت‌های ۵ و ۷ میلی‌متر ساخته شده باشند مقایسه شده‌اند. شکل ۱۳۵-۲ به وضوح نشان می‌دهد که تلفات در بخش‌های انگشتی تهویه که از مواد غیرمغناطیسی ساخته شده‌اند به شدت کمتر است. همچنین زمانی که این بخش‌ها از مواد مغناطیسی ساخته شده باشند، چنانچه ضخامت داکت بیشتر شود، تلفات نیز بیشتر خواهد بود.

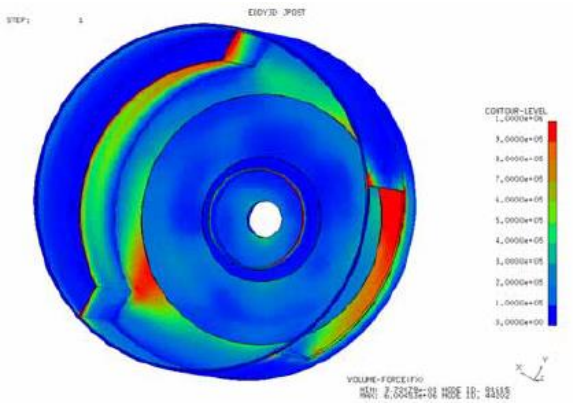
- تلفات در انتهای فریم و بخش‌های انتهایی هسته آهنی

ابتدا، بخش‌های انتهایی کویل و حلقه‌های موازی در نواحی با پتانسیل کاهش‌یافته، با المان‌های کویل جایگزین می‌شوند و سپس یک تحلیل سه‌بعدی از تلفات ادی‌کارنت ناشی از شار نشتی هر جز در بخش‌های انتهایی ژنراتور انجام می‌گیرد.

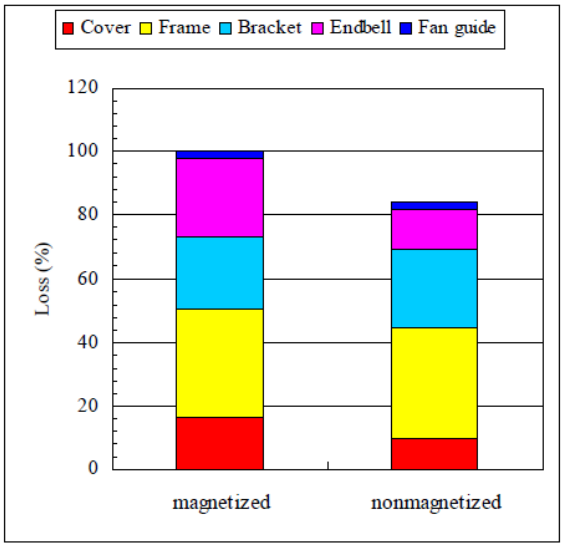
شکل ۱۳۶-۲ و شکل ۱۳۷-۲، توزیع چگالی تلفات ژنراتور حین یک آزمون اتصال کوتاه سه فاز، ناشی از شار نشتی بخش‌های انتهایی کویل و حلقه‌های موازی را نشان می‌دهند. این نتایج مربوط به حالتی هستند که رویه و بخش‌های زنگوله‌ای انتهایی از مواد غیرمغناطیسی ساخته شده باشند. شکل ۱۳۸-۲ نیز مقایسه تلفات بین رویه‌ها و بخش‌های زنگوله‌ای انتهایی مغناطیسی و غیرمغناطیسی را نشان می‌دهد. در حالتی که رویه و بخش‌های زنگوله‌ای انتهایی از مواد مغناطیسی ساخته شده باشند، شار نشتی به فریم و قلاب‌ها کمتر و تلفات در رویه و بخش‌های زنگوله‌ای انتهایی و در نتیجه‌ی آن، تلفات کلی بیشتر خواهد بود [۷۷].



شکل ۱۳۶-۲ : توزیع چگالی تلفات در بخش‌های انتهایی به دلیل شار نشتی از انتهای کویل [۷۷]



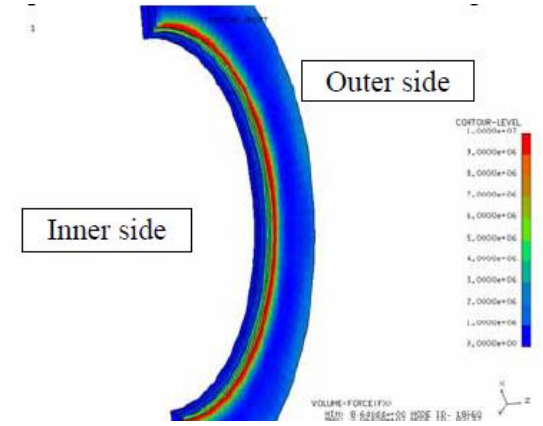
شکل ۱۳۷–۲ : توزیع چگالی شار در بخش‌های انتهایی به دلیل شار نشتی از حلقه‌های موازی [۷۷]



شکل ۱۳۸–۲ : مقایسه تلفات رویه‌ها و بخش‌های زنگوله‌ای انتهایی مغناطیسی و غیرمغناطیسی [۷۷]

به منظور بررسی تلفات بخش‌های انتهایی هسته شامل صفحات انگشتی، کلمپرها، محافظها با انتهای مغناطیسی و کلمپرهای محافظ، ابتدا تلفات ادی‌کارنت و هیسترزیس به دلیل شار نشتی از سیم‌پیچی‌های استاتور و روتور محاسبه می‌شود. این محاسبه با ساختن یک مش سه‌بعدی تعریف‌کننده صفحات انگشتی غیرمغناطیسی، کلمپرهای مغناطیسی، محافظ‌های ورق‌ورقه مخروطی با انتهای مغناطیسی و کلمپرهای محافظ غیرمغناطیسی انجام می‌گیرد.

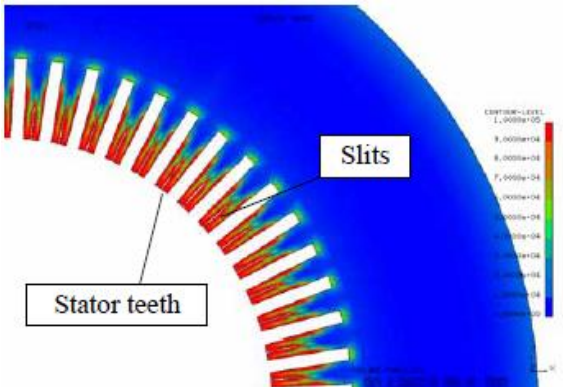
شکل ۱۳۹–۲ توزیع چگالی تلفات در محافظ با انتهای مغناطیسی را نشان می‌دهد. این شکل بر اساس نتایج آزمون‌های اتصال کوتاه سه فاز حاصل شده است. طبق این نتایج، به وضوح مشخص است که تلفات در بخش‌های زاویه‌دار قطر داخلی محافظ‌های با انتهای مغناطیسی متمرکز خواهد بود.



شکل ۱۳۹–۲ : توزیع چگالی تلفات در محافظ با انتهای مغناطیسی [۷۷]

- تلفات در بخش‌های انتهایی هسته استاتور

ابتدا لازم است تا تلفات ادی‌کارنت تولیدی در بخش‌های انتهایی هسته استاتور به دلیل شار نشتی از سیم‌پیچی‌های استاتور و روتور، با به کارگیری روش همگن‌سازی محاسبه شود. شکل ۱۴۰–۲ چگالی توزیع تلفات ادی‌کارنت ژنراتور را حین یک آزمون مدار باز نشان می‌دهد. از این شکل به وضوح می‌توان مشاهده کرد که تلفات در لبه‌ی دندانه‌ها بیشتر است. این نکته هنگام طراحی شیارهایی در لبه‌ی دندانه‌ها به منظور کاهش تلفات، حائز اهمیت است [۷۷].

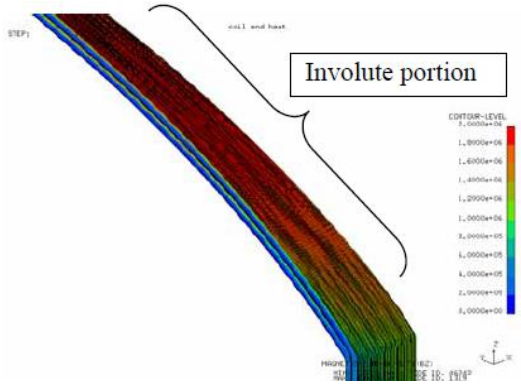


شکل ۱۴۰–۲ : توزیع چگالی تلفات در بخش‌های انتهایی هسته استاتور [۷۷]

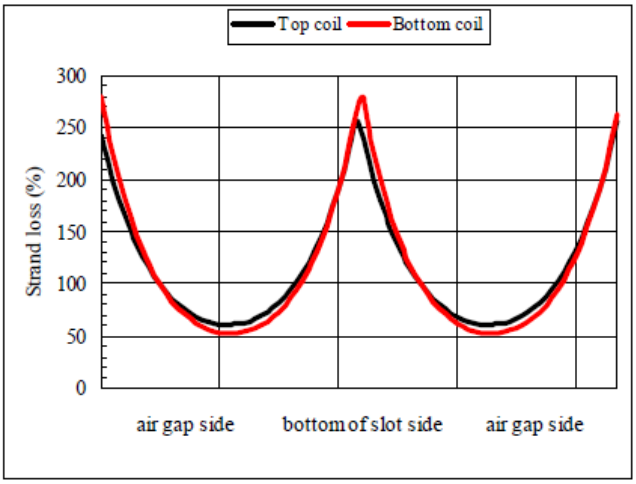
- تلفات در سیم‌پیچی‌های استاتور

در این بخش از ژنراتور، دو نوع تلفات وجود دارد: (۱) تلفات ادی‌کارنت محلی تولیدشده در رشته‌های سیم‌پیچی‌های استاتور و (۲) تلفات جریان گردشی ناشی از جریان‌های گردابی که بین رشته‌های سیم‌پیچی‌های استاتور در چرخش هستند. به منظور اندازه‌گیری تلفات در داخل شیارها، بر اساس تحلیل دوبعدی و یک مش شامل المان‌های متناظر با تک‌تک رشته‌ها، محاسبه‌ای ساده انجام می‌شود.

شکل ۱۴۱–۲ توزیع چگالی تلفات ادی‌کارنت محلی را در بخش‌های انتهایی کویل حین انجام آزمون اتصال کوتاه سه فاز نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است، تلفات ادی‌کارنت محلی در بخش‌های پیچ‌درپیچ نزدیک به هسته استاتور بیشتر می‌شود. شکل ۱۴۲–۲ نیز حاکی از آن است که تلفات جریان چرخشی حتی در شرایطی که از رشته‌ها به صورت روبل جابجاشده استفاده شده باشد، وجود دارد و تلفات در رشته‌های مستقر در فاصله هوایی سمت انتهای کویل، بیشترین مقدار خود را داراست [۷۷].



شکل ۱۴۱-۲ : توزیع چگالی تلفات ادی‌کارنت محلی [۷۷]



شکل ۱۴۲-۲ : تلفات رشته‌ها ناشی از توزیع جریان چرخشی [۷۷]

- تلفات سیم‌پیچی‌های دمپر

یکی از روش‌های پیشنهادی برای کاهش تلفات سیم‌پیچی دمپر، مورب‌کردن شیارهاست. به منظور بررسی تأثیر این تغییر روی تلفات ژنراتور، از مدل‌سازی FEM استفاده می‌شود. هنگام بررسی اثر مورب‌کردن شیارها باید به این نکته توجه شود که تعداد بخش‌های مدل دوبعدی می‌تواند اثر قابل توجهی روی نتایج بگذارد. به منظور شناسایی حداقل تعداد بخش‌های محور مدل برای محاسبه دقیق جریان میله‌های میراکننده، به انجام تعدادی شبیه‌سازی FEM نیاز است [۸۰].

به عنوان مثال، وضعیتی که در آن زاویه بین استاتور و شیارهای میله دمپر ۲۵٪ تفاوت داشته باشد، برای بررسی مد نظر قرار می‌گیرد. مشخصات نامی ژنراتور مورد آزمایش در جدول ۲۰-۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲۰-۲ : مشخصات ژنراتور تحت آزمون [۸۰]

پارامتر	نماد	واحد	مقدار
توان نامی	S_n	kVA	۸۳۵۰۰
ولتاژ نامی	U_n	V	۱۰۵۰۰
تعداد قطب‌های	2	-	۴۴

		p	
۸،۰۰۰	mm	D	**قطر منفذ استاتور**
/۵ ۱۹	mm	D_{δ}	**حداقل پهنای فاصله هوایی**
۳۹ ۶	–	N_2	**تعداد شیارهای استاتور**

جمعاً ۷ مدل FEM تولیدشده که تفاوت آن‌ها در تعداد برش‌های مقطعی محوری از ۱ تا ۷ عدد است. جدول ۲۱-۲ نتایج اصلی حاصل از برش‌های مقطعی محوری میله استاتور را نشان می‌دهد. در این جدول جریان و تلفات مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند.

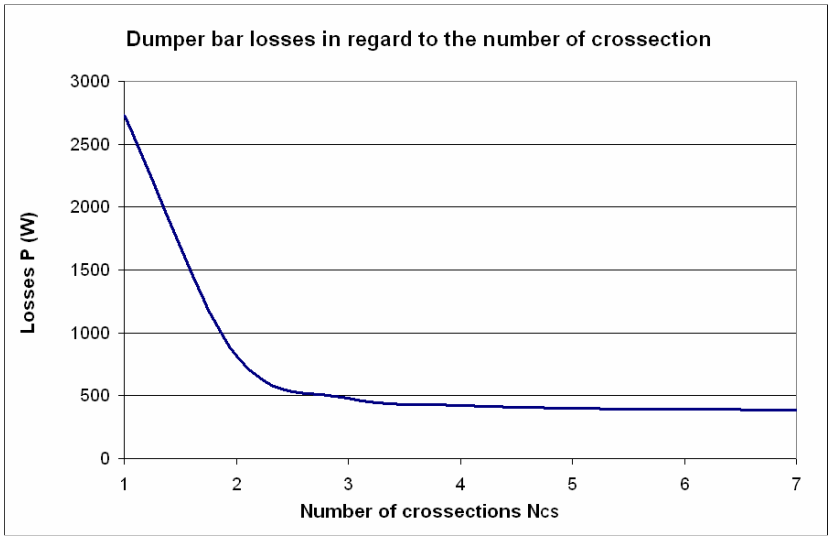
در این جدول، پارمترها به قرار زیر هستند:

- N_{CS}: تعداد برش‌های مقطعی مورد استفاده در شبیه‌سازی دوبعدی
- I_{max}: مقدار موثر جریان میله دمپر قطب با بیشترین بارگذاری
- I_{mean}: مقدار موثر متوسط تمام میله‌های دمپر
- Γ_{max}: چگالی جریان میله دمپر قطب با بیشترین بارگذاری
- Γ_{mean}: چگالی جریان متوسط تمام میله‌های دمپر
- P_{DW}: تلفات کل میله‌های دمپر

جدول ۲۱-۲ : اثر تعداد برش‌های مقطعی محوری روی جریان و تلفات میله دمپر **[۸۰]**

بی‌نهایت	**۷**	**٦**	**٥**	**٤**	**۳**	**۲**	**۱**	N_{CS}
/۸ ۱۰۹	۰ ۱۱۲/	۸ ۱۱۲/	۱ ۱۱۴/	۷ ۱۱۶/	۹ ۱۲۲/	۱ ۱۴۸/	۴ ۳۴۳/	**I_{max} (A)**
۶۲/۴	۷ ۶۳/	۲ ۶۴/	۰ ۶۵/	۶ ۶۶/	۸ ۷۰/	۶ ۹۳/	۵ ۱۸۰/	**I_{mean} (A)**
۵/۵۹	۷ ۵/۰	۷ ۵/۴	۸ ۵/۱	۹ ۵/۴	۲ ۶/۶	۵ ۷/۴	۴ ۱۷/۹	**Γ_{max} (A/mm^2)**
۳/۱۸	۲ ۳/۴	۲ ۳/۷	۳ ۳/۱	۳ ۳/۹	۶ ۳/۱	۷ ۴/۷	۱ ۹/۹	**Γ_{mean} (A/mm^2)**
۳۷۲	۳ ۸۷	۳ ۹۳	۴ ۰۳	۴ ۲۳	۴ ۷۷	۸ ۱۲	۲ ۷۳۳	**P_{DW} (W)**

همچنین شکل ۱۴۳-۲، تأثیر تعداد برش‌های مقطعی محوری را روی تلفات میله‌های دمپر نشان می‌دهد.



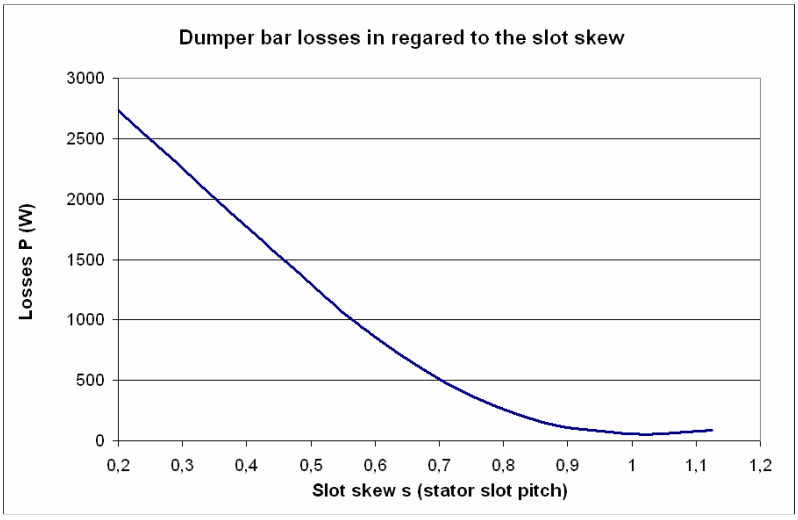
شکل ۱۴۳-۲ : تأثیر تعداد برش‌های مقطعی محوری روی تلفات میله‌های دمپر [۸۰]

به منظور بررسی اثر میزان مورب‌بودن شیار استاتور روی جریان و تلفات میله‌های دمپر، شبیه‌سازی‌های FEM مختلفی با زوایای انحراف مختلف صورت می‌گیرد و نتایج مطابق جدول ۲۲-۲ استخراج خواهند شد.

جدول ۲۲-۲ : تأثیر میزان مورب‌بودن شیار استاتور روی جریان و تلفات میله‌های دمپر [۸۰]

s	۰	۵۲ ۰/۵	۶ ۰/	۶۷ ۰/۵	۷ ۰/۵	۸۲ ۰/۵	۹ ۰/	۱	۰ ۱/۵	۱۲ ۱/۵
I_{max} (A)	۴ ۳۴۳/	/۰ ۲۱۴	۶ ۱۷۹/	/۶ ۱۴۴	۸ ۱۰۹/	/۴ ۷۶	۲ ۴۶/	۶ ۳۷/	۸ ۳۶/	/۶ ۴۳
I_{mean} (A)	۵ ۱۸۰/	/۱ ۱۰۶	۶ ۹۱/	/۱ ۷۷	۴ ۶۲/	/۹ ۴۷	۹ ۳۴/	۹ ۲۴/	۷ ۲۵/	/۵ ۳۰
Γ_{max} (A/mm^2)	۴ ۱۷/۹	/۹۰ ۱۰	۱ ۹/۵	/۳۵ ۷	۵ ۵/۹	/۸۹ ۳	۳ ۲/۵	۹ ۱/۱	۸ ۱/۸	/۹۵ ۱
Γ_{mean} (A/mm^2)	۱ ۹/۹	/۴۱ ۵	۶ ۴/۷	/۹۳ ۳	۱ ۳/۸	/۴۴ ۲	۷ ۱/۸	۲ ۱/۷	۳ ۱/۱	/۵۵ ۱
P_{DW} (W)	۲ ۷۳۳	۱۱ ۷۴	۸ ۵۶	۵۸ ۸	۳ ۷۲	۲۱ ۱	۱ ۰۸	۵ ۷	۵ ۹	۸۴

همچنین شکل ۱۴۴-۲، تأثیر میزان مورب‌بودن شیارهای استاتور را روی تلفات میله‌های دمپر نشان می‌دهد.



شکل ۱۴۴-۲ : تأثیر افزایش مورب‌بودن شیار استاتور روی تلفات میله‌های دمپر **[۸۰]**

- اقدامات متفرقه به منظور ارتقای عملکرد ژنراتورها
  - افزایش گرید هسته

ورق هسته مغناطیسی آلیاژی فولادی است که نورد سرد شده و در کنار مواد هادی جریان و مواد عایقی، سازنده بخش الکتریکی و هدایت‌کننده میدان مغناطیسی ماشین است [۸۱].

خواص ایده‌آل ورق هسته مغناطیسی به کار رفته در ماشین‌های الکتریکی:

- نفوذ پذیری بالا (برای کاهش مقاومت مدار مغناطیسی)
- چگالی شار اشباع بالا (برای به حداقل رساندن حجم و وزن قطعات آهنی)
- تلفات پایین (به دلیل تأثیرگذاری تلفات روی راندمان و افزایش دما) می‌باشد.

نفوذ پذیری بالا: با توجه به‌این‌که این ضریب، رابطه بین چگالی شار مغناطیسی (B) وشدت میدان مغناطیسی (H) را تعیین می‌کند. هر اندازه که نفوذپذیری ورق هسته بالاتر باشد، چگالی شار مغناطیسی بیشتری در ازای یک میدان مغناطیسی ثابت در ماشین بوجود آمده و سبب افزایش راندمان می‌شود. نفوذپذیری ورق هسته با اندازه ریز ذرات، بافت خوب و پیوسته ورق و ناخالصی کم بالا می‌رود [۸۱].

سطح اشباع مغناطیسی: هسته‌های مغناطیسی سطح اشباع مشخصی برای چگالی فلوی مغناطیسی عبوری از خود دارند که اعمال چگالی شار مغناطیسی بیشتر از آن سبب شارش بیشتر نشده و تنها باعث تلف شدن انرژی و گرما می‌گردد. مقدار این پارامتر بستگی به جنس وگرید ورق هسته مغناطیسی داشته و هر چه عدد آن بیشتر باشد، مطلوب‌تر است و در فرایند طراحی، بارگیری مغناطیسی بیشتری را در اختیار سازنده می‌گذارد. در نتیجه وزن کلی هسته کمتر می‌شود. یکی از شاخص‌های مهم در انتخاب مواد مغناطیسی تلفات آهنی است. تلفات آهنی کلی در ماشین مجموع تلفات هیسترزیس و تلفات جریان گردابی است.

تلفات هیسترزیس: ناشی از ممان اینرسی داپل‌های مغناطیسی است و این تلفات در هر سیکل با سطح احاطه شده توسط حلقه هیسترزیس دریک ماده متناسب است. تلفات هیسترزیس با ماده ضخیم، ناخالصی کم، اندازه درشت ذرات، بی-نظمی‌های کم در سطح، مقدار کم آلیاژ، به حداقل خواهد رسید.

تلفات توان در هسته به سبب تأثیر پدیده‌ی هیسترزیس طبق رابطه‌ی (۱۱-۲) قابل محاسبه است:

$$P_h = V_{core}.W_h.f \quad (۲-۱۱)$$

که در آن f فرکانس تغییرات جریان است. محاسبه‌ی مساحت حلقه‌ی B-H کاری دشوار است، چرا که مشخصه‌های B-H غیرخطی و دارای چند مقدار هستند و توصیف ریاضی دقیقی از آن‌ها نیز در دسترس نیست. چارلز اشتاین‌متز[1] از شرکت جنرال الکتریک[2] آزمایش‌های متعددی انجام داده و بر اساس آن‌ها رابطه‌ای تقریبی برای مواد مغناطیسی به کار رفته در ماشین‌های الکتریکی ارائه کرد. رابطه‌ی (۲-۱۲)، معادله‌ی اصلی اشتاین‌متز را نشان می‌دهد.

$$P_h = K_h.B_{max}^n.f \quad (۲-۱۲)$$

که در آن B_{max} چگالی شار بیشینه، n عددی ثابت که بین ۱/۵ تا ۲/۵ تغییر می‌کند (بسته به جنس هسته) و K_h نیز ثابتی معروف به ثابت اشتاین‌متز است.

تلفات جریان گردابی: جریانهای الکتریکی گردشی که در یک ورق هادی در معرض میدان مغناطیسی متناوب، القاء می شوند، توانی را تولید می‌کنند که به صورت گرما تلف می‌شود. جریان گردابی (فوکو) با مقدار زیاد آلیاژ، اندازه ریز ذرات، ماده نازک، بافت خوب و پیوسته ورق کم خواهد شد. از دیگر راه‌های کاهش تلفات جریان گردابی پایین آوردن سطح مقطع شارعبوری و به تبع آن کاهش مقدارجریان‌گردابی و تلفات فوکو القا شده در آن‌ها، ساخت ورق‌های هسته بصورت عایق‌شده ازیکدیگر هستند و در یک سطح مقطع کلی مشخص هر چقدر ضخامت این ورق‌ها کمتر و تعداد آن‌ها بیشتر باشد، تلفات بوجود آمده در آن‌ها کمتر خواهد بود. در عمل، بهینه‌سازی همه این ویژگی‌ها در یک ماده‌ی تنها غیرممکن است. به علاوه بین داشتن تلفات کم و نفوذپذیری زیاد، تضاد و ناسازگاری وجود دارد. روش کاهش تلفات در فرکانس ۵۰ هرتز، استفاده از ورقه‌های عایق شده با ضخامت بین ۰/۳۵-۰/۶۵ mm است [۸۱].

- پارامترهای مهم و اساسی هسته‌های مغناطیسی

برای توصیف و مقایسه کیفیت هسته‌های مغناطیسی چند پارامتر مهم و اساسی وجود دارد که توجه به آن‌ها از ضرورت ویژه‌ای برخوردار است. این پارامترها در ادامه تشریح می‌شوند.

عنصرسیلیکون باعث کاهش مقاومت (رلوکتانس) مغناطیسی و شارش بهتر میدان مغناطیسی می‌شود. از این رو میزان سیلیکون موجود در آنالیز شیمیایی هسته‌های مغناطیسی از پارامترهای مهم هسته‌های مغناطیسی می‌باشند. افزودن درصد کمی سیلیکون به آهن نرم موجب بهبود چندین ویژگی در آهن خواهد شد:

- مقاومت افزایش می یابد.
- نیروی پسماندزدا به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.
- پایداری خواص مغناطیسی برای مدت زمان خیلی بیشتری افزایش خواهد یافت.

اگر چه وجود سیلیکون باعث می شود که چگالی شار اشباع به اندازه ناچیزی کاهش یابد، اما مقاومت اهمی آهن آلیاژی با ۳ درصد سیلیکون نسبت به آهن خالص، ۴ برابر است. افزودن تقریباً بیش از ۵ درصد سیلیکون به آهن آن را شکننده می‌کند و کار با آن بسیار سخت خواهد شد. این مسئله بیشینه مقدار سیلیکون را در مواد تجاری به میزان ۳/۴ درصد محدود می‌کند [۴۸].

[1] Charles Steinmetz
[2] General Electric

مطابق رابطه زیر که برای اندازه‌گیری تلفات فوکوی یک هسته مغناطیسی استفاده می‌گردد، هرچه ضخامت ورق کمتر باشد، جریان گردابی القا شده در آن کمتر و به تبع آن تلفات الکتریکی آن نیز کمتر خواهد بود. در نتیجه ورق‌های مغناطیسی نازک‌تر عملکرد بهتری نسبت به انواع ضخیم‌تر دارند. به عبارتی:

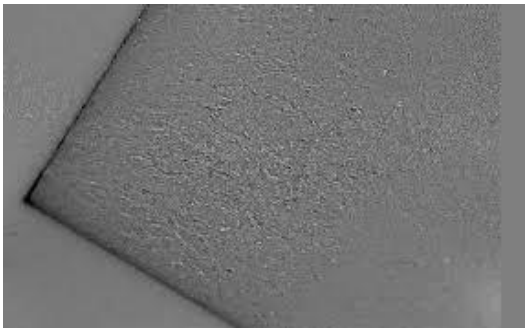
$$P_e = K_e.B_P^2.t^2.f^2 \qquad (۲-۱۳)$$

در این رابطه K_e ضریب فوکو، B_P چگالی شار مغناطیسی، t ضخامت ورق و f فرکانس ولتاژ است [۸۱].

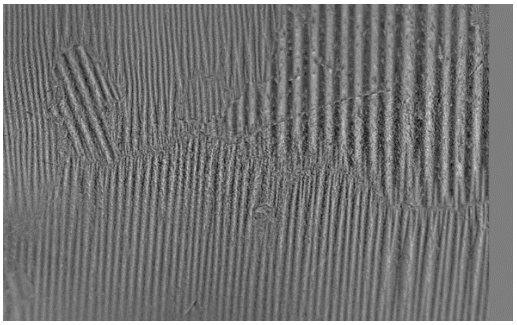
دو عامل میزان سیلیکون و ضخامت ورق، عواملی هستند که امروزه در تمامی انواع تجاری ورق‌های هسته لحاظ شده‌اند. انتخاب مواد هسته بگونه ای صورت میگیرد که تا حد امکان اقتصادی بوده و مشخصات فنی مورد نظر را برآورده نماید. برای موتورها و ژنراتورهای ۳ فاز معمول (بازده زیر W ۲۵۰ معمولاً در حدود ۷۰ درصد است و برای موتورهای بالاتر به بیش از ۹۰ درصد افزایش می یابد)، عموماً از فولادهای الکتریکی کم‌تلفات و غیرجهت دار با تلفاتی در حدود ۴ وات بر کیلوگرم استفاده می‌شود.

اما در فرایند تولید ماشین‌های خاص مانند ساخت توربوژنراتورهای بزرگ، برخی از موتورهای صنایع دفاع، موتورهای فرکانس بالا و جاهایی که راندمان بر هزینه اولویت دارد، از ورق هسته جهت دار یا ورق هسته با آلیاژهای خاصی از فولاد که چگالی شار بیشتر و نفوذپذیری مغناطیسی بهتری را در اختیار سازندگان قرار دهد، استفاده می‌شود؛ بنابراین سازندگان همواره در پی یافتن روش‌های جدیدی برای تولید فولادهای الکتریکی جهت‌دار و یافتن ترکیبات آلیاژهای ویژه فولاد برای حصول به حداکثر بهره‌وری هستند.

کریستال‌ها یا به‌عبارتی دانه‌های سازنده هسته، اگر بطور تصادفی پراکنده شده باشند و مداخله‌ای برای جهت‌دهی آن‌ها صورت نگرفته باشد، به صورت غیرجهت‌داده شده (CRNGO) خواهند بود، درحالی‌که اگر در جهت‌دهی کریستال‌های هسته به‌هنگام فرآیند تولید مداخله‌ای صورت گرفته و بتوان تمامی و یا اکثریت آن‌ها را در یک راستا، جهت‌دهی کرد، هسته قابلیت گذردهی شار مغناطیسی بیشتری داشته و از مرغوبیت بالاتری برخوردار خواهد بود که به این دسته از هسته‌های مغناطیسی، هسته‌های مغناطیسی جهت داده شده (CRGO) اطلاق می‌شود. ورق‌های هسته غیر جهت دهی شده با نام non oriented و ورق‌های هسته جهت‌دهی شده با نام oriented نیز شناخته می‌شوند [۸۱].



شکل ۱۴۵-۲ : تصویر میکروسکوپی ورق فولاد سیلیکونی بدون جهت [۸۱]



شکل ۱۴۶-۲ : تصویر میکروسکوپی ورق فولاد سیلیکونی جهت‌دار [۸۱]

برخی از خواص فولادهای جهت‌دار مارک تجاری آرمکو در جدول ۲۳-۲ زیر ارائه شده‌اند:

جدول ۲۳-۲ : برخی از خواص فولادهای جهت¬دار مارک تجاری آرمکو [۸۱]

نام تجاری	ضخامت (mm)	تلفات هسته در ۱/۵ تسلا و ۵۰ هرتز	تلفات هسته در ۱/۷ تسلا و ۵۰ هرتز
Oriented-Armco	۰/۱۸	۰/۷۰	–
	۰/۲۳	۰/۷۷	–
	۰/۲۷	۰/۸۵	۱/۲۴
	۰/۳۵	۱/۱۱	۱/۵۷
Tran-CorH	۰/۲۳	–	۱/۰۱
	۰/۲۷	–	۱/۱۱

آلیاژهای آهن- کبالت (پرمندور) بیشترین چگالی شار اشباع، به طور معمول ۲/۳۵ تـسلا را دارا هستند و دو نوع متمایز دارند: پرمندور ۲۴ و پرمندور ۴۹

- **آلیاژ پرمندور ٢٤:** شامل ۲۴ دردصد کبالت است. ساختار مکانیکی نسبتا مناسبی دارد و برای ساخت و فرم‌دهی قطعات پیچیـده ماننـد قطعـات قطب مغناطیسی مناسب است و نسبت به پرمندور ۴۹ قیمت کمتری دارد.
- **آلیاژ پرمندور ٤٩:** شامل ۴۹ درصد کبالت و ۲ درصد وانادیوم است. خواص مکانیکی بهتـری دارد. چنـین آلیاژی با وجود هزینه بالای تولید، کاربردهای مهمی در ژنراتورهـای خاص و بعـضی موتورهـای ۴۰۰ هرتز دارد که در آن‌ها چگالی شار اشباع بالا، صـرفه‌جـویی در حجـم و وزن را ممکـن مـی سازد. نفوذپذیری نسبی پرمندور ۴۹ به طور قابل توجهی از پرمندور ۲۴ بیشتر است.

خواص معمول آلیاژهای معمول پرمندور در جدول ۲۴-۲ جمع‌آوری شده‌اند:

جدول ۲۴-۲ : خواص معمول آلیاژهای معمول پرمندور [۸۱]

	پرمندور ٤٩	پرمندور ٢٤
شار اشباع (تسلا)	۲/۳۵	۲/۳۵

حداکثر نفوذپذیری نسبی	۷۰۰۰	۲۰۰۰
مقاومت ویژه (اهم در میکرومتر)	۰/۴۰	۰/۲۰
چگالی (kg/m^3)	۸۰۷۰	۷۰۹۵

میزان سیلیکون، جهت‌دهی کریستالی و ضخامت ورق، به عنوان پارامترهای اساسی در تعیین کیفیت هسته، نهایتاً منجر به افزایش و یا کاهش تلفات هسته در واحد وزن می‌شوند و پارامتری بسیار اساسی و تعیین‌کننده در انتخاب هسته به شمار می‌روند. از این رو شرکت‌های سازنده هسته معمولاً میزان تلفات هسته در واحد وزن و همین‌طور سطح اشباع مغناطیسی هسته را به عنوان معیارهای اصلی در کیفیت‌سنجی هسته در نظر می‌گیرند و همواره در حال بهبود این پارامترها هستند [۸۱].

- ارتقای نیروگاه‌های مستعمل و قدیمی

به منظور استفاده‌ی بیشتر و موثر از نیروگاه‌های قدیمی و مستعمل، روش‌هایی توسط شرکت Fuji Electric پیشنهاد شده است که در ادامه و پس از معرفی برخی مشکلات مهم موجود در واحدهای نیروگاهی قدیمی، به آن‌ها اشاره خواهد شد [۸۲].

برخی مشکلات مهم و جدی پیرامون واحدهای نیروگاهی حرارتی قدیمی عبارتند از:

- نگرانی بابت قدیمی‌شدن کل واحد نیروگاهی و احتمال وقوع مشکل و حادثه
- نگرانی پیرامون آسیب‌های احتمالی ناشی از خرابی مواد مورد استفاده در توربین بخاری دما و فشار بالا
- گرفتگی، خوردگی و ساییدگی و فرسایش در سرتاسر توربین بخاری
- نگرانی پیرامون حوادثی ناشی از گرفتگی لوله‌ها، باریک‌شدن ضخامت دیواره‌ی لوله و پاره‌شدن لوله
- از بین رفتن عایق و کاهش طول عمر ژنراتور و سایر تجهیزات الکتریکی
- تعمیر ناقص ناشی از تاخیر در استفاده‌ی پیوسته از تجهیزات کهنه
- کاهش قابلیت اطمینان تجهیزات کنترل و حفاظت
- عملکرد ناصحیح ناشی از تاخیر در بهترکردن عملکرد تجهیزات و نیروگاه
- نگرانی پیرامون افزایش ارتعاشات تجهیزات به دلیل کهنه‌شدن
- افزایش تلفات به دلیل کاهش بازدهی ناشی از کهنه‌شدن تجهیزات
- تلفات توان راه‌اندازی به دلیل تاخیر ایجادشده در زمان راه‌اندازی
- سوراخ‌شدن مکرر لوله‌های کندانسور ناشی از خوردگی
- خوردگی بسکت‌های Air Heater بویلرها
- افزایش نشتی‌های روغن در ترانسفورماتورهای قدرت و خرابی روغن در آن‌ها
- نگرانی از حوادث مربوط به تپ‌چنجر و افزایش آسیب به ترانسفورماتورهای قدرت

- عدم پاسخگویی ژنراتور به دلیل گسترش شبکه و کاهش امپدانس تونن و تغییر منحنی‌های پایداری
- تنظیم مجدد رله‌های حفاظتی بر اساس پارامترهای شبکه و توسعه پست
- کاهش قابلیت اطمینان تأمین برق DC مربوط به موتورهای EOP
- قطع برق مدارهای فرمان ناشی از فرسودگی شارژرها و تریپ واحدها
- کاهش ضریب اطمینان کلیدهای قدرت در سوئیچگیرهای فشار قوی و ۴۰۰ ولت و همچنین کلیدهای GCB ژنراتورها
- نگرانی از Blackout شبکه سراسری

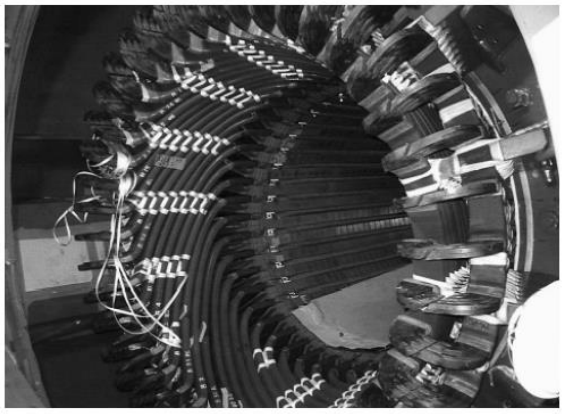
عایق هسته‌ی استاتور ژنراتور و سایر عایق‌ها به دلیل فشارهای الکتریکی، فشارهای حرارتی، فشارهای مکانیکی و آلودگی به مرور زمان تضعیف می‌شود و به افت قدرت دی‌الکتریک می‌انجامد. بر همین اساس، از نقطه‌نظر پیش‌گیری از خرابی تجهیزات و تعمیر آن‌ها، قبل از این‌که عایق‌ها به تضعیف کامل برسند و منجر به حادثه‌ای جدی شوند، نوسازی آن عایق‌ها به صورت سیستماتیک لازم و ضروری است [۸۲].

در ادامه به برخی روش‌های موثر در نوسازی اشاره خواهد شد. پیش از ارائه روش‌های موثر، لازم به ذکر است که مشخصات فنی ژنراتور مورد استفاده و تحت بررسی به قرار زیر است:

- سال ساخت: ۱۹۷۲
- نوع: سوار به حالت افقی، روتور سیلندری، میدان چرخان کاملاً بسته و خنک‌سازی از درون
- خروجی: ۱۰۰،۰۰۰ کیلوولت‌آمپر
- ولتاژ: ۱۳،۸۰۰ ولت
- جریان: ۴،۱۸۴ آمپر
- ضریب توان: ۰.۸۵
- تعداد فازها: ۳
- تعداد قطب‌ها: ۲
- کلاس عایقی: B
    - سیم‌پیچی مجدد استاتور ژنراتور

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل و بررسی عمر باقیمانده و بعد از این‌که مشخص شد مقدار ولتاژ شکست[1] کاهش یافته است، سیم‌پیچی مجدد هسته‌ی استاتور انجام گرفت. از آن‌جایی که کلاس عایقی ژنراتور مذکور B بود، عملکرد عایقی آن با استفاده از رزین اپوکسی کلاس F و مواد عایقی اشباع‌سازی خلاء بهبود بخشیده شد.

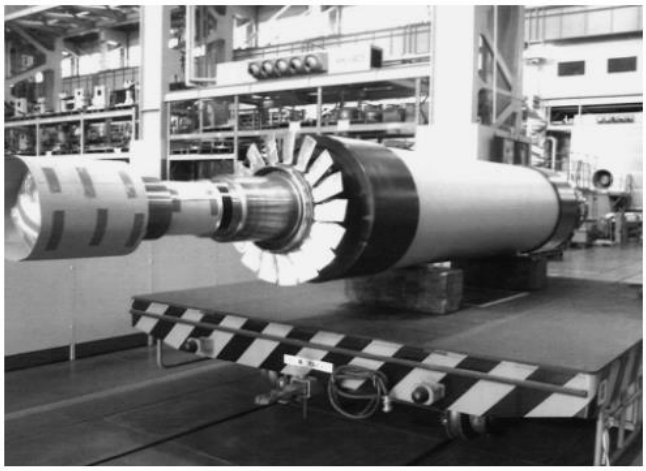
[1] Breakdown Voltage



شکل ۱۴۷-۲ : سیم‌پیچی مجدد استاتور و تقویت عایق **[۸۲]**

- نوسازی حلقه نگهدارنده روتور ژنراتور

به منظور جلوگیری از خردشدن بخش‌های پوسیده ناشی از فشار[1] (SCC) حلقه‌ی نگهدارنده، ماده‌ی آن (18Mn18Cr) تغییر داده شده است. همچنین، بخش جلوگیری‌کننده از جداشدن اسپیسر انتهای هسته تقویت شده و به منظور بهبودبخشیدن قابلیت اطمینان، عایق زیر حلقه‌ی نگهدارنده نوسازی شده است.



شکل ۱۴۸-۲ : نوسازی حلقه‌ی نگهدارنده‌ی روتور **[۸۲]**

- نوسازی سیم‌پیچی سیستم تحریک بدون جاروبک

به دلیل ترک‌خوردن و سایر مواردی که به تضعیف عملکرد سیم‌پیچی میدان مشاهده می‌شوند، به منظور افزایش قابلیت اطمینان، هسته‌های روتور و استاتور اکسایتر سیم‌پیچی مجدد شده‌اند.

- نوسازی سیستم جاروب اصلی ترمینال‌ها

[1] Stress Corrosion Cracking

در سیستم جاروب اصلی ترمینال موجود از روغن به عنوان عایق استفاده شده است، اما از آن‌جایی که تجربه‌ی نشت این عایق وجود داشته و ترک‌هایی نیز در فلنجی که ژنراتور روی آن سوار است وجود دارد، تصمیم به تغییر سیستم عایقی جاروب اصلی ترمینال به اپوکسی ساخته‌شده در قالب گرفته می‌شود.

- سایر ارتقاها و بهبودها

علاوه بر موارد مذکور عایق‌های ژنراتور نیز تقویت می‌شوند تا از جاری‌شدن جریان روتور ژنراتور به سمت یاتاقان شفت جلوگیری شود و ترمینال تحت فشار استاتور ژنراتور نوسازی می‌گردد تا قابلیت اطمینان کل مجموعه‌ی ژنراتور افزایش و فرسایش یاتاقان کاهش یابد.

۶-۱-۲-۲- شرکت‌های خارجی تولیدکننده توربوژنراتورها

- شرکت آنسالدو (Ansaldo)

این شرکت در سال ۱۸۵۳ تأسیس شد تا صنعت ملی لوکوموتیو بخاری را ایتالیا توسعه دهد. از آغاز سال ۱۹۲۰، با استفاده از دانش و فناوری‌های توسعه‌داده‌شده توسط محققین و مهندسین خود، به حوزه‌ی ساخت ژنراتورها برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی، هیدروالکتریک و سوخت فسیلی ورود کرد. Ansaldo از سال ۱۹۴۹ تا ۱۹۸۹ با استفاده از تکنولوژی عمومی شرکت General Electric توربین‌های بخار و ژنراتورهای مختلف را می‌ساخت و می‌فروخت. در سال ۱۹۸۹ و بعد از متهم‌شدن Franco Tosi (یکی از شرکت‌های سازنده‌ی توربین‌های بخاری که دارای گواهینامه از شرکت Westinghouse بود)، Ansaldo همکاری خود را با شرکت GE قطع و شروع به همکاری با ABB/BBC کرد [۸۳].

در سال ۲۰۰۵، Ansaldo با استفاده از تجربیات و مهارت‌هایی که طی سال‌ها به دست آورده بود، به تمام همکاری‌های خود پایان داد و شروع به ساخت ژنراتور با نام خودش و به صورت مستقل و فروش محصولاتش در سطح جهان کرد.

از سال ۱۹۵۰، بیش از ۱۳۰۰ ژنراتور ساخت این شرکت از جنوا به سرتاسر جهان صادر شدند. در بین این ژنراتورها، ۱۰۰۰ ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا (از هر دو نوع روتور گرد و برجسته) وجود داشت. این شرکت از دهه‌ی ۱۹۵۰ تا امروز تجربه‌ی ساخت و طراحی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب را نیز داراست.

ژنراتورهای شرکت Ansaldo قابلیت نصب در انواع نیروگاه‌ها اعم از سیکل ترکیبی، بخاری، زمین‌گرمایی، هسته‌ای و استفاده به عنوان کندانسور سنکرون و حتی به عنوان تجهیزات تست اعم از مولد پالس را دارند.

ژنراتورهای شرکت Ansaldo دارای چند سیستم جانبی سیرکوله و خنک‌کاری هستند. آبی که برای خنک‌کاری استاتور به‌کار می‌رود، هیدروژنی که برای خنک‌کاری روتور به‌کار می‌رود، روغنی که به‌عنوان روان‌کننده در یاتاقان‌ها به‌کار رفته است ، هر یک در سیستم‌های مجزایی سیرکوله و خنک می‌شوند [۸۳].

وظیفه سیستم جانبی سیرکوله و خنک‌کاری هیدروژن به‌صورت کلی حفظ هیدروژن خالص در مجاری خنک‌کاری با دما و فشار قابل تایید با استفاده از فرایندهای زیر است:

- بیرون راندن هوا با گاز بی اثر (CO_2)
- بیرون کشیدن گاز بی‌اثر با هیدروژن
- افزودن هیدروژن برای حفظ فشار صحیح

در ساخت آنها سیستم تحریک استاتیک با قابلیت پاسخ سریع به تغییرات بار و حفظ پایداری با تامین هرچه سریعتر شار مورد نیاز فاصله هوایی به‌کار رفته است.

درجه حفاظت آنها در برابر پاشش قطرات آب و نفوذ ذرات غبار IP55 می‌باشد که آنها را برای نصب در محیط داخلی و سرباز بهینه می‌کند.

سیم‌پیچ استاتور به‌صورت مستقیم با آب خنک می‌شود. سیم‌پیچ روتور به‌وسیله مجاری خنک‌کاری در جهت شعاعی و به‌صورت مستقیم با هیدروژن خنک می‌شود.

هسته استاتور به وسیله مجاری خنک‌کاری در جهت محوری و به‌صورت مستقیم با هیدروژن خنک می‌شود.

هسته این ژنراتورها به‌وسیله نگهدارنده‌های انعطاف‌پذیری ساپورت شده تا مانع از انتقال ارتعاشات هسته استاتور وروتور به فریم و فوندانسیون شود.

سیم‌پیچ این سری از ژنراتورها در دو طبقه تعبیه شده که توسط ورقه‌های عایق فشارقوی از هم مجزا شدند و توسط گوه‌ها رویه شیار محکم‌کاری شده است.

با توجه به ساختمان خاص این سری از ژنراتورها، در طول پروسه ساخت بر روی استاتور و روتور انواع تست‌های با فشار هیدرولیکی انجام می‌شود و نشتی در اثر فشار هیدرولیکی بررسی می‌شود.

هسته استاتور از ورقه‌های کم تلفات سیلیکون ساخته شده و عملیات پانچ و پرس ورقه‌های هسته با پیشرفته‌ترین تکنولوژی صورت گرفته است. تمام ژنراتورهایی که دارای سیم پیچ استاتور خنک شونده با آب هستند، برای کاهش تلفات و از بین بردن نقاط داغ، دارای صفحات پرس چند لایه هستند. پس از پرس، هسته در هر دو طرف به لاک عایق مقاوم در برابر حرارت آغشته می شود [۸۳].

یک نمونه از ژنراتورهای در حال ساخت در کارخانه شرکت Ansaldo در شکل ۱۴۹-۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۴۹-۲ : یکی از توربوژنراتورهای در حال ساخت در کارخانه شرکت **Ansaldo [۸۳]**

- ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی استاتور با آب و روتور با هیدروژن، یک فناوری بهینه برای داشتن خروجی در محدوده‌ی توانی بالا هستند. طراحی فشرده آن‌ها در کنار سیم‌پیچی استاتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب به این معناست که انتخاب مناسبی برای نیروگاه‌های با ظرفیت توانی بالا هستند. توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب ساخت شرکت Ansaldo سازگاری کامل با مقررات PED و ATEX دارند که عملکرد ایمن‌تر آن‌ها در حضور گاز هیدروژن را تضمین می‌کنند. این محصولات با سایر مقررات عمومی مربوط به توربوژنراتورها نیز سازگاری کامل دارند [۸۳].

هسته‌ی این نوع توربوژنراتورها تحت فشار ساخته شده تا ورقه‌های آن حین کارکرد ژنراتور از هم جدا نشوند. تمام ژنراتورهای دارای سیم‌پیچی مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب با ورقه‌های تحت فشار لمینت می‌شوند تا تلفات کاهش یابد

و نقاط داغ[1] در ژنراتور باقی نماند. ماشین‌های استاندارد و با بازدهی بالا با کیفیت عالی و قابلیت اطمینان بهینه با الزامات مربوط به توربین‌ها نیز سازگاری دارند.

فناوری ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب شرکت Ansaldo به صورت پیوسته با فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای و ابزار طراحی جدید ارتقا و بهبود پیدا می‌کند. از جمله‌ی این ابزار و فناوری‌های تحقیق و توسعه می‌توان به تحلیل رفتار مکانیکی، الکتریکی و تهویه‌ای ژنراتور با استفاده از روش اجزاء محدود سه‌بعدی اشاره کرد [۸۳].

به منظور چرخاندن آب و هیدروژن که به خنک‌سازی ژنراتور و تزریق روغن به مهر و مور شفت کمک می‌کنند، چندین سیستم جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دستگاه کنترل گاز خنک‌سازی، ماده‌ی خنک‌سازی را در شرایط کارکرد ژنراتور به چرخش درآورده و روی آن نظارت می‌کند و فشار گاز هیدروژن را در سطح مناسب نگه می‌دارد. دستگاه‌های تهویه استاتور که با آب خنک می‌شوند، آب خنک‌کننده را می‌چرخانند و روی آن نظارت دارند (آب طبیعی با اکسیژن کم و دارای رسانایی الکتریکی).

به منظور رساندن برق پایدار هنگام استفاده از ژنراتور در شبکه و ثابت نگه‌داشتن ولتاژ آن در شرایط بی‌باری یا سرویس‌کردن نیروگاه، نیاز به بزرگ به سیستم‌های تحریک با قابلیت پاسخگویی سریع و قادر به تطبیق‌دادن سریع شار فاصله‌ی هوایی با شرایط بار دارند. به طور خاص، سیستم‌های تحریک از نوع استاتیک برای این منظور مناسب هستند [۸۳].

شرکت Ansaldo از سال ۱۹۵۰ به بیش از ۶۰ واحد نیروگاهی با مجموع ظرفیتی بیش از ۳۰ گیگاولت‌آمپر را با استفاده از این نوع ژنراتورها سرویس‌دهی کرده است. جدول ۲۵-۲ مشخصات فنی ژنراتروهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب ساخت شرکت Ansaldo را نشان می‌دهد.

جدول ۲۵-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت **Ansaldo [۸۳]**

فرکانس	**هرتز**	**۵۰**	**۶۰**	**۵۰**	**۶۰**
سرعت	دور بر دقیقه	۳۰۰۰	۳۶۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰
قطب‌ها	–	۲	۲	۴	۴
ضریب توان	–	۰.۸ تا ۰.۹	۰.۸ تا ۰.۹	۰.۹	۰.۹
ولتاژ نامی	کیلوولت	۱۸ تا ۲۷	۱۸ تا ۲۷	حداکثر تا ۲۶	حداکثر تا ۲۶
محدوده توانی	مگاولت‌آمپر	۴۰۰ تا ۱۱۰۰	۴۰۰ تا ۱۱۰۰	حداکثر تا ۱۲۰۰	حداکثر تا ۱۲۰۰

سایر مشخصات این نوع ژنراتورها به قرار زیر هستند:

- سیستم سوارکردن ژنراتور: IM7305
- روش خنک‌سازی: IC 8 (H1) W7 – IC 9 (W7) سیم‌پیچی استاتور
- درجه‌ی حفاظت: IP 55 (IEC 60034-5)

[1] Hotspot

- سیستم تحریک: استاتیک
- کلاس عایقی حرارتی: F
- فشار هیدروژن: ۴ تا ۷ بار

○ توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن

از جمله ویژگی‌های توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن، عملکرد خوب و عمر طولانی است. هیدروژن باعث می‌شود تلفات ناشی از اصطکاک کاهش یابد و عملکرد و بازدهی ژنراتور بهبود پیدا کند. مدل‌هایی که بازدهی بالا، کیفیت عالی و قابلیت اطمینان بهینه دارند، با الزامات مربوط به توربین سازگاری دارند [۸۳].

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن ساخت شرکت Ansaldo محصولاتی مستحکم، قابل اطمینان و با قابلیت نگهداری مناسب هستند. این محصولات منعطف هستند و با توربین‌های گازی و بخاری با پیکربندی تک‌شفت یا چندشفت قابل استفاده‌اند.

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن ساخت شرکت Ansaldo با مقررات PED و ATEX سازگاری کامل دارند که عملکرد ایمن‌تر آن‌ها در حضور گاز هیدروژن را تضمین می‌کنند. این محصولات با سایر مقررات عمومی مربوط به تربوژنراتورها نیز سازگاری کامل دارند.

هسته‌ی این نوع توربوژنراتورها تحت فشار ساخته شده تا ورقه‌های آن حین کارکرد ژنراتور از هم جدا نشوند. فناوری ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت Ansaldo به صورت پیوسته با فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای و ابزار طراحی جدید ارتقا و بهبود پیدا می‌کند. از جمله‌ی این ابزار و فناوری‌های تحقیق و توسعه می‌توان به تحلیل رفتار مکانیکی، الکتریکی و تهویه‌ای ژنراتور با استفاده از روش اجزاء محدود سه‌بعدی اشاره کرد.

به منظور چرخاندن آب و هیدروژن که به خنک‌سازی ژنراتور و تزریق روغن به مهر و مور شفت کمک می‌کنند، چندین سیستم جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دستگاه کنترل گاز خنک‌سازی، ماده‌ی خنک‌سازی را در شرایط کارکرد ژنراتور به چرخش درآورده و روی آن نظارت می‌کند و فشار گاز هیدروژن را در سطح مناسب نگه می‌دارد. دستگاه‌های تهویه استاتور که با آب خنک می‌شوند، آب خنک‌کننده را می‌چرخانند و روی آن نظارت دارند (آب طبیعی با اکسیژن کم و دارای رسانایی الکتریکی) [۸۳].

به منظور رساندن برق پایدار هنگام استفاده از ژنراتور در شبکه و ثابت نگه‌داشتن ولتاژ آن در شرایط بی‌باری یا سرویس‌کردن نیروگاه، نیاز به بزرگ به سیستم‌های تحریک با قابلیت پاسخگویی سریع و قادر به تطبیق‌دادن سریع شار فاصله‌ی هوایی با شرایط بار دارند. به طور خاص، سیستم‌های تحریک از نوع استاتیک برای این منظور مناسب هستند.

شرکت Ansaldo از سال ۱۹۵۰ به تقریباً ۱۷۰ واحد نیروگاهی با مجموع ظرفیتی بیش از ۲۷ گیگاولت‌آمپر را با استفاده از این نوع ژنراتورها سرویس‌دهی کرده است. بیش از ۳۸ واحد از این نیروگاه‌ها به توربین گازی به صورت چرخه باز یا سیکل ترکیبی اختصاص دارند.

مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن ساخت شرکت Ansaldo در جدول ۲۶-۲ آمده است [۸۳].

جدول ۲۶-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت **Ansaldo [۸۳]**

فرکانس	**هرتز**	**۵۰**	**۶۰**
سرعت	دور بر دقیقه	۳۰۰۰	۳۶۰۰

ضریب توان	–	۰.۸ تا ۰.۹	۰.۸ تا ۰.۹
ولتاژ نامی	کیلوولت	حداکثر تا ۲۳	حداکثر تا ۲۳
محدوده توانی	مگاولت‌آمپر	حداکثر تا ۷۰۰	حداکثر تا ۷۰۰

برخی دیگر از مشخصات فنی این نوع ژنراتورها به قرار زیر هستند:

- سیستم سوارکردن ژنراتور: IM7305، IM7306T، IM1105، IM1106
- روش خنک‌سازی: IC 8 (H1) W7
- درجه‌ی حفاظت: IP 55 (IEC 60034-5)
- سیستم تحریک: استاتیک
- کلاس عایقی حرارتی: F
- فشار هیدروژن: ۴ تا ۷ بار
    - توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا یک راه‌حل مدرن، به شدت فشرده برای عملکرد تحت بار پایه و پیک، با قابلیت راه‌اندازی و خاموش‌کردن نیروگاه به صورت روزانه و با هزینه‌ی تعمیر و نگه‌داری کم هستند. مدل‌هایی که بازدهی بالا، کیفیت عالی و قابلیت اطمینان بهینه دارند، با الزامات مربوط به توربین سازگاری دارند.

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Ansaldo محصولاتی مستحکم، قابل اطمینان و با قابلیت نگهداری مناسب هستند. این محصولات منعطف هستند و با توربین‌های گازی و بخاری با پیکربندی تک‌شفت یا چندشفت قابل استفاده‌اند.

این محصولات برای استفاده در نیروگاه‌های زمین‌گرمایی نیز انتخاب مناسبی هستند. شرکت Ansaldo تجربه‌ی بسیار خوبی در زمینه‌ی انتخاب مواد اولیه و تولید ژنراتورهایی مناسب برای محیط‌های زمین‌گرمایی (با وجود رطوبت و سولفید هیدروژن) دارد.

فناوری ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوای شرکت Ansaldo به صورت پیوسته با فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای و ابزار طراحی جدید ارتقا و بهبود پیدا می‌کند. از جمله‌ی این ابزار و فناوری‌های تحقیق و توسعه می‌توان به تحلیل رفتار مکانیکی، الکتریکی و تهویه‌ای ژنراتور با استفاده از روش اجزاء محدود سه‌بعدی اشاره کرد. توربوژنراتورهایی که سیم‌پیچی استاتور آن‌ها به صورت غیرمستقیم و سیم‌پیچی روتورشان به صورت مستقیم خنک می‌شود، به صورت مداری بسته از خنک‌سازهای هوا به آب، حالتی شبیه به خودتهویه‌ای دارند [۸۳].

شرکت Ansaldo از سال ۱۹۵۰ به تقریباً ۵۵۰ واحد نیروگاهی با مجموع ظرفیتی بیش از ۶۲ گیگاولت‌آمپر را با استفاده از این نوع ژنراتورها سرویس‌دهی کرده است. بیش از ۳۷۰ واحد از این نیروگاه‌ها به توربین گازی به صورت چرخه باز یا سیکل ترکیبی اختصاص دارند.

جدول ۲۷–۲ برخی مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا را ارائه کرده است.

جدول ۲۷-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت **Ansaldo [۸۳]**

فرکانس	**هرتز**	**۵۰**	**٦۰**
سرعت	دور بر دقیقه	۳۰۰۰	۳۶۰۰
ضریب توان	–	۰.۸	۰.۸۵
ولتاژ نامی	کیلوولت	۱۰.۵ تا ۲۱	۱۳.۸ تا ۲۱
محدوده توانی	مگاولت آمپر	۲۰ تا ۴۵۰	۳۰ تا ۳۲۰

برخی دیگر از مشخصات فنی این نوع ژنراتورها به قرار زیر است:

- سیستم سوارکردن ژنراتور: IM7305، IM7315، IM7316
- روش خنک‌سازی: IC 9 A1 W7 - IC 8 A1 W7
- درجه‌ی حفاظت: IP 54 (IEC 60034-5)
- سیستم تحریک: استاتیک (استاندارد) یا بدون جاروبک در حالت خاص
- کلاس عایقی حرارتی: F
- شرکت زیمنس (Siemens)

شرکت زیمنس یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های فعال در عرصه‌ی موتور و ژنراتور است و با داشتن تیم تحقیق و توسعه‌ی قوی همواره از پیشگامان این عرصه در جهان بوده است. در ادامه به معرفی برخی ژنراتورهای جدید ساخت این شرکت پرداخته خواهد شد [۸۴].

- ژنراتورهای سری SGen-100A/SGen-1000A

این سری ژنراتورهای ساخت شرکت زیمنس از نوع دو قطب و مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا هستند که در صنایع و تولید برق کاربرد دارند. محدوده‌ی توانی آن‌ها از ۲۵ تا ۳۷۰ مگاولت‌آمپر بوده و قادر به ارائه‌ی بازدهی در حدود ۹۸.۹ درصد است.

شرکت زیمنس به صورت پیوسته در حال ارتقای ژنراتورهای تولیدی است و تمرکز ویژه‌ای روی افزایش قابلیت اطمینان، قابلیت سرویس‌دهی بهتر، بازدهی بالا و قابلیت یکپارچه‌سازی بهینه با نیروگاه است.

ژنراتورهای سری SGen-100A-2P/1000A در کلاس جهانی طراحی شده‌اند و پایداری مناسبی حین تغییرات بار دارند و بسیار منعطف هستند. این ژنراتورها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در طول عمر فنی خود ۱۰۰۰۰ چرخه‌ی راه‌اندازی و توقف را داشته باشند. این ژنراتورها می‌توانند جایگزین بهینه و اقتصادی برای ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب یا هیدروژن در سطح صنعتی و نیروگاهی تا توان حداکثر ۳۷۰ مگاولت‌آمپر باشند [۸۴].

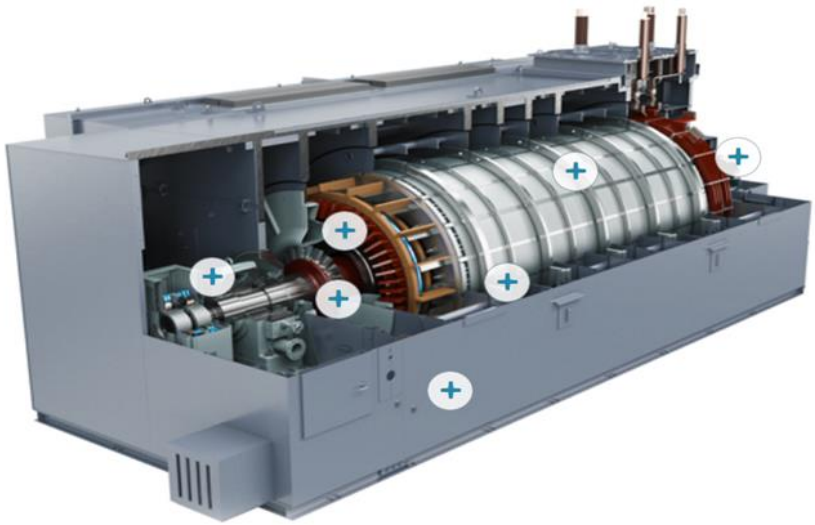
سیستم عایقی این سری ژنراتورها از نوع سیستم عایقی MICALASTIC با فناوری GVPI هستند که بیشترین پایداری الکتریکی و قابلیت تحمل را برای ژنراتور فراهم می‌کند. مزایای حاصل از این سیستم عایقی به قرار زیر هستند:

- نسبت به گردش حرارتی حساس نیست؛
- نیاز به تعمیر و نگهداری ندارد؛
- حین عملکرد ژنراتور تحت فشار مکانیکی بسیار کمی قرار می‌گیرد؛
- غیرقابل اشتعال است و همچنین قابلیت اطفای حریق خودی دارد، در نتیجه نیازی به سیستم اطفای حریق خارجی نیست.

سیستم خنک‌سازی با هوا برای سیم‌پیچی روتور با توزیع دمایی یکنواخت به صورت شعاعی و مستقیم و با استفاده از تحلیل کامپیوتری دینامیک سیالات[1]، استفاده‌ی بهینه از مواد اولیه و افزایش بازدهی به منظور عملکرد بهینه‌ی ژنراتور را تضمین می‌کند.

از دیگر ویژگی‌های این سری ژنراتورها، قابلیت انتخاب بین سیستم‌های تحریک چرخان بدون جاروبک با تحریک‌کننده‌ی میدان ایستا و یکسوساز متصل‌کننده‌ی پلی‌شکل چرخان یا سیستم تحریک استاتیک است [۸۴].

یکی دیگر از ویژگی‌های این سری ژنراتورهای زیمنس، مجهزبودن به سیستم عیب‌یابی از راه دور[2] است که به بهینه‌سازی استفاده از سیستم کمک می‌کند. از طریق این سیستم امکان نظارت کامل بر وضعیت روغن و گاز و عملکرد ژنراتورهای در حال کار وجود دارد. این سیستم به سادگی و به سرعت نصب می‌شود و امکان عیب‌یابی و رفع عیب را بدون نیاز به بازدید میدانی از تجهیزات فراهم می‌کند.



شکل ۱۵۰-۲ : شمای کلی ژنراتورهای سری **SGen-100A-2P** شرکت زیمنس **[۸۴]**

[1] Computer Fluid Dynamics (CFD)
[2] Remote Diagnostic Service (RDS)

شکل ۱۵۱-۲ : روتور ژنراتورهای سری **SGen-100A-2P** شرکت زیمنس **[۸۴]**

مشخصات فنی ژنراتورهای سری SGen-100A-2P و SGen-1000A به ترتیب در جدول ۲۸-۲ و جدول ۲۹-۲ آمده است.

جدول ۲۸-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری **SGen-100A-2P** شرکت زیمنس **[۸۴]**

	SGen5-100A	**SGen6-100A**
فرکانس	۵۰ هرتز	۶۰ هرتز
توان ظاهری	۲۵ تا ۱۸۰ مگاولت‌آمپر	۲۵ تا ۱۸۰ مگاولت‌آمپر
بازدهی	حداکثر تا ۹۸.۵ درصد	حداکثر تا ۹۸.۵ درصد
ضریب توان	۰.۸	۰.۸۵
ولتاژ ترمینال	۶.۳ تا ۱۵.۷۵ کیلوولت	۶.۳ تا ۱۵.۷۵ کیلوولت

جدول ۲۹-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری **SGen-1000A** شرکت زیمنس **[۸۴]**

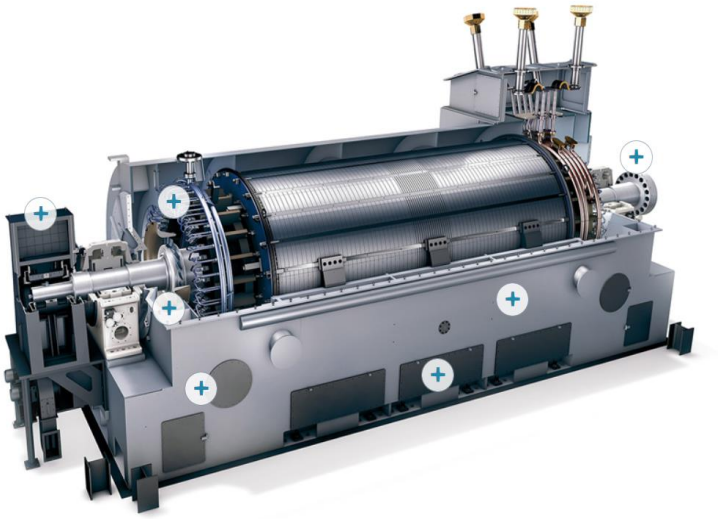
	SGen5-1000A	**SGen6-1000A**
فرکانس	۵۰ هرتز	۶۰ هرتز
توان ظاهری	۱۸۰ تا ۳۷۰ مگاولت‌آمپر	۱۸۰ تا ۳۷۰ مگاولت‌آمپر
بازدهی	حداکثر تا ۹۸.۹ درصد	حداکثر تا ۹۸.۹ درصد
ضریب توان	۰.۸	۰.۸۵

ولتاژ ترمینال	۱۰.۵ تا ۲۰ کیلوولت	۱۰.۵ تا ۲۰ کیلوولت

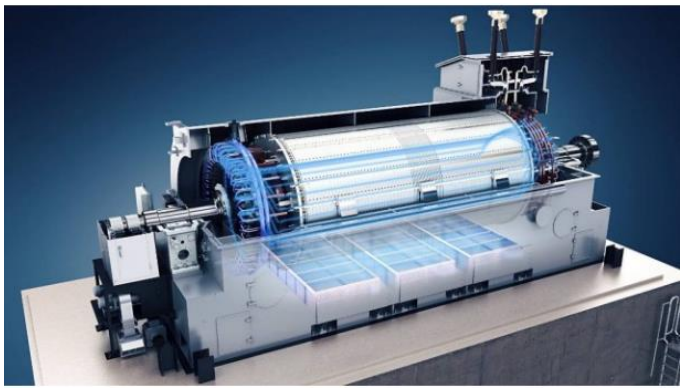
- ژنراتورهای سری SGen-2000P

در این نوع ژنراتورهای نیروگاهی زیمنس، فناوری خنک‌سازی ترکیبی هوا و آب مورد استفاده قرار گرفته است. در نیروگاه‌های جدیدتر، ژنراتورهایی که با هوای تحت فشار خنک‌سازی می‌شوند جایگزین ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شده‌اند تا پیچیدگی‌های موجود در نیروگاه به میزان قابل توجهی کاهش یابند. این نوع ژنراتورها از نظر بازدهی و سطوح توانی با ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن قابل رقابت هستند و تا ظرفیت توانی ۵۶۰ مگاولت‌آمپر قابل تولید هستند. این نوع ژنراتورها در نیروگاه‌های سیکل تک، سیکل ترکیبی و بخاری و نیز به عنوان کندانسور سنکرون مورد استفاده قرار می‌گیرند [۸۴].

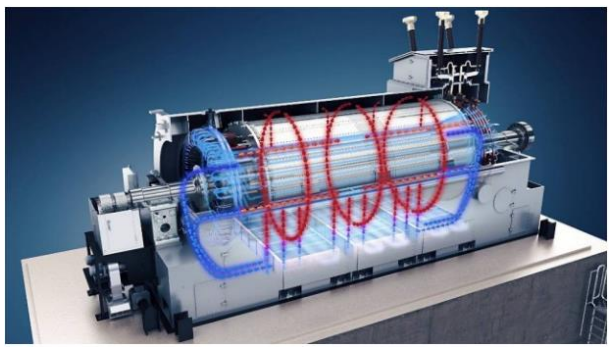
ترکیب‌کردن استاتورهای با فناوری VPI و استاتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب، امکان یکنواخت‌سازی دما و کاهش سطح فشار روی ژنراتور و در نتیجه بهبود انعطاف‌پذیری در بهره‌برداری را فراهم می‌کنند. بیش از ۱۷۰۰ سیم‌پیچی استاتور با سطح ولتاژ بین ۱۰ تا ۲ کیلوولت و ظرفیت خروجی ۶۵۰ مگاولت‌آمپر، قابلیت اطمینانی بیش از ۹۹.۹ درصد را ارائه کرده‌اند. این نوع ژنراتورها قابلیت ۱۵۰،۰۰۰ ساعت بهره‌برداری و ۳،۳۲۰ چرخه‌ی توقف و شروع به کار را دارند.



شکل ۱۵۲-۲ : نمایی کلی از ژنراتور های سری **SGen-2000P** شرکت زیمنس **[۸۴]**



شکل ۱۵۳-۲ : نمایی از سیستم خنک‌سازی ژنراتورهای سری **SGen-2000P** شرکت زیمنس - ۱ **[۸۴]**



شکل ۱۵۴-۲ : نمایی از سیستم خنک‌سازی ژنراتورهای سری **SGen-2000P** شرکت زیمنس -۲ **[۸۴]**

سیستم عایقی این سری ژنراتورها از نوع سیستم عایقی MICALASTIC با فناوری GVPI است که بیشترین پایداری الکتریکی و قابلیت تحمل را برای ژنراتور فراهم می‌کند. مزایای حاصل از این سیستم عایقی به قرار زیر هستند:

- نسبت به گردش حرارتی حساس نیست؛
- نیاز به تعمیر و نگهداری ندارد؛

- حین عملکرد ژنراتور تحت فشار مکانیکی بسیار کمی قرار می‌گیرد؛
- غیرقابل اشتعال است و همچنین قابلیت اطفای حریق خودی دارد، در نتیجه نیازی به سیستم اطفای حریق خارجی نیست.

نبود گاز هیدروژن پیچیدگی ژنراتور و نیز هزینه‌ی تعمیر آن را به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین هزینه‌ی بهره‌برداری از ژنراتور نسبت به ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن بسیار کمتر است. اطراف ژنراتور نیز نیازی به تعیین محدوده‌های خطرناک حین بهره‌برداری نیست [۸۴]

مشخصات فنی این نوع ژنراتورها در جدول ۳۰-۲ ارائه شده است.

جدول ۳۰-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری **SGen-2000P** شرکت زیمنس **[۸۴]**

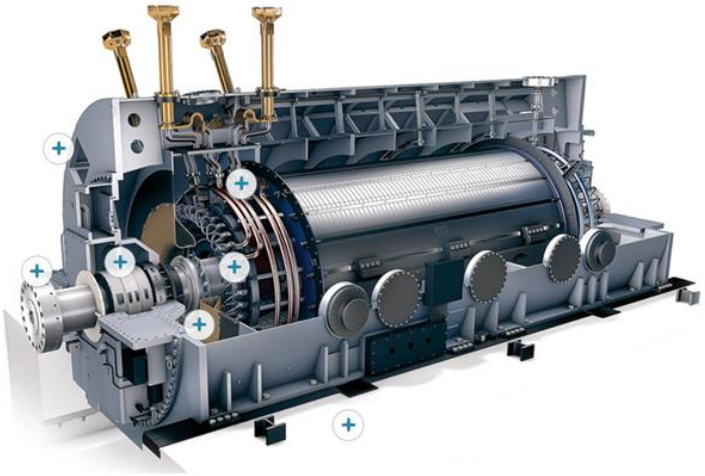
	SGen5-2000P	**SGen6-2000P**
فرکانس	۵۰ هرتز	۶۰ هرتز
توان ظاهری	۳۷۰ تا ۵۴۵ مگاولت‌آمپر	۳۷۰ تا ۵۴۵ مگاولت‌آمپر
بازدهی	حداکثر تا ۹۹ درصد	حداکثر تا ۹۹ درصد
ضریب توان	۰.۸	۰.۸۵
ولتاژ ترمینال	حداکثر تا ۲۰ کیلوولت	حداکثر تا ۲۰ کیلوولت
کلاس عایقی	F	F
وزن	حداکثر تا ۳۷۰ تن	حداکثر تا ۳۷۰ تن

- ژنراتورهای سری SGen-3000W

ژنراتورهای سری SGen-3000W ژنراتورهایی با قدرت بالا، هزینه کم تعمیرات و نگهداری هستند که با مواد و فناوری ساخت بهینه تولید شده‌اند. در پروسه ساخت این سری از ژنراتورها، ترکیبی از فناوری ساخت ژنراتورهای با خنک-کنندگی هیدروژن و خنک‌کنندگی آب بکارگیری شده است. با توجه به‌اینکه شبکه‌های مدرن به علت ادغام بیشتر منابع انرژی تجدیدپذیر، به انعطاف‌پذیری عملیاتی بالایی نیاز دارند، طراحی این ژنراتورها بگونه‌ایست که با حداقل تنش مکانیکی-حرارتی در سیم‌پیچ استاتور حداکثر انعطاف‌پذیری و پایداری را در برابر تغییرات بار داشته باشند. این سری از ژنراتورها می-توانند با انعطاف‌پذیری در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی یا نیروگاه‌های بخار قرار بگیرند.

- سیستم عایق ثابت MICALASTIC (میکا لاستیک) زیمنس با فناوری GVPI بر روی آنها پیاده‌سازی شده است که در برابر گرم و سرد شدن عایق در چرخه‌های عملیاتی مقاوم است و غیر قابل اشتعال می‌باشد.
- راندمانی در حدود ۹۹ درصد دارند.
- شالوده طراحی آنها بر اساس استانداردهای IEC و IEEE و ANSI بوده است اما با بسیاری دیگر از استانداردها مطابقت دارند.

- سیستم کولینگ و خنک‌کاری بصورت ساده طراحی شده ودریچه‌های ورودی هوای خنک کولینگ با توزیع یکنواخت و دسترسی خوب و بصورت محوری در نظر گرفته شده‌اند.
- آب‌بندی قابل اطمینان شفت برای جلوگیری از نشت H2 صورت گرفته است.
- طراحی هسته استاتور با استفاده از فولاد ضد زنگ صورت گرفته است که توسط لوله‌های آب سرد خنک-کاری احاطه شده‌اند.
- طراحی سیستم کولینگ این سری از ژنراتورها خاص بوده و بر اساس آخرین فناوری‌های مدلسازی کامپیوتری دینامیک سیالات Computer Fynid Dynamics (CFD) می‌باشد.



شکل ۱۵۵-۲ : نمای کلی از ژنراتورهای سری **SGen-3000W** شرکت زیمنس **[۸۴]**

در شکل ۱۵۵-۲ نمای کلی از ژنراتورهای سری SGen-3000W شرکت زیمنس و در جدول ۳۱-۲ مشخصات فنی این سری از ژنراتورها ارائه شده است.

جدول ۳۱-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای سری **SGen-3000W** شرکت زیمنس **[۸۴]**

	SGen5-3000W	**SGen6-2000A**
فرکانس	۵۰ هرتز	۶۰ هرتز
توان ظاهری	حداکثر تا ۱۳۰۰ مگاولت‌آمپر	حداکثر تا ۱۳۰۰ مگاولت‌آمپر
بازدهی	حداکثر تا ۹۹ درصد	حداکثر تا ۹۹ درصد
ضریب توان	۰.۸	۰.۸۵
ولتاژ ترمینال	حداکثر تا ۲۷ کیلوولت	حداکثر تا ۲۶ کیلوولت
کلاس عایقی	F	F
وزن	حداکثر تا ۴۲۵ تن	حداکثر تا ۳۹۰ تن

- شرکت میتسوبیشی (Mitsubishi)

شرکت Mitsubishi Electrics از سال ۱۹۲۱ یکی از پیشتازان صنعت برق در جهان بوده است. این شرکت حدود ۳۰۰۰ ژنراتور با قابلیت اطمینان و بازدهی بالا را به همراه تجهیزات جانبی موردنیاز در اختیار صنعت برق در سرتاسر جهان قرار داده است. این شرکت توانایی طراحی، ساخت، نصب و ارائه‌ی مشاوره در حوزه‌های فعالیت را داراست. این شرکت در حوزه‌ی قدرت در زمینه‌ی توربوژنراتور، سیستم نظارتی تست تخلیه‌ی جزئی، سیستم‌های کنترلی نیروگاه‌های تولید برق و خدمات جانبی از قبیل افزایش قدرت ژنراتورها، بررسی و عیب‌یابی با استفاده از روبات، ارتقای سیستم‌های از پیش نصب شده و سرویس‌دهی و تعمیرات طولانی‌مدت فعال است [۸۵].

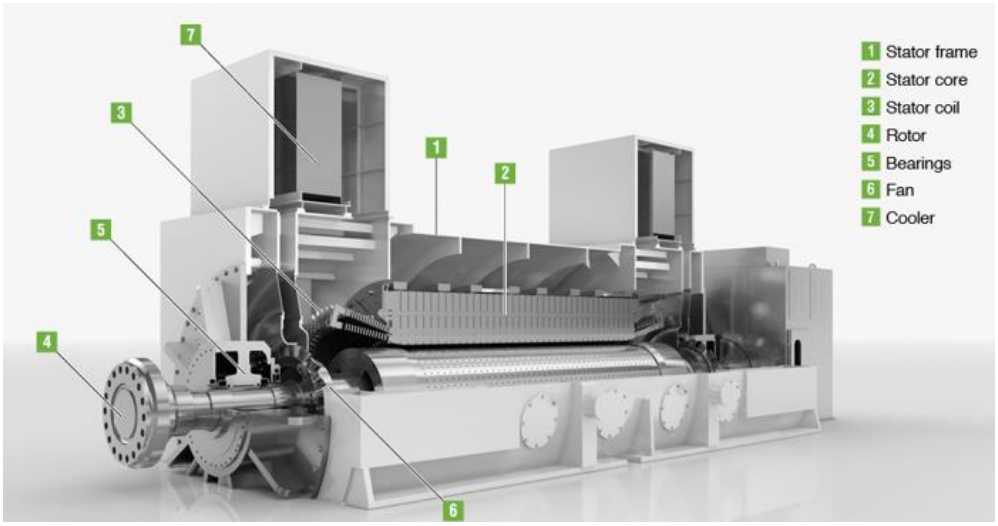
توربوژنراتورهای ساخت شرکت میتسوبیشی به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا
- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن
- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن

در ادامه به تشریح مختصر هر کدام از این دسته‌ها پرداخته خواهد شد.

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا

ساختار ساده‌ی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا، تعمیر و نگهداری و نصب سریع این محصولات را ممکن می‌کند. شکل ۱۵۶-۲ ساختار کلی توربوژنراتورهای ساخت شرکت میتسوبیشی مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا را نشان می‌دهد.



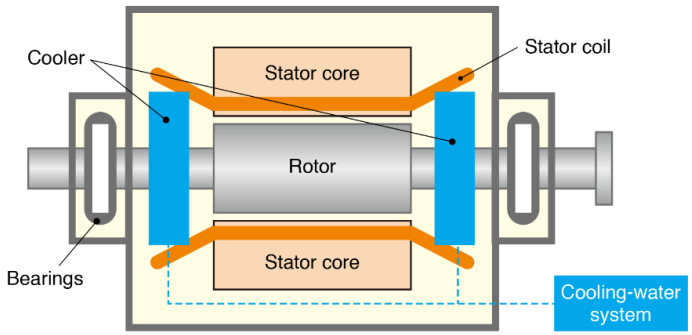
شکل ۱۵۶-۲ : شمای کلی توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

مشخصات فنی این نوع ژنراتورها نیز در جدول ۳۲-۲ آمده است.

جدول ۳۲-۲ : مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

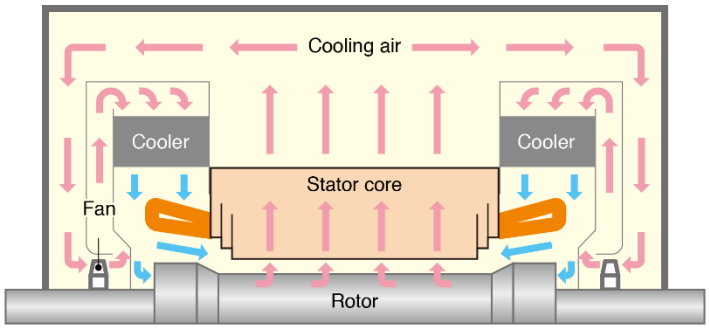
خروجی	حدود ۴۰۰ مگاولت‌آمپر (FTC[1]) حدود ۱۰۰ مگاولت‌آمپر (SFM[2])
ولتاژ	حدود ۲۱ کیلوولت
کلاس عایقی حرارتی	کلاس ۱۵۵ (F)
افزایش دما	کلاس ۱۳۰ (B)
سرعت دورانی	۳۰۰۰ دور بر دقیقه
فرکانس	۵۰ و ۶۰ هرتز
بازدهی	حدود ۹۸.۸ درصد

پیکربندی کلی سیستم این نوع ژنراتورها در شکل ۱۵۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۵۷-۲ : پیکربندی کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

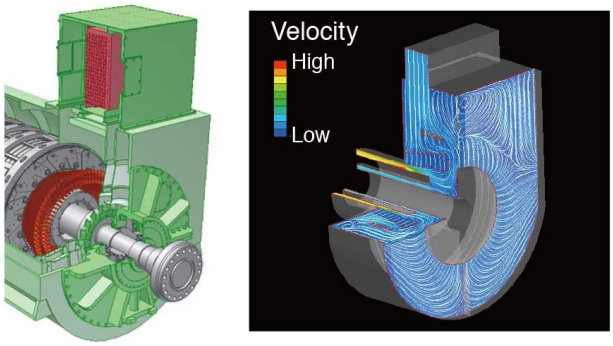
ساختار طراحی‌شده برای خنک‌سازی این نوع ژنراتورها با هوا نیز در شکل ۱۵۸-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۵۸-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

[1] Fan-to-Cooler
[2] Simple Frame Modular

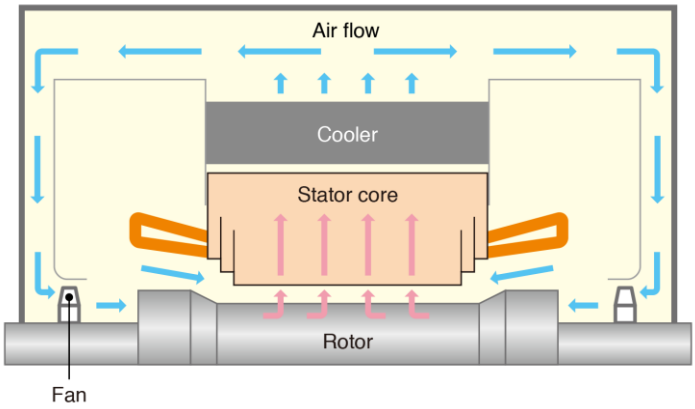
با اعمال جدیدترین فناوری‌ها تحلیلی (تحلیل CFD)، یک سیستم بهینه‌ی خنک‌سازی برای این نوع ژنراتورها حاصل شده است که مانع افزایش دما در سرتاسر ژنراتور می‌شود و متعاقباً توان خروجی ژنراتور را افزایش می‌دهد. تحلیل CFD اعمالی روی ژنراتورها در شکل ۱۵۹–۲ نشان داده شده است.



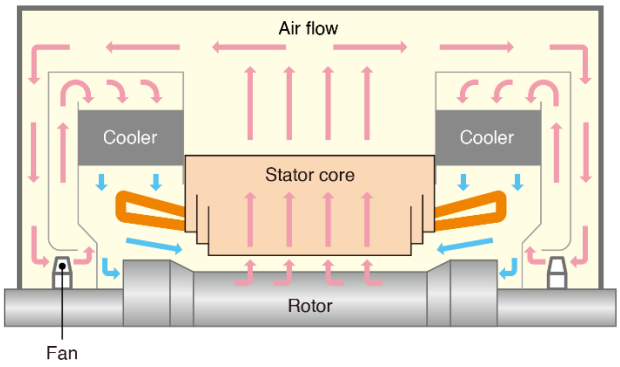
شکل ۱۵۹–۲ : تحلیل **CFD** اعمالی روی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

همچنین یک فن ملخی کوچک و با بازدهی بالا در ژنراتور گنجانده شده تا تلفات تا حد مناسبی کاهش یابند و بازدهی ژنراتور بیشتر شود.

سیستم خنک‌سازی SFM و FTC که به ترتیب مربوط به ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا با توان خروجی کم یا متوسط (حداکثر تا ۱۰۰ مگاولت‌آمپر) و با توان خروجی زیاد (بیش از ۱۰۰ مگاولت‌آمپر هستند) به ترتیب در شکل ۱۶۰–۲ و شکل ۱۶۱–۲ نشان داده شده است.



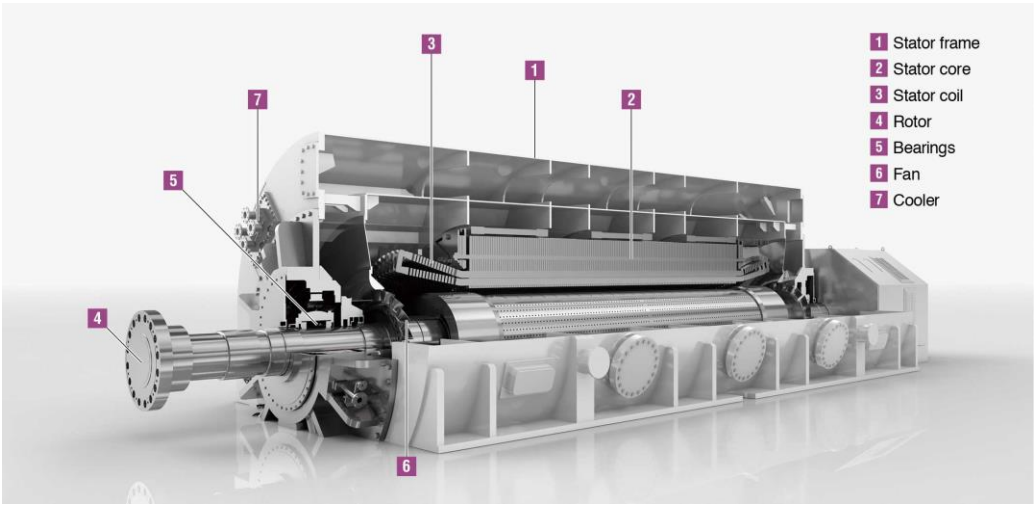
شکل ۱۶۰–۲ : سیستم خنک‌سازی **SFM** **[۸۵]**



شکل ۱۶۱-۲ : سیستم خنک‌سازی **FTC** **[۸۵]**

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن

این نوع ژنراتورهای ساخت شرکت میتسوبیشی به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن مجهز هستند، بازدهی بالایی دارند و محدوده‌ی توان خروجی وسیعی تا حداکثر ۹۰۰ مگاولت‌آمپر را پوشش می‌دهند. ساختار کلی این نوع ژنراتورها در شکل ۱۶۲-۲ نشان داده شده است [۸۵].



شکل ۱۶۲-۲ : شمای کلی توربوژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

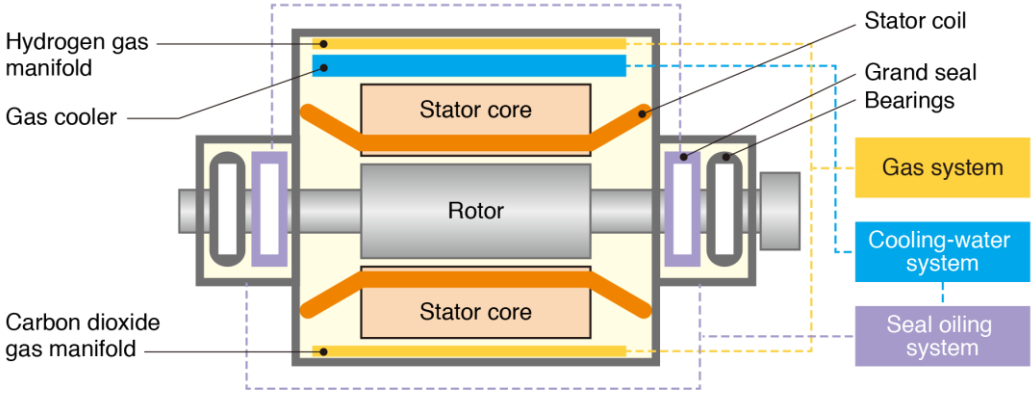
مشخصات فنی این نوع ژنراتورها در جدول ۳۳-۲ آمده است.

جدول ۳۳-۲ : مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

خروجی	حدود ۹۰۰ مگاولت‌آمپر
ولتاژ	حدود ۲۵ کیلوولت
کلاس عایقی حرارتی	کلاس ۱۵۵ (F)
افزایش دما	کلاس ۱۳۰ (B)
سرعت دورانی	۳۰۰۰ دور بر دقیقه یا ۳۶۰۰ دور بر دقیقه
فرکانس	۵۰ و ۶۰ هرتز

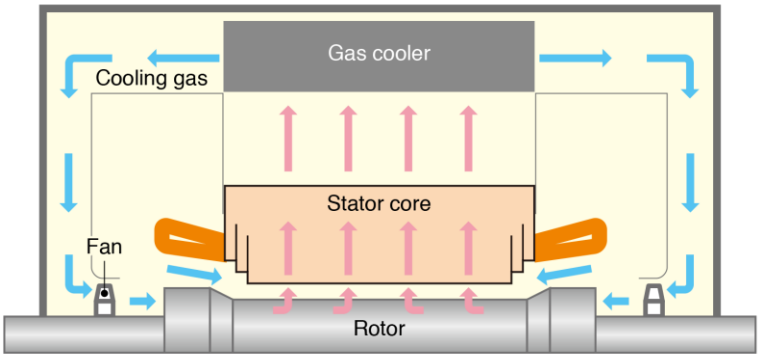
بازدهی	حدود ۹۹ درصد

پیکربندی کلی این نوع ژنراتورها نیز در شکل ۲-۱۶۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۶۳ : پیکربندی کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

همچنین سیستم خنک‌سازی با هیدروژن گنجانده‌شده در این نوع ژنراتورهای شرکت میتسوبیشی در شکل ۲-۱۶۴ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۶۴ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

استفاده از تکنولوژی‌هایی که بهبود سیستم خنک‌سازی ژنراتور منجر می‌شوند، بازدهی آن را افزایش می‌دهد و امکان طراحی جمع و جور را فراهم می‌کند. بزرگ‌ترین ژنراتور موجود در دنیا با توان خروجی ۸۷۰ مگاوولت‌آمپر، بازدهی در حدود ۹۹ درصد در اختیار قرار می‌دهد.

سایر مشخصات فنی این ژنراتور در جدول ۲-۳۴ ارائه شده است.

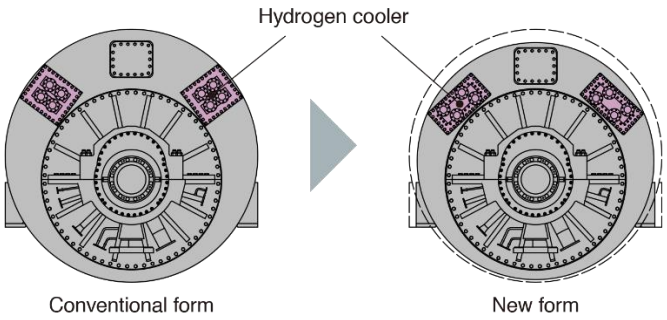
جدول ۲-۳۴ : مشخصات فنی یکی از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

خروجی	۸۷۰ مگاولت‌آمپر
ضریب توان	۰.۹
سرعت دورانی	۳۶۰۰ دور بر دقیقه / ۶۰ هرتز
بازدهی	۹۹ درصد
سیستم	هیدروژن

این ژنراتور در شکل ۱۶۵-۲ قابل مشاهده است.

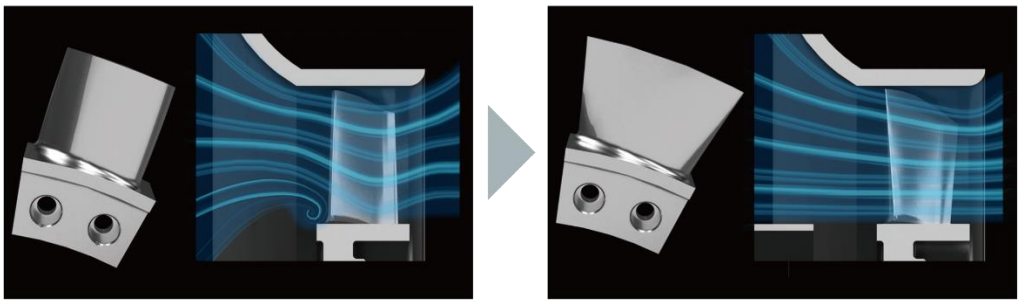
شکل ۱۶۵-۲ : ژنراتور ۸۷۰ مگاوولت‌آمپری مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

یکی دیگر از ویژگی‌های این نوع ژنراتورها، طراحی فشرده‌ی فریم است. با استفاده از خنک‌ساز گازی فشرده، قطر ژنراتور کوچک‌تر شده است. این طراحی در شکل ۱۶۶-۲ نشان داده شده است.



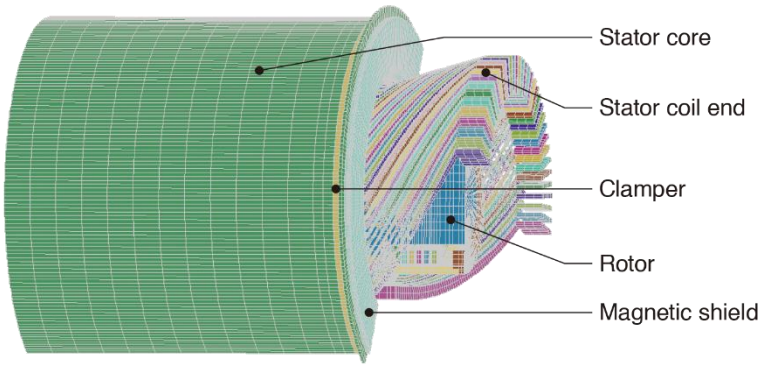
شکل ۱۶۶-۲ : تغییرات فریم ژنراتورهای میتسوبیشی در نسل جدید مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن [۸۵]

همچنین بازدهی فن بهبود یافته به گونه‌ای که امکان خنک‌سازی استاتور و روتور با فشار بیشتر و ظرفیت بیشتر برای جریان هوا به شکل مناسب‌تری فراهم می‌شود. شکل ۱۶۷-۲ این تغییرات را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶۷-۲ : افزایش بادهی فن خنک‌سازی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

طراحی بهینه‌ی این ژنراتورها با استفاده از تحلیل FEM سه‌بعدی به منظور ارزیابی تلفات الکتریکی و نیروهای الکترومغناطیسی و غیره نیز به بهبود عملکرد نهایی آن‌ها کمک شایانی کرده است. نمونه‌ای از این تحلیل در شکل ۱۶۸-۲ قابل مشاهده است.

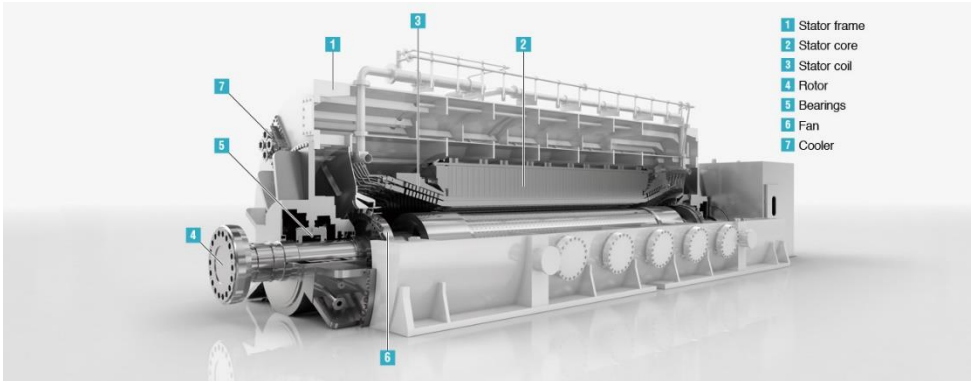


شکل ۱۶۸-۲ : تحلیل **FEM** روی یکی از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن

شرکت میتسوبیشی با استفاده از هیدروژن برای خنک‌سازی مستقیم روتور و آب برای خنک‌سازی مستقیم استاتور، ژنراتورهایی مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب طراحی کرده است که بهترین عملکرد خنک‌سازی را از خود نشان داده و بازدهی بالایی نیز ارائه می‌کنند.

ساختار کلی این نوع ژنراتورها در شکل ۱۶۹-۲ نشان داده شده است.



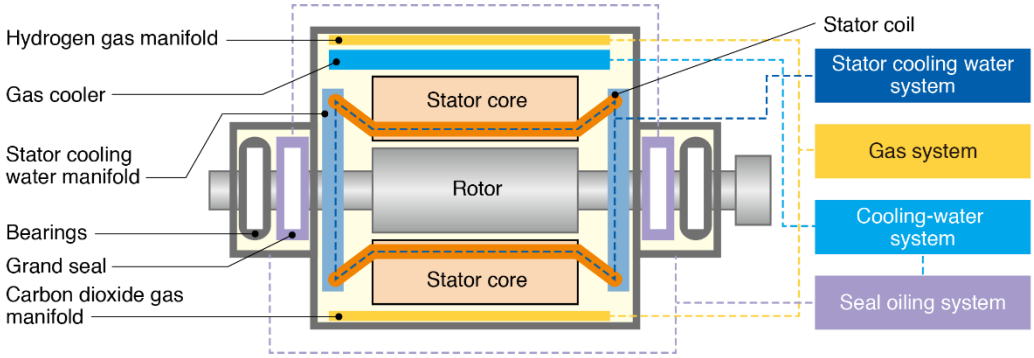
شکل ۱۶۹-۲ : شمای کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

مشخصات فنی این نوع ژنراتورها در جدول ۳۵-۲ ارائه شده است.

جدول ۳۵-۲: مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

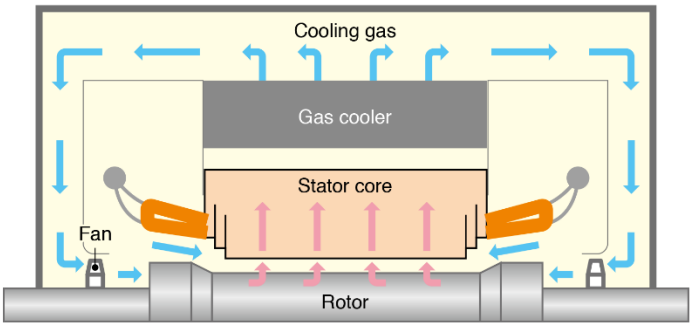
خروجی	حدود ۲۰۰۰ مگاولت‌آمپر (ماشین ۴ قطب) حدود ۱۴۰۰ مگاولت‌آمپر (ماشین ۲ قطب)
ولتاژ	حدود ۳۰ کیلوولت
کلاس عایقی حرارتی	کلاس ۱۵۵ (F)
افزایش دما	کلاس ۱۳۰ (B)
سرعت دورانی	۱۵۰۰ / ۱۸۰۰ دور بر دقیقه (ماشین ۴ طب) ۳۰۰۰/ ۳۶۰۰ دور بر دقیقه (ماشین ۲ قطب)
فرکانس	۵۰ یا ۶۰ هرتز
بازدهی	حدود ۹۹ درصد

پیکربندی کلی سیستم ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب ساخت شرکت میتسوبیشی در شکل ۱۷۰-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۷۰-۲ : پیکربندی کلی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

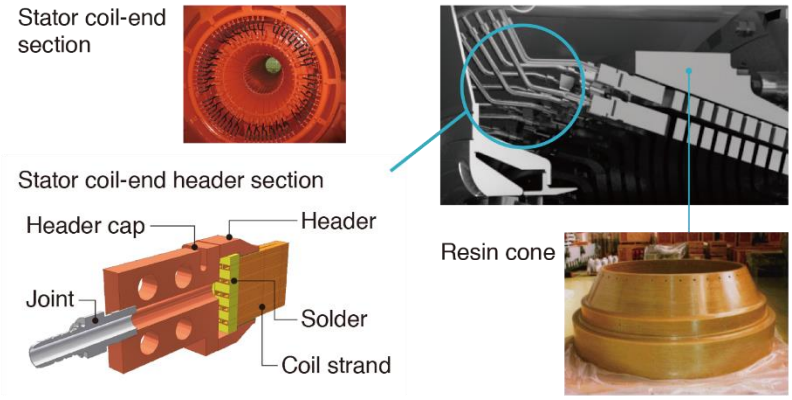
همچنین سیستم خنک‌سازی این نوع ژنراتورها در شکل ۱۷۱-۲ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱۷۱-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی [۸۵]

شرکت میتسوبیشی به صورت موازی با بهبودبخشیدن عملکرد سیستم خنک‌سازی، به افزایش چگالی خروجی و بنابراین بیشینه‌کردن توان خروجی پرداخته است. در سال ۲۰۱۲ بیشترین خروجی‌ها برای ژنراتورهای ۴ قطب و ۲ قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب به ترتیب ۱۶۰۰ و ۱۲۰۰ مگاولت‌آمپر بوده است. در حال حاضر طراحی‌هایی برای ظرفیت ۲۰۰۰ مگاولت‌آمپری برای ژنراتورهای ۴ قطب و ۱۴۰۰ مگاولت‌آمپری برای ژنراتورهای ۲ قطب به اتمام رسیده است.

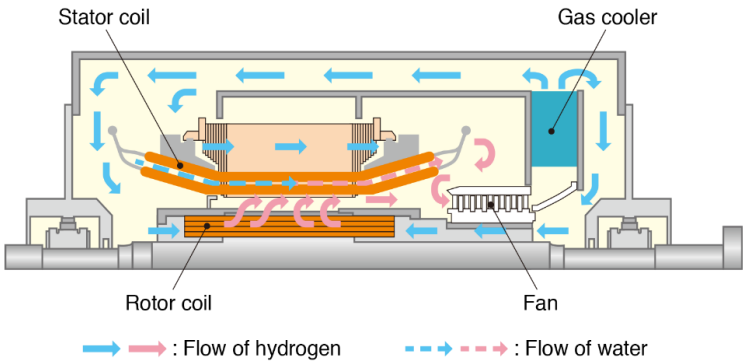
یکی از فناوری‌های اعمالی در این نوع ژنراتورها به این صورت بوده که انتهای سیم‌پیچ استاتور از نظر استحکام بهبود پیدا کرده است. این کار با قراردادن یک رزین مخروطی‌شکل بزرگ که به طور خاص برای این نوع ژنراتورها طراحی شده است، صورت می‌گیرد. این رزین ساختار ژنراتور را محکم‌تر می‌کند و امکان رسیدن ژنراتور به بیشترین توان خروجی فراهم می‌شود. همچنین یک سیستم لحیم‌کاری با کیفیت بالا در بخش‌های مختلف این نوع ژنراتورها به کار برده شده است که سطح بالایی از قابلیت اطمینان را تضمین می‌کند. بخشی از این فناوری‌ها در شکل ۱۷۲-۲ قابل مشاهده هستند [۸۵].



شکل ۱۷۲-۲ : برخی تغییرات اعمالی در توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی در راستای ارتقای عملکرد [۸۵]

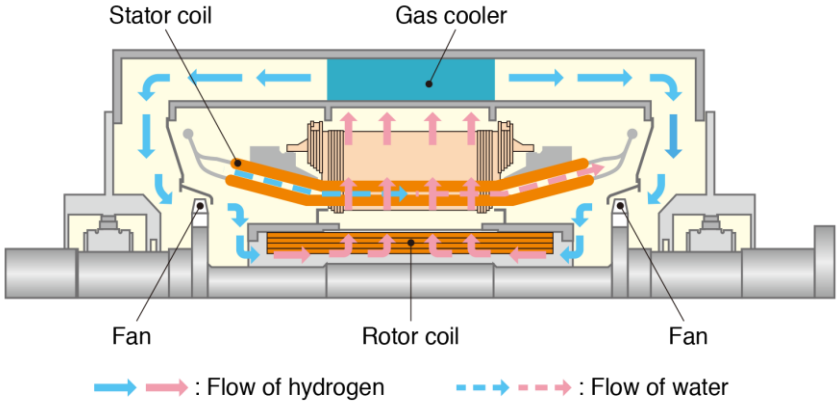
به منظور برآورده‌کردن نیازهای متنوع بازارها، سری جدید ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب توسعه یافته‌اند تا بازدهی بالاتری در اختیار قرار دهند، تعمیر و نگهداری آن‌ها آسان باشد و در زمان کوتاه‌تری نیز قابل تحویل باشند.

ساختار خنک‌سازی ژنراتورهای مرسوم مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب در شکل ۱۷۳-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۷۳ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن مرسوم شرکت میتسوبیشی [۸۵]

همچنین ساختار خنک‌سازی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب به صورت شعاعی و سیستم تهویه در شکل ۲-۱۷۴ ارائه شده است.



شکل ۲-۱۷۴ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت میتسوبیشی به صورت شعاعی و سیستم تهویه [۸۵]

- بخش تحقیق و توسعه

میتسوبیشی با بهره‌گیری از تجربه فراوان خود در زمینه پیشرفت در تولید برق، برای ایجاد محصولات کم هزینه با بازده بالا که برای بهره‌گیری در نقاط مختلف در سراسر جهان طراحی شده‌اند، یک مجموعه گسترده‌ای از فعالیت‌های تحقیق و توسعه را انجام می‌دهد. تجزیه و تحلیل دقیق عملکرد و آنالیز مواد که منجر به بهبود عملکرد و قابلیت اطمینان محصول می شود، در این شرکت همواره در حال انجام است [۸۵].

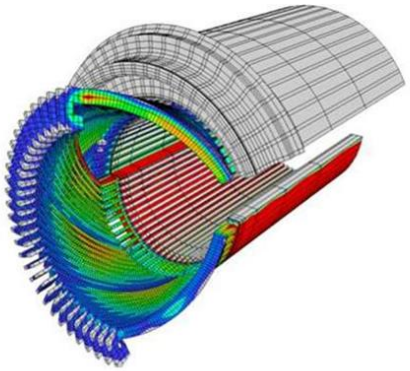
تحقیقات در چهار بخش زیر در حال انجام هستند:

- آنالیز تکنولوژی‌های موجود
- مانیتورینگ تکنولوژی
- تکنولوژی‌های لازم برای تولید محصولات با ظرفیت بالاتر
- تکنولوژی مهندسی معکوس در حال انجام است.

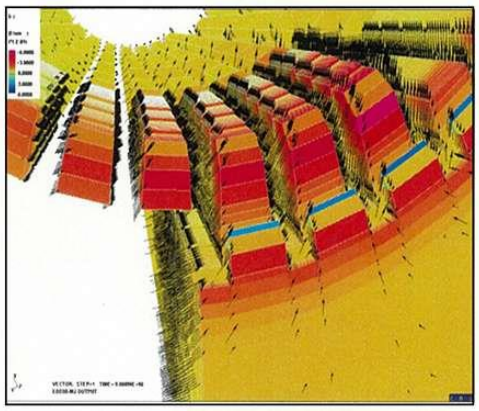
در بخش آنالیز تکنولوژی ژنراتور برای طراحی عملکرد الکتریکی و مکانیکی، میتسوبیشی از فن‌آوری‌های تجزیه و تحلیل الکترومغناطیسی و مکانیکی برای اطمینان از عملکرد الکتریکی، مقاومت مکانیکی، خنک‌کاری و ارتعاش استفاده می‌کند که ژنراتورهای بسیار قابل اطمینانی را ارائه دهد. با نمونه برداری از طیف گسترده ای از داده‌های اندازه‌گیری از محصولات واقعی ساخته شده و تغذیه مجدد اطلاعات به سیستم‌ها، به طور مداوم در تلاش است تا مدل‌های تجزیه و تحلیل و دقت تحلیلی آنها را بهبود بخشد.

این مدل‌سازی‌ها را می‌توان در سه بخش آنالیز الکترومغناطیسی، آنالیز ارتعاشات و استرس وارده به اجزای مختلف ژنراتور، آنالیز سیستم خنک‌کننده و مسائل مربوط به آن تقسیم‌بندی کرد.

در بخش تحلیل مغناطیسی، توزیع انواع شار در نقاط مختلف هسته و سیم‌پیچ استاتور و روتور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

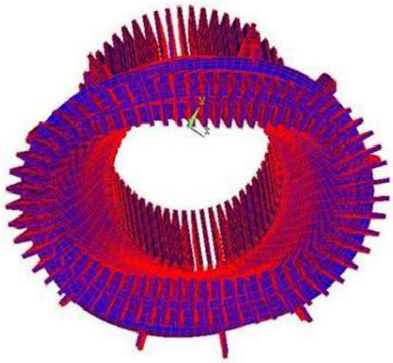


شکل ۱۷۵-۲ : نمونه‌ای از تحلیل توزیع شار توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]

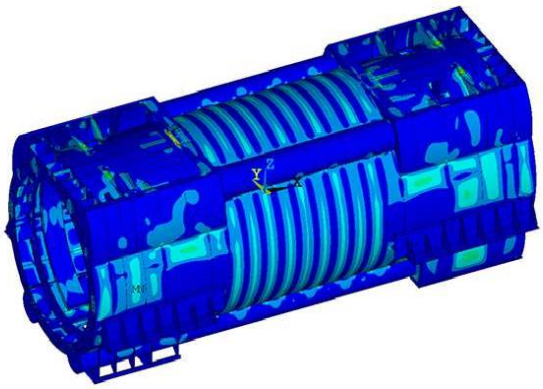


شکل ۱۷۶-۲ : تحلیل چگالی شار مغناطیسی در انتهای سیم‌پیچ استاتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]

در بخش آنالیز ارتعاشات کلیه نیروهای وارده از منابع الکترومغناطیسی و ... به هسته و فریم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

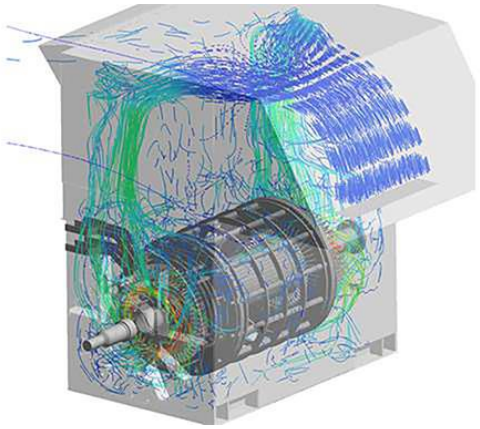


شکل ۱۷۷-۲ : تحلیل مدل ارتعاشی سیم‌پیچ استاتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]



شکل ۱۷۸-۲ : تحلیل توزیع استرس در فریم استاتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]

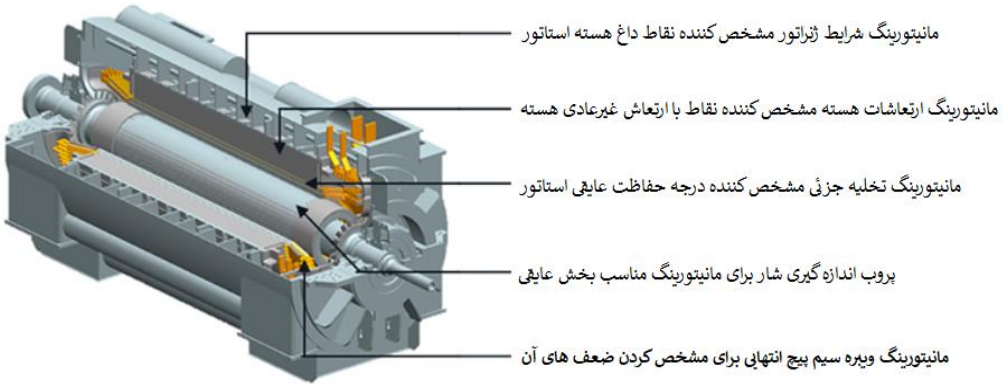
در بخش تحلیل سیستم خنک‌کننده، سرعت و فلوی مورد نیاز جهت خنک‌کنندگی مورد بررسی قرار گرفته و سعی در بهینه‌سازی عملکرد خنک‌کننده‌ها می‌شود.



شکل ۱۷۹-۲ : تحلیل توزیع هوای خنک‌کننده در ژنراتور توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]

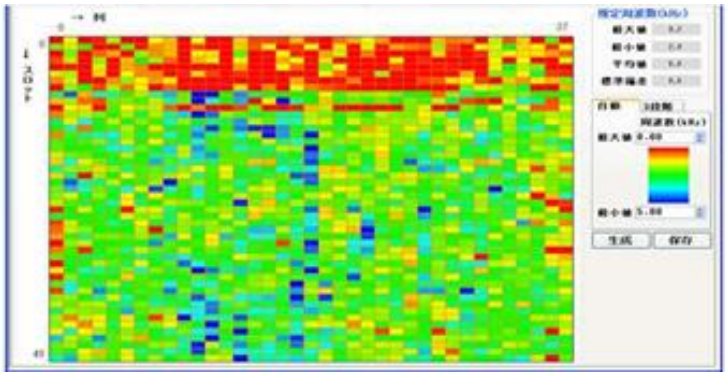
در بخش مانیتورینگ تکنولوژی‌ها، میتسوبیشی قادر است از طریق فن‌آوری‌های نظارتی سلامت انتهای سیم‌پیچ استاتور و سیم پیچ روتور و خراب‌شدن عایق سیم‌پیچ استاتور را کنترل کند که تحت شرایط کار دشوار است. این امکان به میتسوبیشی اجازه می‌دهد تا خرابی‌های غیرمنتظره را پیش‌بینی کرده و همچنین تعمیر و نگهداری سیستماتیک را طراحی و پیاده‌سازی کند.

علاوه بر این، میتسوبیشی برای تشخیص لقی در سیم پیچ استاتور از دستگاه دیجیتال مشخص‌کننده شلی گوه ساخته شده برای ارزیابی میزان شلی گوه استاتور استفاده می‌کند.



شکل ۱۸۰-۲ : شمایی از نحوه مانیتورینگ فناوری‌ها توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]

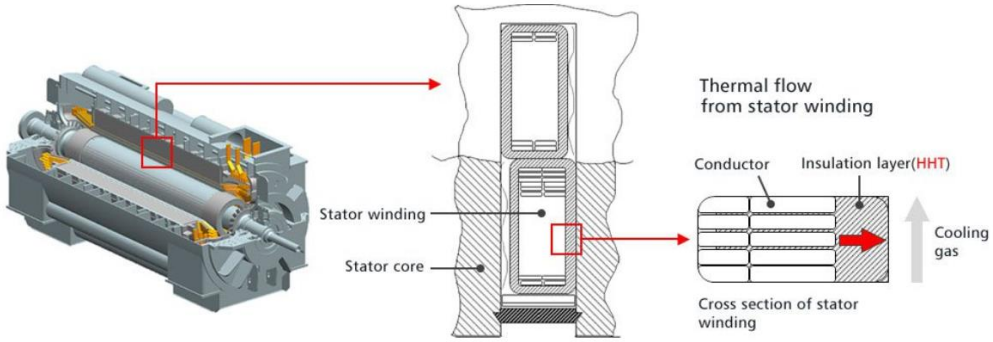
شکل ۱۸۱-۲ : تشخیص دیجیتال شلی گوه توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]



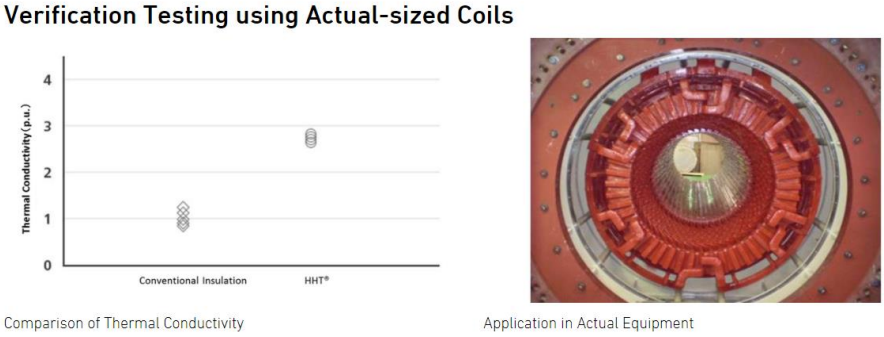
شکل ۱۸۲-۲ : نقشه میزان ضعف گوه‌ها استخراج‌شده توسط شرکت میتسوبیشی [۸۵]

در بخش تکنولوژی‌های لازم برای تولید محصولات با ظرفیت بالاتر، شرکت میتسوبیشی به‌دنبال تکنولوژی‌های بالا بردن ظرفیت ساخت می‌باشد و در این راه از عایق‌های با توان انتقال حرارت بالا High Heat Transmission (HHT) کمک گرفته است.

در سیستم عایق اصلی (HTT) هدایت حرارتی لایه‌های عایق برای خنک‌کاری بهتر سیم‌پیچ استاتور بیش از دو برابر شده است (در مقایسه با سایر محصولات میتسوبیشی). این پیشرفت امکان استفاده از ژنراتورهای خنک‌شونده با هیدروژن را در برخی از محدوده های ظرفیتی که قبلا از ژنراتورهای خنک شونده با آب استفاده می‌شد، فراهم کرده است. علاوه بر این، با استفاده از HHT در ژنراتورهای موجود، می توان خروجی تولید را افزایش داد و از طریق کارکرد تحت فشارهای هیدروژنی کاهش یافته، کارایی را بهبود بخشید [۸۵]



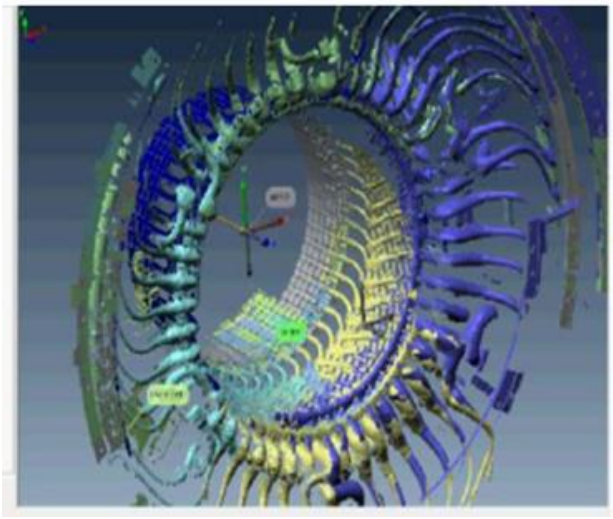
شکل ۱۸۳-۲ : شمایی از فرایند انتقال حرارت به ماده خنک‌کننده توسط شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**



شکل ۱۸۴-۲ : مقایسه میزان انتقال حرارت عایق **HTT** با عایق‌های معمولی طبق آزمون مقایسه‌ای کویل‌های با اندازه واقعی **[۸۵]**

از طریق فن‌آوری‌های مهندسی معکوس که از اسکن و اندازه‌گیری های سه‌بعدی و آزمایش‌های غیرمخرب استفاده می‌کنند، میتسوبیشی توان ارائه خدمات ارتقا و تعمیر سیم‌پیچ استاتور و روتور برای انواع تولیدکنندگان را دارد. با استفاده از سیستم‌های عایق انتقال حرارت بالا (HHT) که توسط میتسوبیشی به عنوان عایق اصلی سیم‌پیچ استاتور توسعه یافته است، این شرکت می‌تواند پیشنهادهایی را برای افزایش کارایی ژنراتورهای موجود ارائه دهد. این شرکت سابقه کار در حمل سریع سیم‌پیچ استاتور، انجام کارهای مربوطه و در واقع تعویض تکنولوژی ژنراتورها را دارد و می‌تواند در راستای برنامه‌های عملیاتی طولانی‌مدت مشتریان، پیشنهادهایی را تهیه کند.

شکل ۱۸۵-۲ : تعویض ژنراتور ۱/۲۲۲ مگاولت‌آمپری نیروگاه هسته‌ای توسط شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**



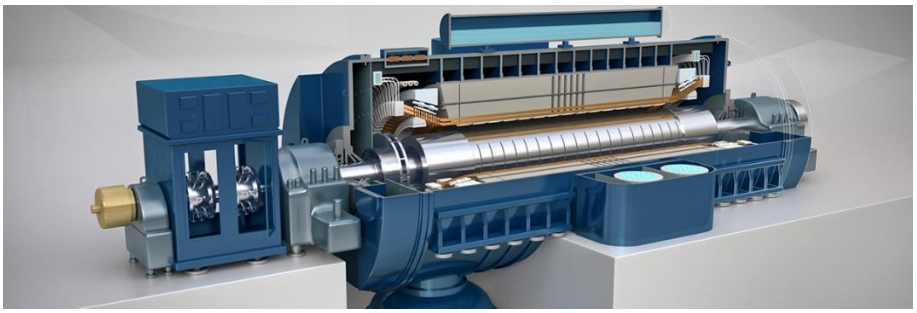
شکل ۱۸۶-۲ : مهندسی معکوس با استفاده از اسکن و اندازه‌گیری‌های سه‌بعدی توسط شرکت میتسوبیشی **[۸۵]**

- شرکت جنرال الکتریک (General Electric)

شرکت جنرال الکتریک نیز یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های فعال در زمینه‌ی ساخت و تولید موتورها و ژنراتورهای الکتریکی و تجهیزات جانبی مربوطه و نیز ارائه‌ی خدمات جانبی در این حوزه‌هاست. این شرکت نیز مانند سایر شرکت‌های بزرگ به طور عمده سه دسته ژنراتور می‌سازد [۸۶]:

- ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن
- ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا
- ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن
    - ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن

سیستم خنک‌سازی این نوع ژنراتورها باعث می‌شود سطح بالایی از بازدهی را حفظ کنند. طراحی منحصر به فرد ژنراتورهای GIGATOP باعث تولید بیشتر توان راکتیو و پایدارسازی قوی‌تر در صورت وقوع اختلال در شبکه‌ی سراسری می‌شود. شمای کلی این نوع ژنراتورها در شکل ۱۸۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۸۷-۲ : شمای کلی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت جنرال الکتریک **[۸۶]**

یک واحد نیروگاهی مجهز به ژنراتور GIGATOP در ایالات متحده آمریکا، بدون قطعی ناخواسته و پیش از خاموشی از پیش برنامه‌ریزی شده، به مدت ۶۰۷ روز کار می‌کند.

اولین ژنراتور GIGATOP ۲ قطب در دهه‌ی ۱۹۷۰ توسعه یافت و بر اساس بازخوردهای گرفته‌شده از استفاده‌کنندگان از این نوع ژنراتور تا به امروز ارتقا و بهبود پیدا کرده است.

مشخصات فنی این نوع ژنراتورها در جدول ۳۶-۲ قابل مشاهده است.

جدول ۳۶-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت جنرال الکتریک **[۸۶]**

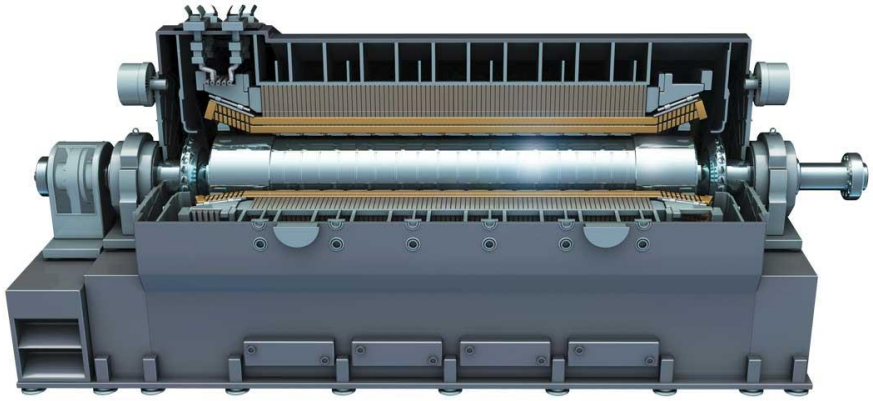
فرکانس	۵۰ هرتز	٦٠ هرتز
ضریب توان	۰.۸ تا ۰.۹	۰.۸۵
توان ظاهری	۵۹۰ مگاولت‌آمپر تا ۱۴۰۰ مگاولت‌آمپر	۵۱۰ تا ۱۱۲۰ مگاولت‌آمپر
بازدهی	تا ۹۹ درصد	تا ۹۸.۹ درصد
ولتاژ ترمینال	۱۸ تا ۲۷ کیلوولت	۲۲ تا ۲۶ کیلوولت
قابلیت اطمینان	۹۹.۹۹۶ درصد	

این نوع ژنراتورها برای نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با ظرفیت تولید بالا بسیار مناسب هستند. به طور خاص در مواردی که لازم است توان خروجی نیروگاه از سطح قابل ارائه‌ی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن بیشتر باشد، ژنراتورهای GIGATOP انتخاب مناسبی هستند.

- ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا

ژنراتورهای TOPAIR شرکت جنرال الکتریک قوی‌ترین ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا در جهان هستند که با توجه به توان خروجی‌شان می‌توان از آن‌ها به جای ژنراتورهای گران‌قیمت‌تر و پیچیده‌تر مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن استفاده کرد. بیش از ۳۵۷۰ واحد نیروگاهی در سرتاسر جهان از این نوع ژنراتور استفاده می‌کنند و

همین موضوع نشان از قدرتمندبودن، قابلیت اطمینان بالا و تعمیر و نگهداری آسان دارد. شمای کلی این نوع ژنراتورها در شکل ۱۸۸-۲ نشان داده شده است [۸۶].



شکل ۱۸۸-۲ : شمای کلی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت جنرال الکتریک **[۸۶]**

ژنراتورهای TOPAIR انعطاف‌پذیری بالایی دارند و با توربین‌های گازی و بخاری چه به صورت تک‌شفت و چه به صورت چندشفت قابل استفاده هستند. نرخ بالای توان و بازدهی بالای این نوع ژنراتورها، باعث شده جایگزین مناسبی برای ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن باشند که به نسبت TOPAIR ابعاد بزرگتری دارند.

تحقیق و توسعه روی این نوع ژنراتورها کماکان در حال انجام است تا بتوان با ارتقای بازدهی آن‌ها، امکان تولید توان خروجی بیشتر را بدون افزایش اندازه‌ی فریم و وزن ژنراتور فراهم کرد.

ژنراتورهای TOPAIR مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا امکان نصب سریع دارند و به سادگی با سیستم همخوانی پیدا می‌کنند. این ژنراتورها انتخاب مناسبی برای نیروگاه‌هایی هستند که نیاز به عملکرد منعطف دارند.

مشخصات فنی ژنراتورهای TOPAIR در جدول ۳۷-۲ ارائه شده است.

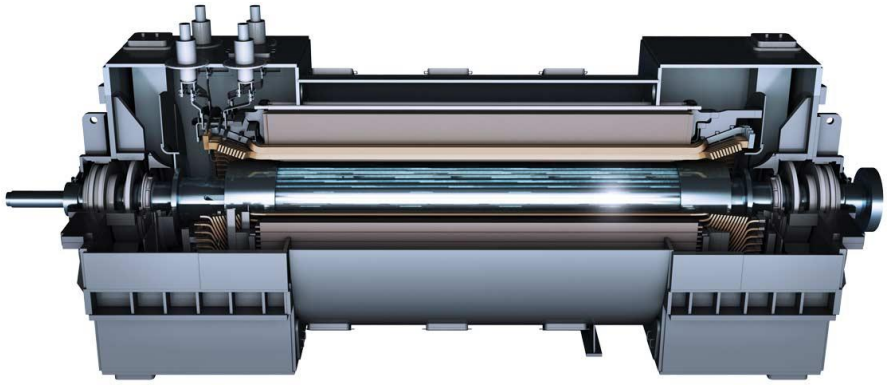
جدول ۳۷-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت جنرال الکتریک **[۸۶]**

فرکانس	۵۰ هرتز
ضریب توان	۰.۸
توان ظاهری	حداکثر تا ۴۳۰ مگاولت‌آمپر
بازدهی	تا ۹۸.۹ درصد
ولتاژ ترمینال	حداکثر تا ۲۲ کیلوولت

- ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن

چگالی کم، گرمای تولیدی زیاد و رسانایی حرارتی بالای گاز هیدروژن، باعث شده است که بیشترین بازدهی در بین محصولات تولیدی جنرال الکتریک مربوط به ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن باشد. این نوع ژنراتورها

برای استفاده در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی همراه با توربین‌های گازی و بخاری مناسب هستند. شمای کلی ژنراتورهای TOPGAS در شکل ۱۸۹-۲ نشان داده شده است [۸۶].



شکل ۱۸۹-۲ : شمای کلی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت جنرال الکتریک **[۸۶]**

ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن از تکنولوژی‌های اثبات‌شده و مواد اولیه‌ی پیشرفته‌ای استفاده می‌کنند تا بازدهی به ۹۹ درصد برسد. کنترل خودکار گاز هیدروژن باعث کاهش نیاز به بازدید میدانی از ژنراتور می‌شود.

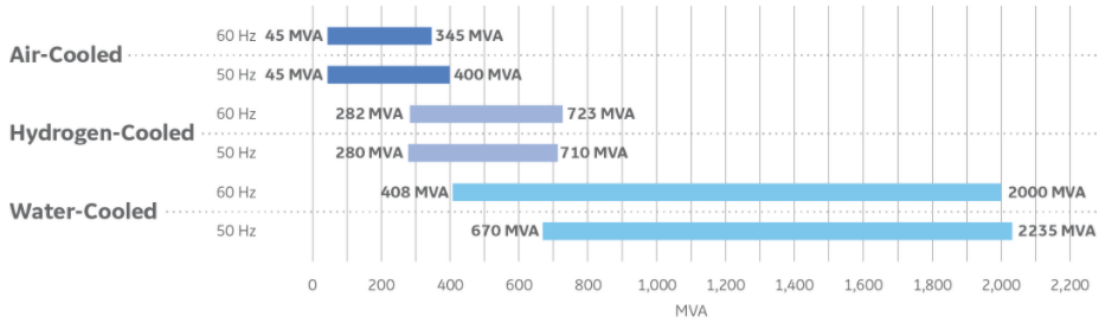
ژنراتورهای TOPGAS جنرال الکتریک که به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن مجهز هستند، برای نیروگاه‌هایی که نیاز به بازدهی بالا دارند، بسیار مناسب هستند. در شرایطی که توان خروجی مشابهی مد نظر باشد، ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن می‌توانند جایگزین خوبی برای بسیاری از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب باشند.

مشخصات فنی این نوع ژنراتورها در جدول ۳۸-۲ ارائه شده است.

جدول ۳۸-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت جنرال الکتریک **[۸۶]**

فرکانس	۵۰ هرتز
ضریب توان	۰.۸
توان ظاهری	حداکثر تا ۷۱۰ مگاولت‌آمپر
بازدهی	تا ۹۹ درصد
ولتاژ ترمینال	حداکثر تا ۲۳ کیلوولت

به طور خلاصه، وضعیت ژنراتوهای تولیدی شرکت جنرال الکتریک برای فرکانس‌های ۵۰ و هرتز مطابق شکل ۱۹۰-۲ است.



شکل ۱۹۰-۲ : خلاصه‌ای از وضعیت ژنراتورهای ساخت شرکت جنرال الکتریک با فناوری‌ها و سطوح توانی مختلف [۸۶]

- شرکت Power Machines

شرکت Power Machines بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی نیروگاه‌ها و تجهیزات مربوطه در کشور روسیه است. این شرکت در زمینه‌ی طراحی، ساخت و تکمیل نیروگاه‌های حرارتی و هسته و تجهیزات مرتبط با آن‌ها دارای حدود ۱۵۰ سال تجربه است. تجهیزات ساخت شرکت Power Machines در بیش از ۵۷ کشور، با ظرفیتی بیش از ۳۰۰،۰۰۰ مگاوات، در سرتاسر جهان نصب شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از محصولاتی که توسط این شرکت طراحی و ساخته می‌شود، توربوژنراتورهای نیروگاهی هستند. تا امروز حدود ۲۷۳۰ توربوژنراتور با مجموع توان خروجی در حدود ۲۸۳.۸ گیگاوات و توان ظاهری ۳۳۴ گیگاوات‌ساعت ساخته شده است [۸۷].

این توربوژنراتورها به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

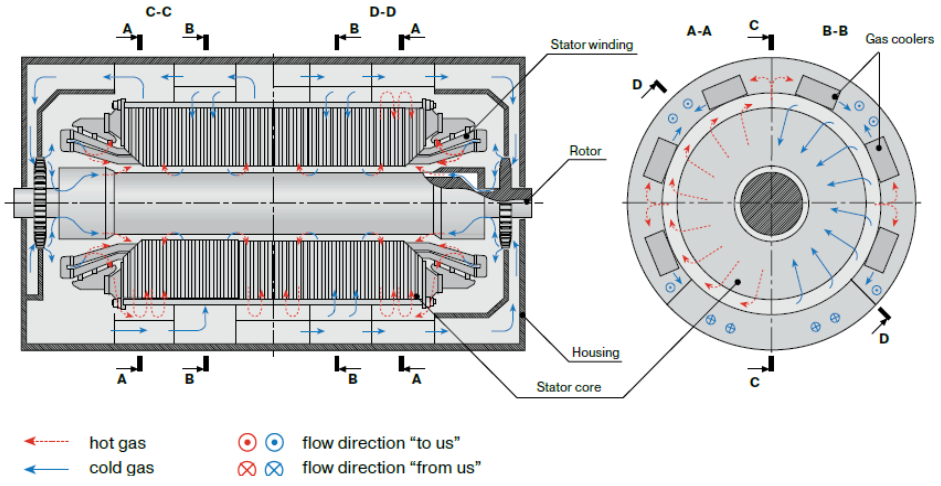
- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن
- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن
- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب
- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا

از مزایای این توربوژنراتورها می‌توان به قابلیت اطمینان بالا، سطح پایین ارتعاش و گرم‌شدن، بازدهی بالا و استفاده در شرایطی که نیز به مصرف توان راکتیو است، اشاره کرد.

در ادامه به معرفی مختصر هر یک از انواع توربوژنراتورهای ساخت شرکت Power Machines پرداخته خواهد شد.

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن

شمای کلی سیستم خنک‌سازی این توربوژنراتورها در شکل ۱۹۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۹۱-۲ : شمای کلی سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن ساخت شرکت **Power Machines** [۸۷]

از ویژگی‌های این نوع توربوژنراتورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خنک‌سازی سیم‌پیچ استاتور به صورت غیرمستقیم با هیدروژن
- خنک‌سازی سیم‌پیچ روتور به صورت مستقیم با هیدروژن (مجهز به سیستم خودتهویه‌ای)
- خنک‌سازی ورقه‌های استاتور با صورت مستقیم با هیدروژن
- عایق سیم‌پیچ استاتور با استفاده از عایق‌های کلاس F
- عایق سیم‌پیچ روتور با استفاده عایق‌های کلاس F و وارنیش‌های مقاوم در برابر حرارت و فایبرگلس

مشخصات فنی این نوع ژنراتورها نیز در جدول ۳۹-۲ ارائه شده است

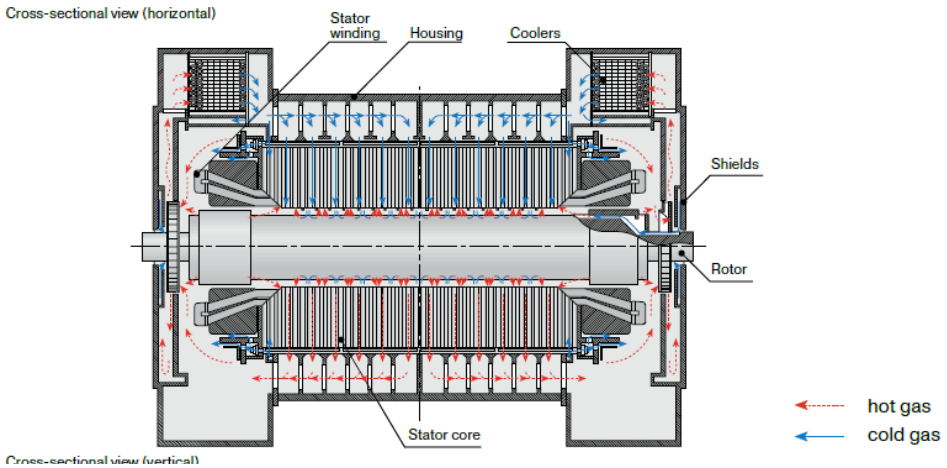
جدول ۳۹-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت **Power Machines** [۸۷]

نوع ژنراتور	توان نامی خروجی (MW)	ظرفیت نامی خروجی (MVA)	بازده ی (%)	ولتاژ نامی (kV)	سرعت (دور بر دقیقه)	سال ورود به چرخه‌ی تولید
$TB\phi-120-2$	۱۰۰	۱۲۵	۹۸.۴	۱۰.۵	۳۰۰۰	۱۹۶۷
$TB\phi-165-2$	۱۶۵	۱۹۴.۱۲	۹۸.۶	۱۸	۳۰۰۰	۲۰۱۲
$TB\phi-200-2$	۲۰۰	۲۳۵.۳	۹۸.۵	۱۱	۳۰۰۰	۱۹۵۷
$B\phi-100/3600$	۱۰۰	۱۱۷.۵	۹۸.۳	۱۰.۵	۳۶۰۰	۱۹۶۸ و مدرن‌سازی در سال ۲۰۱۳
$TB\phi-660-2$	۶۶۰	۷۷۶.۵	۹۹	۲۴	۳۰۰۰	در حال توسعه

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن

این نوع ژنراتورهای در بسیاری از نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای با توان خروجی از ۱۶۰ تا ۱۲۰۰ مگاوات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شمای کلی سیستم خنک‌سازی این نوع ژنراتورها در شکل ۱۹۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۹۲-۲ : شمای کلی سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت **Power Machines** [۸۷]

از مزایای این نوع ژنراتورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مقرون به صرفه بودن از نظر اقتصادی
- انعطاف‌پذیری بالا
- قابلیت اطمینان بالا
- رفتار ارتعاشی بهبودیافته
- مقاوم در برابر حرارت زیاد
- تعمیر و نگهداری آسان و قابل بهره‌برداری در شرایط آب و هوایی مختلف
- قابل استفاده در شرایطی که نیاز به مصرف توان راکتیو وجود دارد

برخی ویژگی‌های ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن ساخت شرکت Power Machines نیز به قرار زیر است:

- خنک‌سازی سیم‌پیچ استاتور به صورت غیرمستقیم با هیدروژن
- خنک‌سازی سیم‌پیچ روتور به صورت مستقیم با هیدروژن (مجهز به سیستم خودتهویه‌ای)
- خنک‌سازی ورقه‌های استاتور با صورت مستقیم با هیدروژن
- عایق سیم‌پیچ استاتور با استفاده از عایق‌های کلاس F
- عایق سیم‌پیچ روتور با استفاده عایق‌های کلاس F و وارنیش‌های مقاوم در برابر حرارت و فایبرگلس

- تغییرات اساسی در انتهای سیستم نگهدارنده‌ی سیم‌پیچ استاتور که باعث کاهش ۲۰ تا ۲۵ درصدی ارتعاشات نسبت به الزامات موجود در استانداردها شده است.
- طراحی بهتر هسته‌ی استاتور که امکان کاهش ۲۰ تا ۳۰ درصدی حرارت و افزایش قابلیت اطمینان حین بهره‌برداری از ژنراتور را فراهم کرده است.

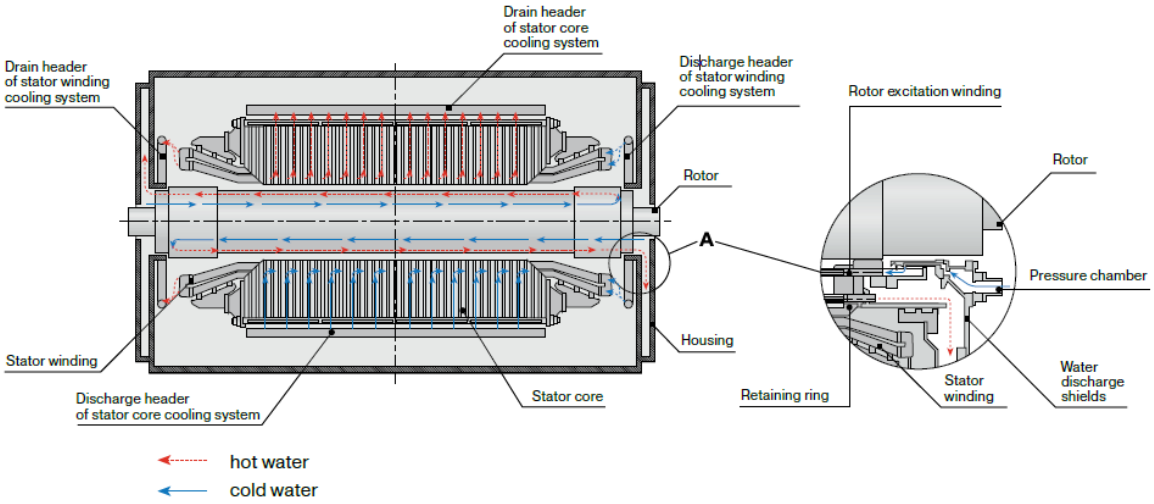
مشخصات فنی این نوع ژنراتورها نیز در جدول ۴۰-۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۴۰-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب و هیدروژن شرکت **Power Machines [۸۷]**

نوع ژنراتور	توان نامی خروجی (MW)	ظرفیت نامی خروجی (MVA)	بازدهی (%)	ولتاژ نامی (kV)	سرعت (دور بر دقیقه)	سال ورود به چرخه‌ی تولید
$TBB-160-2E$	۱۶۰	۱۸۸.۲	۹۸.۵	۱۸	۳۰۰۰	۱۹۸۰
$TBB-220-2E$	۲۲۰	۲۵۹	۹۸.۶	۱۵.۷۵	۳۰۰۰	۱۹۸۷
$BB-220-3600T$	۲۲۰	۲۵۹	۹۸.۴	۱۵.۷۵	۳۰۰۰	۱۹۸۷
$TBB-320-2E$	۳۲۰	۳۷۶	۹۸.۷۵	۲۰	۳۶۰۰	۱۹۸۷
$TBB-350-2$	۳۵۰	۴۱۱.۸	۹۸.۷۵	۲۰	۳۰۰۰	۱۹۹۴
$TBB-500-2E$	۵۰۰	۵۸۸.۲	۹۸.۷۵	۲۰	۳۰۰۰	۱۹۸۶
$TBB-500-2M$	۵۵۰	۶۴۷	۹۸.۶۵	۲۰	۳۰۰۰	۲۰۱۳
$TBB-500-4$	۵۰۰	۵۸۸.۲	۹۸.۷	۲۰	۱۵۰۰	۲۰۰۷
$TBB-600-2$	۶۶۰	۷۷۶.۵	۹۸.۸	۲۰	۳۰۰۰	در حال توسعه
$TBB-600-2T$	۶۶۰	۷۷۶.۵	۹۸.۷۵	۲۴	۳۰۰۰	۲۰۰۶
$TBB-800-2E$	۸۰۰	۸۸۹	۹۸.۸	۲۴	۳۰۰۰	۱۹۸۴
$TBB-1000-2$	۱۰۰۰	۱۱۱۱	۹۸.۷۵	۲۴	۳۰۰۰	۱۹۸۴
$BB-1000-2/27$	۱۰۰۰	۱۱۱۱	۹۸.۷۱	۲۷	۳۰۰۰	۲۰۰۱
$TBB-1000-4$	۱۰۰۰	۱۱۱۱	۹۸.۸	۲۴	۱۵۰۰	۱۹۷۷
$TBB-1000-4$	۱۱۷۰	۱۳۰۰	۹۸.۷۵	۲۴	۱۵۰۰	۲۰۱۸
$TBB-1200-2$	۱۲۰۰	۱۳۳۳	۹۸.۸	۲۴	۳۰۰۰	۱۹۷۵
$TBB-1200-4$	۱۲۵۵	۱۳۹۴	۹۹	۲۴	۱۵۰۰	در حال توسعه

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب برای نیروگاه‌هایی که به تازگی ساخته شده‌اند و نیز برای جایگزینی ژنراتورهای مستعمل سایر نیروگاه‌ها، توسعه یافته‌اند. در شکل ۱۹۳-۲ شمای کلی از سیستم خنک‌سازی این نوع ژنراتورها قابل مشاهده است.



شکل ۱۹۳-۲ : شمای کلی سیستم خنک‌سازی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی آب شرکت **Power Machines** [۸۷]

از مزایای این نوع ژنراتورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ایمن در برابر انفجار و آتش‌سوزی
- انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت تحمل اضافه بار به دلیل سطح پایین گرمایش و ارتعاش
- نداشتن فن یا خنک‌ساز گازی در داخل استاتور

قابلیت اطمینان بالای این نوع ژنراتورها به دلایل زیر تضمین می‌شود:

- طراحی خاص انتهای نگهدارنده‌ی سیم‌پیچ استاتور
- بهبودبخشیدن فشرده‌سازی هسته‌ی استاتور به دلیل عدم استفاده از اسپیسر بین لایه‌ها
- ارتعاشات عرضی کم در روتور و یاتاقان‌ها
- مهاربندی سیم‌پیچ استاتور با استفاده از واشرهای انعطاف‌پذیر

مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب ساخت شرکت Power Machines در جدول ۴۱-۲ ارائه شده است.

جدول ۴۱-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن شرکت **Power Machines** [۸۷]

نوع ژنراتور	توان نامی خروجی (MW)	ظرفیت نامی خروجی (MVA)	بازده ی (%)	ولتاژ نامی (kV)	سرعت (دور بر دقیقه)	سال ورود به چرخه‌ی تولید
$T3B-63-2$	۶۳	۷۸.۷۵	۹۸.۴	۶.۳ / ۱۰.۵	۳۰۰۰	۱۹۶۸
$T3B-110-2$	۱۱۰	۱۳۷.۵	۹۸.۶	۱۰.۵	۳۰۰۰	۱۹۹۵

$T3B-220-2$	۲۲۰	۲۵۸.۸	۹۸.۸	۱۵.۷۵	۳۰۰۰	۱۹۹۸
$T3B-320-2$	۳۲۰	۳۷۶.۵	۹۸.۸	۲۰	۳۰۰۰	۱۹۹۸
$T3B-800-2$	۸۰۰	۸۸۸.۹	۹۸.۹	۲۴	۳۰۰۰	۱۹۸۰
$T3B-890-2A$	۸۹۰	۹۸۸.۹	۹۸.۸۵	۲۴	۳۰۰۰	۲۰۱۰
$3B-1200-2A$	۱۲۰۰	۱۳۳۳	۹۸.۹۷	۲۴	۳۰۰۰	۲۰۱۲

- توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا

توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا که ساخت شرکت Power Machines هستند، برای نیروگاه‌های سیکل ترکیبی جدید و به منظور کوپل‌شدن با توربین‌های نیروگاه‌های گازی و بخاری و همچنین در راستای جایگزینی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن و آب و هیدروژن که مستعمل شده‌اند، طراحی شده و توسعه یافته‌اند. محدوده‌ی توان خروجی این نوع ژنراتورها بین ۶ تا ۳۵۰ مگاوات است. برخی ویژگی‌های این نوع ژنراتورها عبارتند از:

- استفاده از جدیدترین سیستم عایقی برای سیم‌پیچ‌های استاتور و روتور
- استفاده از فولاد الکتریکی با تلفات کم
- افزایش قابلیت اطمینان به دلیل طراحی ساده
- کاهش تجهیزات جانبی موردنیاز
- تعمیر و نگهداری سریع‌تر و آسان‌تر
- انعطاف‌پذیری بیشتر
- ایمنی بیشتر
- زمان نصب کمتر

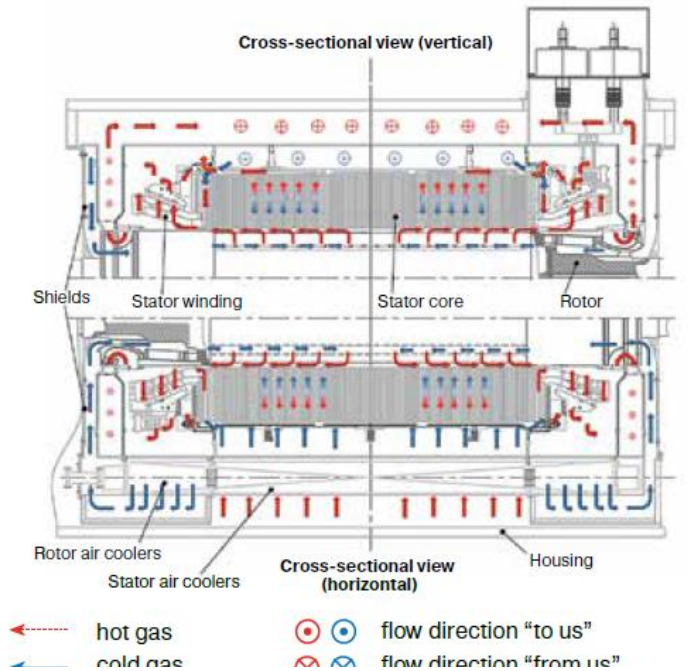
مشخصات فنی برخی از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Power Machines در جدول ۲-۴۲ ارائه شده است.

جدول ۲-۴۲ : مشخصات فنی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی به هوا شرکت **Power Machines [۸۷]**

نوع ژنراتور	**توان نامی خروجی (MW)**	**ظرفیت نامی خروجی (MVA)**	**بازدهی (%)**	**ولتاژ نامی (kV)**	**سرعت (دور بر دقیقه)**	**سال ورود به چرخه‌ی تولید**
$TA-6-2$	۶	۷.۵	۹۷.۸	۱۰.۵ / ۶.۳	۳۰۰۰	۲۰۰۲

$TA-12-2K$	۱۲	۱۵	۹۸.۳۵	۱۰.۵ / ۶.۳	۳۰۰۰	۲۰۰۳
$TA-15-2/6.6T$	۱۵	۱۸.۷۵	۹۸.۳۵	۶.۳ (۶.۶)	۳۰۰۰	۲۰۰۴
$TA\Pi-25-2$	۲۵	۳۱.۲۵	۹۸.۴	۱۰.۵ / ۶.۳	۳۰۰۰	۲۰۰۷
$TA\Pi-30-2$	۳۰	۳۷.۵	۹۸.۴	۱۰.۵ / ۶.۳	۳۰۰۰	۲۰۱۲
$T\Phi\Pi-18-2TZ$	۱۸	۲۲.۵	۹۸.۱	۶.۳ / ۱۰.۵ (۱۱)	۳۰۰۰	۲۰۰۴
$T\Phi\Pi-25-4$	۲۵	۲۷.۷۸	۹۷.۵	۱۰.۵	۱۵۰۰	۱۹۹۶
$T\Phi\Pi-35-2M5$	۳۵	۴۳.۷۵	۹۸.۱	۱۰.۵	۳۰۰۰	۲۰۰۸
$T\Phi\Pi-40-2H$	۴۰	۵۰	۹۸.۳	۶.۳ / ۱۰.۵	۳۰۰۰	۲۰۰۴، مدرن‌سازی در سال ۲۰۱۶
$\Phi\Pi-110-2/13.8$	۱۱۰	۱۳۷.۵	۹۸.۵	۱۳.۸	۳۰۰۰	۱۹۹۸
$T3\Phi\Pi-63-2M$	۶۳	۷۸.۷۵	۹۸.۴	۱۰.۵ / ۶.۳	۳۰۰۰	۲۰۰۴ ۲۰۰۷
$T3\Phi\Pi-80-2M$	۸۰	۱۰۰	۹۸.۵	۱۰.۵	۳۰۰۰	۲۰۱۶
$T3\Phi\Pi-110-2M$	۱۱۰	۱۳۷.۵	۹۸.۴۵	۱۰.۵	۳۰۰۰	۲۰۰۶ ۲۰۰۲
$T3\Phi\Pi-130-2$	۱۳۰	۱۶۲.۵	۹۸.۴۵	۱۰.۵	۳۰۰۰	۲۰۱۴
$T3\Phi\Pi-160-2M$	۱۶۰	۱۸۸.۲	۹۸.۷	۱۵.۷۵	۳۰۰۰	۲۰۰۴ ۲۰۰۲
$T3\Phi\Pi-160-2$	۱۸۰	۲۱۱.۸	۹۸.۶	۱۵.۷۵	۳۰۰۰	۲۰۱۱
$T3\Phi\Pi-220-2$	۲۲۵	۲۶۴.۷	۹۸.۶	۱۵.۷۵	۳۰۰۰	۲۰۰۸
$T3\Phi\Pi-350-2$	۳۵۰	۴۱۱.۸	۹۸.۷۵	۲۰	۳۰۰۰	در حال توسعه

سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت Power Machines در شکل ۲-۱۹۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۹۴-۲ : سیستم خنک‌سازی توربوژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا شرکت **Power Machines** [۸۷]

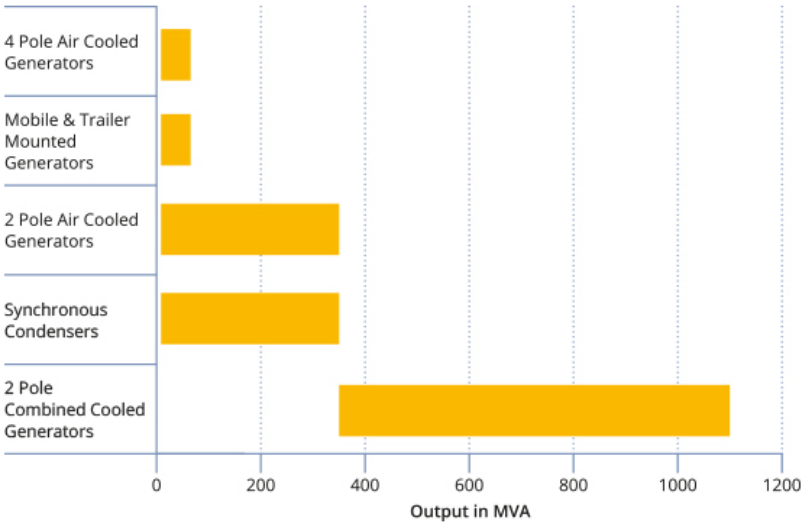
- شرکت براش (Brush)

شرکت براش بیش از یک قرن است که به تولید ژنراتورها و موتورهای الکتریکی می‌پردازد. ژنراتورهای نیروگاهی تولیدی این شرکت به سه دسته‌ی زیر قابل تقسیم هستند [۸۸]:

- ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا
- ژنراتورهای چهار قطب
- ژنراتورهای دو قطب به مجهز به سیستم خنک‌سازی ترکیبی

شرکت براش بیش از ۳۶۰۰ واحد نیروگاهی مختلف را در ۱۱۸ کشور دنیا نصب کرده است که دارای عملکرد فنی و زیست‌محیطی خوبی هستند.

لازم به ذکر است که این شرکت در زمینه‌ی تولید ژنراتورهای متحرک و همچنین کندانسورهای سنکرون نیز فعالیت می‌کند. خلاصه‌ای از وضعیت توان خروجی هر نوع ژنراتور تولیدی توسط این شرکت در شکل ۱۹۵-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۹۵-۲ : محدوده‌ی توانی ژنراتورهای ساخت شرکت **Brush** [۸۸]

در ادامه به تشریح مشخصات و فناوری‌های هر یک از انواع این ژنراتورهای نیروگاهی پرداخته خواهد شد.

- ژنراتورهای چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با با هوا

ژنراتورهای چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت براش به گونه‌ای طراحی شده‌اند که برای استفاده در نیروگاه‌هایی با توربین‌های گازی یا بخاری مناسب باشند. محدوده‌ی توانی قابل تولید این ژنراتورها از ۱۰ تا ۶۵ مگاولت‌آمپر است.

در شکل ۱۹۶-۲ یک مورد از این نوع ژنراتورها نشان داده شده است.

شکل ۱۹۶-۲ : ژنراتور چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت **Brush** [۸۸]

از ویژگی‌های اصلی این نوع ژنراتورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بازدهی بالا تا حداکثر ۹۸.۶ درصد
- گزینه‌های مختلف تبادل‌گر حرارتی منعطف مانند تهویه با هوای آزاد، CACA/TEAAC و CACW/TEWAC
- طراحی مدولار ژنراتور

- قابلیت نصب سریع
- بهره‌برداری با دمای پایین
- سر و صدای کم
- وزن سبک
- سازگار با API 546
- اینرسی بالا

فریم استاتور این نوع ژنراتورها ساختار مستحکمی دارد و از ورق‌های فولادی نرم ساخته شده است. طراحی این فریم به گونه‌ای است که توانایی تحمل فشارهای مکانیکی عین بهره‌برداری و شرایط اتصال کوتاه را داشته باشد.

هسته‌ی استاتور نیز از فولاد با درصد سیلیکون بالا، پرمابلیته‌ی زیاد، با تلفات کم و به صورت ورقه‌ای ساخته شده است. در سرتاسر هسته، به کمک اسپیسرهای فولادی، داکت‌های تهویه‌ی شعاعی تعبیه شده است.

سیم‌پیچی استاتور دو لایه‌ای و از نوع الماسی است که شامل ۶ سیم می‌شود؛ ۳ سیم به عنوان ترمینال‌های خروجی خط و ۳ سیم به عنوان ترمینال‌های نوترال.

سیستم عایقی این نوع ژنراتورها مبتنی بر پوشش شیشه‌ای با نوارهایی از جنس میکاست که عملکرد عایقی در کلاس F از خود نشان می‌دهند.

این نوع ژنراتورهای چهار قطب ساخت شرکت براش، با تمام سیستم‌های تحریک بدون جاروبک سازگاری دارند. سیستم تحریک بدون جاروبک متشکل از یک ژنراتور AC سه فاز با آرمیچر چرخان و یک یکسوساز سوار بر شفت است [۵۵].

در جدول ۴۳-۲ به طور خلاصه به برخی مشخصات فنی ژنراتورهای چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت براش اشاره شده است.

جدول ۴۳-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای چهار قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت **Brush [۸۸]**

ولتاژ	حداکثر تا ۱۵ کیلوولت
سیستم تحریک	بدون جاروبک یا استاتیک
کلاس عایقی	F
فرکانس	۵۰ یا ۶۰ هرتز
خروجی	بین ۱۰ تا ۶۵ مگاولت‌آمپر
درایو	درایو تک یا دو سر
درایور	توربین گازی یا توربین بخاری
استانداردهای	سازگاری کامل با استانداردهای IEC و IEEE

طراحی	مربوطه
تأییدیه	ATEX، IECEX، UL یا CSA

- ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا

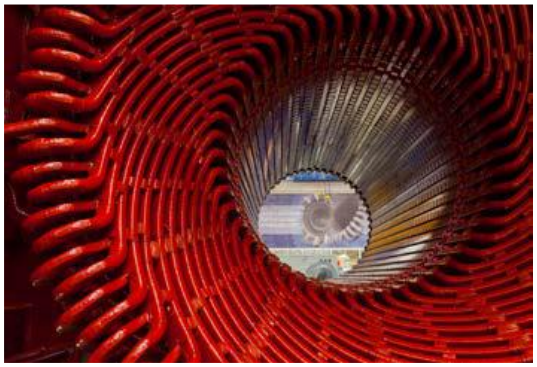
این نوع ژنراتورها که همراه با توربین‌های گازی یا بخاری قابل استفاده هستند، در محدوده‌ی توانی ۱۰ تا ۳۵۰ مگاولت‌آمپر تولید می‌شوند. در شکل ۱۹۷-۲ یک مورد از ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت براش نشان داده شده است [۵۵].

شکل ۱۹۷-۲ : ژنراتور دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت **Brush [۸۸]**

از ویژگی‌های اصلی این نوع ژنراتورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بازدهی بالا تا حداکثر ۹۸.۶ درصد
- گزینه‌های مختلف تبادل‌گر حرارتی منعطف مانند تهویه با هوای آزاد، CACA/TEAAC و CACW/TEWAC
- طراحی مدولار ژنراتور
- قابلیت نصب سریع
- بهره‌برداری با دمای پایین
- سر و صدای کم
- وزن سبک
- سازگار با API 546
- اینرسی بالا

فریم استاتور این نوع ژنراتورها ساختار مستحکمی دارد و از ورق‌های فولادی نرم ساخته شده است. طراحی این فریم به گونه‌ای است که توانایی تحمل فشارهای مکانیکی عین بهره‌برداری و شرایط اتصال کوتاه را داشته باشد. بخشی از استاتور این نوع ژنراتورها در شکل ۱۹۸-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۹۸-۲ : بخشی از استاتور ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت **Brush [۸۸]**

هسته‌ی استاتور نیز از فولاد با درصد سیلیکون بالا، پرمابلیته‌ی زیاد، با تلفات کم و به صورت ورقه‌ای ساخته شده است. در سرتاسر هسته، به کمک اسپیسرهای فولادی، داکت‌های تهویه‌ی شعاعی تعبیه شده است.

سیستم عایقی این نوع ژنراتورها مبتنی بر پوشش شیشه‌ای با نوارهایی از جنس میکاست که عملکرد عایقی در کلاس F از خود نشان می‌دهند.

روتور این نوع ژنراتورها از فولاد ۱۸-۱۸ منگنز کرومینوم غیرمغناطیسی ساخته شده است. بخشی از روتور ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت براش در شکل ۱۹۹-۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۹۹-۲ : بخشی از روتور ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت **Brush** [۵۵]

این نوع ژنراتورهای دو قطب ساخت شرکت براش، با تمام سیستم‌های تحریک بدون جاروبک سازگاری دارند. سیستم تحریک بدون جاروبک متشکل از یک ژنراتور AC سه فاز با آرمیچر چرخان و یک یکسوساز سوار بر شفت است.

در جدول ۴۴-۲ به طور خلاصه به برخی مشخصات فنی ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت براش اشاره شده است [۵۵].

جدول ۴۴-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت **Brush** [۵۵]

ولتاژ	حداکثر تا ۲۰ کیلوولت
سیستم تحریک	بدون جاروبک یا استاتیک
کلاس عایقی	F
فرکانس	۵۰ یا ۶۰ هرتز
خروجی	بین ۱۰ تا ۳۵۰ مگاولت‌آمپر
درایو	درایو تک یا دو سر
درایور	توربین گازی یا توربین بخاری

استانداردهای طراحی	سازگاری کامل با استانداردهای IEC و IEEE مربوطه
تأییدیه	ATEX، IECEX، UL یا CSA

- ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی ترکیبی

شرکت براش با توجه به نیاز مشتریان، ژنراتورهایی مجهز به سیستم خنک‌سازی ترکیبی با گاز هیدروژن و آب طراحی کرده است. این نوع ژنراتورها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که توان خروجی موردنیاز، از سطح قابل ارائه توسط ژنراتور های مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا بیشتر باشد. عملکرد ارتقایافته در خنک‌سازی میله‌های استاتور با آب امکان ارائه‌ی توان خروجی بیشتر با بازدهی بیشتر را فراهم کرده است. این نوع ژنراتورها قابلیت ارائه‌ی توان خروجی از ۳۵۰ تا ۱۱۰۰ مگاولت‌آمپر را دارا هستند. در شکل ۲۰۰-۲ یک نمونه از ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با هیدروژن و آب ساخت شرکت براش نشان داده شده است [۵۵].

شکل ۲۰۰-۲ : ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی ترکیبی ساخت شرکت **Brush** [۵۵]

از ویژگی‌های این نوع ژنراتورها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بهره‌برداری با دمای پایین
- سر و صدای کم
- گزینه‌های مختلف تبادل‌گر حرارتی منعطف مانند تهویه با هوای آزاد، CACA/TEAAC و CACW/TEWAC
- اینرسی بالا
- قابلیت بهره‌برداری تحت عنوان کندانسور سنکرون

در جدول ۴۵-۲ به طور خلاصه به برخی مشخصات فنی ژنراتورهای دو قطب مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا ساخت شرکت براش اشاره شده است.

جدول ۴۵-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی ترکیبی ساخت شرکت **Brush** [۵۵]

ولتاژ	بین ۱۵ تا ۲۴ کیلوولت
سیستم تحریک	استاتیک یا سوار بر شفت
کلاس عایقی	F
فرکانس	۵۰ یا ۶۰ هرتز
خروجی	بین ۳۵۰ تا ۱۱۰۰ مگاولت‌آمپر
درایو	درایو تک سر
درایور	توربین گازی یا توربین بخاری
استانداردهای طراحی	سازگاری کامل با استانداردهای IEC و IEEE مربوطه
تأییدیه	ATEX، IECEX، UL یا CSA

- شرکت فوجی الکتریک (Fuji Electric)

شرکت فوجی الکتریک آمریکا از سال ۱۹۷۰ در بخش محصولات صنعتی از نیمه‌هادی‌ها، HMIها، منبع تغذیه و تجهیزات تولید برق گرفته تا درایوهای AC و سیستم‌های برق اضطراری شروع به فعالیت کرده است. ژنراتورهای تولید این شرکت از نوع خنک شونده با هوا برای نیروگاه های کوچک و متوسط با درجه‌بندی تا ۳۰۰ مگاولت‌آمپر ایده‌آل هستند. قابلیت اطمینان بالا هدف این شرکت در ساخت محصولات خود بوده است. طراحی محصول براساس تجزیه و تحلیل دقیق در زمینه الکترومغناطیسی، سیستم خنک‌کاری، مقاومت مکانیکی و لرزش وارده بر اجزای مختلف صورت گرفته است [۴۹].

شالوده طراحی آنها بر اساس استانداردهای IEC و IEEE و ANSI است.

سیستم عایقی با فناوری GVPI بر روی آن‌ها پیاده‌سازی شده است که در برابر گرم و سرد شدن عایق در چرخه‌های عملیاتی مقاوم است و غیر قابل اشتعال می‌باشد.

مشخصات فنی ژنراتورهای ساخت شرکت فوجی الکتریک در جدول ۴۶-۲ ارائه شده است.

جدول ۴۶-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای ساخت شرکت فوجی الکتریک [۴۹]

فرکانس	۵۰ هرتز
ضریب توان	۰.۸۵
توان ظاهری	۲۰ تا ۳۰۰ مگاولت‌آمپر
بازدهی	تا ۹۹ درصد
ولتاژ ترمینال	۱۱ تا ۱۳.۸ کیلوولت برای توان‌های کمتر از ۲۰۰ مگاوات ۱۶ کیلوولت برای توان‌های ۲۰۰ مگاوات و بالاتر
سیستم خنک‌سازی	خنک‌سازی با آب و هوا به صورت داخلی و بدون مدار خنک‌ساز خارجی
قابلیت اطمینان	۹۹.۹ درصد

در شکل ۲۰۱-۲ نمایی از یک نیروگاه برق حرارتی نشان داده شده است که ژنراتورها و توربین‌های ساخت شرکت فوجی الکتریک در آن مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

شکل ۲۰۱-۲ : نمایی از یک نیروگاه برق حرارتی مجهز به ژنراتور و توربین ساخت شرکت فوجی الکتریک [۴۹]

شرکت Fuji Electric به منظور استفاده از واحدهای حرارتی که حدود ۳۰ سال است مورد استفاده قرار می‌گرفتند به مدت ۲۰ سال دیگر، یک توربین از نوع گرمایش مجدد دو سیلندر را با یک توربین از همین نوع اما یک سیلندر جایگزین‌کرد.

با جایگزین‌کردن یک توربین نوع گرمایش مجدد یک سیلندر در فضای محدود و از پیش تعریف‌شده‌ی نیروگاه، نوسازی عایق‌های تجهیزات تولید توان، نوسازی تجهیزات کنترل و مانیتورینگ و کنسول قدرت ولتاژ بالا، استفاده از یک گاورنر دیجیتال به جای گاورنر هیدرولیکی و مکانیکی و با به‌کارگیری یک سیستم راه‌انداز توربین خودکار[1] (ATS)، عملکرد، قابلیت اطمینان، پایداری و بازدهی نیروگاه به میزان قابل توجهی بهبود پیدا کرد.

از آن‌جایی که این فناوری نوسازی جدید با هزینه‌ی کمی روی نیروگاه‌ها قدیمی قابل پیاده‌سازی است – که تقریباً ۷۰ درصد کل واحدهای نیروگاهی حرارتی را تشکیل می‌دهند – انتظار می‌رود به عنوان روشی برای مرتفع‌کردن نیازهای مشتریان با تقاضای زیادی مواجه شود [۴۹].

- شرکت ABB

شرکت ABB نیز یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های فعال در زمینه‌ی ساخت و تولید موتورها و ژنراتورهای الکتریکی و تجهیزات جانبی مربوطه و نیز ارائه‌ی خدمات جانبی در این حوزه‌هاست. ژنراتورهای این شرکت از نوع هوا خنک با بازه توانی 14KVA تا 70MVA می‌باشند. ژنراتورهای تولید این شرکت از نوع خنک شونده با هوا برای نیروگاه های کوچک با توان تا ۸۵ مگاولت‌آمپر ایده‌آل هستند. ژنراتورهای ABB به بالاترین استانداردها و قابلیت اطمینان دست یافتند.

شالوده طراحی آنها بر اساس استانداردهای IEC و IEEE و ANSI است و با پارامترهای استاندارد NEMA نیز تطابق دارند.

سیستم عایقی به‌کاررفته در آنها MICADUR و منحصر به شرکت ABB است که در برابر اثرات مخرب تخلیه‌های جزئی (PD) بسیار مقاوم است.

[1] Automatic Turbine Start-up System

تمامی محصولات با نرم‌افزارهای FEM مدلسازی شده‌اند و با حداقل استرس و فشار وارده بر هسته و فریم و ارتعاشات حداقلی به بازار ارائه شده‌اند [۵۶].

مشخصات فنی ژنراتورهای ساخت شرکت ABB در جدول ۴۷-۲ ارائه شده است.

جدول ۴۷-۲ : مشخصات فنی ژنراتورهای ساخت شرکت **ABB** [۵۶]

فرکانس	۵۰ هرتز
ضریب توان	۰.۸۵
توان ظاهری	تا ۸۵ مگاولت‌آمپر
بازدهی	تا ۹۹ درصد
ولتاژ ترمینال	۳ تا ۱۵ کیلوولت
سیستم خنک‌سازی	خنک‌سازی با آب و هوا به صورت داخلی و بدون مدار خنک‌ساز خارجی
قابلیت اطمینان	۹۹.۹ درصد

شکل ۲۰۲-۲، یک نمونه از ژنراتورهای بخاری ساخت شرکت را نشان می‌دهد.

شکل ۲۰۲-۲ : نمونه‌ای از ژنراتورهای بخاری ساخت شرکت **ABB** [۵۶]

- شرکت SEC

شرکت SEC تولیدکننده‌ی ژنراتور و موتورهای الکتریکی در چین است [۵۷].

یک نمونه از توربوژنراتورهای تولیدی این شرکت در شکل ۲۰۳-۲ نشان داده شده است.

شکل ۲۰۳-۲ : توربوژنراتور ساخت شرکت **SEC** چین [۵۷]

همچنین برخی مشخصات فنی این نوع توربوژنراتورهای ساخت شرکت SEC در جدول ۴۸-۲ ارائه شده است.

جدول ۴۸-۲ : برخی مشخصات فنی توربوژنراتور ساخت شرکت **SEC** [۵۷]

نوع	QF، QFW
نوع سیستم تحریک	سیستم تحریک بدون جاروبک یا استاتیک
محدوده توانی	۳ تا ۱۰۰ مگاوات
فرکانس	۵۰ و ۶۰ هرتز
سرعت	۱۵۰۰، ۱۸۰۰، ۳۰۰۰ و ۳۶۰۰ دور در دقیقه
محدوده ولتاژ	۳۱۵۰ تا ۲۰۰۰ ولت
درجه‌ی حفاظت	IP44، IP54 و IP55
نوع خنک‌سازی	IC81W (با آب)

- شرکت براون باوری (B.B.C)

شرکت براون باوری در سال ۱۸۹۱ توسط چارلز یوجین لانکلوت براون[1] در زوریخ سوئیس تأسیس شد و از آن سال به تحقیق و توسعه و همچنین تولید ژنراتورها و موتورهای الکتریکی پرداخت. اما این شرکت در حال حاضر وجود خارجی ندارد، چرا که در سال ۱۹۸۸ با شرکت ASEA ادغام شد و شرکت بزرگ ABB را شکل داد که اکنون یکی از فعالان بزرگ در عرصه‌ی تجهیزات الکتریکی در سرتاسر دنیاست.

[1] Charles Eugene Lancelot Brown

- شرکت United Technologies

این شرکت آمریکایی که از سال ۱۹۷۰ تأسیس شده بود، در بخش‌های مختلفی شروع به فعالیت کرد. عمده‌ی فعالیت‌های این شرکت در حوزه‌ی صنایع هوافضای ایالات متحده‌ی آمریکا بود، اما در زمینه‌ی ساخت و تولید واحدهای نیروگاهی و ژنراتورهای نیروگاهی در محدوده‌ی توانی بین ۲۵ تا ۵۰ مگاوات نیز فعالیت می‌کرد.

این شرکت در سال ۲۰۰۰ حق تولید واحدهای نیروگاهی و ژنراتورهای نیروگاهی خود را به شرکت میتسوبیشی فروخت و در سال ۲۰۲۰ نیز با شرکت Raytheon ادغام شد و فعالیت خود را به طور خاص روی صنایع هوافضا متمرکز کرد [۵۸].

- شرکت مارلی (Marelli)

شرکت ایتالیایی Marelli تا اواسط دهه‌ی ۱۹۹۰ به طراحی و ساخت ژنراتورها و توربوژنراتورهای نیروگاهی مشغول بود، اما با نزدیک‌شدن به قرن ۲۱ ام تغییر سیاست داد و از سال ۱۹۹۷ تا امروز به ساخت موتورها و ژنراتورهایی با سطح توانی در حدود ۵ تا ۳۷۵ کیلوولت‌آمپر مشغول است و در زمینه‌ی ساخت و تولید توربوژنراتورها و ژنراتورهای نیروگاهی فعالیتی ندارد [۵۹].

- شرکت الکتروسیلا (Electrosila)

این شرکت در سال ۱۸۹۸ تأسیس شد و به ساخت توربوژنراتورهایی مناسب برای نیروگاه‌های حرارتی و هسته‌ای مشغول بود اما در نهایت با شرکت Power Machines ادغام شد و اکنون شرکتی مستقلی با این نام فعالیتی در حوزه‌ی صنعت برق ندارد.

۷-۱-۲-۲- شرکت‌های تولیدکننده و تعمیراتی ژنراتور در داخل کشور

در این بخش سعی شده کلیه شرکت‌های مطرح داخل کشور در زمینه ساخت و تعمیر ژنراتورهای نیروگاهی معرفی شود. در ادامه نیز به شناسایی شرکت‌های بزرگ و مطرح تولیدکننده خارج از کشور پرداخته شده است. خدمات شرکت‌های فعال در حوزه تعمیرات، به دو بخش تعمیرات مکانیکی از قبیل رفع عیب خمش شفت، تعویض شفت ترک‌دار، رفع عیب مربوط به یاتاقان‌ها و همراستایی تجهیزات کوپل‌شده و بخش تعمیرات الکتریکی از قبیل تعویض شینه‌های معیوب به لحاظ عایقی، رفع عیب هسته آسیب‌دیده بصورت موضعی و یا تعویض هسته بصورت کلی تقسیم می‌شود. آنچه که مسلم است، تصمیم برای انجام هریک از پروسه‌های تعمیراتی یاد شده منوط به انجام تست‌های مربوطه و تشخیص وضعیت تجهیز خواهد بود. بنابراین آنچه که در انتخاب شرکت‌های تعمیراتی مهم می‌نماید ، ابتدا تجهیزات تست آنها به جهت تشخیص دقیق عیب پیش‌آمده و سپس توانایی و تجربه آنها در رفع عیب و ساخت و جایگزینی قطعه معیوب است. در ادامه سعی شده ابتدا به میزان توانمندی شرکت‌های تعمیراتی داخلی در انجام تست و عیب‌یابی تجهیز پرداخته شود و سپس میزان توانایی آن‌ها در رفع عیب بررسی شود.

- شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس ژنراتور)

شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس) در این بخش از پروژه به عنوان تنها تولیدکننده داخلی ژنراتورهای نیروگاهی و تعمیرکننده مورد بررسی قرار گرفته است.

این شرکت از سال ۱۳۷۷ در راستای سیاست‌های ارتقاء دانش فنی و توانایی صنعتی کشور، با هدف انتقال تکنولوژی ساخت و تولید انواع ژنراتورهای نیروگاه‌های حرارتی (تا ظرفیت ۱۶۰ مگاوات)، آبی (تا ظرفیت ۲۵۰ مگاوات) و باس‌داکت‌های نیروگاهی، شروع به فعالیت نمود. این شرکت با همکاری تولیدکنندگان بین‌المللی این صنعت توانسته است به تکنولوژی تولید مولدهای نیروگاهی به همراه باس‌داکت و تجهیزات جانبی برسد و همچنین، محصولات خود را به کشورهایی مانند سوریه، عراق و تاجیکستان صادر نماید [۶۰].

شرکت ژنراتور مپنا (پارس) هم اکنون به عنوان طراح و تولیدکننده ژنراتورهای نیروگاهی آبی تا ظرفیت ۲۵۰ مگاوات، حرارتی تا ظرفیت ۱۶۰ مگاوات و ژنراتورهای صنعتی در حال فعالیت است. همکاری با تولیدکنندگان بین‌المللی این صنعت همچون (Siemens ، Ansaldo ، Elin Motoren ، Alstom GE Canada) در کارنامه این شرکت ثبت شده است. محصولات زیر به‌عنوان ساخت شرکت مپنا در سایت این شرکت موجود هستند:

- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGS58 با توان نامی ۲۳۵ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGG58 با توان نامی ۲۳۰ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGG57 با توان نامی ۲۱۶ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGS55 با توان نامی ۲۰۰ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGG55 با توان نامی ۲۰۰ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGS54 با توان نامی ۲۰۲ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGG41 با توان نامی ۵۶.۲۵ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGG30 با توان نامی ۳۱.۲۵ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGS23 با توان نامی ۱۳.۱۲۵ MVA
- ژنراتور مجهز به سیستم خنک‌سازی با هوا مدل MGS21 با توان نامی ۷.۵ MVA
- ژنراتور آبی مدل MGH52 با توان نامی ۱۴۰ MVA
- ژنراتور آبی مدل MGH60 با توان نامی ۳۰۰ MVA

شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس) با بهره‌گیری از منابع انسانی و تجهیزات و ماشین آلات خود، خدمات نیروگاهی زیر را ارائه می‌نماید که انجام تعمیرات موردی تجهیزات نیروگاهی و ساخت شینه انواع ژنراتورهای حرارتی و آبی نیز در لیست خدمات گنجانده شده است [۶۰].

- آموزش‌های تخصصی بهره‌برداران نیروگاه‌ها
- تعمیرات موردی محصولات نصب شده (ژنراتورهای نیروگاهی–توربین‌های بادی–الکتروموتورهای صنعتی و ...)
- تامین قطعات یدکی و ابزارهای مخصوص محصولات تولیدی (انواع ژنراتورهای نیروگاهی–توربین‌های بادی–الکتروموتورهای صنعتی و ...)
- تعمیرات اساسی (Overhaul) محصولات نصب شده (انواع ژنراتورهای نیروگاهی–توربین های بادی–الکتروموتورهای صنعتی و ...)
- انجام تست‌های الکتریکی و مکانیکی اجزاء محصولات (انواع ژنراتورهای نیروگاهی–توربین های بادی– الکتروموتورهای صنعتی و ...)

- بهینه سازی و ارتقاء واحدهای نیروگاهی و تجهیزات آنها به دستگاه هایی نظیر On Line: Monitoring- On Line/Offline Partial Discharge
- طراحی و ساخت شینه انواع ژنراتورهای حرارتی و آبی
- ارائه خدمات بابیت ریزی انواع یاتاقان‌ها اعم از نیروگاهی و صنعتی
- ارائه خدمات Low speed balance تا ظرفیت ۱۲.۵ تن
- ارائه خدمات واکنش سریع به نیروگاه‌ها جهت رفع مشکلات برنامه ریزی نشده و جلوگیری از عدم تولید برق در اوج مصرف شبکه

- شرکت توربوژنراتور شاهرود

اولین گام‌های احداث این شرکت از سال ۱۳۶۹ آغاز شد و هم اکنون با بیش از ۳۰ سال سابقه در زمینه ساخت و سرویس و بازسازی ماشین‌های الکتریکی ، در حال ارائه خدمات به صنایع مختلف کشور و کشورهای همسایه می‌باشد. همکاری با شرکت هایی مانند فولاد مبارکه اصفهان، ذوب آهن اصفهان، مجموعه‌های سیمان، شرکت‌های تحت پوشش وزارت نفت و وزارت نیرو در سابقه این شرکت موجود می‌باشد.

در مورد خدمات قابل ارائه به بخش نیروگاهی کشور، در زمینه تست‌های الکتریکی و عایقی ، این شرکت قابلیت انجام تست مقاومت عایقی و استحکام عایقی در محل نصب تجهیز را دارد. انجام خدمات تست ژنراتورهای نیروگاهی (تخلیه جزئی، تانژانت دلتا، تست هسته) در محل نیروگاه برای این شرکت مقدور است. میزان آسیب دیدگی هسته با استفاده از تست‌های مرتبط که تشخیص HOT SPOT ها را در پی دارد ، پس از دمونتاژ در این شرکت قابل انجام است. این شرکت توانایی ساخت و و ترانسپوزه و تعویض انواع شینه‌های ژنراتورهای نیروگاهی تا توان 400MVA را دارد. عایق‌کاری شینه-های ژنراتورهای نیروگاهی، به روش کم‌رزین (VPI) در این شرکت انجام شده و در صورت لزوم انجام عایق‌کاری به روش پررزین (Resin Rich) نیز امکان‌پذیر است [۶۱].

تعمیر موضعی ورقه هسته آسیب‌دیده با استفاده از روش‌های تعمیر موضعی و همچنین تعویض ورقه‌های هسته معیوب و جایگزینی آنها، در صورت آسیب‌دیدگی زیاد از دیگر توانایی‌های این شرکت است. همچنین دارای آزمایشگاه مستقر در واحد شینه‌سازی جهت انجام انواع تست‌های عایقی شینه‌های ژنراتورهای نیروگاهی با قابلیت انجام تست‌های ذیل می‌باشد:

- اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و تلفات عایقی
- اندازه‌گیری تخلیه جزئی
- تست فراتاخت مقایسه‌ای
- اندازه‌گیری مقاومت عایقی
- اندازه‌گیری مقاومت اهمی در حد میکرواهم
- تست HIGH POT

در مورد تست‌های مکانیکی ، شرکت توربوژنراتور قابلیت اعزام تیم فنی جهت تست تجهیز در محل نیروگاه و زیر بار کامل را دارد. آنالیز ویبره و تشخیص عیبی که باعث بالا رفتن ارتعاشات ژنراتور شده است، یکی از خدماتی‌ست که این شرکت به مشتریان خود ارائه می‌دهد تا آنها را در انتخاب بهینه پروسه تعمیرات ، یاری کند.

همچنین انجام تست‌های غیر مخرب مانند MT ، UT، PT و نیز آزمون‌های سختی‌سنجی و ترک‌یابی در این شرکت قابل انجام است. رفع خمش شفت با جوشکاری و عملیات حرارتی و رفع ترکهای محیطی در صورتی‌که آسیب وارده به شفت جزئی باشد ، قابل انجام و تعمیر و تعویض شفت ژنراتورهای نیروگاهی با در نظر گرفتن تمامی تلرانس‌های ابعادی و ملزومات ساخت، در این شرکت امکان‌پذیر است [۶۱].

نمایی از این شرکت در شکل ۲۰۴-۲ و شکل ۲۰۵-۲ نشان داده شده است.

شکل ۲۰۴-۲ : نمایی از کارخانه توربوژنراتور شاهرود – ۱ [۶۱]

شکل ۲۰۵-۲ : نمایی از کارخانه توربوژنراتور شاهرود – ۲ [۶۱]

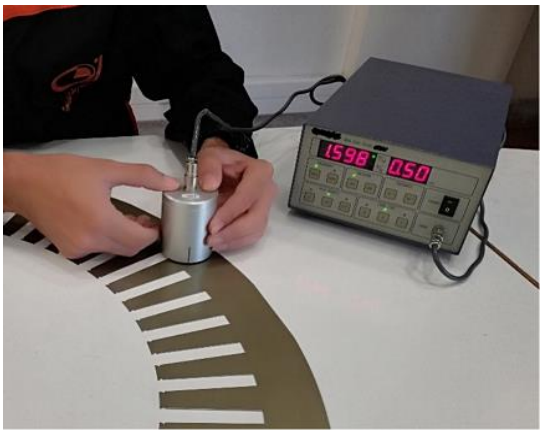
این شرکت در سابقه خود ساخت و تعویض شینه‌های استاتور ژنراتور 400MVA نیروگاه بندرعباس و روتور ژنراتور 85 MVA نیروگاه فجر جم و تعمیر و اورهال روتور واحد ۳۸ نیروگاه ری را دارد.

- گروه صنعتی رشد صنعت

شرکت رشد صنعت از سال ۱۳۶۹ به‌عنوان شرکتی با مالکیت خصوصی تاسیس گردید و اکنون بعنوان یکی از شرکت-های بزرگ و معتبر در حال ارائه خدمات به صنعت برق کشور است. این شرکت همچنین دارای گواهینامه پیمانکاری رتبه ۱ نیرو ، رتبه ۱ تاسیسات و تجهیزات ، رتبه ۲ نفت و گاز ، رتبه ۴ صنعت و معدن می‌باشد.

شرکت رشد صنعت نیرو قادر به انجام فرآیند تست ، ایرادیابی، اورهال، تعمیر و ساخت قطعات یدکی انواع الکتروموتورها و ژنراتورهای فشارقوی و فشارضعیف می باشد. این شرکت تجهیزات کامل جهت ساخت کویل‌های فشار متوسط و فشار قوی تا سطح ولتاژ ۱۸ کیلوولت و بدون محدودیت در سایز و توان را در اختیار دارد.

ساخت کویل ها در فضای تمیز و عاری ازگرد و خاک و آلودگی های فلزی انجام می‌گیرد. جهت ساخت و جایگزینی کویل های جدید از تکنولوژی تزریق رزین در خلاء VPI استفاده می‌شود و در صورت نیاز می توان از تکنولوژی RESIN RICHنیز استفاده نمود. ساخت و تعویض شفت انواع ژنراتورها و موتورها و همچنین ترمیم موضعی ورق هسته و تعویض آن در صورت نیاز از دیگر قابلیت‌های این شرکت می‌باشد [۶۲].



شکل ۲۰۶-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی رشد صنعت – ۱ [۶۲]

شکل ۲۰۷-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی رشد صنعت – ۲ [۶۲]

تعمیرات اساسی و اورهال الکتریکی و مکانیکی واحدهای نیروگاهی و انجام خدمات تست ژنراتورهای نیروگاهی (تخلیه جزئی، تانژانت دلتا، تست هسته) توسط این شرکت انجام می‌شود.

در سایت این شرکت از همکاری در اجرای پروژه‌های نیروگاه حرارتی بیستون، نیروگاه حرارتی غرب، نیروگاه CHP نظرآباد، نیروگاه ذغال‌سوز طبس نام برده شده است [۶۲].

- گروه صنعتی فن ژنراتور

گروه صنعتی فن ژنراتور فعالیت‌های خود را در زمینه تعمیرات ماشین‌های الکتریکی از اوایل دهه شصت آغاز نمود. در حال حاضر این گروه صنعتی از مراکز تعمیر و بازسازی ماشین‌های الکتریکی در منطقه محسوب می گردد.

گروه صنعتی فن ژنراتور قادر به ساخت صنعتی شینه ژنراتورهای نیروگاهی، و تعمیر ژنراتورهای نیروگاهی می‌باشد. آزمایشگاه فشار قوی کارخانه مشهد جهت تست کویل های فشار قوی و شینه های ژنراتورهای نیروگاهی مجهز شده است. لیست تجهیزات آزمایشگاه فشار قوی مستقر در واحد شینه‌سازی جهت تست نهایی شینه‌های ژنراتور نیروگاه‌ها [۶۳]:

- سیستم تست فشار قوی با ولتاژ AC 140KV/ DC 100KV
- سیستم اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و تلفات عایقی
- سیستم اندازه‌گیری تخلیه جزئی
- دستگاه تست سرج مقایسه‌ای
- دستگاه اندازه‌گیری مقاومت عایقی

شکل ۲۰۸-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی فن ژنراتور – ۱ [۶۳]

شکل ۲۰۹-۲ : نمایی از کارخانه گروه صنعتی فن ژنراتور – ۲ [۶۳]

در سایت این شرکت از ساخت شینه‌های خنک شونده با آب ژنراتورهای نیروگاه شهید منتظری اصفهان و نیروگاه رامین اهواز به عنوان خدمات ارائه شده به بخش نیروگاهی کشور یاد شده است.

- شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران

این شرکت یکی از شرکت‌های وابسته به وزارت نیرو می‌باشد که با هدف پشتیبانی از تولید برق پایدار با خط مشی انجام تعمیرات فوق تخصصی نیروگاه‌ها، در سال ۱۳۶۰ تحت عنوان مدیریت اساسی تعمیرات توانیر تاسیس شده است. نام شرکت پس از چند دوره تغییرات در سال ۱۳۸۱ به نام شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران تغییر یافته است. مهمترین فعالیت های شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران در عرصه تعمیرات اساسی و تخصصی واحدهای نیروگاهی، بازسازی و ارتقاء، ساخت تجهیزات، راه اندازی و نگهداری واحدهای نیروگاهی ، صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، پالایشگاهی، سیمان، قند و ریلی می باشد.

این شرکت با بهره‌مندی ازامکانات و تجهیزات ویژه کارگاهی و آزمایشگاهی توانسته در زمینه تعمیرات تجهیزات اصلی و جانبی صنایع نیروگاهی، خدمات فنی را به شرح ذیل ارائه نماید [۶۴]:

روتورهای ژنراتورهای نیروگاهی به هنگام بهره‌برداری گاهاً دچار آسیب‌دیدگیهای مختلفی می شوند و این شرکت قادر به تعمیر و بازسازی نقاط آسیب‌دیده روتورهای ژنراتورهای نیروگاهی است. تمیزکاری با روش سندبلاست، رفع خمش شفت با جوشکاری و عملیات حرارتی و رفع ترکهای محیطی از جمله خدماتی‌ست که در این شرکت ارائه می‌شود. همچنین قابلیت انجام آزمایش‌های سختی‌سنجی،ضخامت‌سنجی در واحدهای نیروگاهی و انجام تست‌های غیر مخرب شامل MT، UT، PT، بازرسی و انجام کلیه آزمونهای غیر مخرب در نیروگاه‌ها و مراکز صنعتی بر روی ماشین آلات دوار شامل روتور های توربین و ژنراتور و انواع شفت کوپلینگ‌ها به‌وسیله این شرکت قابل انجام است.

در بخش الکتریکی نیز خارج کردن قسمتهای آسیب‌دیده سیم‌پیچ، تعمیر موضعی یا اساسی هسته استاتور، تعمیر سیم‌پیچ آسیب‌دیده یا ساخت شینه‌های نو و نصب آن‌ها، انجام آزمایش‌های لازم و تکمیل و تحویل ژنراتور تعمیر شده به نیروگاه‌ها یا سایر صنایع انجام می‌گردد. از جمله تخصص‌های این شرکت، ساخت شینه‌های انواع استاتورها می‌باشد [۶۴].

شکل ۲۱۰-۲ : نمایی از شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران [۶۴]

در آزمایشگاه فشار قوی این شرکت، قابلیت انجام تست‌های زیر بر روی تجهیزات فراهم است:

- تست مقاومت عایقی و تعیین PI الکتروموتورها و ژنراتورها
- تست امپدانس و مقاومت اهمی استاتور و روتور
- تست شار مغناطیسی هسته الکتروموتورها و ژنراتورها
- تست تعیین ضریب تلفات عایقی و ظرفیت خازنی استاتور ژنراتورها و الکتروموتورها
- تست ضریب تلفات عایقی و خازنی و HV شینه‌ها
- تست HV الکتروموتورها و ژنراتورها با جریان متناوب و مستقیم
- تست PD انواع شین‌های ژنراتور
- تست PD سیم پیچی انواع ژنراتورها

آزمایشگاه فشارقوی شرکت بزرگترین آزمایشگاه در ایران بوده و دارای ژنراتور ۵ مگاواتی می‌باشد و در حال تجهیز فاز دوم جهت تست ایمپالس ترانسفورماتور می‌باشد.

در سایت این شرکت از ساخت و تعویض شینه‌های ژنراتور نیروگاه سیکل ترکیبی قم ، تعمیرات اساسی روتور و استاتور ژنراتور و باز عایق پیچی پانزده عدد شینه استاتور نیروگاه رامین ، تعمیرات اساسی و تعمیرات روتور ژنراتور واحد G11 نیروگاه سیکل ترکیبی کازرون و ساخت یک دستگاه روتور ژنراتور نیروگاه شهید رجایی یاد شده است.

در کنار شرکت‌های توانمند یادشده که توانایی تشخیص عیب و انجام عملیات بازسازی ژنراتورهای نیروگاهی را به‌صورت کامل دارند، شرکت‌های کوچکتری نیز در این صنعت فعال هستند که توانایی انجام بخشی از عملیات بازسازی مثلا انجام تست‌های تشخیصی و یا توان بهبود عملکرد بخشی از تجهیزات بکاررفته در صنعت بازسازی ژنراتورهای نیروگاهی مثلا تانک‌های VPI را دارند. در ادامه به معرفی مهمترین این شرکت‌ها پرداخته شده است [۶۴].

- شرکت مهندسی فراز پویان آراد

شرکت مهندسی فراز پویان آراد، ، فعالیت خود را به طور رسمی از سال ۱۳۹۱ در زمینه طراحی، ساخت، تعمیر و بازسازی انواع ماشین‌های الکتریکی آغاز نموده است. این شرکت در سابقه خود ، تعمیر الکتروموتورهای ضد انفجار در جایگاه‌های CNG ، ساخت و تعمیر الکتروموتورهای زیرسطحی ESP ، تعمیرات و ساخت موتورهای الکتریکی خاص نظیر سروو موتورها ، موتورهای فرکانس بالا و موتورهای بدون جاروبک BLDC و تعمیرات و باز طراحی الکتروموتورهای با سطح ولتاژ متوسط و فشارقوی تا ۹ مگاوات مورد کاربرد در صنایع مختلف از جمله نیروگاهی، صنایع فولاد، پتروشیمی و... را در رزومه خود دارد [۶۵].

این شرکت در سایت خود رزومه کار نیروگاهی ثبت نکرده است. منتها در بخش تحقیق و توسعه خود در حال تحقیق و بررسی روش‌هایی برای افزایش توانایی اجرایی شرکت در موارد ذیل می‌باشد:

بهینه سازی سیستم خنک کاری و درجه حفاظتی ماشین‌های الکتریکی ، تقویت عمر خستگی شفت ها

بهینه سازی انتقال حرارت در ژنراتورها با همکاری واحد نانو فناوری گروه صنعتی نصر

همکاری با دپارتمان ساخت شرکت ، جهت طراحی و ساخت دستگاه فرمینگ کویل برای فرم‌دهی کویل‌های فشارقوی، نیروگاهی و نیز بروزرسانی تانک VPI و تجهیزات مربوطه

که در صورت رسیدن به توانایی ساخت و بهینه‌سازی ، برای فعالین این حوزه بسیار مفید و کاربردی خواهد بود.

شرکت مهندسی فراز پویان آراد در سایت خود همچنین در زمینه تجهیز، راه اندازی و تعمیرات نیروگاهی، پروژه‌های سرویس و رفع عیب در محل (on-site)، بازسازی کامل ژنراتورهای نیروگاهی و همچنین ساخت کویل‌های نیروگاهی و بازسازی هسته انواع ژنراتورها اعلام آمادگی کرده است [۶۵].

این شرکت در زمینه تعمیرات اساسی واحدهای نیروگاهی در بخش موتورهای فشار قوی و فشار متوسط فعالیت دارد.

- شرکت صنعتی ماه نیرو

ماه نیرو با بیش از ۳۰ سال سابقه تولید کننده ژنراتورهای صنعتی در ایران و منطقه ، است. شرکت صنعتی ماه نیرو در سال ۱۳۶۳ خورشیدی، با تولید ژنراتورهای برق مقیاس کوچک آغاز به کار کرد. در سال ۱۳۷۰ تولید ژنراتورهای سه فاز سنکرون از قدرت ۳۰ الی ۲۵۰ کیلووات را آغاز کرد و در سال‌های بعد با توسعه کارخانه تنوع تولیدات تا قدرت ۵۳۰KVA افزایش یافته است. محصول این شرکت ژنراتورهای صنعتی و ادوات مربوط به آنهاست. در سابقه خود طراحی و ساخت تابلوهای سنکرون‌کننده و تابلوهای حفاظتی و همچنین بازسازی و تعمیرات انواع ژنراتورهای صنعتی را دارد. در سایت این شرکت سابقه‌ای در مورد تعمیرات ژنراتورهای نیروگاهی وجود ندارد منتها در مورد مشاوره طراحی نیروگاه‌های دیزلی و گازی اعلام آمادگی شده است. این شرکت نیز سابقه اجرایی در زمینه تعمیرات نیروگاهی ندارد [۶۶].

- شرکت تسلا پیشرو

شرکت تسلا پیشرو اخوات (توان آیریا نیک) متشکل از فارغ التحصیلان و اساتید دانشگاه صنعت آب و برق و دانشگاه علم وصنعت در اواخر سال ۹۱ آغاز به کار کرد. درسال ۹۴ موفق به اخذ مجوز استقرار در مرکز توسعه فن آوری صنعت برق در پژوهشگاه نیرو گردید. محور فعالیت‌های شرکت تسلا پیشرو، ساخت تجهیزات تست دقیق و باکیفیت در صنعت برق و انرژی و همچنین خدمات تست در این حوزه می‌باشد . این شرکت در زمینه ساخت دستگاه‌های تست عایق‌های فشارقوی رزومه قوی دارد و همچنین عملیات تست را در بسیاری از نیروگاه‌های کشور انجام داده است و در صورت نبود تجهیزات

تست فشارقوی در هر یک از شرکت‌های تعمیرکننده می‌تواند به‌عنوان شرکت سوم جهت تست و تایید تجهیز ساخته یا تعمیرشده بکارگیری شود [۲۶].

- انجام و تحلیل تست تخلیه جزیی به روش الکتریکی
- صدور گزارش وتحلیل عیب یابی تست شامل پترن‌های PRPDA و PSA و ارائه راه حل
- تشخیص و مکان یاب تخلیه جزیی به روش آلتراسونیک
- تست استقامت ولتاژ عایقی (هایپات)
- تست اتصال حلقه و بدنه روتور (RSO)

از جمله خدمات تست عایق‌های فشارقوی ست که در این شرکت توانایی اجرای آنها را بر روی عایق‌های ژنراتورهای نیروگاهی دارد.

در ادامه به خدماتی که این شرکت در زمینه تست و عیب‌یابی به بخش نیروگاهی کشور یا به شرکت‌های تعمیرکننده بزرگ ارائه کرده است ، اشاره شده است [۲۶]:

- تست سیم‌پیچ استاتور نیروگاه حرارتی رامین اهواز
- تست سیم‌پیچ استاتور نیروگاه گازی شیراز
- تست سیم‌پیچ استاتور نیروگاه خیام نیشابور
- تست سیم‌پیچ روتور و استاتور نیروگاه سیکل ترکیبی ارومیه
- تست سیم‌پیچ روتور و استاتور نیروگاه سیکل ترکیبی کهنوج شوباد
- تست سیم‌پیچ استاتور نیروگاه پتروشیمی عسلویه
- تست سیم‌پیچ روتور و استاتور و ترانسفورماتور نیروگاه شهید سلیمی نکا
- تست سیم‌پیچ استاتور نیروگاه سیکل ترکیبی قم
- تست سیم‌پیچ روتور و استاتور نیروگاه سیکل ترکیبی خوی
- تست ژنراتور نیروگاه سیکل ترکیبی کرمان
- تست سیم‌پیچ الکتروموتور نیروگاه شهید منتظری اصفهان
- تست ژنراتور نیروگاه شهید مفتح همدان نیروگاه رامین اهواز نیروگاه قم
- تست شینه‌های ساخت شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران
- تست شینه‌های ساخت شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران
- تست شینه‌های ساخت شرکت فن ژنراتور مشهد
- تست شینه‌های ساخت شرکت رشد و صنعت آزمایشگاه شرکت رشد و صنعت

- تست شینه‌های نیروگاه شهید عباسپور آزمایشگاه‌های صنایع برق (EPIL)
- تست ژنراتور نیروگاه سد لتیان و نیروگاه سد کلان

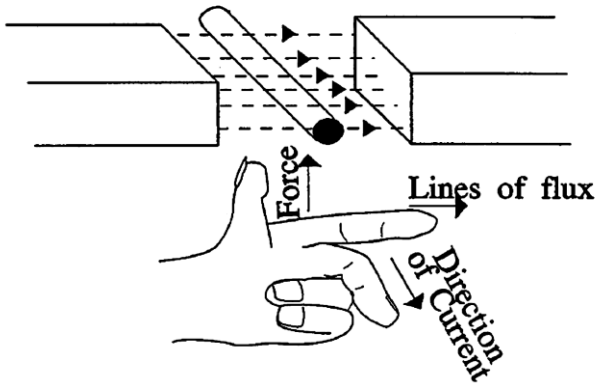
۲-۲-۲- الکتروموتور

سیستم‌های محرکه موتوری، بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی در جهان هستند که حدود ۴۳ تا ۴۶ درصد انرژی مصرفی صنایع را مصرف می‌کنند. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی پتانسیل صرفه‌جویی انرژی الکتریکی برای سیستم‌های محرکه موتوری، حدود ۲۵ درصد است که می‌تواند تقاضای انرژی الکتریکی کل جهان را تا حدود ۱۰ درصد کاهش دهد. اهمیت روزافزون بهینه‌سازی در مصرف انرژی، محققان را بر آن داشته است تا فناوری‌های بسیاری را به منظور کاهش مصرف انرژی در صنایع مختلف ارائه دهند. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی سهم مصارف موتوری از انرژی الکتریکی مصرفی ایران، حدود ۴۱ درصد از کل تقاضای انرژی الکتریکی کشور است [۱].

تجهیزات موجود در صنایع کشور و از جمله آنها موتورهای الکتریکی مورد استفاده در این صنایع، غالباً قدیمی و فرسوده هستند و یا از فناوری‌های قدیمی در آنها استفاده می‌گردد و کمتر از فناوری‌های جدید و یا محصولات با کیفیت در آنها استفاده می‌شود؛ این امر موجب می‌گردد که مصرف انرژی الکتریکی به مقدار قابل ملاحظه‌ای بالاتر از صنایع مشابه در کشورهای پیشرفته صنعتی باشد. به عنوان مثال فناوری موتورهای الکتریکی القایی سه‌فاز، که بیشترین مصرف را در صنایع کشور دارند، همچنان قدیمی است و از موتورهای القایی بازده‌بالا هیچ استفاده‌ای در کشور نمی‌گردد. در حالی که در کشور آمریکا استفاده از موتورهای القایی بازده‌بالا مدت زیادی است که رواج یافته است و موتورهای با فناوری قدیمی (به دلیل مصرف انرژی بیشتر) مطرود گشته‌اند. بنابراین لازم است که برای کاهش مصرف انرژی الکتریکی در بخش موتورهای الکتریکی و همچنین افزایش کیفیت و طول عمر آنها، از موتورهای الکتریکی با فناوری جدید که بازدهی بالاتری نسبت به موتورهای الکتریکی موجود در کشور دارند، استفاده شود [۱].

۱-۲-۲-۲- اساس کارکرد موتورهای الکتریکی

اساس کار تمامی موتورهای الکتریکی که با استفاده از میدان مغناطیسی تولید نیرو و گشتاور می‌کنند یکسان است؛ از برهم‌کنش شار مغناطیسی که در فاصله هوایی جاری می‌گردد و جریانی که (ازنظر فازی) عمود بر شار مغناطیسی فاصله هوایی است و در یک سیم‌پیچی جاری است، نیرو و گشتاور الکترومغناطیسی تولید می‌گردد. همان‌طور که در شکل ۲۱۱-۲ نشان داده‌شده است، این نیرو و گشتاور عمود برجهت شارش شار مغناطیسی و جریان سیم‌پیچی هست.



شکل ۲۱۱-۲: تعیین جهت نیروی مغناطیسی بر اساس قانون دست چپ فلمینگ

اندازه این نیرو به‌شدت جریان سیم‌پیچی، شار فاصله هوایی و طول برهم‌کنش میدان مغناطیسی و جریان سیم‌پیچی بستگی دارد.

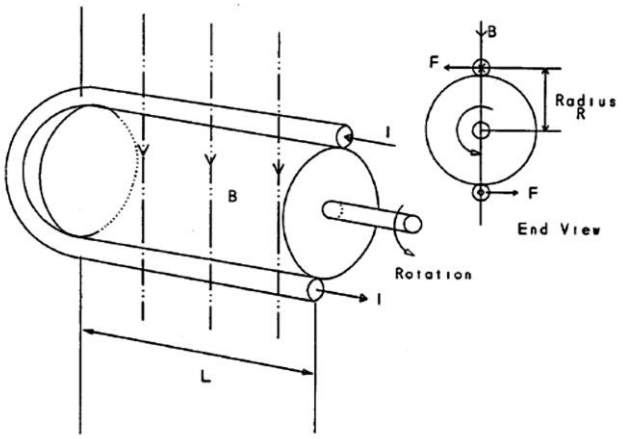
$$F_{(newtons)} = B_{(tesla)} \times I_{(amperes)} \times L_{(meters)}$$ ۲-۱۲

مکانسیم کارکرد موتوری بر اساس قانون فوق در شکل ۲۱۲-۲ نشان داده شده است. گشتاور خالص واردشده به روتور در این حالت برابر است با حاصل‌ضرب نیروی وارد بر هر هادی ضرب‌در طول بازوی گشتاور (R).

$$T_{(newton\ meters)} = 2 \times B \times I \times L \times R_{(meters)}$$ ۲-۱۳

این گشتاور باعث می‌شود که موتور شروع به چرخش نماید. وقتی زاویه چرخش به ۹۰ درجه برسد، جریان سیم‌پیچی و شار مغناطیسی، بنا بر توضیحات فوق، دیگر نمی‌توانند گشتاور تولید کنند؛ بنابراین یا باید (مانند موتورهای دی‌سی) جریان در سیم‌پیچی دیگری که در یک موقعیت دیگر قرار دارد جاری گردد و یا (مانند موتورهای جریان متناوب) جهت و یا موقعیت شار مغناطیسی تغییر نماید. در صورت چرخش مداوم روتور با سرعت زاویه‌ای ω، توان مکانیکی تولید شده برابر می‌شود با:

$$P_{(watts)} = \omega \times T$$ ۲-۱۴



شکل ۲۱۲-۲: نیروی الکترومغناطیسی واردشده بر دو هادی حامل جریان و تولید گشتاور بر روی روتور

بنابر رابطه ۲-۱۲، توان خروجی موتور با افزایش سرعت و یا افزایش گشتاور موتور، افزایش می‌یابد. توان الکتریکی مصرفی موتور برای تولید این مقدار توان مکانیکی را به‌صورت حاصل ضرب جریان سیم‌پیچی در ولتاژ داخلی موتور (E*I) می‌توان بیان کرد. با فرض برابر بودن توان ورودی و خروجی موتور (صرف‌نظر کردن از تلفات) رابطه زیر برای ولتاژ داخلی موتور، از برابر قرار دادن توان ورودی و خروجی موتور، به دست می‌آید:

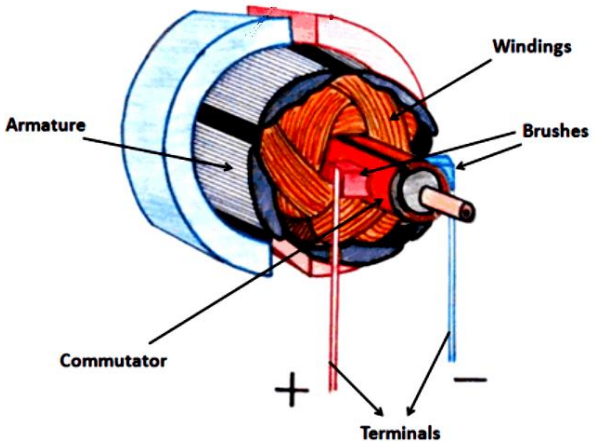
$$E_{(volts)} = 2 \times B \times L \times \omega \times R$$ ۲-۱۵

موتورهای الکتریکی را از دیدگاه‌های مختلف می‌توان دسته‌بندی کرد؛ یکی از این دیدگاه‌ها، نحوه تولید گشتاور الکترومغناطیسی است؛ از این دیدگاه، ساختارهای مختلف موتورهای الکتریکی مبنای دسته‌بندی آن‌ها قرار می‌گیرد.

- موتورهای DC

در موتورهای دی‌سی شار مغناطیسی در فاصله هوایی با استفاده از یک دسته سیم‌بندی موسوم به سیم‌بندی تحریک به وجود می‌آید. سیم‌بندی تحریک بر روی قسمت ثابت موتور موسوم به استاتور پیچیده می‌شود. با جاری شدن جریان در

سیم‌بندی آرمیچر این موتورها، گشتاور الکترومغناطیسی تولید می‌شود. سیم‌بندی آرمیچر بر روی بخش گردان موتور موسوم به روتور قرار دارد. برای تغذیه سیم‌بندی‌های آرمیچر در این موتورها، به دلیل این‌که بر روی قسمت گردان موتور قرار گرفته است، نیاز به استفاده از جاروبک[1] و تیغه‌های مسی[2] است. در شکل ۲۱۳-۲ روتور یک موتور دی‌سی و اتصال جاروبک‌ها به تیغه‌های مسی آن، نشان داده شده است.



شکل ۲۱۳-۲: روتور یک موتور دی‌سی

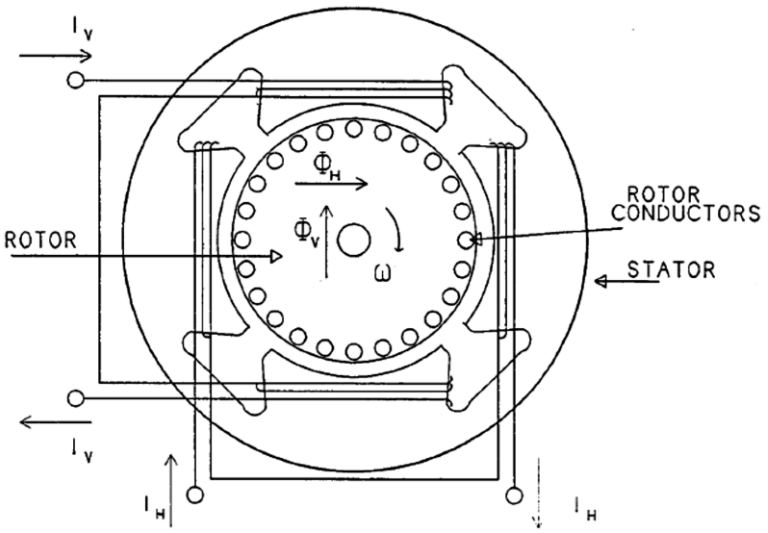
تقسیم‌بندی‌های مختلف موتورهای دی‌سی به دلیل روش‌های مختلف تولید شار در فاصله هوایی و یا نحوه تغذیه سیم‌بندی تحریک، که شار فاصله هوایی را تولید می‌کند، به وجود می‌آید. این تقسیم‌بندی‌ها عبارت است از:

- موتورهای دی‌سی تحریک مستقل؛ موتورهایی هستند که سیم‌بندی تحریک جداگانه و بدون اتصال به سیم‌بندی آرمیچر (سیم‌بندی‌ای که با جاری شدن جریان در آن، گشتاور تولید می‌گردد) از یک منبع تغذیه خارجی تغذیه می‌گردند.
- موتورهای دی‌سی شانت؛ موتورهایی هستند که سیم‌بندی تحریک به صورت موازی به سیم‌بندی آرمیچر متصل است و هر دو از یک منبع تغذیه می‌گردند.
- موتورهای دی‌سی سری؛ موتورهایی هستند که سیم‌بندی تحریک با سیم‌بندی آرمیچر به صورت سری قرار می‌گیرند.
- موتورهای دی‌سی کمپوند؛ موتورهایی هستند که هم سیم‌بندی تحریک سری و هم سیم‌بندی تحریک شانت دارند. این موتورهای خاصیتی بین موتورهای دی‌سی تحریک سری و دی‌سی تحریک شانت دارند.
- موتورهای دی‌سی آهنربای دایم؛ موتورهایی هستند که سیم‌بندی تحریک ندارند و میدان مغناطیسی توسط آهنرباهایی که به بدنه استاتور متصل است تولید می‌گردد.

- موتورهای القایی

اساس کار موتورهای القایی تغییر جهت شار فاصله هوایی به گونه‌ای است که موتور حرکت پیوسته داشته باشد. برای رسیدن به درک بهتر از عملکرد موتورهای القایی، در شکل ۲۱۴-۲ سطح مقطع دو بعدی یک موتور القایی دو فاز و دو قطب نشان داده شده است که سیم‌بندی‌های استاتور به صورت متمرکز پیچیده شده است.

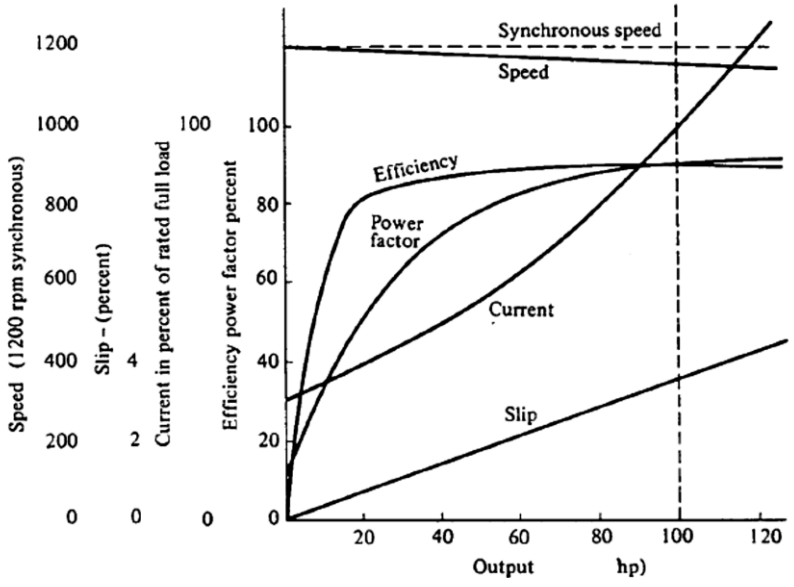
[1]- Brush
[2]- Commutator



شکل ۲۱۴-۲: سطح مقطع موتور القایی دو فاز دو قطب

همان طور که در این شکل نشان داده شده است، یک دسته از سیم‌بندی‌های استاتور که با جریان I_V تغذیه می‌شوند، شار عمودی Φ_V را تولید می‌کند. همچنین دسته دیگر سیم‌بندی استاتور که با جریان I_H (هم‌فرکانس جریان I_V است و ۹۰ درجه اختلاف فاز با آن دارد) تغذیه می‌گردد، شار افقی Φ_H را تولید می‌کند. این اختلاف زاویه بین Φ_V و Φ_H باعث می‌شود که برآیند آن‌هاتشکیل یک موج مغناطیسی با دامنه ثابت دهد که جهت آن با سرعت ثابت در طول فاصله هوایی می‌چرخد؛ در قیقت شار فاصله هوایی چرخان تشکیل می‌گردد.

در هادی‌های اتصال کوتاه شده روتور، در اثر برخورد با شار چرخان فاصله هوایی، ولتاژ القا می‌گردد و در نتیجه جریان در آن‌ها جاری می‌شود. از برهم‌کنش جریان روتور و شار چرخان فاصله هوایی گشتاور تولید می‌گردد که این گشتاور، موجب حرکت پیوسته موتور می‌شود. سرعت چرخش موتورهای القایی کمی پایین‌تر از سرعت چرخش شار فاصله هوایی است و هرچه بار مکانیکی موتور بیشتر شود، اختلاف سرعت موتور و شار چرخان فاصله هوایی بیشتر می‌شود. در شکل ۲۱۵-۲ منحنی‌های مشخصه عملکرد یک موتور القایی سه‌فاز ۱۰۰ اسب بخار نشان داده شده است.



شکل ۲۱۵-۲: منحنی‌های معمول مشخصه عملکرد موتور سه‌فاز القایی با توان ۱۰۰ اسب بخار

- موتورهای جریان متناوب تک‌فاز

موتورهای القایی تکفاز و موتورهای یونیورسال در این دسته از موتورها قرار می‌گیرند. موتورهای یونیورسال همان ساختار موتورهای دی‌سی سری را دارند و از آنجایی که در این نوع موتور، گشتاور تولیدی به جهت جریان موتور ارتباط ندارد، امکان کارکردن موتور دی‌سی سری با جریان متناوب نیز وجود دارد. به همین دلیل؛ یعنی توانایی کارکردن با ولتاژ دی‌سی و متناوب ، این موتور، موتور یونیورسال نامیده شده است. بیشتر موتورهای یونیورسال در توان‌های کسری از اسب بخار ساخته می‌شوند و در لوازم خانگی بیشتر استفاده می‌شوند.

از موتورهای القایی تکفاز در وسایل خانگی بزرگ و متوسط مانند هواسازها، کمپرسورها، پمپ و غیره استفاده می‌شود. بر خلاف موتورهای القایی سه‌فاز، شار فاصله هوایی در موتورهای القایی تکفاز چرخان نیست، ولی با فرکانس منبع تغذیه نوسان می‌کند. برای تحلیل عملکرد این موتورها، فرض می‌شود که شار فاصله هوایی متشکل از دو موج مغناطیسی گردان است که یکی در جهت عقربه‌های ساعت و درگری در خلاف جهت آن می‌چرخند و برآیند آن‌ها همان شار ساکن فاصله هوایی موتور است. بنابراین موتور القایی تکفاز مانند دو موتور القایی سه‌فاز است که به هم کوپل مکانیکی شده‌اند و گشتاور خروجی موتور برابر است با حاصل جمع برداری این دو موتور سه‌فاز. در حالتی که روتور ساکن است و نمی‌چرخد، گشتاور تولیدی از میدان چرخان در جهت عقربه ساعت و میدانی که در جهت خلاف عقربه‌های ساعت می‌چرخد برابر است؛ به عبارت دیگر، گشتاور راه‌اندازی موتور القایی تکفاز صفر است و این موتور نیاز به راه‌انداز دارد.

برای راه‌اندازی موتور، نیاز به سیم‌پیچی جداگان‌های بر روی استاتور می‌باشد که با میدان سیم‌پیچی اصلی اختلاف فاز داشته باشد؛ اگر این اختلاف فاز در حدود ۱۰ درجه نیز باشد، برای راه‌اندازی موتور کافی است. برای ایجاد اختلاف فاز بین جریان سیم‌بندی اصلی و سیم‌بندی راه‌انداز، سه روش وجود دارد که عبارتند از:

- راه‌انداز منشعب از فاز[1]؛ در این حالت مقاومت سیم‌پیچی، حداقل میزان اختلاف فاز مورد نیاز برای راه‌اندازی موتور را ایجاد می‌نماید. این روش کمترین گشتاور راه‌اندازی را برای موتور ایجاد می‌کند.
- راه‌انداز خازنی؛ جریان سیم‌بندی راه‌انداز به دلیل استفاده از خازن (با ظرفیت مناسب) در مدار آن، نسبت به جریان سیم‌بندی اصلی پیش‌فاز می‌شود. بعد از راه‌اندازی، خازن و سیم‌بندی راه‌انداز از مدار تغذیه موتور خارج می‌گردد.
- راه‌انداز خازن دایم؛ مانند راه‌انداز خازنی است، با این تفاوت که پس از راه‌اندازی موتور خازن و سیم‌بندی راه‌انداز از مدار خارج نمی‌شوند. در صورت طراحی صحیحی سیم‌پیچی راه‌انداز و انتخاب مناسب خازن، موتور تکفاز به صورت موتور دوفاز کار می‌کند و در نتیجه بازدهی و سایر مشخصات عملکرد این موتور، از سایر موتورهای القایی تکفاز بهتر خواهد بود.
- موتورهای سنکرون
  - موتورهای سنکرون روتور سیم‌پیچی

در موتورهای سنکرون، شار چرخان فاصله هوایی (مانند موتورهای القایی) توسط سیم‌بندی استاتور ایجاد می‌گردد. عبور جریان از سیم‌پیچی روتور باعث تولید شار مغناطیسی دیگری می‌گردد که در نتیجه برهم‌کنش آن دو بر خلاف موتورهای القایی، رتور با این شار چرخان استاتور سنکرون می‌گردد. با چرخش روتور، چگالی شار ناشی از سیم‌بندی‌های تحریک که

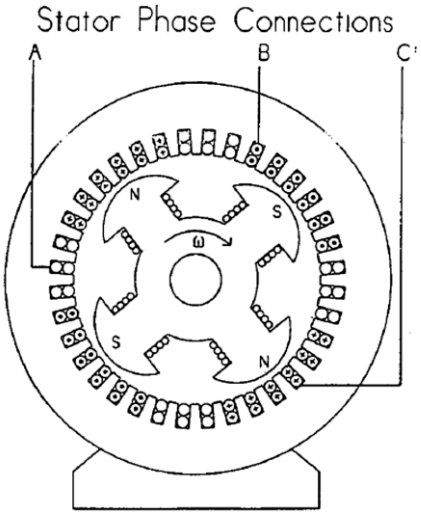
[1]- Split Phase

روی روتور قرار دارند، با سیم‌بندی‌های استاتور برخورد می‌کند و در آن‌ها ولتاژ القا می‌کند. فرکانس ولتاژ القا شده در سیم‌پیچی‌های استاتور، دقیقا برابر فرکانس چرخش روتور است.

$$f_0 = n\frac{\omega}{2\pi} \qquad ۲-۱۶$$

که n تعداد جفت قطب‌های روی روتور است.

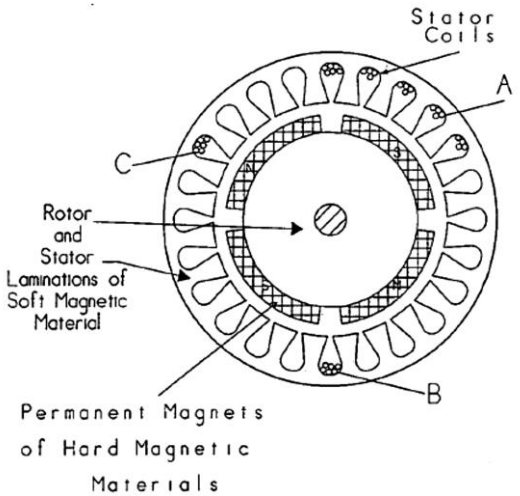
سطح مقطع دو بعدی یک موتور سنکرون چهار قطب که روتور آن به صورت قطب برجسته است، در شکل ۲۱۶-۲ نشان داده شده است. در این موتورها به دلیل این که سیم‌پیچی‌های روتور ثابت نیستند، نیاز به استفاده از جاروبک برای تغذیه آن‌ها وجود دارد. موتورهای سنکرون روتور سیم‌پیچی به دو دسته دیگر تقسیم‌بندی می‌شوند؛ موتور سنکرون با روتور قطب برجسته و موتور سنکرون با قطب صاف.



شکل ۲۱۶-۲: سطح مقطع یک موتور سنکرون قطب برجسته سه‌فاز، ۴ قطب و ۳۶ شیار

- موتورهای سنکرون آهنربای دائم

در صورتی که سیم‌پیچی‌های روتور در موتورهای سنکرون با آهنربای دایم جایگزین گردند؛ به این معنی که شار روتور به جای استفاده از سیم‌پیچی، توسط آهنرباها تولید گردد، ساختار موتور سنکرون آهنربای دایم به دست می‌آید که سطح مقطع یک نمونه از این موتورها در شکل ۲۱۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۱۷-۲: سطح مقطع موتور آهنربای دایم سه‌فاز و ۲۴ شیار

اگر آهنرباها، مانند شکل ۲۱۷-۲ بر روی سطح روتور چسبانده شوند، موتور آهنربای دایم سطحی[1] نامیده می‌شود. اگر آهنرباها درون یوغ روتور تعبیه شده باشند، موتور آهنربای دایم داخلی[2] نامیده می‌شود. موتورهای آهنربای دایم داخلی، رلوکتانس کمتری نسبت به نوع سطحی دارند و امکان ترکیب آن‌ها با میله‌های قفسه سنجاب- مانند موتورهای القایی- وجود دارد و می‌تواند خاصیت خود راه‌انداز (برای اتصال مستقیم به برق شهر) به موتور آهنربای دایم بدهد. موتورهای سنکرون آهنربای دایم، در غیر این صورت نیاز به درایو الکترونیکی برای راه‌اندازی دارند.

- موتورهای سنکرون رلوکتانسی[3]

اگر روتور موتور سنکرون نشان داده شده در شکل ۲۱۵-۲ با سرعت سنکرون بچرخد، حتی اگر جریان روتور صفر گردد نیز موتور به چرخش خود در سرعت سنکرون ادامه می‌دهد. این ساختار، موتور سنکرون رلوکتانسی نامیده می‌شود. از آنجایی که رلوکتانس مسیر شار مغناطیسی، به دلیل قطب برجسته بودن روتور، متغیر است و یکسان نیست، روتور تمایل پیدا می‌کند که خود را با شار مغناطیسی گردان ناشی از جریان سیم‌بندی‌های استاتور هم‌محور نماید.

- موتورهای DC بدون جاروبک

با انتخاب چینش مناسب شکل و ابعاد آهنرباها و همچنین سیم‌بندی استاتور در ساختار موتورهای آهنربای دایم، ولتاژ داخلی القا شده در سیم‌پیچی‌های استاتور می‌تواند به صورت سینوسی و یا به صورت ذوزنقه‌ای (به صورت تابعی از زمان) تبدیل گردد. در هر دوحالت، فرکانس ولتاژ داخلی سیم‌پیچی‌های استاتور، دقیقا برابر فرکانس چرخش روتور است. در حالتی که ولتاژ داخلی صورت ذوزنقه‌ای شکل دارد، موتور آهنربای دایم با ساختار دی‌سی بدون جاروبک به دست می‌آید.

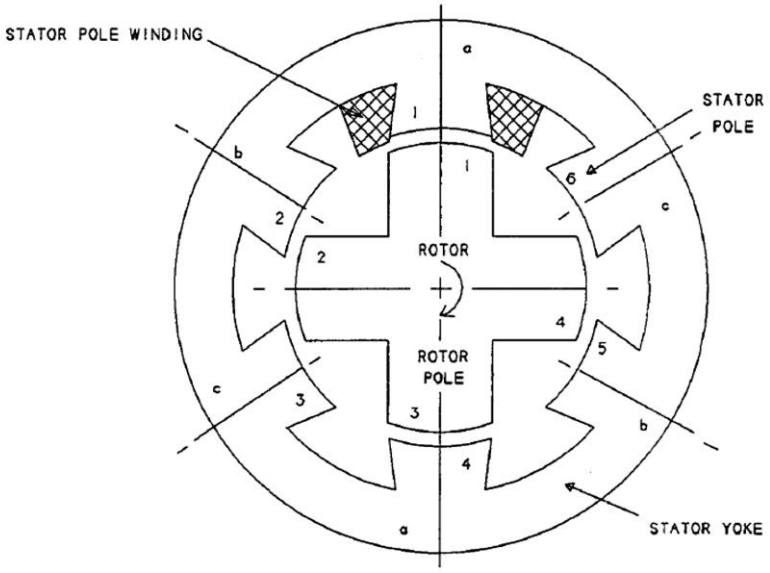
در موتورهای دی‌سی بدون جاروبک، همان طور که در شکل ۲۱۶-۲ نشان داده شده است، (مانند موتوهای سنکرون آهنربای دایم) آهنربای دایم در فضای روتور نصب می‌گردد و استاتور آن به صورت سه‌فاز (یا چند فاز) سیم‌پیچی می‌شود. از این جهت این نوع موتور، موتور دی‌سی خوانده می‌شود که مشخصه گشتاور – سرعت آن مشابه مشخصه گشتاور- سرعت موتورهای دی‌سی است. البته در عمل، این موتورها ماهیت متناوب دارند و غیر دی‌سی دارند؛ زیرا جریان سیم‌پیچی‌های استاتور و ولتاژ داخلی القا شده در آن متناوب است.

- موتورهای سوئیچ رلوکتانسی

در شکل ۲۱۸-۲ سطح مقطع نوع دیگری از موتور رلوکتانسی نشان داده شده است. این ساختار که در آن هم روتور و هم استاتور قطب برجسته است، موتور سوئیچ رلوکتانس نامیده می‌شود. در این شکل استاتور دارای ۶ قطب و روتور دارای ۴ قطب می‌باشد. البته تعداد قطب‌های دیگر برای استاتور و روتور نیز ممکن است و این قطب‌ها باید به گونه‌ای انتخاب گردند که امکان چرخش پیوسته موتور فرآهم گردد.

---

[1]- Surface Mounted
[2]- Interior
[3] Synchronous Reluctance Motors

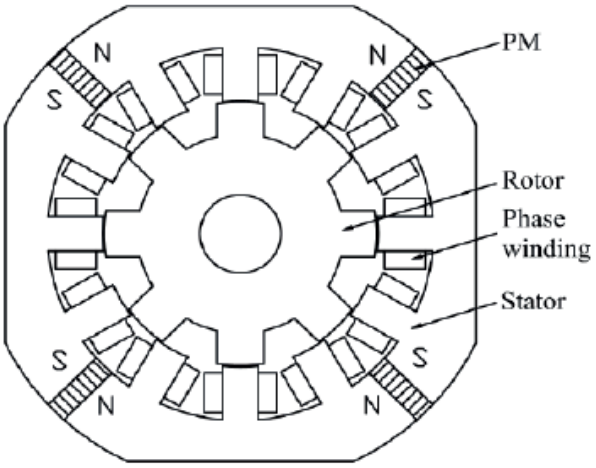


شکل ۲۱۸-۲: سطح مقطع یک موتور سوئیچ رلوکتانس

سیم‌پیچی تحریک در این موتورها فقط به دور قطب‌های استاتور پیچیده می‌شود و روتور سیم‌پیچی ندارد. برای روشن و خاموش کردن جفت قطب‌های استاتور، لازم است که از تجهیزات الکترونیک قدرت استفاده گردد و در صورت درایو صحیح، موتور سوئیچ رلوکتانس می‌تواند بازده بالایی، مستقل از میزان سرعت موتور، داشته باشد. نویز صوتی زیاد موتور سوئیچ رلوکتانس، یکی از مهم‌ترین معایب این نوع موتور است.

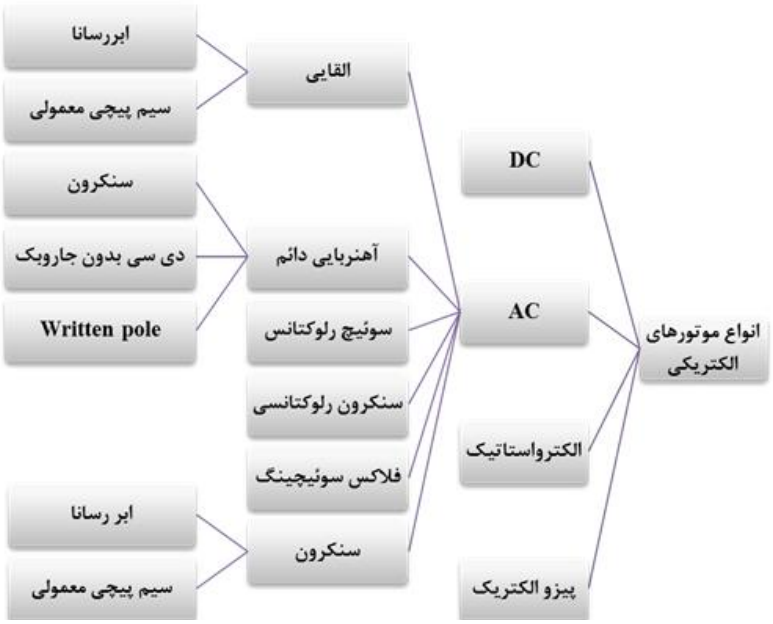
- موتورهای Flux Switching

موتورهای Flux Switching دارای استاتور و روتور قطب برجسته مانند روتور موتور سوئیچ رلوکتانس هستند. در این موتورها سیم‌پیچی تحریک و آرمیچر بر روی استاتور قرار گرفته است، بر روی روتور هیچ گونه سیم‌پیچی، آهنربای دائم و جاروبکی وجود ندارد. همچنین در ساختار استاتور این موتورها، همانطور که در شکل ۲۱۹-۲ یکی از ساختارهای ممکن این موتور نشان داده شده است، آهنربای دایم وجود دارد که باعث می‌شود این موتور هم مزایای موتورهای سوئیچ رلوکتانس و هم مزایای موتورهای آهنربای دایم را به صورت همزمان داشته باشد.



شکل ۲۱۹-۲: روتور یک موتور **FS** قبل و بعد از **skew**

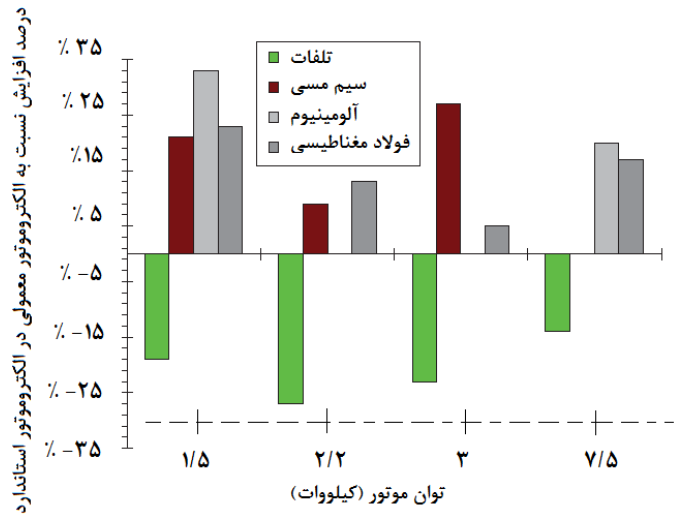
درخت فناوری انواع الکتروموتورهای موجود، در شکل ۲۲۰-۲ ارائه شده است.



شکل ۲۲۰-۲: درخت فناوری انواع الکتروموتورها

۲-۲-۲-۲- فناوری‌های الکتروموتورهای پربازده

در طراحی الکتروموتورهای پربازده، مقدار مس و فولاد مصرفی در روتور و استاتور، افزایش یافته است که منجر به افزایش یافتن وزن این موتورها نسبت به موتورهای استاندارد شده است. استفاده از فولاد با کیفیت بالا و لایه‌لایه با ضخامت کمتر، سیم‌پیچی مسی با راندمان بالا، افزایش سطح مقطع هادی‌ها که باعث کاهش مقاومت الکتریکی می‌شود، انتخاب بلبرینگ و یاتاقان با کیفیت بالا و کاهش اصطکاک، کاهش تلفات حرارتی موتور، کاهش فاصله هوایی بین روتور و استاتور، کارکرد آرام و عمر طولانی‌تر یاتاقان‌ها و بلبرینگ‌ها به علت کار کردن در دمای پایین‌تر، فن کوچکتر و با راندمان بالاتر، اصلاح قالب‌های الکتروموتور، طراحی جدید شیارهای موتور برای کاهش تلفات، کاهش جریان و تلفات چرخشی، افزایش عمر عایق‌ها و افزایش طول روتور و استاتور (افزایش چگالی شار مغناطیسی) مواردی هستند که باعث افزایش بازدهی و طول عمر الکترموتورهای پربازده نسبت به الکتروموتورهای استاندارد شده است [۳]. این موضوع در شکل ۲۲۱-۲ نشان داده شده است.

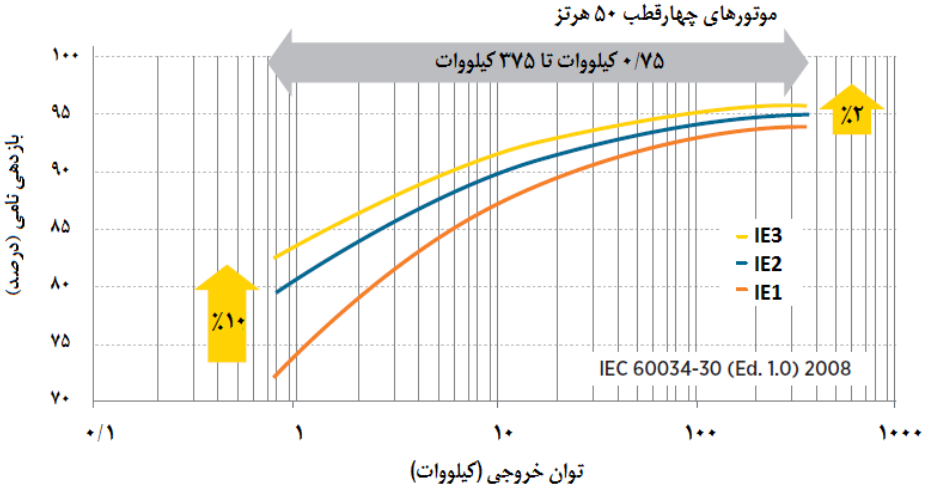


شکل ۲۲۱-۲ : میزان افزایش مواد مورد استفاده و کاهش تلفات در الکتروموتور پربازده نسبت به الکتروموتور معمولی [۴]

موتورهای الکتریکی از نظر بازدهی، بر اساس استاندارد IEC 60034-30-1 به چهار دسته طبقه‌بندی می‌شوند که با کد بین‌المللی IE[1] نشان داده می‌شوند. این چهار دسته عبارتند از [۵]:

- IE1: بازدهی استاندارد
- IE2: بازدهی بالا
- IE3: بازدهی عالی
- IE4: بازدهی بسیار عالی

کلاس بازدهی IE0 نیز به الکتروموتورهای غیر استاندارد اشاره دارد که در طبقه‌بندی فوق جای نمی‌گیرد.

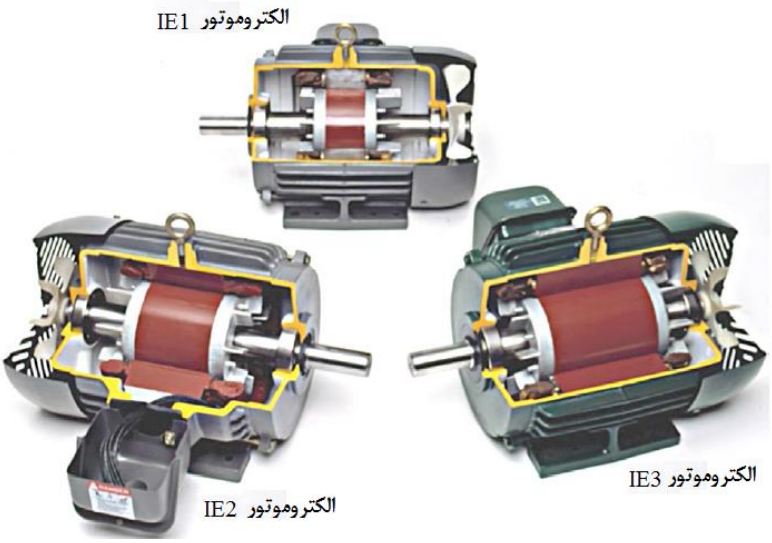


شکل ۲۲۲-۲ : کلاس‌های بازدهی موتورهای الکتریکی در استاندارد IEC [۶]

تفاوت مواد مورد نیاز و طول هسته برای الکتروموتورهای با طراحی استاندارد، بازده بالا و بازده عالی در شکل ۲۲۳-۲ نشان داده شده است. این موتورها دارای ظرفیت یکسان، صفحه اتصال و نصب یکسان و قطر و ارتفاع شفت مشابه هستند و

1- International Efficiency

در محفظه‌ها و اندازه‌های مشابه وجود دارند. تنها تفاوت ابعادی که بین این موتورها وجود دارد، این است که در طراحی موتور پربازده، طول روتور بلندتر شده است [۶].

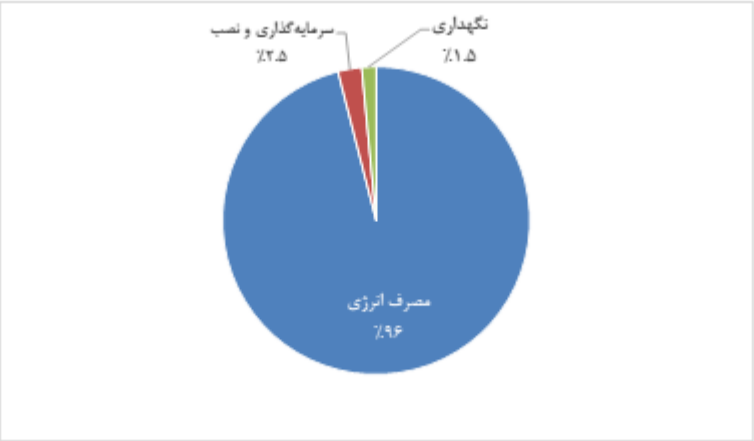


شکل ۲۲۳-۲ : مقایسه برش مقطعی الکتروموتورهای IE1، IE2 و IE3 (اندازه روتور بزرگتر شده است) [۶]

۳-۲-۲-۲- میزان صرفه‌جویی ممکن در صورت استفاده از الکتروموتورهای پربازده

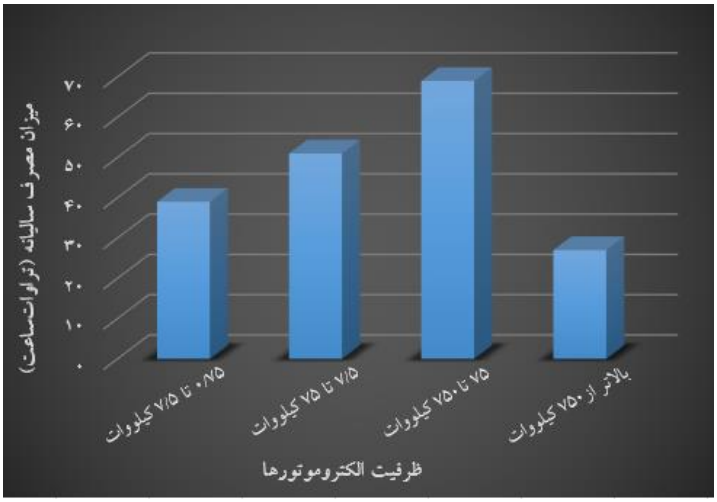
زمانی که این الکتروموتورها برای اولین بار معرفی شدند، قیمتی ۲۵ تا ۵۰ درصد گران‌تر از الکتروموتورهای استاندارد داشتند. اما در حال حاضر که الکتروموتورهای استاندارد همچنان در بازار وجود دارند، الکتروموتورهای پربازده با وجود بهره‌وری انرژی بالا در طول عمر خود، تنها ۱۵ تا ۳۰ درصد هزینه بیشتری دارند [۶].

این در حالی است که با در نظر گرفتن طول عمر یک الکتروموتور، هزینه‌های مربوط به انرژی مصرفی آن تا حدود ۹۶ درصد می‌رسد. بنابراین در زمان خرید یک الکتروموتور، میزان انرژی مصرفی آن یک فاکتور بسیار مهم‌تری نسبت به هزینه اولیه خرید موتور است [۷]. هزینه‌های کارکرد سالیانه موتورهای استاندارد، حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد قیمت خرید آنهاست. هزینه‌های کارکرد سالیانه موتورهای پربازده نیز حدود ۸ تا ۱۲ درصد قیمت خرید آنهاست بنابراین ملاحظه می‌شود که هزینه اضافی در ازای خرید یک موتور پربازده در مقابل هزینه انرژی مصرفی سالیانه موتورها، اندک است و خرید موتور با بازدهی بالا بمنظور کاهش انرژی مصرفی، بسیار مقرون به صرفه بنظر می‌رسد [۳]. این نوع موتورهای الکتریکی توسط سازندگان عمدتاً تا توان زیر ۵۰۰ کیلووات ارائه می‌شوند (در توان‌های بالاتر، تفاوت چندانی در بازدهی موتورهای پربازده و استاندارد وجود ندارد، اما برخی سازندگان این موتورها را در توان‌های بالاتر نیز تولید می‌کنند). سازندگان برتر جهانی موتورهای پربازده، Siemens، ABB، VEM، WEG، Baldor و SEW هستند که در بخش‌های بعدی به معرفی آن‌ها پرداخته خواهد شد.



شکل ۲۲۴-۲ : هزینه‌های طول عمر یک موتور الکتریکی [۷]

با توجه به شکل ۲۲۵-۲، مشاهده می‌شود که بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی الکتروموتورها، مربوط به الکتروموتورهای زیر ۵۰۰ کیلووات است که الکتروموتورهای پربازده نیز در این محدوده‌ی توانی تولید می‌شوند.



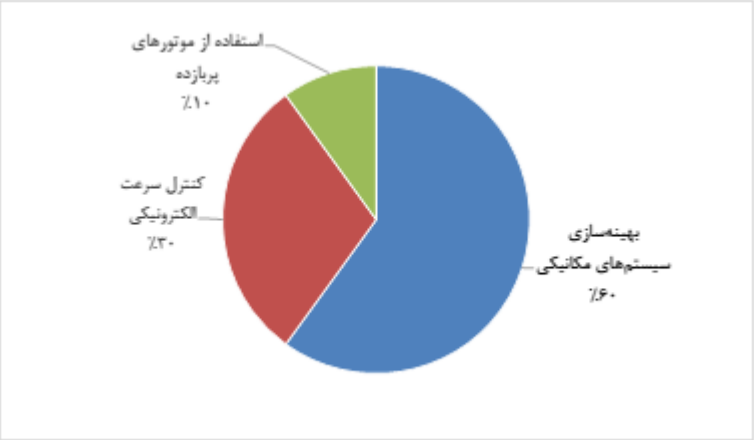
شکل ۲۲۵-۲ : سهم انرژی مصرفی الکتروموتورها به تفکیک ظرفیت [۴]

شکل ۲۲۶-۲: پتاسیل کاهش مصرف انرژی در ظرفیت‌های مختلف الکتروموتوری در اروپا از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۰ [۴]

استفاده از درایوهای کنترل سرعت در سیستم‌های الکتروموتوری همواره مورد توجه محققین بوده و شناخته‌شده‌تر می‌باشد. اما شکل ۲۲۶-۲ نشان می‌دهد که در توان‌های پایین‌تر، استفاده از الکتروموتورهای پربازده، هزینه کمی دارد و در

توان‌های بالاتر نیز، با توجه به گران بودن، درایوهای الکترونیکی، همچنان الکتروموتورهای پربازده، می‌تواند به عنوان یک گزینه کارآمد در نظر گرفته شود.

بخش قابل توجهی از تلفات انرژی در سیستم‌های محرکه الکتروموتوری، مربوط به قسمت‌های مکانیکی است. اما حدود ۴۰ درصد از پتانسیل کاهش مصرف انرژی در این سیستم‌ها مربوط به قسمت‌های الکتریکی است که حدود ۱۰ درصد قابل دستیابی با استفاده از الکتروموتورهای پربازده است. این موضوع در شکل ۲۲۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲۲۷-۲ : پتانسیل کاهش مصرف انرژی در سیستم‌های محرکه الکتروموتوری [۷]

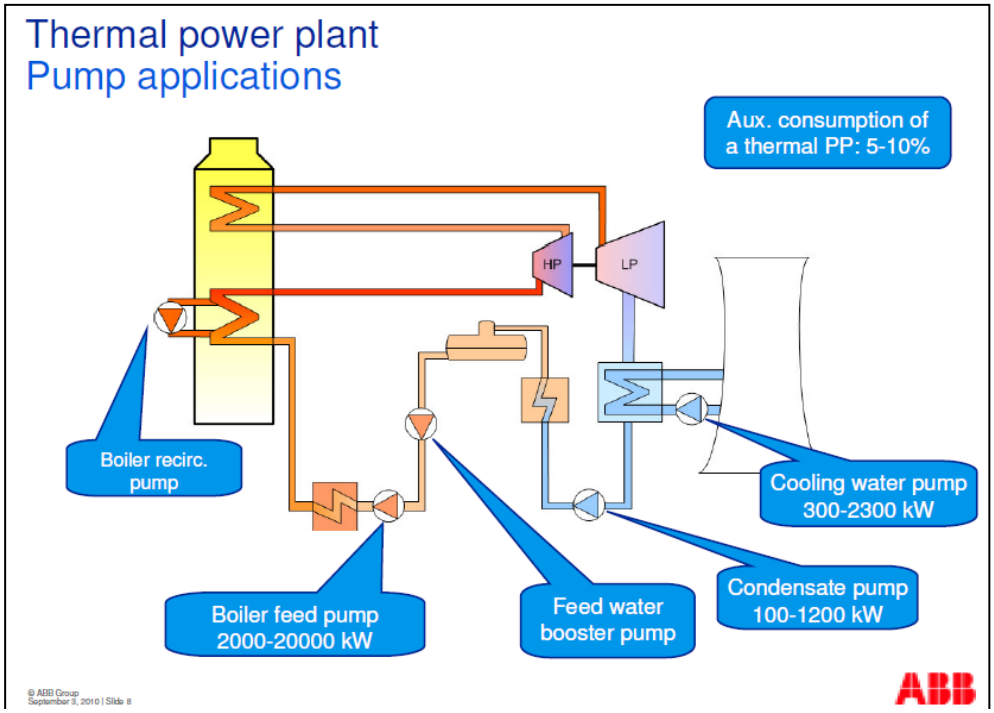
۴-۲-۲-۲- تجهیزات الکتروموتوری مورد استفاده در نیروگاه‌های حرارتی

در نیروگاه‌ها قسمتی از توان تولیدی توسط تجهیزات موجود در فرآیند تولید مصرف می‌شود که به آن مصرف داخلی می‌گویند. عمده مصرف‌کننده‌های انرژی در نیروگاه‌های حرارتی، تجهیزات الکتروموتوری شامل تعدادی الکتروپمپ و الکتروفن هستند. الکتروپمپ های اصلی در این نیروگاه‌ها عموماً شامل موارد زیر می‌شوند [۸]:

- پمپ آب تغذیه بویلر (FWP[1] یا BFP[2])
- پمپ کندانس (CP[3] یا EP[4])
- پمپ آب خنک کن (CWP[5])

شماتیکی از پمپ‌های اصلی موجود در نیروگاه‌های حرارتی در شکل ۲۲۸-۲ نشان داده شده است.

[1] Feed Water Pump
[2] Boiler Feed Pump
[3] Condensate Pump
[4] Extraction Pump
[5] Cooling Water Pump



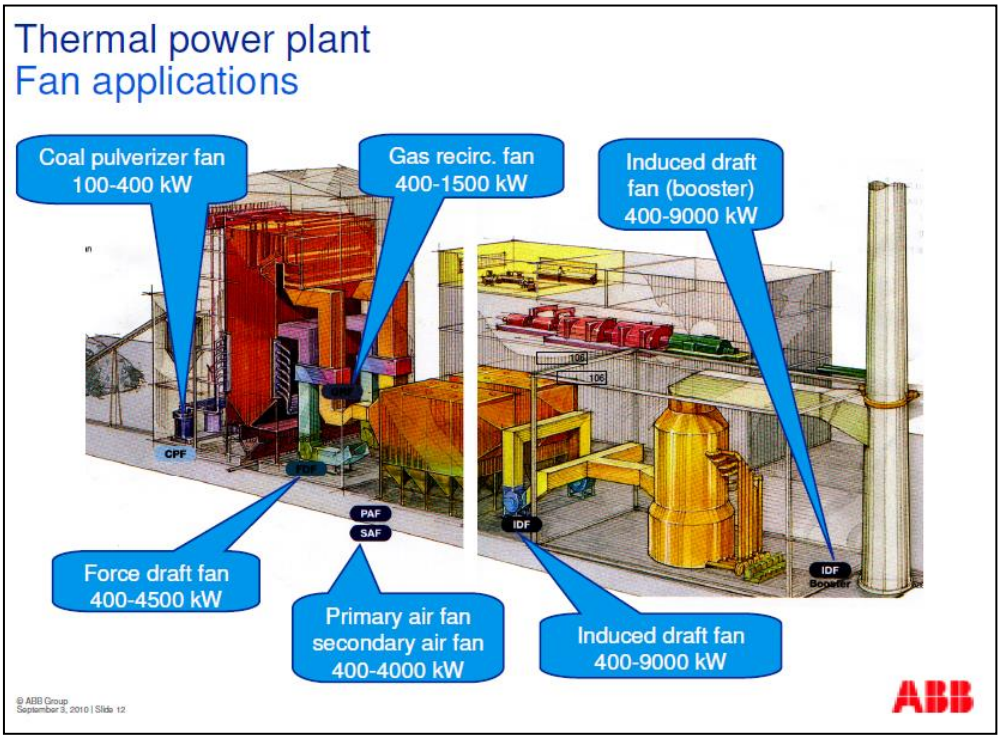
شکل ۲۲۸–۲ : پمپ‌های اصلی موجود در نیروگاه های حرارتی [۸]

همچنین الکتروفن‌های اصلی در این نیروگاه‌ها عموماً شامل موارد زیر می‌شوند [۸]:

- فن هوای احتراق (FDF[1])
- فن هوای مکش (IDF[2])
- فن گردش گاز داغ (GRF[3])

شماتیکی از فن‌های اصلی موجود در نیروگاه های حرارتی در شکل ۲۲۹–۲ نشان داده شده است.

[1] Forced Draft Fan
[2] Induced Draft Fan
[3] Gas Recirculating Fan



شکل ۲۲۹-۲ : فن‌های اصلی موجود در نیروگاه های حرارتی [۸]

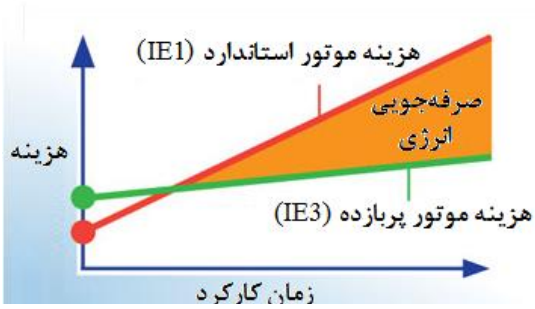
لازم به ذکر است، هرچند الکتروپمپ‌ها و الکتروفن‌های معرفی‌شده تقریباً در کلیه نیروگاه‌های حرارتی استفاده می‌شوند، ولی بسته به تکنولوژی‌ها و طراحی‌های مختلف در نیروگاه‌ها، ممکن است تعداد و نوع برخی از تجهیزات به کار رفته متفاوت باشد.

۵-۲-۲-۲- چالش‌ها و راهکارها

به منظور ارزیابی گذر الکتروموتورهای صنایع به الکتروموتورهای پربازده، باید ابتدا به دو عامل قیمت برق و ساعات کارکرد سالیانه توجه کرد. قیمت برق در واقع ارزش انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد و این عامل در کنار قیمت الکتروموتور، تعیین‌کننده اقتصادی بودن یا نبودن جایگزینی الکتروموتورهای معمولی با الکتروموتورهای پربازده است.

ساعات کارکرد سالیانه نیز در واقع نشان می‌دهد که کدام الکتروموتور در صنایع، سریع‌ترین و بهترین فرصت برای صرفه‌جویی در مصرف پول با استفاده از الکتروموتورهای پربازده می‌باشد. موتورهایی که حداقل ۲۰۰۰ ساعت در سال (۸ ساعت در روز، ۵ روز در هفته) بهترین گزینه‌ها برای این طرح می‌باشند و هر چه ساعات کارکرد سالیانه کاهش می‌یابد، زمان بازگشت سرمایه کاهش می‌یابد [۳].

همان‌طور که در شکل ۲۳۰-۲ قابل مشاهده است، در صورتی که مدت زمان استفاده الکتروموتورها از مقدار خاصی باشد، استفاده از الکتروموتورهای پربازده IE3 نسبت به IE1 مقرون به صرفه خواهد بود.



شکل ۲۳۰-۲: مقرون به صرفه بودن الکتروموتورهای پربازده **IE3** در مدت زمان استفاده‌ی بیشتر [۹]

مورد سومی که باید در نظر گرفت، اندازه و نوع موتور است. بیشترین پتانسیل برای افزایش بهره‌وری در الکتروموتورهای ۱ اسب بخار تا ۱۲۵ اسب بخار شامل فریم‌های T طراحی NEMA کلاس A، B و C است که در سرعت‌های ۳۶۰۰، ۱۸۰۰، ۱۲۰۰ یا ۹۰۰ دور در دقیقه کار می‌کنند.

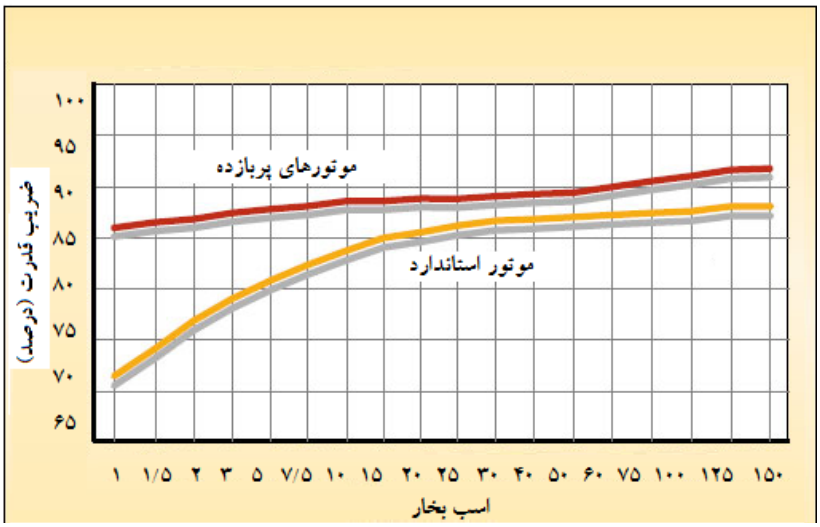
برای آن دسته از فرآیندهای صنعتی که از الکتروموتورهای قدیمی فریم U استفاده می‌کنند، ارتقا به موتورهای با کلاس بازدهی بالاتر از نوع فریم T باید در نظر گرفته شود. در این موارد اگر تغییر به فریم‌های T شکل با صفحه نصب و شفت کوچکتر، مشکل باشد، می‌توان از صفحات تطبیق‌دهنده استفاده کرد. در برخی از موارد نیز می‌توان مستقیما از الکتروموتورهای پربازده فریم U که برخی از سازندگان ارائه می‌دهند، استفاده کرد.

الکتروموتورهای پربازده به علت طراحی خاصی که دارند، باید بین ۷۵ تا ۱۰۰ بار نامی خود کار کنند. در صورت کار در زیر بار ۵۰ درصد، حتی ممکن است انرژی بیشتری نسبت به یک الکتروموتور استاندارد، مصرف کنند. همچنین در رابطه با بارهای متناوب و نوسانی مانند پمپ‌ها و کمپرسورهای رفت و برگشتی، باید از الکتروموتورهای با طراحی خاص این کاربردها استفاده شود و جایگزینی با یک الکتروموتور پربازده، می‌تواند منجر به نوسانات جریان بالا و ضریب قدرت پایین شود [۳].

الکتروموتورهای پربازده اندکی سریع‌تر از الکتروموتورهای استاندارد می‌چرخند. زمانی که این الکتروموتورها در بارهای سانتریفیوژی بکار گرفته شوند؛ جایی که توان بار با توان سوم سرعت تغییر می‌کند، این تغییر سرعت کوچک منجر به تقاضای توان بالایی در خروجی موتور می‌شود و توان زیادی توسط موتور جذب می‌شود که منجر به آسیب دیدن موتور یا از دست رفتن مزایای بهره‌وری انرژی آن می‌شود. در کاربردهای تسمه‌گردان، این افزایش سرعت در موتور، می‌تواند با قرقره‌های گام‌متغیر که برای تنظیم سرعت فن یا پمپ در مقدار مشخصی استفاده می‌شود، جبران شود [۳].

همچنین الکتروموتورهای پربازده، جریان روتورقفل‌شده بیشتری می‌کشند. معمولا نیاز است که تأسیسات راه‌اندازی با محافظ‌های حرارتی، از نظر درستی ظرفیت انتخابی المان‌های حرارتی، بررسی شوند. به عنوان مثال ممکن است کلیدهای مدارشکن با ظرفیت قطع بالاتری در فرآیند تغذیه موتور نیاز باشد.

الکتروموتورهای پربازده به علت ضریب قدرت بالایی که دارند، برای انجام کار یکسان، جریان کمتری جذب می‌کنند. تقاضای جریان پایین‌تر در خط تغذیه، بدین معنی است که انرژی کمتری در مدار فیدر تغذیه موتور تلف می‌شود و باعث افزایش بازدهی سیستم توزیع می‌شود. این موضوع در شکل ۲۳۱-۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲۳۱-۲ : جذب کمتر جریان کمتر توسط الکتروموتورهای پربازده نسبت به الکتروموتورهای استاندارد [۳]

- جایگزینی الکتروموتورهای استاندارد با الکتروموتورهای پربازده

به منظور جایگزینی یک الکتروموتور استاندارد با یک الکتروموتور پربازده، ابتدا باید موتور استاندارد تحت بار بطور کامل مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار بگیرد و با مقادیر ذکرشده بر روی نیم‌پلیت موتور مقایسه شود تا مشاهده شود که کارکرد این الکتروموتور تا چه حد به بار کامل نزدیک است. این کار از دو طریق زیر و تحلیل مقدار تفاوت موجود، قابل انجام است:

- اندازه‌گیری سرعت و مقایسه آن با سرعت بار کامل که بر روی نیم‌پلیت ذکر شده است.
- اندازه‌گیری جریان و مقایسه آن با جریان نامی بر روی نیم‌پلیت

برای هر دو اندازه‌گیری فوق، ولتاژ ورودی باید بطور همزمان چک شود تا از دریافت ولتاژ کامل توسط موتور، اطمینان حاصل شود. از آنجایی که گشتاور موتور با توان دوم تغییرات ولتاژ تغییر می‌کند، حتی یک کاهش ولتاژ ملایم، می‌تواند در اندازه‌گیری‌ها تغییر ایجاد کند.

اگر سرعت و جریان‌های اندازه‌گیری‌شده در ولتاژ نامی، به مقادیر مربوطه بر روی نیمپلیت نزدیک باشد، می‌توان گفت موتور نزدیک به بار نامی کار می‌کند. در غیر اینصورت این مقادیر می‌تواند در منحنی‌های استاندارد آمپر/وات/اسب بخار استفاده شود تا توان خروجی موتور در زمان اندازه‌گیری مشخص شود. بسیار مفید است که چرخه کارکرد موتور بصورت گرافیکی ترسیم شود تا مشخص گردد که در طول این چرخه، موتور چه مدت بالای ظرفیت ۷۵ درصد بار نامی کار می‌کند. میزان صرفه‌جویی بدست آمده از الکتروموتورهای پربازده با مدت زمان کارکرد موتور در بالای ۷۵ درصد بار نامی، تغییر می‌کند [۳].

مشخصات الکتروموتورها که در این راستا معمولاً باید مورد توجه قرار گیرد، عبارتند از:

- موتورهای سه‌فاز طراحی NEMA کلاس B
- موتورهای غیرخاص
- موتورهای ۱۰ تا ۶۰۰ اسب بخار
- حداقل کارکرد ۲۰۰۰ ساعت در سال

- بار ثابت، غیر متناوب و دوره‌ای
- موتورهای استاندارد قدیمی یا مجدداً سیم‌پیچی‌شده
- دسترسی آسان
- نیم‌پلیت قابل رویت

در پیشبرد طرح جایگزینی الکتروموتورهای استاندارد، تقسیم‌بندی الکتروموتورها به سه دسته زیر می‌تواند مفید باشد [۱۰]:

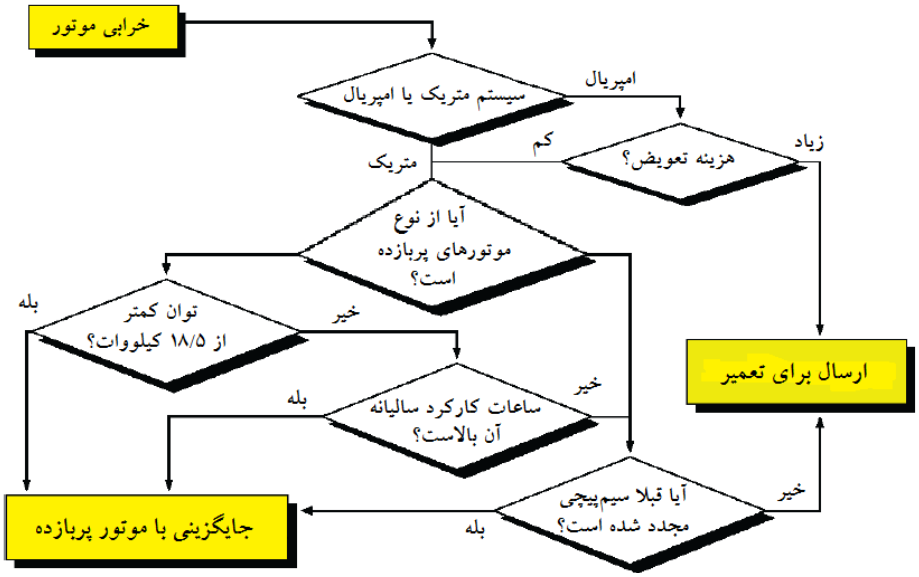
دسته اول شامل موتورهایی است که باید فوراً جایگزین شوند تا بازگشت سرمایه آنها سریع صورت پذیرد و قابلیت اطمینان سیستم افزایش یابد. این موارد الکتروموتورهایی را شامل می‌شود که بطور پیوسته و تمام‌وقت، ۸۰۰۰ ساعت یا بیشتر در سال کار می‌کنند و غیر کارآمد یا اضافه‌ظرفیت هستند و یا تحت پوشش حمایت دولت برای جایگزینی می‌باشند. مدیران باید فوراً یک موتور پربازده جایگزین سفارش دهند و در اولین فرصت در دسترس، مانند زمان‌های توقف برنامه‌ریزی‌شده، آن را نصب کنند [۱۰].

دسته دوم، موتورهایی هستند که باید در زمان خرابی جایگزین شوند و می‌توانند، بازگشت سرمایه سریعی داشته باشند. زمانی که این موتورها به خرابی برخوردند، مدیران باید این موتورها را با نوع پربازده جایگزین کنند. بدین منظور باید هر چه زودتر با کارشناسان بمنظور بررسی بازدهی‌ها و قیمت موتورهای در دسترس، تماس برقرار کرد [۱۰].

بعد از مشخص کردن بهینه‌ترین موارد برای جایگزینی، باید تصمیم گرفته شود که چطور این موتورها به عنوان یدک، خریداری و تا زمان خرابی و خروج موتور استاندارد، نگهداری شوند. این گزینه بستگی به مواردی همچون مدت زمان فراهم کردن یک موتور پربازده توسط توزیع‌کننده، مدت زمان مورد نیاز برای جایگزینی الکتروموتورِ خراب‌شده و تعداد موتورهای از همان ظرفیت و نوع که در صنعت مربوطه مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارد [۱۰].

دسته سوم شامل الکتروموتورهایی می‌شود که باید در سرویس رها شوند تا به فعالیت خود ادامه دهند، زیرا که بازگشت سرمایه طولانی‌تری دارند. این الکتروموتورها پیش از این بازدهی کافی داشته‌اند و یا ساعات کارکرد آنها، کمتر از ۲۰۰۰ ساعت در سال است. مدیران می‌توانند انتخاب کنند که این موتورها را در زمان خرابی، سیم‌پیچی مجدد کنند و یا با یک موتور جدید از همان نوع جایگزین کنند [۱۰].

شکل ۲۳۲-۲ فلوچارت نحوه انتخاب راهکار برای برخورد با الکتروموتور خراب‌شده در یک فرآیند صنعتی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳۲-۲ : فلوچارت تعویض یا تعمیر موتور بر اساس هزینه‌های انرژی مصرفی در طول عمر (شرکت **ABB**) [۱۱]

- امکان‌سنجی جایگزینی موتورهای معمولی با الکتروموتورهای پربازده

موتورهای الکتریکی بیش از ۶۵ درصد انرژی الکتریکی در بخش صنعت یا حدود ۵۰ درصد کل انرژی در دنیا را مصرف می‌نمایند و این میزان در صنایع به حدود بیش از ۷۵ درصد انرژی کل مصرفی الکتریکی می‌رسد. هزینه مصرف انرژی یک موتور در سال ممکن است چند برابر قیمت خرید اولیه موتور باشد. بعنوان مثال یک موتور ۲۰ کیلووات در طول یک سال اگر ۸۰۰۰ ساعت در بار نامی کار کند، ۲۰×۸۰۰۰=۱۶۰۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌نماید، با فرض قیمت انرژی الکتریکی برای صنعت در حدود ۴۰ t/kwh، هزینه مصرف انرژی سالیانه موتور برابر ۶۴۰۰۰۰۰ = ۱۶۰۰۰۰ ×۴۰ تومان می‌شود که چندین برابر قیمت خود موتور است. بنابراین در موقع خرید یا تعمیر یک موتور یا برنامه‌ریزی بهینه‌سازی یا نوسازی یک خط تولید، توجه به انتخاب بهینه یا جایگزینی موتورها اهمیت ویژه‌ای دارد. تنها یک درصد افزایش راندمان موتورها می‌تواند به صرفه‌جوئی سالیانه زیادی منجر شود و علاوه بر آن، هزینه نگهداری و تعمیرات و قطع خط تولید در اثر خرابی موتورهای فرسوده یا کیفیت پائین را به شدت کاهش دهد. با توجه به افزایش عمر صنایع و فرسودگی و پیری تجهیزات مختلف مانند موتورها، راندمان آنها کاهش یافته و هزینه تعمیر و نگهداری آنها افزایش می‌یابد. همین‌طور با توجه به ارزان بودن سهم انرژی در تولید در زمان طراحی اولیه صنایع، اکثر موتورها به صورت دور ثابت و قدرت‌های بالاتر از قدرت مورد نیاز[1] در نظر گرفته شده‌اند که این خود راندمان موتور در این کاربردها را بشدت کاهش می‌دهد، بویژه در مصارف فن و کمپرسور و پمپ‌ها که اکثر مصارف موتوری در صنعت را تشکیل می‌دهد. همچنین سالم بودن تغذیه موتورها (منبع تغذیه) نیز اثر زیادی روی مصرف انرژی و راندمان و طول عمر موتور دارد. بعلاوه کیفیت بد تغذیه نظیر عدم تعادل، هارمونیک‌ها، کاهش ولتاژ و نوسانات ولتاژ از جمله موارد مهم در کاهش راندمان، داغ کردن و کاهش عمر موتورهاست [۱۲].

- عمر موتورها

[1]– Over size

عمر موتورها را حدود ۳۰/۰۰۰ تا ۴۰/۰۰۰ ساعت بر اساس کار در شرایط نامی و محیطی پیش‌بینی شده برآورد می‌نمایند، اما عمر واقعی موتورها به شدت بستگی به شرایط بهره‌برداری و نوع نگهداری و سرویس آن‌ها نیز دارد.

با توجه به نوع بهره‌برداری و سرویس و نگهداری موتورها عمر آن‌ها می‌تواند به کمتر از ۲ سال یا به بیش از ۳۰ سال نیز برسد. پایان عمر موتور در واقع هنگامی است که فرسودگی قطعات موتور به حدی است که تعمیر اقتصادی آن‌ها میسر نباشد، یا کار اقتصادی آن‌ها با توجه به هزینه جایگزینی امکان‌پذیر نباشد. مثلاً در مورد موتورهای کوچک با یک خرابی بلبرینگ یا سوختن سیم‌پیچ بهتر است تعویض شوند. یک موتور بزرگتر (۲۰ تا ۴۰ اسب بخار) ممکن است با خرابی بلبرینگ نسبت به تعمیر آن اقدام شود ولی با سوختن سیم پیچ موتور جایگزین گردد. اما برای موتورهای بزرگتر برای هر خرابی تعمیر آن‌ها به صرفه است به شرط آنکه شرایط لازم برای عملکرد بهینه، جایگزینی آن‌ها را توجیه نکند. به هرحال یک بررسی اقتصادی با توجه به عمر، تعداد ساعت کار در سال، ضریب بار، قیمت انرژی و قابلیت اطمینان موتور بایستی قبل از هر خرابی و تعمیر موتور انجام گیرد تا معلوم شود که در چه زمانی بایستی یک موتور جایگزین گردد.

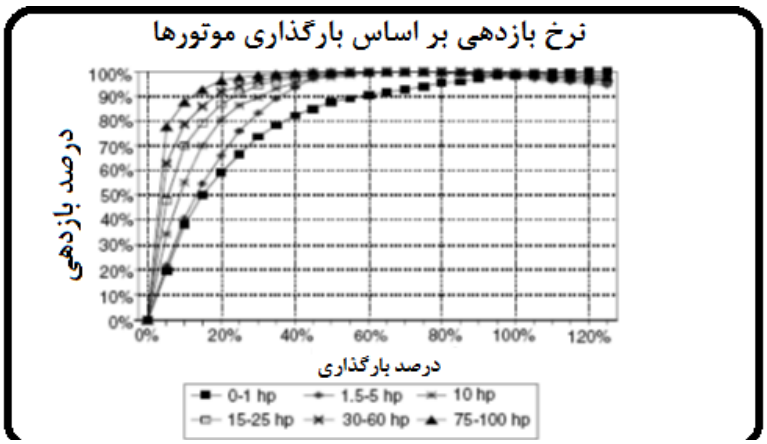
درجه حرارت، شرایط محیطی، کیفت منبع تغذیه، شرایط کاری از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در عمر موتورها هستند. درجه حرارت از مهمترین عوامل در عمر موتورهاست که یک افزایش ۱۰ درجه غیرمجاز درجه حرارت موجب کاهش عمر موتور به نصف می‌شود. انتخاب موتورها با کلاس عایقی بالاتر در شرایط معمول ممکن است به افزایش عمر عمده‌ای منجر نشود. زیرا این‌گونه موتورها برای درجه حرارت بیشتر داخلی طراحی شده‌اند (تلفات بیشتر یا خنک کنندگی کمتر) ولی تعویض سیم‌پیچ با کلاس عایقی بالاتر می‌تواند به افزایش عمر موتور منجر گردد. افزایش درجه حرارت موتور در اثر عوامل مختلف نظیر کثیفی، اضافه یا کاهش ولتاژ منبع، عدم تعادل ولتاژ، هارمونیک‌ها، درجه حرارت محیطی بالا، ضعف خنک‌کنندگی یا اضافه بار رخ دهد.

خرابی بلبرینگ‌ها یکی از عمده خرابی‌های موتورها می‌باشد که در صورت عدم تشخیص به موقع، باعث افزایش درجه حرارت موتور و آسیب رساندن به عایق‌ها می‌شود یا در اثر خرابی بیش از حد، باعث آسیب رساندن به ساختار موتور و غیرقابل تعمیر شدن آن می‌گردد. تست لرزش یا جریان استاتور می‌تواند به تشخیص زودهنگام خرابی بلبرینگ‌ها کمک نماید. عمر بلبرینگ‌ها به نوع و سازنده بلبرینگ، روغن‌کاری به موقع و صحیح و به اندازه، لرزش و ضربان، عدم تعادل بار، فشار بیش از حد تسمه، گردش غیر صحیح جریان‌های نشتی و ضربان گشتاور بستگی دارد [۱۲].

- اثر بارگذاری در بازدهی موتورها

بارگذاری روی موتور در راندمان آن تاثیر بسیار دارد. معمولا راندمان موتورها بین ۷۰ تا ۱۰۰درصد بار نامی، برابر راندمان نامی می‌باشد، اما در بارهای کمتر از ۷۰ درصد، راندمان کاهش می‌یابد و معمولا در حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد بار نامی بیش از ۲۰ درصد کاهش راندمان اتفاق خواهد افتاد. بنابراین Oversize انتخاب کردن موتورها باعث اتلاف انرژی بیشتر خواهد شد و موتورهای کوچکتر دارای افت راندمان بیشتری در بارهای کم می‌باشند. شکل ۲۳۳-۲ تأثیر بارگذاری موتورها را روی بازدهی آن‌ها نشان می‌دهد.

با توجه به مطالعه ستاد تحول صنایع و معادن، متوسط کارکرد موتورهای الکتریکی در صنایع را می‌توان ۶۰۰۰ ساعت (حدود دو شیفت کار در یک شبانه‌روز) در سال در نظر گرفت [۱۳].



شکل ۲۳۳-۲ : بازدهی موتورها با تغییر بارگذاری آن‌ها [۱۳]

- تعویض موتورهای تعمیری

تعمیر یا سیم پیچی مجدد باعث کاهش بازده موتور حدود ۰/۵ تا ۲ درصد می‌گردد، البته سیم‌پیچی با کیفیت بالا می‌تواند بازده اولیه موتور را ذخیره کند ولی این کار به دلیل محدودیت‌های زمانی معمول نیست [۱۴]. هر بار که یک موتور القائی با قدرت بالای ۴۰ اسب تعویض سیم‌پیچی شود، حدود ۱ درصد در (بهترین شرایط) راندمان آن افت می‌کند و برای موتورهای زیر ۴۰ اسب این افت ۲ درصد است. در محاسبات این گزارش به طور متوسط افت بازده موتور ناشی از تعمیرات ۱ درصد درنظر گرفته می‌شود. بنابراین معمولاً بهتر است که یک موتور سوخته با یک موتور راندمان بالا در شرایط زیر تعویض شود [۱۲]:

- موتورهای زیر ۴۰ اسب‌بخار
- برای تعداد ساعات کار بالا و ضریب بار نزدیک یک
- وقتی که هزینه سیم‌پیچی نزدیک به ۶۰ درصد هزینه موتور نو راندمان بالا باشد
- عمر موتور بیش از ۲۰ سال باشد

- طرح جایگزینی الکتروموتورهای پربازده از دید ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر

بر اساس ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ارتقای نظام مالی کشور مصوبه ۱۳۹۴، کلیه دستگاه‌های موضوع این ماده، می‌توانند به منظور صرفه‌جویی در مصرف نهادها و کاهش هدررفت، تلفات و هزینه‌ها، افزایش تولید کالاها و خدمات و سایر موارد مذکور در ماده قانون که منجر به افزایش درآمد یا کاهش هزینه گردد، در زمینه وظایف مصوب خود، قراردادهای لازم را در چارچوب قوانین و مقررات با اشخاص حقیقی و حقوقی داخلی و خارجی منعقد نموده و ترتیبی اتخاذ نمایند که سرمایه‌گذاری یا اقدام صورت‌گرفته مطابق بند ۲ ماده ۱۲ قانون، صرفاً از محل درآمد اضافی و یا صرفه‌جوییِ ایجادشده بازپرداخت شود.

در این راستا دولت مکلف است:

۱. کالا یا خدمت تولیدشده یا صرفه‌جویی‌شده و منافع یا ارزش حاصله را، حسب مورد و از محل درآمد، صرفه‌جویی، منافع یا ارزش حاصله خریداری کند.

۲. اصل و سود سرمایه‌گذاری و حقوق دولتی و عوارض قانونی و سایر هزینه‌های متعلقه یا منافع اقدام موضوع این ماده را به آنان پرداخت نماید.

وزارت نفت مکلف است حقوق متعلق به سرمایه‌گذار یا اقدام‌کننده را مطابق مصوبه شورای اقتصاد از محل افزایش درآمد حال یا آتی یا کاهش هزینه‌ها، حسب مورد به قیمت‌های صادراتی یا وارداتی (برای سوخت) و در سایر موارد، وزارتخانه‌های ذی‌ربط و شرکت‌های تابعه موظفند به سرمایه‌گذار یا اقدام‌کننده، پرداخت کنند و همزمان به حساب بدهکار دولت (خزانه‌داری کل کشور) منظور و تسویه حساب نمایند.

بر اساس تبصره (۷) این ماده، به وزارتخانه‌های مذکور اجازه داده می‌شود درصورت نیاز آب، برق، گاز و فرآورده‌های نفتی و سایر کالاها و خدمات یارانه‌ای تولید یا صرفه‌جویی‌شده را از اشخاص حقیقی یا حقوقی غیردولتی، خصوصی یا تعاونی حسب مورد به قیمت‌های صادراتی یا وارداتی (برای سوخت) و برای سایر موارد به قیمت‌های غیریارانه‌ای از آنان و یا سایر سرمایه‌گذاران در این زمینه خریداری یا برای ایجاد اشتغال و اجرای طرح‌های تملک دارایی‌های سرمایه‌ای در هر استان و هر شهرستان سرمایه‌گذاری کنند. در صورت تمایل سرمایه‌گذار می‌تواند کالا یا خدمت تولید یا صرفه‌جویی‌شده را در داخل یا خارج به فروش برساند [۱۵].

بر این اساس، صرفه‌جویی‌های ایجادشده در مصرف انرژی الکتروموتورهای صنعتی کشور با جایگزین کردن آنها با موتورهای پربازده، طبق شرایط ذکرشده در ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر، مشمول این قانون می‌شود. بنابراین در محاسبات بازگشت سرمایه طرح ۳، بایستی هزینه سوخت صرفه‌جویی‌شده در نیروگاه‌ها در راستای بکارگیری الکتروموتورهای پربازده، محاسبه گردد.

۶-۲-۲-۲- اقدامات بهینه‌سازی انجام‌گرفته در الکتروموتورهای نیروگاه‌های حرارتی در دنیا

امروزه تولیدکنندگان برق (نیروگاه‌ها) در یک بازار رقابتی سنگین کار می‌کنند. در این راستا افزایش راندمان فرآیند و کاهش بهای تولید اهمیت ویژه‌ای خواهد داشت. مطابق ادعای شرکت ABB مصرف داخلی نیروگاه‌های حرارتی (اغلب نیروگاه‌های بخار) معمولاً در حدود ۵ تا ۱۰ درصد مقدار تولید آنهاست که الکتروموتورها حدود ۸۰ درصد از این مصرف را به خود اختصاص می‌دهند [۱۶]. از این رو بهبود سیستم‌های الکتروموتوری جهت کاهش مصرف داخلی و افزایش راندمان در دستور کار نیروگاه‌ها قرار گرفته است. از این موارد می‌توان به دو راهکار استفاده از درایوهای کنترل دور و به کار گیری الکتروموتورهای پربازده اشاره نمود. شرکت ABB که یکی از سازندگان پیشرو در زمینه تجهیزات الکتروموتوری است ادعا می‌کند که با بهبود سیستم‌های الکتروموتوری شامل استفاده از درایوهای کنترل دور (VSD[1]) و همچنین به کار گیری الکتروموتورهای پربازده (HE[2] Motors) می‌توان حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد از مصرف داخلی نیروگاه‌ها را کاهش داد [۱۷].

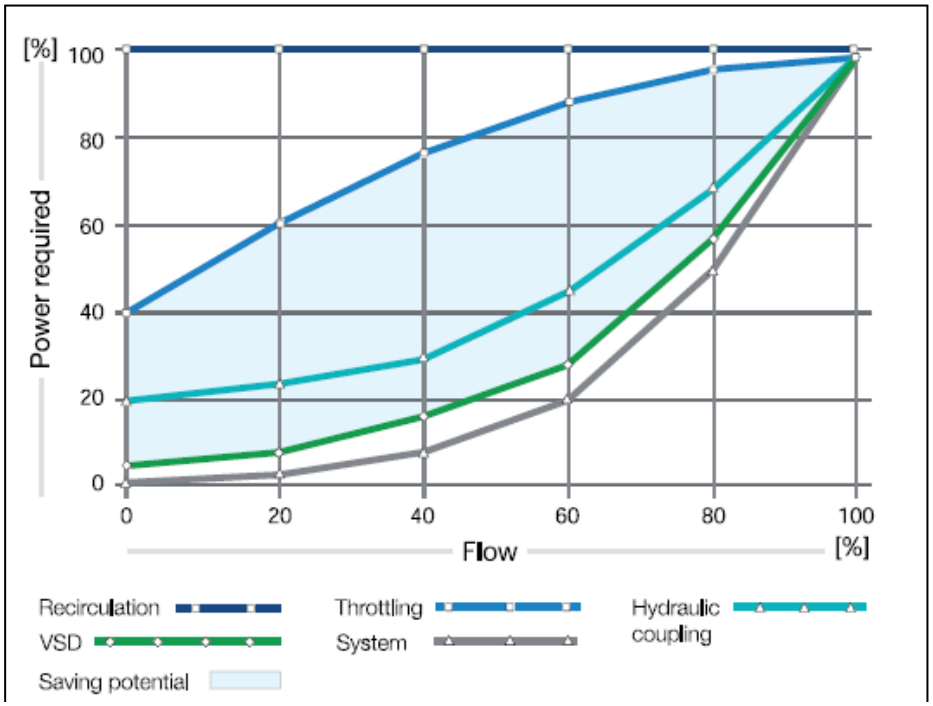
در ادامه در مورد این راهکارها توضیحاتی ارائه می گردد.

- بررسی استفاده از درایوهای کنترل دور (VSD)

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در نیروگاه‌های حرارتی، متناسب با تغییرات توان تولیدی ژنراتور، میزان دبی سیال مربوط به هریک از تجهیزات الکتروموتوری به کار رفته (الکتروپمپ‌ها و الکتروفن‌ها) نیز باید تغییر کند. پمپ‌ها و فن‌هایی که در فرآیند تولید در حال کار هستند، معمولاً یا با وسایل مکانیکی مانند انواع ولو، انواع دمپر و هیدروکوپلینگ و یا با وسایل الکتریکی مانند درایو کنترل دور کنترل می‌شوند. روش کنترل مکانیکی اتلاف انرژی در تجهیزات را در پی دارد، ولی در روش کنترل الکتریکی با استفاده از درایو کنترل دور، سرعت موتور متناسب با نرخ تولید تغییر می‌کند که این موضوع موجب صرفه جویی انرژی، کاهش انتشار کربن دی‌اکسید و حداقل‌شدن هزینه‌های تولید می‌شود. درایوهای کنترل دور دارای راندمان بالایی بوده

[1] Variable Speed Drive
[2] High Efficiency

و از روش‌های دیگر مکانیکی مانند ولو، دمپر و حتی هیدروکوپلینگ بهتر هستند. در شکل ۲۳۴-۲ تغییرات مصرف توان الکتروپمپ‌ها نسبت به روش‌های مختلف کنترل نشان داده شده است [۸].



شکل ۲۳۴-۲ : تغییرات مصرف توان الکتروپمپ‌ها نسبت به روش های مختلف کنترل [۸]

همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود، در بارهای کمتر از بار کامل، صرفه جویی انرژی با استفاده از درایو کنترل دور نسبت به سایر روش های کنترلی بهتر است. از آن‌جایی‌که در فرآیند تولید در نیروگاه‌ها، گاهی الکتروپمپ‌ها و الکتروفن‌ها در بار کامل کار نمی‌کنند، استفاده از درایوهای کنترل دور، صرفه‌جویی انرژی قابل توجهی را به همراه دارد. در این راستا، کمی کاهش سرعت می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه مصرف انرژی گردد. یک پمپ یا فن که در نصف سرعت در حال کار است در حدود یک‌هشتم زمانی که با سرعت کامل کار می‌کند، انرژی مصرف می‌کند.

ABB استفاده از درایو کنترل دور را بر روی پمپ‌های آب تغذیه (FWP)، پمپ‌های آب کندانس (CP)، پمپ‌های آب گردشی (CWP)، فن‌های هوای دمش بویلر (FDF) و فن‌های مکش بویلر (IDF) پیشنهاد می‌کند [۸].

- بررسی استفاده از الکتروموتورهای پربازده

همانگونه که قبلاً توضیح داده شد، الکتروموتورها حدود ۸۰ درصد از مصرف داخلی نیروگاه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. یکی از راهکارهای نسبتاً ساده جهت افزایش راندمان فرآیند و کاهش مصرف انرژی الکتریکی، استفاده از الکتروموتورهای پربازده به جای الکتروموتورهای معمولی است.

الکتروموتورهای پربازده دارای تلفات داخلی کمتری نسبت به نوع معمولی هستند. این الکتروموتورها دارای طول هسته بیشتری بوده و در ساختمان هسته آن‌ها از ورق‌های با تلفات کم استفاده شده است. همچنین جهت کاهش تلفات مس، سطح مقطع هادی بزرگتری برای آن‌ها به کار رفته است و با توجه به این‌که در این الکتروموتوها حرارت کمتری تولید می‌شود، لذا اندازه فن خنک‌کاری کوچکتر انتخاب شده که باعث کاهش تلفات مکانیکی آن نیز خواهد شد [۱۸].

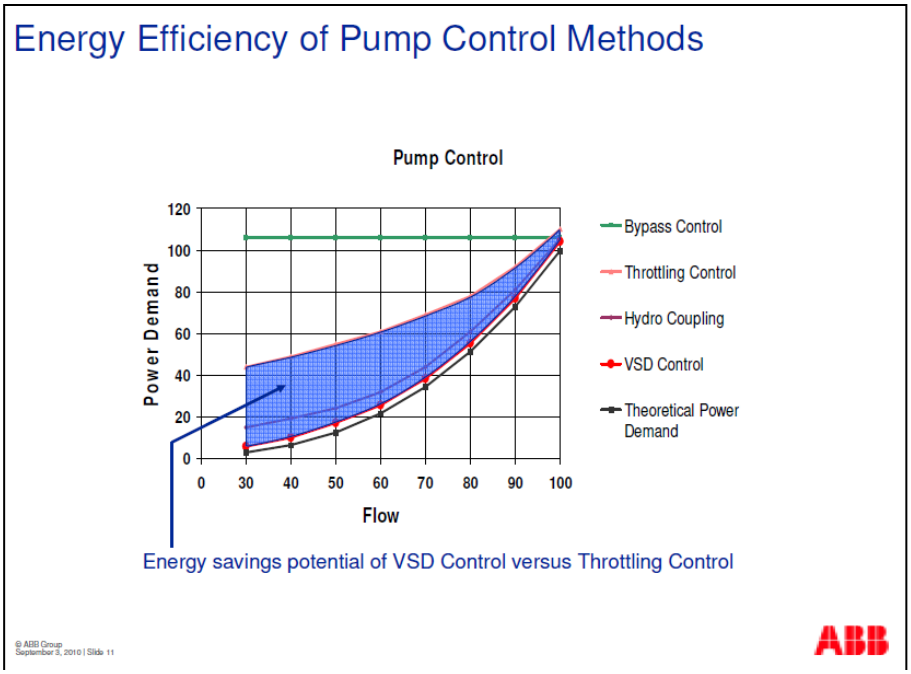
الکتروموتورهای پربازده علاوه بر اینکه دارای راندمانی بیشتر نسبت به نوع استاندارد هستند، جریان‌های بیشتری را نیز در هنگام راه‌اندازی تحمل و حرارت و نویز کمتری را تولید می‌کنند؛ اما هزینه خرید این موتورها

نسبت به موتورهای استاندارد بالاتر بوده و قیمت آنها نیز مطابق قیمت سازندگان مختلف حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد نسبت به موتورهای استاندارد مشابه بیشتر است؛ به منظور اولویت‌بندی تعویض موتورهای موجود با موتورهای پربازده، توصیه می‌شود که عوامل زیر مورد توجه قرار گیرد [۱۹]:

۱- برای کلیه الکتروموتورهای کمتر از ۵/۵ کیلووات، توصیه می‌شود که با نوع پربازده (راندمان بالا) تعویض گردند.
۲- برای الکتروموتورهای با کارکرد سالیانه بیش از ۱۰۰۰ ساعت، تعویض الکتروموتور می تواند مورد بررسی قرار گیرد.
۳- اگر یک الکتروموتور راندمان بالا معیوب شود، تعمیر آن توصیه می‌گردد.
۴- پیشنهاد می‌شود که یک الکتروموتور بیش از ۲ بار سیم پیچی نشود مگر اینکه شرایطی استثنایی وجود داشته باشد.
۵- اگر الکتروموتوری آسیب جدی ببیند، بهتر است الکتروموتور به جای تعمیر، با نوع راندمان بالا تعویض گردد.

۷-۲-۲-۲- استفاده از درایو کنترل دور بر روی الکتروموتورهای موجود در نیروگاه‌های حرارتی دنیا

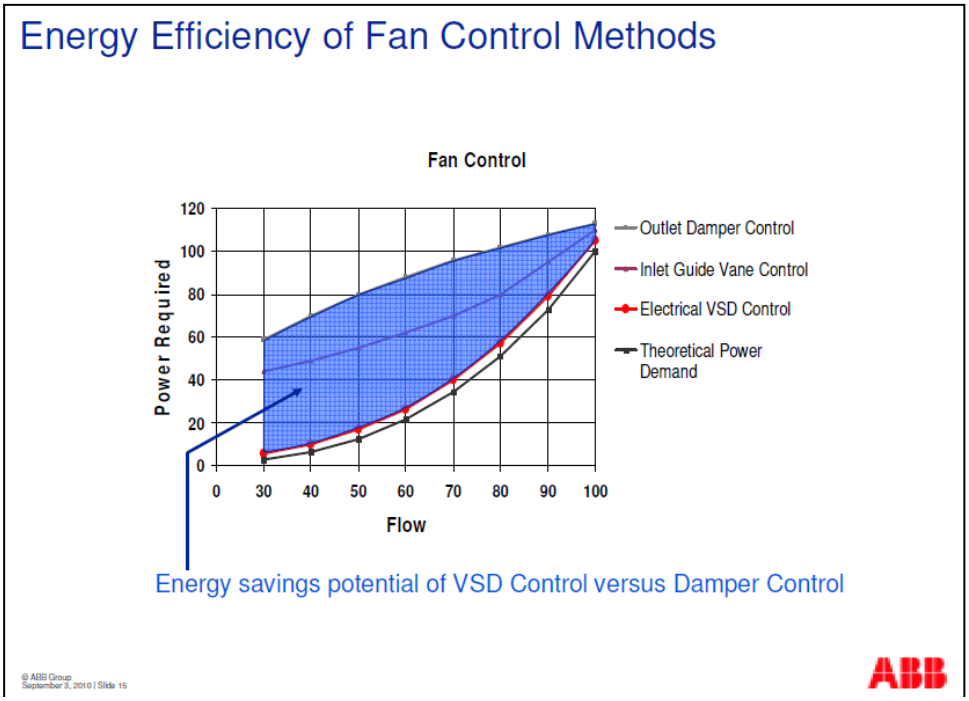
همان‌طور که در قسمت‌های قبلی اشاره شد، یکی از راهکارهای کاهش مصرف انرژی داخلی در نیروگاه‌ها، استفاده از درایوهای کنترل دور است. در این زمینه، الکتروموتورهای اصلی فرآیند تولید که به عنوان عمده مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی در نیروگاه‌ها شناخته می‌شوند، پتانسیل صرفه‌جویی انرژی قابل توجهی دارند. به همین منظور، جهت کنترل الکتروپمپ‌های اصلی فرآیند در نیروگاه‌ها می‌توان از درایوهای کنترل دور استفاده نمود. میزان توان مصرفی الکتروپمپ ها با توجه به روش‌های مختلف کنترل در شکل ۲۳۵-۲ نشان داده شده است [۸].



شکل ۲۳۵-۲ : میزان توان مصرفی الکتروپمپ ها با توجه به روش های مختلف کنترل [۸]

همان‌طور که در شکل فوق مشخص است، کنترل الکتریکی الکتروپمپ‌ها بوسیله درایو کنترل دور، صرفه‌جویی انرژی قابل توجهی نسبت به روش‌های کنترل مکانیکی دارد.

به شکل مشابه، جهت کنترل الکتروفن‌های اصلی فرآیند تولید در نیروگاه‌ها نیز می‌توان از درایوهای کنترل دور استفاده نمود. در این مورد نیز صرفه‌جویی انرژی قابل توجهی پیش‌بینی می‌گردد. در شکل ۲۳۶-۲ میزان توان مصرفی الکتروفن‌ها با توجه به روش‌های مختلف کنترل نشان داده شده است [۸].



شکل ۲۳۶-۲ : میزان توان مصرفی الکتروفن ها با توجه به روش های مختلف کنترل [۸]

همان‌طور که در شکل فوق مشخص است، کنترل الکتریکی الکتروفن‌ها به وسیله درایو کنترل دور، صرفه‌جویی انرژی مناسبی را نسبت به روش‌های کنترل مکانیکی دارد.

در راستای کاهش مصرف داخلی نیروگاه‌ها و در جهت افزایش راندمان تولید، در نیروگاه‌های مختلف دنیا بر روی تجهیزات اصلی فرآیند، درایوهای کنترل دور نصب گردیده است. از مزایایی که در این مورد برشمرده شده می‌توان به صرفه‌جویی انرژی و هزینه، افزایش راندمان تولید، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کاهش انتشار گاز CO2 اشاره نمود. یکی از شرکت‌های تولیدکننده درایوهای کنترل دور که به طور وسیع در زمینه ساخت و نصب درایوها فعالیت می نماید، شرکت ABB است. شرکت مذکور در کشورهای مختلف اقدام به نصب درایوهای کنترل دور نموده است. در ادامه چند نمونه عملی از پروژه‌های نصب درایو ولتاژ متوسط توسط شرکت ABB در نیروگاه‌های کشورهای مختلف ارائه شده است.

- آلمان

در نیروگاهی در شهر مانهایم[1] آلمان، دو عدد پمپ آب تغذیه توسط شرکت ABB به درایوهای کنترل دور ولتاژ متوسط مجهز شده‌اند. توان نامی پمپ‌های مذکور ۵۸۰۰ کیلووات بوده و قبلاً به وسیله کوپلینگ هیدرولیک کنترل می‌شدند. در نتیجه اجرای راهکار نصب درایو بر روی تجهیزات مذکور، صرفه‌جویی انرژی تقریبی سالیانه حدود ۱۲۰۰۰ مگاوات ساعت و کاهش گاز CO_2 در حدود ۱۰۰۰۰ تن در سال گزارش شده است [۱۶].

- فنلاند

[1] Mannheim

شرکت ABB در یکی از شرکت‌های بزرگ تولید کننده برق در فنلاند، بر روی چهار پمپ آب تغذیه ولتاژ متوسط درایوهای کنترل دور نصب نموده است. الکتروموتور تجهیزات مذکور از نوع رتور سیم‌پیچی‌شده بوده و توان نامی هریک ۴۵۰۰ کیلووات است. گزارشات حاکی از آن است که در نتیجه‌ی اجرای راهکار فوق، بهبود راندمان نیروگاه و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات حاصل شده است [۱۶].

- اسپانیا

بر روی چهار پمپ آب تغذیه موجود در یکی از نیروگاه‌های واقع در کشور اسپانیا درایوهای کنترل دور ولتاژ متوسط توسط شرکت ABB نصب گردیده است. الکتروموتور تجهیزات مذکور دارای توان نامی ۱۵۲۰ کیلووات بوده‌اند. گزارشات نیروگاه مذکور نشان از بهبود راندمان نیروگاه دارد [۲۰].

- پرتغال

شرکت ABB در یکی از نیروگاه‌های کشور پرتغال، بر روی سه فن هوای مکشی احتراق ولتاژ متوسط درایوهای کنترل دور نصب نموده است. الکتروموتور تجهیزات مذکور دارای توان نامی ۷۰۰ کیلووات بوده اند. سیستم کنترل قدیمی فن‌های فوق توسط دمپر بوده است. نتایجی که پس از نصب درایوهای کنترل دور بر روی این تجهیزات گزارش شده، کاهش مصرف انرژی، کاهش گاز CO_2 و همچنین کنترل مناسب‌تر و دقیق‌تر فن‌ها در فرآیند بوده است [۲۱].

- ایالات متحده آمریکا

در نیروگاهی در کشور آمریکا، یکی از فن‌های موجود توسط شرکت ABB به درایو کنترل دور ولتاژ متوسط مجهز شده است. توان نامی فن مذکور ۷۵۰ کیلووات بوده و قبلاً به وسیله دمپر موجود در ورودی فن کنترل می‌شد. صرفه‌جویی انرژی تقریبی سالیانه حدود ۱۴۶۰ گیگاوات ساعت و کاهش گاز CO_2 در حدود ۷۳۰ تن در سال، همچنین کنترل بهتر فرآیند، کاهش هزینه‌های تعمیرات و کاهش مشکلات هنگام راه‌اندازی گزارش شده است [۸].

- سوئیس

شرکت ABB در یکی از نیروگاه‌های برق در سوئیس، بر روی دو پمپ آب تغذیه ولتاژ متوسط درایوهای کنترل دور نصب نموده است. الکتروموتور تجهیزات مذکور دارای توان نامی ۳۴۰۰ کیلووات بوده‌اند [۸].

- آفریقای جنوبی

بر روی پمپ‌های آب کندانس موجود در یکی از نیروگاه‌های بزرگ واقع در کشور آفریقای جنوبی درایوهای کنترل دور ولتاژ متوسط توسط شرکت ABB نصب گردیده است. نیروگاه مذکور حدود ۴۵ درصد برق کل آفریقا را تامین می‌کند. گزارشات نیروگاه مذکور از بهبود راندمان نیروگاه پس از نصب درایوها نشان دارد [۸].

همان‌طور که در نمونه های فوق مشاهده شد، از درایوهای کنترل دور در نیروگاه‌های کشورهای مختلف دنیا استفاده شده و به عنوان یک سیستم کنترلی جدید به جای سیستم‌های کنترلی قدیمی مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، نتایج قابل قبولی نیز از طرف نیروگاه‌های مذکور گزارش شده که قابل توجه است. لذا می‌توان از این راهکار در نیروگاه‌های داخلی نیز استفاده نموده و به بهبود راندمان نیروگاه‌ها و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در کل کشور کمک کرد.

۸-۲-۲-۲- جایگزینی الکتروموتورهای پربازده به جای الکتروموتورهای موجود یا فرسوده در صنعت نیروگاهی دنیا

هدف استفاده از الکتروموتورهای پربازده، کاهش تلفات داخلی الکتروموتورهاست. تلفات داخلی الکتروموتورها شامل موارد زیر است:

- تلفات مسی که وابسته به جریان بار است.

- تلفات هسته که مقدار آن تقریباً ثابت است و مستقل از جریان بار می‌باشد.
- تلفات مکانیکی که به سرعت وابسته، ولی مستقل از بار است.

با انتخاب موتورهای الکتریکی پربازده، مقادیر تلفات داخلی کمتر خواهند شد. در الکتروموتورهای پربازده، میزان مواد اولیه به کارگرفته شده شامل مس، آلومینیوم و فولاد مغناطیسی، افزایش یافته و منجر به بزرگترشدن روتور و سنگین‌ترشدن کل موتور شده است. این تغییرات و همچنین تغییرات دیگر در طراحی موتور مانند کوچکترشدن فن، منجر به افزایش بازدهی الکتروموتورها از ۲ تا ۱۰ درصد، بسته به ظرفیت موتور شده است.

بیشتر هزینه‌ها در طول عمر یک موتور مربوطه به هزینه انرژی مصرفی آن است. بنابراین افزایش هر چند دو سه درصدی بازدهی این الکتروموتورها، از نظر افزایش بهره‌وری مصرف انرژی، بسیار کارآمد خواهد بود. گرچه قیمت موتورهای با راندمان بالا بیشتر از موتورهای استاندارد است، ولی در برخی شرایط استفاده از آنها اقتصادی است.

۹-۲-۲-۲- دستورالعمل‌های حاکمیتی در مورد سیستم‌های الکتروموتوری نیروگاه‌های حرارتی دنیا

با توجه به اهمیت مصرف انرژی، در بسیاری از کشورها به منظور کاهش مصرف انرژی الکتریکی در صنایع، دستورالعمل‌هایی تدوین و وضع گردیده است. برای مثال در کشورهای عضو اتحادیه اروپا، ایالات متحده آمریکا، چین، کانادا، استرالیا، مکزیک، برزیل و کره جنوبی، استانداردهای عملکرد حداقل بازده (MEPS[1]) برای الکتروموتورها، طی دستورالعمل‌هایی، الزامی و واردکنندگان و تولیدکنندگان موتورهای الکتریکی، ملزم به ورود و تولید موتورهای الکتریکی پربازده به بازار کشور شده‌اند [۲۲].

در ادامه به برخی از دستورالعمل‌های وضع‌شده در کشورهای مختلف اشاره می‌شود.

- اتحادیه اروپا

در اتحادیه اروپا، قوانین وسیعی با موضوع کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار CO_2 به تصویب رسیده است. قانون 640/2009 و مکمل آن 04/2014 مصرف انرژی و راندمان انرژی الکتروموتورهای القایی در صنعت را شامل می‌شود [۲۳].

از سال ۲۰۰۹، اتحادیه اروپا الزامات حداقل راندمان الکتروموتورهای القایی را طی بازه زمانی به شرح زیر تصویب نمود [۱۹]:

- از ۱۶ ژوئن ۲۰۱۱، حداقل راندمان IE2 برای الکتروموتورها تعیین شد.
- از ۲۷ جولای ۲۰۱۴، قانون 640/2009 با ویرایش جدید 04/2014 جایگزین شد.
- از ۱ ژانویه ۲۰۱۵، حداقل راندمان IE3 برای الکتروموتورها با سایزهای ۷/۵ تا ۳۷۵ کیلووات یا راندمان IE2 به همراه یک درایو کنترل سرعت تعیین شد.
- از ۱ ژانویه ۲۰۱۷، حداقل راندمان IE3 برای الکتروموتورها با سایزهای ۰/۷۵ تا ۳۷۵ کیلووات یا راندمان IE2 به همراه یک درایو کنترل سرعت تعیین شد.

- کانادا

[1] Minimum Energy Performance Standards

در کانادا، راندمان انرژی در صلاحیت مشترک بین دولت‌های فدرال و ایالات است. قوانین و مقررات تصویب‌شده تحت عنوان قانون بهره‌وری انرژی، اولین بار در سال ۱۹۹۵ با هدف کاهش گازهای گلخانه‌ای و حذف تجهیزات با کارایی کم ارائه شدند. در سال ۲۰۱۴ به عنوان ابتکار شورای همکاری مقررات آمریکا–کانادا، سازمان منابع طبیعی کانادا و وزارت انرژی آمریکا به تنظیم استانداردهای به‌روز کارایی انرژی پرداختند. این مقررات جدید آغازی بر نگرش جدید کانادا نسبت به موضوع کارایی انرژی بود [۲۴].

- ایالات متحده آمریکا

از زمان تصویب قانون انرژی و سیاست حفظ آن EPCA[1] در سال ۱۹۷۵، وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا استانداردهای حفاظت از انرژی را برای محصولات مصرفی، تجاری و صنعتی تصویب کرده است. این استانداردهای مربوط به بهره‌وری انرژی در حال توسعه بوده و ۹۰ درصد از مصرف انرژی خانگی، ۶۰ درصد از مصرف انرژی تجاری و ۳۰ درصد از مصرف انرژی صنعتی را پوشش می‌دهد.

نه تنها این استانداردها شامل لوازم و تجهیزات خانگی می‌شوند، بلکه تجهیزات صنعتی مانند موتور، پمپ و کمپرسور را شامل می‌شوند. مقررات ایالات متحده برای سیستم‌های الکتروموتوری در حال تغییر و تکمیل است تا کارایی را بهبود بخشد و در استانداردهای حفاظت از انرژی (CFR[2]) بخش ۴۳۱ (برنامه راندمان انرژی برای تجهیزات صنعتی و تجاری[3]) وجود دارد.

مقررات مربوط به کنترل دور و سیستم‌های درایو در بهبود راندمان موتور در حال پیشرفت است و در ۱ ژوئن سال ۲۰۱۶ تکمیل شده است. در این استاندارد تاثیرات اقتصادی از جمله صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی، صرفه‌جویی در انرژی و تاثیرات عملکردی، رقابت، حفاظت از انرژی و سایر عوامل دیده شده است.

در تصویب قانون های انرژی توسط وزارت انرژی آمریکا یک فرایند قانونی چهار مرحله‌ای دنبال می‌شود. تصویب هر قانون طی چهار مرحله فرایند و در حدود ۳ سال اتفاق می‌افتد، که این زمان به میزان استقبال و مشارکت گروه‌های مربوطه وابسته است.

مرحله اول با دریافت اطلاعات از صنایع مربوطه و شناسایی روش‌های عملی برای ارزیابی مصرف انرژی آغاز می‌شود.

مرحله دوم مربوط به تجزیه و تحلیل اولیه تکنولوژی و اقتصاد انرژی در استاندارد مربوطه است.

مرحله سوم ارزیابی و تحلیل قوانین و مقررات پیشنهاد شده و الزامات بهره‌وری سیستم است.

و در نهایت در فاز چهارم این قانون را تصویب می‌کند.

مقررات جدید وزارت انرژی آمریکا، تولید کنندگان موتور را به انطباق با اهداف افزایش کارایی ملزم می‌کند. قانون استاندارد کارایی موتورهای الکتریکی، کلاس‌های جدیدی از موتورها را بر اساس توان آن‌ها و راندمان انرژی طبقه‌بندی می‌کند. الزامات تعیین شده در استاندارد راندمان انرژی موتورهای الکتریکی، موتورها را در کلیه سطوح ولتاژ و همچنین قوانین جدید انواع موتورهای سرعت متغیر را نیز پوشش می‌دهد [۱۸].

- چین

موفقیت طرح‌های ارزیابی انرژی به شدت به آموزش کارشناسان مرتبط است. بنابراین، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، برنامه های ممیزی باید با برنامه های توسعه‌ی ظرفیت همراه باشد. یک مثال از چنین ترکیبی، برنامه صرفه‌جویی

[1] Energy Policy and Conservation Act
[2] Code of Federal Regulations
[3] Energy Efficiency Program for Certain Commercial and Industrial Equipment.

انرژی در الکتروموتورهای کشور چین است که توسط یونیدو بین سال های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ اجرا شده است. این برنامه به عنوان یک برنامه آزمایشی، طراحی و در دو استان جیانگ سو و شانگهای اجرا شد. نتایج به دست آمده پایه‌ای برای پیاده‌سازی در سطح کشور، در آینده‌ای نزدیک است. اجزای اصلی برنامه، آموزش کارشناسان برای بهینه سازی سیستم‌های الکتروموتوری و انجام ممیزی‌های انرژی در کارخانه‌های صنعتی است که در آن کارآموزان و مدرسان به طور مشترک پمپ، فن و کمپرسور هوای فشرده را ارزیابی می‌کنند [۲۵].

برای برنامه های آزمایشی، مراکزی جهت ارائه برنامه‌های آموزش ممیزی و مدیریت انرژی در موتورهای الکتریکی برنامه‌ریزی شده است. این برنامه ۲۲ مهندس را به عنوان کارشناسان بهینه‌سازی سیستم آموزش داد و ۳۸ فقره ارزیابی واحدهای صنعتی نیز انجام شد که نتایج ارزیابی ها، نشان دهنده پتانسیل صرفه جویی سالانه ۴۰ گیگاوات ساعت معادل ۲۳ درصد از مصرف برق هر مجموعه بود. بیشترین بهره وری انرژی پیشنهاد شده و سرمایه‌گذاری‌ها نشان داد که زمان بازگشت سرمایه یک یا دو سال است. علاوه بر این، بیش از ۱۰ پروژه اجرا شد و نزدیک به ۱۰۰۰ پرسنل کارخانه ها آموزش دیده بودند. بنابراین، اجرای این برنامه نه تنها باعث آموزش بسیاری از کارشناسان شد، بلکه باعث بهبود قابل ملاحظه بهره‌وری انرژی در چندین شرکت نیز گردید [۲۵].

- برزیل

برنامه بهره‌وری انرژی صنعتی برزیل در سال ۲۰۰۳ به اجرا درآمد. تمرکز اولیه آن، بهینه‌سازی الکتروموتورهای صنعتی بود و سه هدف زیر را دنبال می‌کرد:

- بهینه‌سازی سیستم های الکتروموتوری نصب شده موجود در صنعت
- سرعت بخشیدن به استفاده از موتورهای راندمان بالا در صنعت
- تقویت پشتیبانی‌های فنی

کنفدراسیون ملی صنایع، برای افزایش تعهدات صنایع، در طراحی و اجرای این برنامه شرکت داشت. این برنامه به شدت بر توسعه ظرفیت استوار است.

در مرحله اول، فعالان در حوزه بهینه‌سازی انرژی مانند اساتید دانشگاه و مشاوران در طول دوره ۱۷۶ ساعته در بهینه‌سازی سیستم آموزش دیده بودند.

علاوه بر این، آزمایشگاه‌های سیستم‌های الکتروموتوری و مراکز آموزشی در دانشگاه‌های مختلف تاسیس شدند.

گام بعدی آموزش کارکنان صنعت توسط این فعالان حوزه انرژی بود تا بتوانند توانایی‌های خود را برای انجام ممیزی‌های انرژی در شرکت‌های خود به دست آورند.

هدف، آموزش ۲۰۰۰ نماینده از شرکت های بهینه‌سازی سیستم‌های الکتروموتوری و ۹۰۶ نماینده از ۷۶۶ صنعت تا سال ۲۰۰۵ بوده تا بتوانند طرح‌های خود را برای انجام ۱۱۴۰ مورد ممیزی سیستم‌های الکتروموتوری در شرکت‌هایشان برنامه‌ریزی کنند. علاوه بر این، در مجموع ۱۲۳ نفر از فعالان دانشگاه‌ها و مشاوران در حوزه انرژی در این آموزش‌ها شرکت داشتند. پس از چهار سال، نتایج برنامه‌های مختلف شامل آموزش موفقیت آمیز کارشناسان سیستم‌های الکتروموتوری، کاهش فاصله بین دانشگاه و صنعت و علاوه بر این، آموزش ابتدایی دانشگاه و مشاوران بود [۲۵].

- هند

در هند، قانون صرفه‌جویی انرژی (EC Act[1]) در سال ۲۰۰۱ سیاست‌های بهره‌وری انرژی را در اختیار فعالان در زمینه انرژی و بخش‌های اقتصادی آن قرار داد. علاوه بر آن، دفتر بهره‌وری انرژی (BEE[2]) را جایگزین مرکز سابق مدیریت انرژی کرد و به عنوان مسئول معرفی فعالیت‌های پیشنهادی انرژی قرار داد.

در این راستا، برای شرکت‌هایی با شدت مصرف انرژی بالا الزامات زیر تعیین گردید:

- تعیین اهداف برای کاهش مصرف انرژی
- تعیین مدیران انرژی در چارت سازمانی و شرح وظایف آنها در راستای پایش انرژی مجموعه
- انجام ممیزی اجباری انرژی توسط فعالان حوزه انرژی خارجی معتبر

این طرح ترکیبی از اهداف بهره‌وری انرژی، مدیریت انرژی و ممیزی اجباری است که توسط یک برنامه توسعه ظرفیت پشتیبانی می‌شود. برای اطمینان از اجرای صحیح این کار لازم است دفتر بهره‌وری انرژی مدیران انرژی و همچنین فعالان (اساتید و مشاوران) معتبر در حوزه انرژی که از لحاظ حرفه‌ای واجد شرایط هستند را به کار گرفته و بسته‌های آموزشی متفاوتی را ارائه دهد. همچنین دستورالعمل‌های مربوط به ممیزی سیستم های فنی، از جمله موتورهای الکتریکی را تهیه کرده است. این سازمان متولی صدور گواهینامه‌های مدیریت انرژی نیز هست. در این مجموعه از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶، حدود ۷۱۳ مدیر انرژی و ۲۰۱۳ ممیز انرژی با موفقیت امتحان سالانه گواهینامه را گذراندند و در این سه سال، حدود ۳۰۰۰ ممیزی انرژی انجام شد [۲۵].

- هلند

در هلند با هدف بهبود ۲۰ درصدی بهره‌وری انرژی، بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰ قراردادهای بلند مدت (LTAs[3]) بین وزارتخانه‌ها و بخش‌های صنعتی جهت حمایت از دستیابی به بهره‌وری انرژی ملی منعقد شد.

هدف از اتخاذ این تصمیمات، کاهش ۲۰ درصدی براساس ارزیابی پتانسیل بهره‌وری انرژی صنایع هلند تعیین شد. در این راستا میزان پتانسیل بهره وری در بخش صنعت مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس نتایج ارزیابی، یک برنامه بلندمدت (LTP[4]) برای تحقق هدف مورد نظر تعریف شد. این برنامه شامل تعهدات برای شرکت‌های خصوصی بر اساس قراردادهای بلندمدت (LTAs)، برنامه صرفه جویی انرژی (ECP[5]) و نظارت سالانه بر روی تحولات در بهره‌وری انرژی با استفاده از شاخص بهره‌وری انرژی (EEI[6]) است.

گزارش منتشر شده از آژانس انرژی و محیط زیست هلند، بهبود متوسط ۲۲/۳ درصدی بهره وری انرژی را طی سال های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰ اعلام کرده و طرح قراردهای بلندمدت را موفقیت آمیز دانسته است [۲۶].

دولت هلند پس از LTAs، پیمان ارزیابی انرژی را برای صنایع بزرگ مصرف کننده انرژی در سال ۲۰۰۱ منعقد کرد. با استفاده از این روش، مشارکت کننده یک شخص ثالث متخصص را برای انجام مطالعات بین‌المللی استخدام می‌کند که هر چهار سال یکبار بهترین راهکارهای عملی در زمینه بهره‌وری انرژی را برای تمام کارخانجات خود انجام دهد [۲۶].

---

[1] Energy Conservation Act
[2] Bureau for Energy Efficiency
[3] Long-Term Agreements
[4] Long-Term Plan
[5] Energy Conservation Plan
[6] Energy Efficiency Index

۱۰-۲-۲-۲- طرح‌های تشویقی و حمایتی جهت کاهش مصرف الکتروموتورهای نیروگاه‌های حرارتی

باید توجه داشت که بدون حمایت و سیاست‌های تشویقی، موانع بسیاری اجرای فرایند بهینه‌سازی را دشوار یا غیرممکن می‌سازد.

در محیط بازار فعلی، به دلیل کمبود سرمایه خریدارها، امکان انتخاب گزینه‌هایی با کارآیی بالا وجود نداشته و خریدارها سیستم های موتور الکتریکی را با هزینه کمتری انتخاب می‌کنند. از دلایل این اتفاق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- عدم آگاهی خریدارهای موتور از پتانسیل انرژی و صرفه‌جویی در هزینه با استفاده از موتورهای کارآمد
- مجزا بودن ساختار مدیریت تامین بودجه جهت خرید تجهیزات از هزینه‌های مربوط به بهره برداری و تعمیر و نگهداری آن‌ها
- اغلب موتورها قبل از فروش به کاربر نهایی، توسط سازندگان اصلی تجهیزات OEM[1] به تجهیزات کوپل می‌شوند

برای غلبه بر این موانع، بسیاری از کشورها (که در حال حاضر بیش از یک سوم جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند) استانداردهای حداقل مجاز عملکرد انرژی MEPS را برای کلاس اصلی موتورهای صنعتی به تصویب رسانده‌اند.

تجربه نشان داده شده است که این ابزار برای عملیاتی کردن صرفه‌جویی در انرژی و هزینه‌های آن قابل اجرا است. متوسط بهره‌وری انرژی موتورهای جدید در کشورهایی که استانداردهای حداقل مجاز عملکرد انرژی MEPS اجرایی شده است، به طور قابل توجهی بالاتر از سایر کشورهاست. تخمین زده می‌شود که در صورت اجرایی شدن چنین الزاماتی (MEPS) برای موتورهای صنعتی همه کشورها، تا سال ۲۰۳۰ تقریبا ۳۲۲ TWh از تقاضای برق سالانه ذخیره خواهد شد و موجب صرفه جویی معادل ۲۰۶ میلیون تن CO_2 خواهد شد که این کار مستلزم برچسب زنی انرژی برای طیف وسیعی از موتورهای اصلی است [۲۷].

دستیابی به این میزان صرفه‌جویی (یعنی تقریباً ۱۰ درصد کل مصرف برق جهانی) از طریق استفاده از موتورهای الکتریکی کارآمدتر و درایوها، نیاز به اقدام فردی و هماهنگی بین همه متولیان تاثیرگذار، از جمله تنظیم‌کننده‌ها، سیاست‌گذاران و سازمان‌های توسعه دهنده استانداردها دارد.

اما این سیاست به تنهایی کافی نیست و نیاز به ابزار ارزیابی عملکرد موتورها در زمان کاربری نیز وجود دارد. توصیه‌های زیر برای تصویب سیاست های انرژی کارآمد پیشنهاد شده است [۲۷]:

- استانداردهای حداقل مجاز عملکرد انرژی باید مطابق با بهترین روش بین‌المللی معرفی شود و کلیه گروه‌های الکتروموتورها را پوشش دهد.
- برچسب انرژی باید برای الکتروموتورها تعریف شود.
- تنظیم‌کننده‌ها، سیاست‌گذاران و سازمان‌های توسعه‌دهنده استانداردها باید اجرای این استانداردهای انرژی را تضمین کنند و رویه های آزمون آنها مشخص باشد.
- تنظیم‌کننده‌ها، سیاست‌گذاران و سازمان‌های توسعه‌دهنده استانداردها باید از طریق کمیسیون اجرایی مشخص، اقدام کنند.

[1] Original Equipment Manufacturer

- برنامه‌هایی برای اطلاع‌رسانی و آگاهی گسترده در سطح وسیع به صنعت ایجاد شود و این برنامه ها باید افراد مسئول (از جمله بهره برداران، مدیران تعمیر و نگهداری و تولید، مدیران کارخانه‌ها و شرکت‌ها و تصمیم گیرندگان مسئول سیاست کلی شرکت در زمینه انرژی) را هدف قرار دهد.
- ایجاد و توسعه طرح‌های تشویقی برای پذیرش و استفاده از بهترین‌ها
- تلاش های بین المللی برای ایجاد ظرفیت و ساختارهای پشتیبانی، در مقیاس کافی برای حمایت از نیازهای جاری در حوزه انرژی
- نظارت بر بازار جهانی در فواصل زمانی مشخص و تصویب مقررات و برنامه های انگیزشی برای حمایت از بازار

در این راستا در جهت بهینه سازی مصرف انرژی در کشورهای مختلف، روش های تشویقی و حمایتی تصویب گردیده است که در ادامه به چند نمونه اجرا شده در کشورهای هند و آلمان و چین پرداخته می شود.

- هند

برای استفاده از پتانسیل قابل‌توجهی از صرفه‌جویی و بهینه‌سازی انرژی، دولت هند در سال ۲۰۰۱، لایحه حفظ انرژی را تصویب کرد. این لایحه چارچوب‌های قانونی، آرایش سازمان‌ها و مکانیسم‌های تنظیم قوانین را برای شروع به کار پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی، در سطح ملی و در سطح ایالتی فراهم کرد. یکی از بخش‌های این لایحه بودجه حفظ انرژی ایالتی[1] است. این بودجه برای تأمین مالی پروژه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی است و به ایالت‌هایی پرداخت شده که اقدام به تأسیس صندوق مالی حفظ انرژی کرده‌اند. یکی دیگر از بخش‌ها، سازمان خدمات بهینه‌سازی انرژی[2] می‌باشد. این سازمان توسط وزارت نیرو با هدف ایجاد شرکت‌های خدمات انرژی[3] و تسهیل اجرای پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی تشکیل‌شده است. در واقع این سازمان به عنوان مشاور در پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی عمل می‌کند [۲۸].

- آلمان

در آلمان، در سال ۲۰۰۸، جهت حمایت از اجرای طرح‌های بهینه سازی انرژی، صندوق بازدهی انرژی تاسیس شد. وظیفه این صندوق ممیزی‌های مالی یارانه‌ای برای شرکت‌های کوچک و متوسط با وام‌های کم بهره برای سرمایه گذاری در بهره وری انرژی بود. این کار توانست با تامین مالی پروژه‌ها، موانعی همچون فقدان سرمایه و همچنین فقدان دانش و ظرفیت داخلی برای ارزیابی سیستم‌ها را کاهش دهد. گرچه این کار به طور خاص بر روی سیستم‌های الکتروموتوری تمرکز نداشت، ولی بسیاری از پیشنهادات در زمینه صرفه‌جویی الکتروموتورها را تحقق بخشید [۲۵].

- چین

به رغم بهبود مستمر در بهره‌وری انرژی، متوسط بازدهی انرژی در صنایع چین هنوز هم نسبت به کشورهای توسعه یافته عقب مانده است. دولت چین جهت اجرای پروژه‌های صرفه جویی انرژی در صنعت اقدام به ارائه حمایت‌ها و پاداش‌های مالی به شرکت‌ها کرده است. پاداش‌های مالی به ۱۰ گروه پروژه‌های ارتقاء بهره‌وری انرژی که منجر به کاهش ۲۰ درصدی مصرف انرژی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ شده، از سوی دولت ارائه شده است. یک گروه از این پروژه‌ها صرفه‌جویی انرژی در موتورهای الکتریکی بوده است. برای دریافت این کمک‌های مالی، ساز و کار مشخصی بر مبنای میزان انرژی صرفه جویی

[1] State Energy Conservation Fund (SECF)
[2] Energy Efficiency Services Limited (EESL)
[3] ESCO

شده، مشخص شده است. ۶۰ درصد از پاداش مالی پروژه در ابتدای کار پرداخت می‌شود و مابقی پس از تایید میزان صرفه جویی گزارش شده، توسط سازمان های حقوقی مستقل ارائه می‌شود [۲۹].

۱۱-۲-۲-۲- امکان‌سنجی اقتصادی برای جایگزینی الکتروموتورها

در این مطالعه به‌منظور بررسی ارزش اقتصادی به کار گیری الکتروموتورهای پربازده، سه طرح با فرض‌های زیر در نظر گرفته شده است:

- طرح ۱: قیمت برق یارانه‌ای
- طرح ۲: ارزش برق واقعی
- طرح ۳: ارزش انرژی صرفه‌جویی شده با استناد به ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر

بهای انرژی الکتریکی مصرفی برای مشترکین با توان بیش از ۳۰ کیلووات، با توجه به مقررات فروش برق سال ۹۵، ۶۳۹ ریال در میان‌باری، ۱۲۷۸ ریال در اوج بار و ۳۱۹ ریال در کم‌باری به ازای هر کیلووات‌ساعت است [۳۰]. همچنین میزان مصرف انرژی موتورهای هر ظرفیت از رابطه (۲-۱۷) محاسبه می‌گردد.

$$\text{مصرف انرژی موتورهای هر ظرفیت} = \text{تعداد موتور} \times \text{توان موتور} \times \text{ساعات کارکرد سالیانه موتور} \times \frac{1}{\text{بازده}} \quad (۲-۱۷)$$

$$\text{میزان کاهش توان} = \sum^{\text{تمام ظرفیت‌ها}} \left(\text{تعداد} \times \text{توان خروجی} \times \text{ضریب بار} \times \left[\frac{100}{\text{بازده موتور پربازده}} - \frac{100}{\text{بازده موتور موجود}} \right] \right) \quad (۲-۱۸)$$

$$\text{میزان کاهش انرژی مصرفی} = \text{میزان کاهش توان} \times \text{ساعات کارکرد} \quad (۲-۱۹)$$

$$\text{میزان کاهش هزینه} = \left(\text{میزان کاهش توان} \times \text{بهای توان}\right) + \left(\text{بهای انرژی} \times \text{میزان کاهش انرژی مصرفی}\right) \quad (۲-۲۰)$$

$$\text{سرمایه‌گذاری مازاد برای بکارگیری الکتروموتورهای پربازده} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\text{کاهش هزینه سالیانه} \times (\text{نرخ تورم} + 1)^{i}}{(\text{نرخ بهره} + 1)^{i}} \quad (۲-۲۱)$$

بهای هر یک کیلووات توان نیز برای این دسته از مشترکین، ۱۹۶۴۲ ریال در نظر گرفته می‌شود. بهای برق مصرفی در تابستان ۲۰ درصد افزوده می‌شود. میانگین ساعات اوج بار نیز ۴ ساعت و ساعات کم‌باری ۸ ساعت در نظر گرفته می‌شود.

بر اساس ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ارتقای نظام مالی کشور مصوبه ۱۳۹۴، کلیه دستگاه‌های موضوع این ماده، می‌توانند به منظور صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌ها و کاهش هدررفت، تلفات و هزینه‌ها، افزایش تولید کالاها و خدمات و سایر موارد مذکور در ماده قانون که منجر به افزایش درآمد یا کاهش هزینه گردد، در زمینه وظایف مصوب خود، قراردادهای لازم را در چارچوب قوانین و مقررات با اشخاص حقیقی و حقوقی داخلی و خارجی منعقد نموده و ترتیبی اتخاذ نمایند که سرمایه‌گذاری یا اقدام صورت‌گرفته مطابق بند ۲ ماده ۱۲ قانون، صرفاً از محل درآمد اضافی و یا صرفه‌جوییِ ایجادشده بازپرداخت شود [۱۵].

در ادامه امکان جایگزینی الکتروموتورهای صنایع غذایی، در طول سه سناریو با قیمت برق یارانه‌ای (طرح ۱)، قیمت واقعی تولید برق (طرح ۲) و همچنین بر اساس ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر (طرح ۳) بررسی شده است. مدت زمان بازگشت سرمایه (n) طرح جایگزینی الکتروموتورهای معمولی با الکتروموتورهای پربازده، با در نظر گرفتن نرخ بهره و

نرخ تورم و با روش ارزش فعلی هزینه‌ها [۳۱] نیز، با حل معادله (۲-۲۰) برای هر یک از سناریوها، بدست می‌آید (در این معادله، عدد n مجهول است).

نرخ بهره بانکی، بر اساس مصوبه شورای پول و اعتبار در سال ۱۳۹۵، ۱۵ درصد در نظر گرفته شده است. همچنین بانک مرکزی، نرخ تورم را در سال ۱۳۹۵، ۱۱/۲ درصد اعلام کرده است.

در این قسمت، نیروگاه مشهد برای مطالعه موردی، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است. این نیروگاه ۶۰ مگاواتی که از دو واحد حرارتی و دو واحد گازی تشکیل شده است، حدود ۴ مگاوات مصرف داخلی دارد که بخش زیادی از این توان در الکتروموتورهای نیروگاه مصرف می‌شود. به عنوان مثال فقط ۲ مگاوات مصرف یک موتور پمپ تغذیه در نیروگاه است. در الکتروموتورهای توان‌بالا و بارمتغیر، بهترین راهکار برای افزایش بهره‌وری انرژی، استفاده از درایو کنترل دور است. اما در موتورهای توان‌پایین و دائم‌کار که از طریق بازدید حضوری و فنی از الکتروموتورهای نیروگاه مشهد، تشخیص داده شده‌اند، می‌توان از الکتروموتورهای پربازده استفاده نمود. الکتروموتورهایی که قابلیت جایگزینی با الکتروموتورهای پربازده را دارند باتوجه به نظر کارشناسان فنی برق نیروگاه مشهد عبارتند از: ۲ عدد الکتروموتور ۷/۵ کیلووات، ۲ عدد الکتروموتور ۱۳/۵ کیلووات، ۲ عدد الکتروموتور ۲۲ کیلووات، ۱ عدد الکتروموتور ۵۵ کیلووات، ۲ عدد الکتروموتور ۳۰ کیلووات و ۲ عدد الکتروموتور ۱۰۴ کیلووات با ولتاژ کارکرد ۳۸۰ ولت که با ۴۰۰۰ ساعات کارکرد در سال هستند. سطح بازدهی الکتروموتورهای موجود در این نیروگاه، IE0 و IE1 می‌باشد که در اینجا همه از نوع IE1 در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب، بر اساس رابطه (۲-۲۱)، بازدهی الکتروموتورهای موجود و کاندید جایگزینی به صورت جدول ۴۹-۲ خواهد بود.

جدول ۴۹-۲ : مقایسه بازدهی موتورهای موجود در نیروگاه مشهد و گزینه‌های پیشنهادی

توان موتور (kW)	بازدهی فعلی (٪)	بازدهی موتور IE2 (٪)	بازدهی موتور IE3 (٪)
۷/۵	۸۶	۸۸/۶۶	۹۰/۴۴
۱۳/۵	۸۸/۳	۹۰/۳۶	۹۱/۹
۲۲	۸۹/۹	۹۱/۵۹	۹۲/۹۶
۵۵	۹۲/۱	۹۳/۴۶	۹۴/۵۵
۳۰	۹۰/۷	۹۲/۲۹	۹۳/۵۵
۱۰۴	۹۳/۶	۹۴/۷۹	۹۵/۶۹

میزان صرفه‌جویی انرژی در صورت بکارگیری الکتروموتورهای پربازده، بر اساس رابطه (۲-۱۷) و (۲-۱۸) محاسبه می‌شود. ساعت کارکرد این الکتروموتورها نیز با توجه دفعات قطع و وصل، در جدول ۵۰-۲ ارائه و متوسط ضریب بار ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است.

میزان صرفه‌جویی ممکنه در نیروگاه مشهد، با بکارگیری الکتروموتورهای کلاس IE2 و IE3 در جدول ۵۰-۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با جایگزینی الکتروموتورهایی که قابلیت جایگزینی با الکتروموتورهای پربازده را دارند، با استفاده از الکتروموتورهای IE2 در این نیروگاه تا ۳۴/۲ مگاوات‌ساعت و با استفاده از موتورهای کلاس IE3 تا ۵۹/۹ مگاوات‌ساعت امکان صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی در سال وجود دارد. بطور متوسط می‌توان گفت با بکارگیری الکتروموتورهای کلاس IE2 در این نیروگاه، مصرف انرژی در کاربردهای مذکور تا ۱/۵۴ درصد و با بکارگیری الکتروموتورهای کلاس IE3، مصرف انرژی تا ۲/۷۱ درصد کاهش می‌یابد.

جدول ۵۰-۲ : میزان صرفه‌جویی انرژی ممکن در نیروگاه مشهد با به کارگیری الکتروموتورهای پربازده

توان موتور (kw)	تعداد	ساعت کارکرد در سال	میزان صرفه‌جویی با موتور (MWh) IE2	میزان صرفه‌جویی با موتور (MWh) IE3
۷/۵	۲	۸۲۸۰	۳/۲	۵/۳
۱۳/۵	۲	۴۳۸۰	۲/۳	۴
۲۲	۲	۴۳۸۰	۳	۵/۵
۳۰	۲	۸۷۶۰	۵/۷	۱۰/۲
۵۵	۱	۸۷۶۰	۷/۴	۱۳/۲
۱۰۴	۲	۴۵۰۰	۱۲/۵	۲۲
جمع	**۱۱**	-	**۳۴/۲**	**۵۹/۹**

با توجه به مطالعات و سازندگان مختلف الکتروموتورهای پربازده قیمت یک الکتروموتور پربازده نسبت به الکتروموتور معمولی، حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد بیشتر است که در اینجا به‌طور متوسط ۱۵ درصد برای الکتروموتورهای IE2 و ۲۵ درصد برای الکتروموتورهای IE3 در نظر گرفته شده است.

قیمت الکتروموتورهای استاندارد موجود در بازار ایران، با توجه محصولات شرکت‌های زیمنس، موتوژن، کایجیلی چین، مارلی ایتالیا، جمکو و استریم چین، برای ظرفیت‌های ۱۰۴، ۵۵، ۳۰، ۲۲، ۱۳/۵ و ۷/۵ کیلووات به‌طور متوسط به ترتیب ۱۶/۵، ۶، ۳/۸، ۲/۸، ۱/۷ و ۱/۰۲ میلیون تومان است.

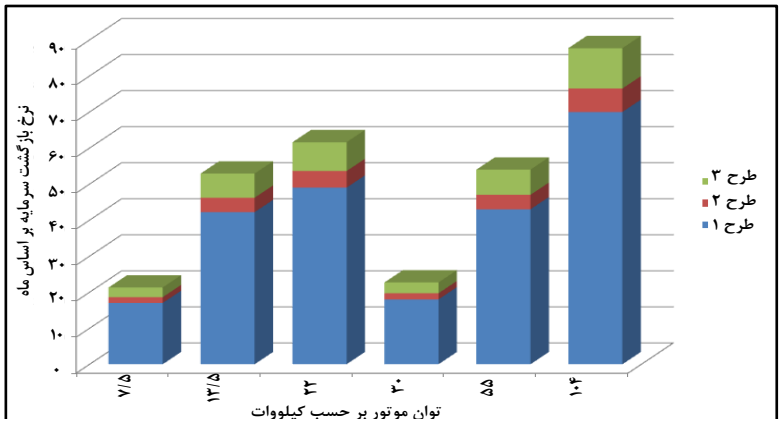
جدول ۵۱-۲ : میزان کاهش هزینه‌ها در نیروگاه مشهد با استفاده از الکتروموتورهای پربازده

توان موتور (kW)	استفاده از الکتروموتور IE2				استفاده از الکتروموتور IE3			
	هزینه مازاد نسبت به موتور استاندارد (میلیون ریال)	هزینه صرفه‌جویی‌شده (میلیون ریال)			هزینه مازاد نسبت به موتور استاندارد (میلیون ریال)	هزینه صرفه‌جویی‌شده (میلیون ریال)		
		طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳		طرح ۱	طرح ۲	طرح ۳
۷/۵	۳/۰۶	۲/۲	۳/۲۳	۵/۱۳	۵/۱	۵/۳	۴/۳۸	۳/۲۲
۱۳/۵	۵/۴	۵/۱	۶/۱۶	۶/۹	۹	۷/۲	۷/۲۸	۶/۱۶
۲۲	۸/۴	۲	۱/۲۲	۸/۱۲	۱۴	۶/۳	۳۹	۶/۲۲
۳۰	۵/۷	۸/	۴۲	۳/	۹/۵	۹/	۵/	۱/

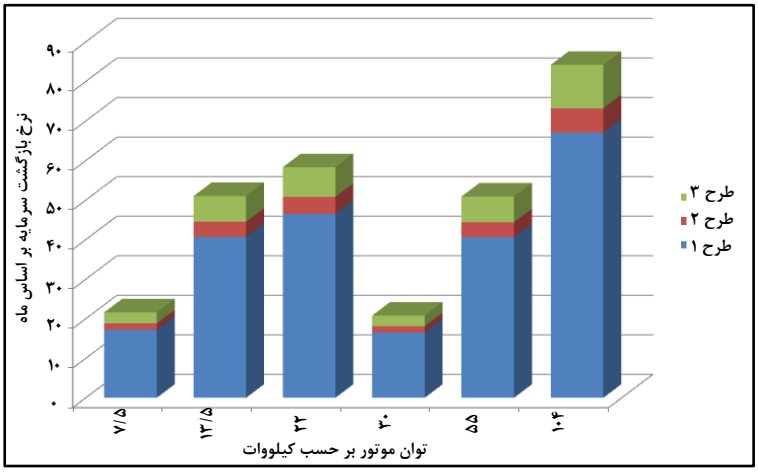
۴۳	۷۴	۶		۲۴		۳		
/۸ ۵۵	/۳ ۹۶	/۹ ۸	۳۰	/۳ ۳۱	۵۴	۵	۱۸	۵۵
/۹ ۹۲	/۳ ۱۶۰	/۸ ۱۴	۸۲/۵	۵۳	/۶ ۹۱	/۵ ۸	۴۹/۵	۱۰۴

جدول ۵۲-۲ : بازگشت سرمایه طرح جایگزینی الکتروموتورهای پربازده نیروگاه مشهد بدون در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم

استفاده از الکتروموتور IE3			استفاده از الکتروموتور IE2			توان موتور (kW)
زمان بازگشت سرمایه (ماه)			زمان بازگشت سرمایه (ماه)			
ط رح ۳	ط رح ۲	ط رح ۱	ط رح ۳	ط رح ۲	ط رح ۱	
۸ ۲/	۶ ۱/	۲ ۱۷/	۷ ۲/	۶ ۱/	۱ ۷	۷/۵
۵ ۶/	۸ ۳/	۷ ۴۰/	۷ ۶/	۴	۴ ۲	۱۳/۵
۵ ۷/	۳ ۴/	۵ ۴۶/	۸	۶ ۴/	۴ ۹	۲۲
۷ ۲/	۶ ۱/	۵ ۱۶/	۳	۷ ۱/	۱ ۸	۳۰
۵ ۶/	۸ ۳/	۶ ۴۰/	۷	۴	۴ ۳	۵۵
۱ ۱	۲ ۶/	۶ ۷	۲ ۱۱/	۵ ۶/	۷ ۰	۱۰۴



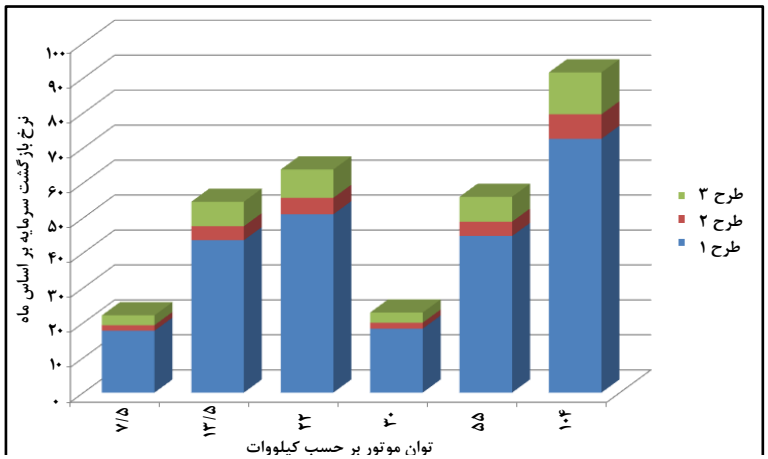
شکل ۲۳۷-۲ : بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای **IE2** در نیروگاه مشهد بدون در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم



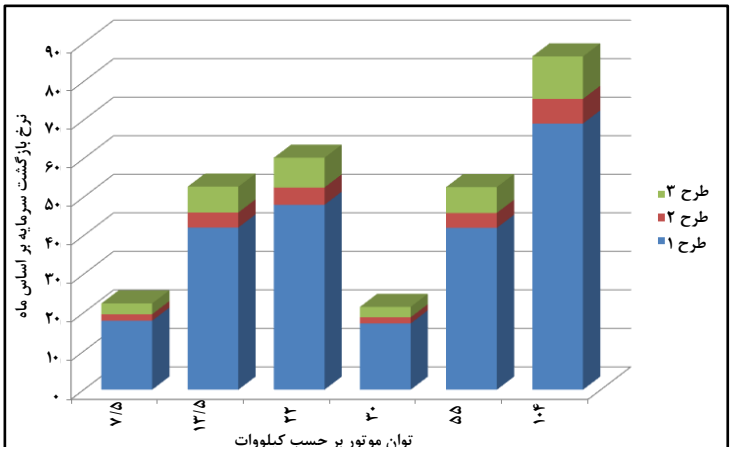
شکل ۲۳۸-۲ : بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای **IE3** در نیروگاه مشهد بدون در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم

جدول ۵۳-۲ : بازگشت سرمایه طرح جایگزینی الکتروموتورهای پربازده در نیروگاه مشهد با در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم

توان موتور (kW)	استفاده از الکتروموتور IE2			استفاده از الکتروموتور IE3		
	زمان بازگشت سرمایه (ماه)			زمان بازگشت سرمایه (ماه)		
	ط رح ۱	ط رح ۲	ط رح ۳	ط رح ۱	ط رح ۲	ط رح ۳
۷/۵	۱۸	۲	۳	۱۸	۲	۳
۱۳/۵	۴۴	۴	۷	۴۲	۴	۷
۲۲	۵۱	۷۴/	۸	۴۸	۵	۸
۳۰	۱۸	۷۱/	۳	۱۷	۲	۳
۵۵	۴۵	۱۴/	۷	۴۲	۴	۷
۱۰۴	۷۳	۷	۱۲	۷۰	۶	۱۱



شکل ۲۳۹-۲: بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای **IE2** در نیروگاه مشهد با در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم



شکل ۲۴۰-۲: بازگشت سرمایه بکارگیری موتورهای **IE3** در نیروگاه مشهد با در نظر گرفتن نرخ بهره و تورم

کوتاه‌ترین زمان بازگشت سرمایه مربوط به جایگزینی الکتروموتورهای ۷/۵ و ۳۰ کیلوواتی با الکتروموتورهای پربازده IE2 و IE3 با فرض ارزش واقعی برق (طرح ۲)، کمتر از دو ماه است. مشاهده می‌گردد که بازگشت سرمایه این طرح‌های جایگزینی از دید قیمت یارانه‌ای برق، بسیار طولانی‌تر است ولی با توجه به ارزش واقعی برق نهایتاً تا ۷ ماه برای جایگزینی موتور ۱۰۴ کیلوواتی با ۴۵۰۰ ساعت کار در سال با الکتروموتور IE2 و همچنین با استناد به ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید، نهایتا تا ۱۲ ماه برای جایگزینی موتور ۱۰۴ کیلوواتی با ۴۵۰۰ ساعت کار در سال با الکتروموتور IE3 این طرح‌های جایگزینی، بازگشت سرمایه خواهند داشت.

مشاهده می‌گردد که بکارگیری الکتروموتورهای پربازده در نیروگاه، یک طرح بسیار کم‌هزینه و برای کاربردهای با ساعت کارکرد بالا در سال زودبازده است. با توجه به وجود تعداد زیادی الکتروموتور زیر ۵۰۰ کیلووات، پتانسیل بالایی در یک نیروگاه حرارتی برای کاهش مصرف انرژی از این طریق وجود دارد.

همچنین به گفته مدیر واحد فنی نیروگاه مشهد، هزینه‌های اجتماعی ناشی از گازهای آلاینده ۱۰۰۰ ریال در هر کیلووات‌ساعت مصرف برق است که با درنظر گرفتن این مورد، به میزان کاهش هزینه‌های اجتماعی ناشی از گازهای آلاینده، ۳۴/۲ میلیون ریال با جایگزینی موتورهای پربازده IE2 و ۵۹/۹ میلیون ریال با جایگزینی موتورهای پربازده IE3 برای موتورهای مورد بررسی در نیروگاه مشهد افزوده می‌شود. همچنین باتوجه به اینکه ۰/۴۶۵ تن CO_2 به ازای هر

مگاوات ساعت تولید انرژی تولید می‌شود، در این نیروگاه با جایگزینی الکتروموتورهای پربازده IE2 مقدار ۱۵/۴ تن و با جایگزینی الکتروموتورهای پربازده IE3 مقدار ۲۷/۹ تن گاز CO_2 کمتری تولید می‌گردد.

۱۲-۲-۲-۲- پتنت‌های ثبت‌شده در راستای افزایش بازدهی الکتروموتورها

در راستای افزایش بازدهی الکتروموتورها، پتنت‌های مختلفی در جهان و ایران به ثبت رسیده است. برای افزایش بازدهی الکتروموتورها، تغییراتی در شکل و آلیاژ روتور یا استاتور و یا هردوی آن‌ها اعمال می‌شود. همچنین به منظور افزایش بازدهی، نحوه‌ی سیم‌پیچی موجود در استاتور نیز ممکن است دستخوش تغییراتی گردد، که در ادامه و در معرفی پتنت ها، این تغییرات بصورت اجمالی بیان می‌شود.

- موتور دارای روتور از جنس مس ریخته‌گری‌شده با بازده بسیار عالی در اندازه‌ی متوسط و کوچک

موتور دارای روتور مس ریخته‌گری شده با بازدهی بسیار عالی در سایز کوچک و متوسط شامل مراحل زیر است:

- تولید روتور در قالب آلیاژهای هاینز ۲۳۰
- مس ذوب‌شده، ریخته‌گری و برای جایگزینی با روتور با جنس آلومینیوم ریخته‌گری‌شده سنتی آماده می‌شود

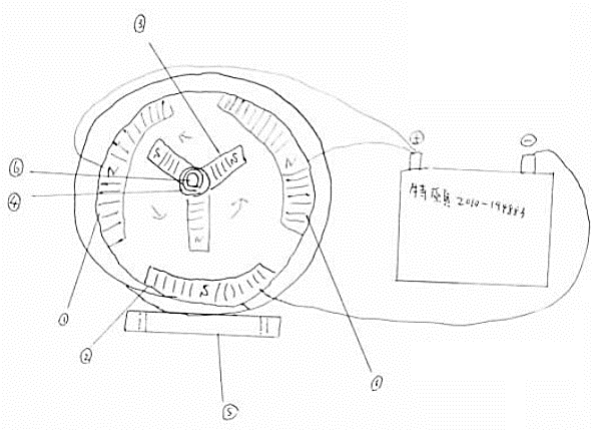
نتایج تست نشان می‌دهد: این نوآوری، مجموع تلفات را تا ۱۵٪ درصد کاهش می‌دهد، و بازدهی را بین ۰/۸ تا ۳ درصد طبق شاخص EPACT آمریکا و استاندارد IE3-NEMA افزایش می‌دهد [۳۲].

- جرثقیل بالابر دارای موتور آهنربای دائم با بازدهی بالا

این نوآوری مربوط به یک جرثقیل بالابر مجهز به آهنربای دائم است. جرثقیل بالابر که دارای موتور آهنربای دائم با بازدهی بالا است شامل: یک قلاب که وزنه‌ها را بلند می‌کند، یک سیم درام که اجازه می‌دهد سیم به قلاب متصل شود و به دور مرکز شفت بسته یا باز شود، یک موتور بالابر تعبیه شده که توان لازم برای چرخیدن سیم درام روبه جلو یا برعکس را فراهم می‌کند، و یک ترمز تعبیه شده در سیم درام به منظور مقاومت در برابر چرخیدن سیم درام هنگامی که سیگنال توقف اعمال می‌شود، است. بنابراین، این نوآوری سایز کلی سیستم را با به‌کارگیری یک موتور بالابر و یک موتور تعبیه شده در کنار بالابر کاهش داده و بازدهی موتور را نیز افزایش می‌دهد [۳۳].

- افزایش بازدهی موتور آهنربای دائم

این نوآوری به‌منظور افزایش بازدهی موتور آهنربای دائم سه‌فاز که با سرعت بالا بدون استفاده از اینورتر یا استفاده از مواد مغناطیسی ویژه انجام گرفته است. در نتیجه طبق قانون دست چپ، روتور برخلاف گردش عقربه‌های ساعت با بازدهی و سرعت بالا حرکت می‌کند. در نتیجه جریان الکتریکی از طریق N قطب در موتور جاری می‌شود. در این موتور، از نوعی آهن ویژه که از پلاتینیوم برای پوشش نازک آن استفاده می‌شود. شکل ۲۴۱-۲ ساختار موتور پیشنهادی را نشان می‌دهد.

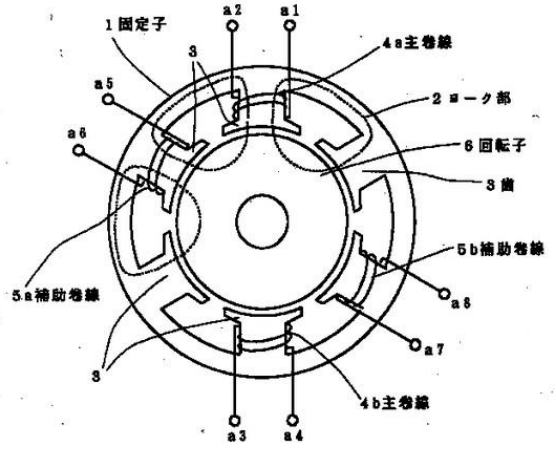


شکل ۲۴۱-۲: ساختار موتور پیشنهادی

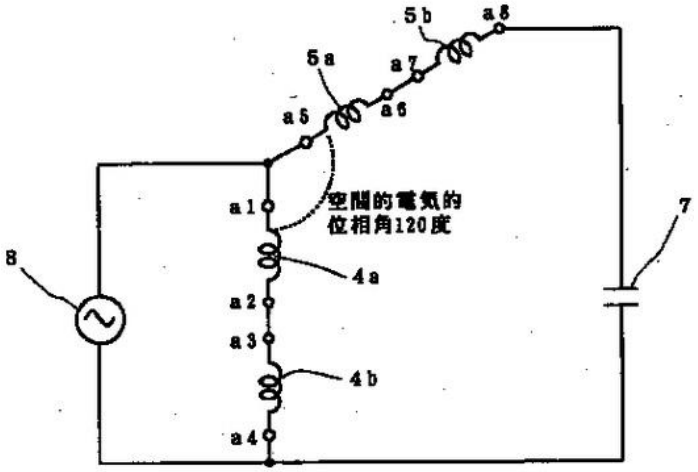
- افزایش بازدهی موتور القایی

این نوآوری به‌منظور افزایش بازدهی موتور القایی، کاهش پروسه‌های تولید، و همچنین افزایش ضریب short-node winding انجام شده است.

در موتور القایی که استاتور دارای 3n دندانه (شماره ۳) در محیط پیرامونی روتور با 2n قطب است، سیم‌پیچی‌های اصلی 4a، 4b و سیم‌پیچ‌های کمکی 5a، 5b هستند که به‌صورت متمرکز از طریق ایزولاسیون از دندانه‌ها سیم‌پیچی شده‌اند (در این‌جا n برابر ۲ است)، در هر سه اسلات با پلاریته یکسان با دندانه‌ها قرار گرفته‌اند. سیم‌پیچ‌های اصلی 4a، 4b به‌صورت سری به هم متصل شده‌اند و سیم‌پیچ‌های کمکی 5a، 5b نیز به‌صورت سری به‌هم متصل شده‌اند، به‌علاوه، یک خازن نیز به‌صورت سری متصل شده‌است، این مدار سریال و مدار سریال سیم‌پیچ‌های اصلی 4a، 4b به‌صورت موازی به هم متصل شده‌اند، منبع تغذیه AC مدار موازی را تغذیه می‌کند تا فاز الکتریکی فضایی ۱۲۰ درجه را به نسبت بین سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی بوجود آورد [۳۴].



شکل ۲۴۲-۲: ساختار سیم‌پیچی استاتور [۳۴]

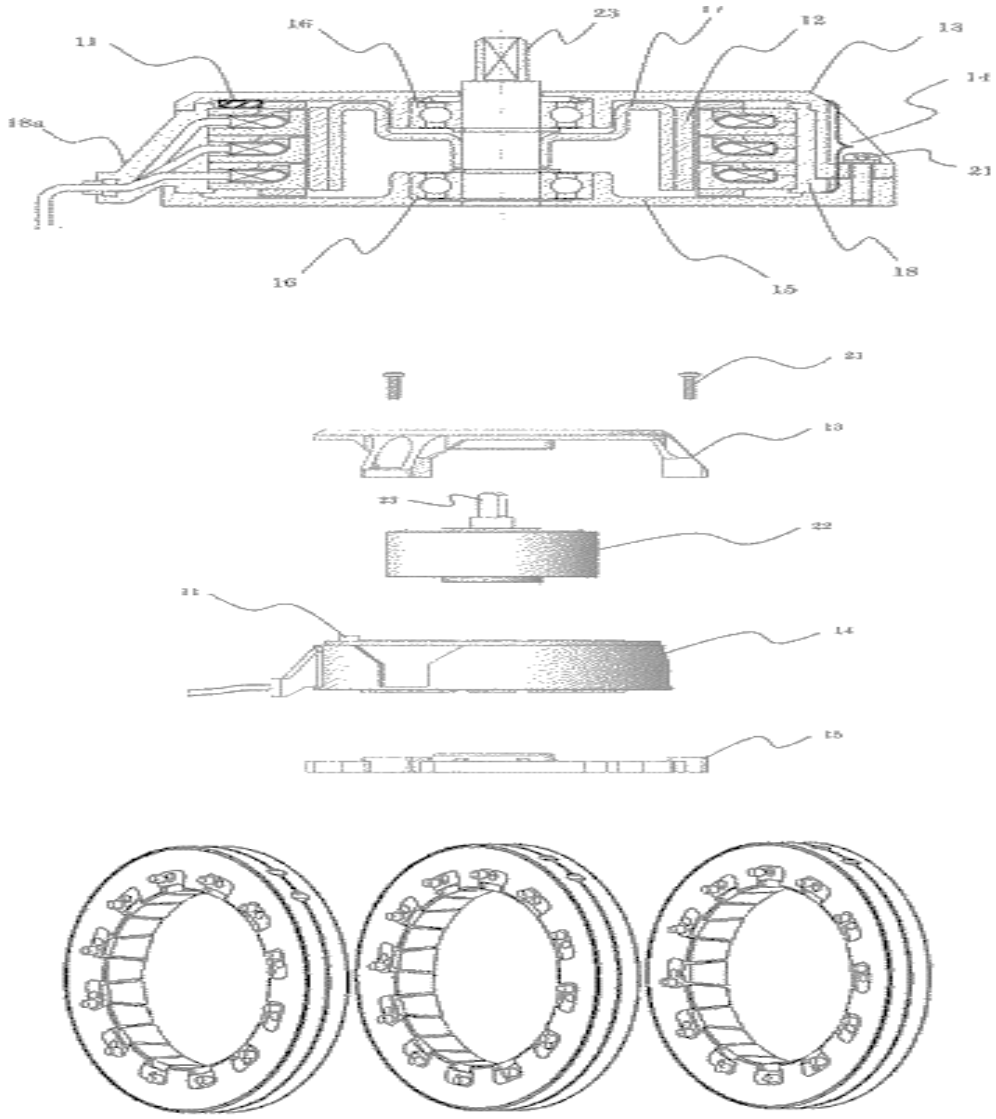


شکل ۲۴۳-۲: مدار معادل سیم‌پیچی استاتور [۳۴]

- افزایش بازدهی موتور القایی سه‌فاز

این نوآوری به‌منظور افزایش تولید و بازدهی موتور الکتریکی القایی و کاهش سایز و ضخامت آن انجام شده است.

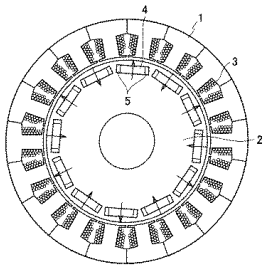
موتور الکتریکی شامل: (۱) یک استاتور (شماره ۱۴- شکل ۲۴۴-۲) که با فشرده‌سازی و قالب ریزی پودر مغناطیسی در قالب بدنه دارای شکل حلقوی و چندین دندانه که دارای حالت برآمده از محیط پیرامون است، و ورقه ورقه کردن استاتور تک‌فاز، برای سه‌فاز همراه قالب‌های بدنه تنظیم‌شده در خلاف جهت یکدیگر. (۲) قالب رزین (شماره ۱۸- شکل ۲۴۴-۲) که بخشی از پایه و لبه‌های استاتور را پوشش می‌دهد و دارای شکل برآمده از سطح است. (۳) پایه‌های نگه‌دارنده (شماره ۱۳ و ۱۵- شکل ۲۴۴-۲) که استاتور را پوشش می‌دهند و بین خود نگه می‌دارند. (۴) یک روتور (شماره ۲۳- شکل ۲۴۴-۲) که توسط یک میدان مغناطیسی چرخان، چرخانده می‌شود، و یک شفت (شماره ۲۲) که همراه روتور و بیرینگ‌های (شماره ۱۶- شکل ۲۴۴-۲) شفت چرخانده می‌شود. (۵) و یک قطعه زمین شونده (شماره ۱۱- شکل ۲۴۴-۲) که استاتور را هدایت می‌کند. این ساختار ساده باعث می‌شود ولتاژ شفت کاهش یابد، درنتیجه باعث افزایش تولید و بهره‌وری یک موتور الکتریکی کوچک می‌شود [۳۵].



شکل ۲۴۴-۲: نمای کلی موتور پیشنهادی [۳۵]

- ماشین الکتریکی چرخان نوع مغناطیس دائم

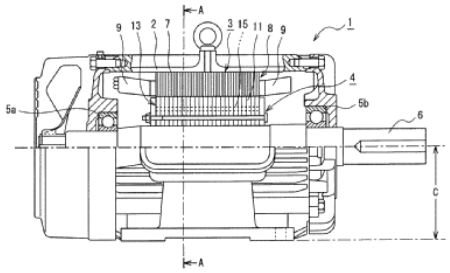
هدف این طرح، عملکرد با بازدهی بالا در یک منطقه عملکردی در محدوده‌ای وسیع از سرعت چرخش پایین تا ناحیه سرعت چرخش بالا در حالیکه ولتاژ القایی تولیدشده در سیم‌پیچ استاتور بطور موثر کنترل می‌شود، است. به همین منظور در شکل ۲۴۵-۲، سیم‌پیچ شماره ۵ از مواد مغناطیسی که دارای نفوذپذیری مغناطیسی بالایی است ساخته شده است و روی آهنربای دائم شماره ۴ آرایش یافته است، و جهت و دامنه جریان تغذیه شده به این سیم‌پیچ شماره ۵ به‌منظور تغییر میدان مغناطیسی در یک مدار مغناطیسی از شار نشتی مغناطیسی کنترل می‌شود، درنتیجه میزان شار مغناطیسی اصلی کنترل می‌شود [۳۶].



شکل ۲۴۵-۲: سیم‌پیچ استاتور [۳۶]

- موتور مغناطیس دائم پربازده

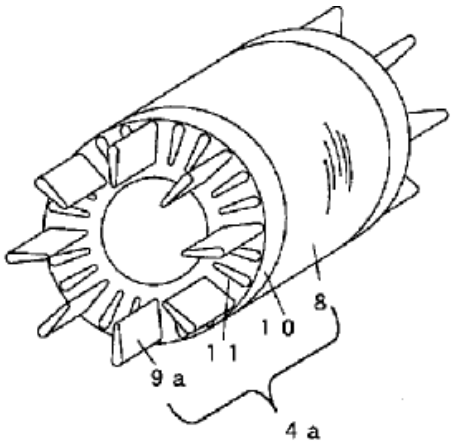
به‌منظور فراهم آوردن یک موتور مغناطیس دائم که با موتورهای القایی موجود سازگاری دارد، ارتفاع مرکز شفت چرخان برابر موتور القایی با توان خروجی یکسان قرار داده می‌شود. در شکل ۲۴۶-۲، موتور مغناطیس دائم (شماره ۱): شامل یک استاتور (شماره ۳)، دارای یک هسته استاتور (شماره ۸)، و یک روتور (شماره ۴)، که مخالف استاتور با یک فاصله هوایی از قبل تعیین‌شده قرار گرفته و دارای یک هسته روتور (شماره ۱۳) است که یک شفت چرخان (شماره ۶) روی آن قرار گرفته است و چندین آهنربای دائم (شماره ۱۵) روی روتور قرار داده شده‌اند. ارتفاع مرکز شفت چرخان (C) برای توان خروجی بهینه با موتور القایی با همان توان خروجی تنظیم شده است [۳۷].



شکل ۲۴۶-۲: نمای موتور مغناطیس دائم پیشنهادی [۳۷]

- روتور برای موتور القایی

به‌منظور دستیابی به موتور القایی پربازده که دارای ویژگی‌های گرما تابش و خنک کنندگی و دارای تلفات کمتری در مقاومت ثانویه است، تعدادی میله های هدایت کننده که از آلیاژ مس هستند فراهم شده و به‌گونه‌ای در روتور قرار می‌گیرند که میله‌ها از صفحه انتهایی حلقه‌های بیرون می‌آیند. در نتیجه یک موتور القایی پربازده با هزینه پایین، به‌دلیل ویژگی گرماتابش روتور و خنک‌سازی استاتور ایجاد می‌شود. میله‌های هدایت کننده می‌توانند هم از یک جهت و هم از دو جهت به‌صورت برجسته خارج شوند [۳۸].



4 a　回転子
9 a　導体バー

شکل ۲۴۷-۲: روتور موتور پیشنهادی [۳۸]

- الکتروموتور کم‌مصرف (موتور الکتریکی پربازده)

برای مصرف کمتر انرژی و کاهش تلفات در طرح الکتروموتور کم‌مصرف اقداماتی صورت گرفته است و سعی بر آن بوده که تمام مواردی که به نحوی موجب افزایش راندمان الکتروموتور و یا کاهش در مصرف انرژی آن می‌شوند به‌گونه‌ای در الکتروموتور صرفه‌ای لحاظ شوند. اگر تعابیر فوق را به دو دسته تقسیم کنیم؛ دسته اول تغییراتی را در طراحی سیستم داخلی الکتروموتور ایجاد شده است را شامل می‌شود و دسته دوم اضافه کردن سیستم‌های جدیدی به مراحل کار الکتروموتور خواهد بود.

در دسته اول اصلاحاتی در ترکیب و ساختار الکتروموتور صورت گرفته است که به‌طور تقریبی منجربه طرحی جدید از الکتروموتور شده است. اصلاحات به شرح زیر است:

- تغییرات اعمال شده بر روتور (استفاده از میله‌های بلندتر و رینگ‌های انتهایی- استفاده از ورق‌های فولادی مرغوب و نازک)
- تغییرات اعمال شده بر استاتور (اصلاح طرح شیار استاتور- استفاده از تیغه‌های فولادی مرغوب و نازک- تر- طویل کردن استاتور بیش از حد معمول)
- تغییرات اعمال شده بر سیم‌پیچ‌ها
- افزایش ضخامت سیم‌های مسی پیرامون هسته موتور
- تنگتر کردن فاصله هوایی بین روتور و استاتور که باعث افزایش شدت میدان مغناطیسی می‌شود، با این کار موتور با قدرت خروجی برابر انرژی کمتری مصرف می‌کند.

به‌طور کلی محتوای این دسته از اقدامات شرایط طراحی بهتر و تلرانس‌های محدود و مواد بهتر و کیفیت ساخت بهتر را شامل می‌شود.

دسته دوم اقداماتی که بهره‌برداری بیشتر از موتور الکتریکی را بیان می‌کند سیستم‌هایی که ضمیمه عملکرد الکتروموتور می‌شوند. این سیستم‌ها را می‌توان اینگونه مطرح کرد:

۱. سیستم خازن: استفاده از خازن به‌عنوان تولیدکننده بار اکتیو به‌منظور تنظیم و کنترل ولتاژ و جلوگیری از نوسانات قدرت در شبکه‌ها و تصحیح ضریب قدرت در مصرف‌کننده و بهبود عملکرد راه‌اندازی و عملکرد کاری می‌باشد.

۲. سیستم کنترل کننده دور موتور (مورد استفاده در الکتروموتورهای صنعتی یا مصارف وسیع در ازای بازگشت سرمایه): با استفاده از کنترل دور موتور به بار تطبیق داده شده و هرگونه نیاز به خاموش و روشن کردن موتور و یا ادوات تنظیم کننده نظیر شیر یا دمپر حذف می‌گردند. کنترل کننده دور موتور قادر است که مشخصه‌های بار را به مشخصه‌های موتور تطبیق دهد. کار دیگر این سیستم تبدیل توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس متغیر است.

۳. سیستم خنک کننده موتور: انواع تلفات موتور بدون توجه به نوع آن منجر به ایجاد حرارت می‌شود و وجود حرارت نیز متقابلاً تلفات را در موتور افزایش می‌دهد. بدین ترتیب خنک‌کاری موتور بویژه در شرایطی که این امر خود منجر به کاهش بازدهی سیستم و اتلاف انرژی خواهد شد حائز اهمیت است. این سیستم با استفاده از یک پروانه یا فن پربازده کار بهبود جریان هوا را انجام می‌دهد. این فن به شفت داخلی موتور کوپل شده است که همراه با گردش موتور میچرخد و به میزان تولید گرمایش موتور، هوا را تهویه می‌نماید.

تغییرات ایجادشده در الکتروموتور کم‌مصرف [۳۹]:

- استفاده از تیغ‌های فولادی نازکتر به‌منظور کاهش تلفات فوکو
- افزایش ضخامت سیم مسی در استاتور که باعث کاهش مقاومت سیم‌پیچ استاتور و صرفه‌جویی در انرژی می‌شود.
- جایگزینی استاتور طویل‌تر برای کاهش چگالی مغناطیسی و افزایش ظرفیت خنک‌سازی که درنتیجه آن تلفات مغناطیسی و بار کاهش می‌یابد.
- بکار بردن میله‌ای بلندتر و حلقه‌های انتهایی برای کاهش تلفات مقاومت روتور
- استفاده از طرح اصلاح‌شده شیار استاتور به‌منظور کاهش تلفات مغناطیسی و ایجاد فضایی برای سیم‌های ضخیم‌تر
- استفاده از مس بیشتر در سیم‌پیچ‌ها
- زیاد کردن ضخامت سیم‌های مسی پیرامون هسته موتور که باعث کاهش تلفات اهمی در سیم‌ها و دمای کارکرد موتور می‌شود.
- برای روتور و استاتور از ورق‌های فولادی مرغوب و نازکتری استفاده می‌شود که باعث کاهش تلفات الکتریکی می‌شوند.
- فاصله هوایی بین روتور و استاتور کمتر شده است تا با این‌کار باعث افزایش شدت میدان مغناطیسی شده و به تبع آن موتور با قدرت خروجی برابر انرژی کمتری مصرف می‌کند.
- مقدار مس در استاتور افزایش پیدا کرده است، همچنین ابعاد موتور نیز کمی تغییر کرده و سیم‌پیچ‌های بزرگتری جایگذاری شده است. باید توجه داشت که با افزایش مس استاتور، مقاومت الکتریکی استاتور کاهش یافته و با کاهش یافتن مقاومت الکتریکی استاتور تلفات استاتور هم کاهش می‌یابد.
- تعداد حلقه سیم (کلاف‌ها) در محفظه استاتور کاهش یافته است. مقاومت اهمی و تلفات استاتور کاهش یافته است.
- میله‌های روتور آرایشی کج پیدا کرده‌اند. این کار برای کاهش دادن یا حذف کردن هارمونی‌ها انجام می‌شود. چنانچه میله‌های روتور مورب نباشد، سطح نویز ممکن است از ۲ تا ۵ دسی‌بل افزایش یابد.
- میله‌های روتور نسبت به ورق‌ها عایق خوبی شده‌اند تا تلفات پراکندگی ناشی از جریان‌های پراکندگی روتور کاهش یابد

- سیستم ارتقای بازده الکتروموتورهای صنعتی و متناوب با استفاده از سیال خنک‌کننده در قسمت ایستا

با استفاده از سیستم بهبوددهنده بازده الکتروموتورهای صنعتی، از تلفات گرمایی هسته و سیم‌پیچ کاسته شده است. این امر موجب صرفه‌جویی در منابع با ارزش الکتریکی و نیز افزایش عمر مفید الکتروموتورها شده است.

در این اختراع؛ برای جلوگیری از داغ شدن بیش از حد موتور که در اثر اصطکاک می‌باشد از سیستمی استفاده شده تا گرمای ناشی از اصطحکاک موتور را تاحد قابل توجهی کاهش دهد. با ایجاد تغییر و اصلاح در ساختار و جنس بدنه پیرامونی استاتور و روتور و ایجاد امکان تهویه و حرکت سیال خنک‌کننده حول هسته تولید گرمای الکتروموتور متناوب، از تلفات گرمایی هسته و سیم‌پیچ کاسته شده است.

مزایای این اختراع بصورت زیر است [۴۰]:

- کاهش میزان انرژی مصرفی الکتروموتورهای صنعتی
- افزایش طول عمر مفید الکتروموتورهای صنعتی
- کاهش ۴۰ درصدی در تولید گرمای حاصل از عملکرد مداوم الکتروموتورهای صنعتی
- کاهش اتصال کوتاه در سیم‌پیچ‌های الکتروموتورهای صنعتی

۱۳-۲-۲-۲- شرکت‌های خارجی تولیدکننده الکتروموتور

- شرکت زیمنس (Siemens)

در الکتروموتورهای ساخت شرکت زیمنس برای طراحی بهینه، از ترکیب مواد با قابلیت بالا در روتور استفاده می‌شود. تمامی موتورها به صورت تمام‌خودکار (تا آن‌جا که امکان دارد) با به‌کارگیری روبات‌ها ساخته می‌شوند. نتیجه این امر، تلفات پایین موتورها و عملکرد استارتینگ و سوییچینگ قابل توجه است. به علاوه به این مورد توجه می‌شود که تولیدات، منطبق با محیط مورد استفاده هستند و از منابع قابل‌اطمینان برای این منظور استفاده می‌شود. برای مثال مواد غیرحلال (غیر حل‌شونده) در عایق‌بندی و نقاشی به کار می‌رود [۴۱].

موسسه اتوماسیون و انرژی زیمنس، اخیراً سه خط جدید از طراحی موتورهای AC را که طبق استانداردهای NEMA و یا حتی بالاتر از آن‌ها است را راه‌اندازی کرده است. این موتورها در قاب فریم‌های آلومینیومی و آهنی ارائه شده‌اند. این موتورها در دو نوع بازدهی بالا (IE2) و بازدهی عالی (IE3) طراحی‌شده‌اند تا به استفاده‌کنندگان موتورهای AC کمک کنند تا انرژی کمتری مصرف کنند و فاصله زمانی بین سرویس‌ها را افزایش دهند. مس استفاده‌شده با آلیاژ بهبودیافته[1] که در روتور این موتورها استفاده شده و همچنین طراحی ویژه استاتور، به بهره این نوع موتورها افزوده است [۴۲].

سه خط تولید محصول جدید شامل موتورهای با اهداف عمومی در قاب آلومینیومی[2]، موتورهای با اهداف عمومی در قاب آهنی ریخته‌گری شده[3] و موتورهای کاربرد سنگین در قاب آهن ریخته‌گری، برای استفاده در محدوده وسیع و متنوع کاربردهای صنعتی هستند [۴۲].

موتورهای با قاب آلومینیومی زیمنس، انعطاف بسیار زیادی برای استقرار و نصب برای کاربردهای با اهداف عمومی مانند کانوایرها، پمپ‌ها و فشرده‌سازها دارند. موتورهای با قاب آهنی، برای کاربرد اهداف عمومی و کاربردهای سنگین در دسترس هستند. نسخه موتورهای با کاربرد مخصوص، دارای استانداردهایی فراتر از IEEE standard 841 است و برای استفاده در محیط‌های پردازشی صنایع نفت، شیمیایی و کاغذ در دسترس هستند [۴۲].

1- die-cast copper
2- die-cast aluminium
3- die-cast iron

طبق گفته Anne Cooney، معاون رئیس بخش تبدیل انرژی زیمنس، "زیمنس متعهد شده است تا برای مشتریان بهترین فناوری در دسترس را مهیا کند تا با عملکرد هرچه بهتر موتورها، به پایین آمدن قیمت استفاده از موتورها کمک کند." همچنین او می‌گوید: " ما چندین میلیون دلار سرمایه‌گذاری برای چند سال آینده کرده‌ایم تا تجارت موتورهای این شرکت با استاندارد NEMA را افزایش دهیم. امکانات، عملکرد، بهره و مدت زمان سرویس که محصولات ما فراهم می‌کنند، تنها تبدیل به سود برای توزیع‌کنندگان، فروشندگان محصولات ما و استفاده‌کنندگان خواهد شد [۴۲]."

طبق تحقیقات دپارتمان انرژی ایالات‌متحده، تجهیزات موتوری ۶۴ درصد انرژی الکتریکی را در ایالات‌متحده در بخش‌های صنعتی و در بخش‌های دولتی که مصرف انرژی زیادی در بخش‌های صنعتی دارند، مصرف می‌کنند. سیستم های موتوری به طور تقریبی ۲۹۰ میلیارد کیلووات‌ساعت در سال انرژی مصرف می‌کنند [۴۲].

طبق گفته John Caroff، مدیر بازاریابی موتورهای فشارضعیف زیمنس، "شرکت زیمنس بیش از ۱۴ دهه تجربه در طراحی موتورهای الکتریکی دارد و موتورهای جدید نوآوری شده ما بر طبق استاندارد NEMA، باعث ذخیره بخش قابل‌توجهی از انرژی و هزینه برای صنایع می‌شود. ذخیره سازی انرژی طبق استاندارد NEMA به راحتی می‌تواند با استفاده از تجهیزات با بهره بالا و همچنین تمرینات مدیریتی انرژی حاصل شود [۴۲]."

تمام سه خط تولید موتورهای زیمنس در طراحی‌های با بازدهی بالا و بازدهی بسیارعالی می‌باشند که محدوده‌های تا ۱۰٪ بالاتر از استانداردهای NEMA Premium را به منظور کاهش هزینه استفاده انرژی تجهیزات برای مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهند. برای مثال افزایش ۵ درصدی بهره برای یک موتور ۲۰ اسب بخار در طول ۲۰ سال باعث ذخیره ۱۲۵۰۰ دلار در انرژی می‌شود. با در نظر گرفتن ده‌ها و صدها موتور در یک واحد صنعتی، ذخیره انرژی که از بهره بالای موتورها حاصل می‌شود، می‌تواند تأثیر ویژه‌ای در سودآوری کارخانه‌ها داشته باشد [۴۲].

مزایای موتورهای جدید که باعث افزایش بهره آن‌ها شده است عبارت‌اند از [۴۲]:

- ✓ فناوری ریخته‌گری تحت فشار مس برای روتور که باعث بهترین شدن در کلاس کاری و کاهش مجموع هزینه‌های مالک می‌شود.
- ✓ ترکیبی از خنک‌کننده‌ها ویژه طراحی‌شده، فن‌های پلی‌پروپیلن، و شماتیک خنک‌کننده داخلی، گرمای تولیدشده داخلی موتور را حداقل می‌کند و باعث افزایش بیشتر عمر موتور می‌شود.
- ✓ مونتاژ بسیار بهینه‌شده قسمت‌های چرخان که با بلبرینگ‌های ضد اصطکاک ترکیب‌شده‌اند، همچنین از گریس‌هایی بر اساس پلی یوریا استفاده شده است. علاوه بر این روتور بالانس دینامیکی شده است و سطوح اتصال ماشین‌کاری شده برای کاهش لرزش استفاده می‌شود.
- ✓ طراحی ویژه پیچ پایه برای موتورهای با قاب آلومینیوم که اجازه عوض شدن سریع موقعیت قرارگیری استاندارد NEMA، را در حالت‌های F-1، F-2، F-3 (استانداردهای تعریف شده در NEMA) می‌دهد و درجه زیادی از انعطاف برای قرارگیری را در اختیار قرار می‌دهد.

خط‌های تولید موتورهای جدید تا ۲۰ اسب بخار در دسترس هستند و گسترش خط تولید موتورهای با قاب آلومینیوم ریخته‌گری شده با فشار زیاد تا ۳۰ اسب بخار، جزو برنامه‌های آینده است. موتورهای با قاب آهنی در طی چند ماه آینده تا ۴۰۰ اسب بخار افزایش خواهد یافت [۴۲].

- مشخصات، کاربردها و گواهی‌نامه‌های موتورهای IE2 زیمنس

مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی و قاب آلومینیومی شرکت زیمنس در جدول ۵۴-۲ آمده است [۴۳].

جدول ۵۴-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آلومینیومی **IE2** شرکت زیمنس [۴۳]

موتورهای SIMOTIC GP 1LE10/1PC10			
توان خروجی	اندازه قاب	نوع موتور	
۰/۳۷ تا ۴۵ کیلووات	۸۰ تا ۲۰۰	1LE1 001	
۰/۳۷ تا ۹ کیلووات	۱۰۰ تا ۱۸۰	1PC1 001	IE2 (بازدهی بالا)
۰/۷۵ تا ۲۲ کیلوورات	۸۰ تا ۱۸۰	1LE1 041	

موتورهای ذکرشده در جدول ۵۴-۲ و موتورهای با کاربرد خاص دارای استاندارد درجه حفاظت IP55 و محفظه آلومینیومی هستند. کاربردها این موتورها در پمپ‌ها، فن‌ها، فشرده‌سازها است.

جدول ۵۵-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آهنی ریخته‌گری **IE2** شرکت زیمنس [۴۳]

موتورهای SIMOTIC GP 1LE10/1PC10			
توان خروجی	اندازه قاب	نوع موتور	
۰/۱۸ تا ۲۰۰ کیلووات	۷۱ تا ۳۱۵	1LE1 501	
۰/۷۵ تا ۲۰۰ کیلووات	۱۰۰ تا ۳۱۵	1LE1 601	IE2 (بازدهی بالا)
۲۲ تا ۲۰۰ کیلووات	۱۸۰ تا ۳۱۵	1LE1 541	

موتورهای ذکرشده در جدول ۵۵-۲ و موتورهای با کاربرد خاص دارای استاندارد درجه حفاظت IP55 و محفظه آلومینیومی هستند.

استاندارد و گواهی‌های مربوط به موتور نوع 1LE1001/1LE1041 عبارتند از [۴۳]:

۱) برچسب انرژی کشور چین
۲) استاندارد VIK[1]
۳) برچسب CE[2] برای موتور برای صادرات به خارج از EEA[3]
۴) برچسب ایمنی TR CU[4] گواهی EAC اتحادیه محصولات اوراسیا

استاندارد و گواهی‌های مربوط به موتور نوع 1PC1001 عبارت‌اند از [۴۳]:

1- German Association of the Energy and Power Supply Industry
2- European Conformity
3- European Economic Area
4- Technical Regulation of the Eurasian Custom Union

۵) برچسب CE برای موتور برای صادرات به خارج از EEA
۶) برچسب ایمنی TR CU گواهی EAC اتحادیه محصولات اوراسیا
۷) برچسب سازگار با قطار
۸) گواهی قبولی تست ۳/۱ بر اساس بر اساس EN[1] 10204
۹) تست گرمایشی و گواهی قبولی برای موتورهای عمودی

موتورهای نوع 1LE1501 و 1LE1601 و 1LE1541 دارای برچسب انرژی کشور چین هستند [۴۳].

- مشخصات، کاربردها و گواهی‌نامه‌های موتورهای با استاندارد IE3 زیمنس

مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی و قاب آلومینیومی دارای استاندارد IE3 شرکت زیمنس در جدول ۵۶-۲ داده شده است.

جدول ۵۶-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آلومینیومی **IE3** شرکت زیمنس [۴۳]

موتورهای SIMOTIC GP 1LE10/1PC10			
توان خروجی	اندازه قاب	نوع موتور	
۰/۳۷ تا ۴۵ کیلووات	۸۰ تا ۲۰۰	1LE1 003	IE3 (بازدهی عالی)
۰/۷۵ تا ۳۷ کیلووات	۸۰ تا ۲۰۰	1LE1 043	

مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی و قاب آهنی (Cast iron)، دارای استاندارد IE3 شرکت زیمنس در جدول ۵۷-۲ داده شده است.

جدول ۵۷-۲ : مشخصات موتورهای با کاربرد عمومی در قاب آهنی ریخته‌گری **IE3** شرکت زیمنس [۴۳]

موتورهای SIMOTIC GP 1LE10/1PC10			
توان خروجی	اندازه قاب	نوع موتور	
۰/۱۸ تا ۲۰۰ کیلووات	۷۱ تا ۳۱۵	1LE1 503	IE3 (بازدهی عالی)
۱/۵ تا ۲۰۰ کیلووات	۱۰۰ تا ۳۱۵	1LE1 603	
۳۷ تا ۱۸۵ کیلووات	۲۰۰ تا ۳۱۵	1LE1 543	
۳۷ تا ۱۸۵ کیلووات	۲۰۰ تا ۳۱۵	1LE1 643	

موتور نوع 1LE1003 دارای استانداردها و گواهی‌های زیر است [۴۳]:

1- European standard Norm

۱) استاندارد VIK
۲) برچسب انرژی کشور چین

موتور نوع 1LE1043 دارای استانداردها و گواهی‌های زیر است [۴۳]:

۳) طراحی الکتریکی بر اساس NEMA MG1-12
۴) دارای برچسب شناسایی UL
۵) برچسب بهره انرژی KEMCO[1] کشور کره
۶) برچسب بهره انرژی کشور چین
۷) تأییدشده قانون کانادا CSA[2]
۸) برچسب ایمنی TR CU گواهی EAC اتحادیه محصولات اوراسیا

موتور نوع 1LE1503 و 1LE1603 دارای برچسب انرژی کشور چین است. استاندارد و گواهی‌های مربوط به موتور نوع 1LE1543 و 1LE1643 عبارتند از [۴۳]:

۹) طراحی الکتریکی بر اساس NEMA MG1-12
۱۰) دارای برچسب شناسایی UL
۱۱) برچسب بهره انرژی KEMCO کشور کره
۱۲) تأییدشده قانون کانادا CSA

- شرکت ABB
  - موتورهای نوع پردازش اجرایی ۰/۰۹ تا ۱۰۰۰ کیلووات با قاب آهنی IE2 و IE3

این موتورها محکم و باکیفیت بالا برای دوام آوردن در بیشتر محیط‌ها و کاربردها تولید شده‌اند. این موتورها برای پروسه‌های صنعتی در کارخانه‌ها و کاربردهای سنگین مانند: بخش‌هایی مانند معدن، سیمان و کاغذ، جایی که موتورها باید نیازهایی مانند قابلیت اطمینان، توانایی و بازده در شرایط سخت را برآورده کنند، به کار گرفته می‌شوند [۴۴].

استاندارد و گواهی‌های موتورهای با قاب آهنی ریخته‌گری عبارتند از [۴۵]:

۱) تأییدیه گواهی ایمنی CSA (اندازه قاب ۴۵۰–۱۶۰)
۲) تأییدیه بهره انرژی IE2 مربوط به CSA (اندازه قاب ۲۵۰–۱۶۰)
۳) تأییدیه بهره انرژی EISA[3] زیرگروه ۲ (اندازه قاب ۳۱۵–۸۰)
۴) تأییدیه قانون بهره انرژی کره MEPS[4] (اندازه قاب ۳۵۵–۱۶۰)
۵) برچسب انرژی کشور چین (اندازه قاب ۳۵۵–۷۱)
۶) تأییدیه قانون بهره انرژی استرالیا MEPS (اندازه قاب ۳۵۵–۸۰)
۷) گواهی تأییدیه بر طبق TR CU (اندازه قاب ۴۵۰–۷۱)

  - موتورهای ۰/۰۹ تا ۹۰ کیلووات با قاب آلومینیوم IE2 و IE3

1– Korea Energy Management Corporation
2- Canadian Standard Association
3- Energy Independence and Security Act of 2009
4- Minimum Energy Performance Standards

استاندارد و گواهی‌های این موتورها عبارتند از [۴۵]:

۱) تأییدیه گواهی ایمنی CSA (اندازه قاب ۴۵۰–۱۶۰)
۲) تأییدیه بهره انرژی IE2 مربوط به CSA (اندازه قاب ۲۵۰–۱۶۰)
۳) تأییدیه بهره انرژی EISA زیرگروه ۲ (اندازه قاب ۳۵۵–۱۶۰ و ۳۱۵–۸۰)
۴) برچسب انرژی کشور چین (اندازه قاب ۳۵۵–۷۱)
۵) تأییدیه قانون بهره انرژی استرالیا MEPS (اندازه قاب ۳۵۵–۸۰)
۶) گواهی تأییدیه بر طبق TR CU (اندازه قاب ۴۵۰–۷۱)

- موتورهای مجهز به سیستم خنک‌سازی با آب

این موتورها دارای بازدهی بالا در محدوده توانی ۹۰ تا ۱۲۰۰ کیلووات هستند. این موتورها برای کاربردهایی که نیاز به گشتاور ثابت است مناسب هستند. این کاربردها شامل: موتورهای رانش‌گر (thruster)، موتورهای نیرومحرکه (propulsion motors)، ژنراتورهای توربین بادی، پمپ‌های آب و فاضلاب، ماشین‌های حفر تونل، اکسترودرها (extruders)، ماشین‌های چاپ مجلات و کاغذ هستند [۴۴].

- شرکت WEG

- موتورهای مقاوم در برابر ریزش قطرات برای کاربردهای عمومی

این نوع موتورها توسط حلقه محافظت از بیرینگ تغذیه می‌شوند تا از جاری شدن جریان در طول شفت موتور در راستای بیرینگ جلوگیری شود و جریان را به فریم برمی‌گرداند، در نتیجه از خراب شدن و خطای آن‌ها در نتیجه جاری شدن جریان الکتریکی جلوگیری می‌شود. محدوده توانی این موتورها ۱۵ تا ۱۰۰ اسب بخار در سرعت‌های ۱۲۰۰، ۱۸۰۰، ۳۰۰۰ دوربردقیقه است [۴۶].

موتور IE2، ۴۰ اسب بخار، ۳۸۰ ولت، ۲ قطب، ۵۰ هرتز، دارای سرعت ۲۹۳۰ دوربردقیقه، قیمت این محصول ۳۶۱۸ دلار است. مشخصات این موتور در جدول ۵۸–۲ آورده شده است.

جدول ۵۸–۲ : مشخصات موتور ۴۰ اسب بخار **ODP (IE2)** شرکت **WEG** [۴۶]

گشتاور شکست (٪)	گشتاور روتور قفل شده (٪)	جریان بار کامل (A)		اندازه قاب (TS)			توان خروجی (اسب بخار)		
۲۵۰	۱۹۰	۵۶/۳		۲۸۶			۴۰		
وزن (کیلوگرم)	زمان روتور قفل شده (ثانیه)	اینرسی (sq.ft.lb)	سرویس فاکتور	ضریب قدرت(٪)			بهره (٪)		
				۱۰۰	۷۵	۵۰	۱۰۰	۷۵	۵۰
۱۶۷/۸	۱۱	۲/۳۵۶۹	۱/۱۵	۸۰/۸	۸۰/۶	۸۰/۲	۹۲	۹۱	۹۰/۲

نمونه همین محصول در ولتاژ ۴۰۰ و ۴۱۵ ولت و قدرت ۴۰ اسب بخار هم دارای استاندارد IE2 هستند.

موتور IE3، ۲۵ اسب بخار، ۳۸۰ ولت، ۲ قطب، ۵۰ هرتز، دارای سرعت ۲۹۶۰ دوربردقیقه، قیمت این محصول ۲۷۹۷ دلار است. مشخصات این موتور در جدول ۵۹–۲ آورده شده است.

جدول ۵۹–۲ : مشخصات موتور ۲۵ اسب بخار **ODP (IE3)** شرکت **WEG** [۴۶]

گشتاور	گشتاور روتور قفل	جریان بار کامل (A)	اندازه قاب (TS)	توان خروجی (اسب

شکست (٪)	شده (٪)			بخار)					
۳۳۰	۲۳۰	۳۶/۴		۲۸۴			۲۵		
وزن (کیلوگرم)	زمان روتور قفل شده (ثانیه)	اینرسی (sq.ft.lb)	سرویس فاکتور	ضریب قدرت(٪)			بهره (٪)		
				۱۰۰	۷۵	۵۰	۱۰۰	۷۵	۵۰
۱۴۹/۸۵	۱۳	۱/۸۸۵۶	۱/۱۵	۸۰/۸	۸۰/۵	۷۰/۷	۴۹۲/	۹۰/	۸۸۹/

نمونه محصول جدول ۵۹–۲ در ولتاژ ۴۰۰ و ۴۱۵ ولت و قدرت ۳۰ اسب بخار هم دارای استاندارد IE3 هستند.

- موتورهای پمپ W01 (Rolled Steel) Closed-Coupled

این نوع موتورها توسط حلقه محافظت از بیرینگ تغذیه می‌شوند تا از جاری شدن جریان در طول شفت موتور در راستای بیرینگ جلوگیری شود و جریان را به فریم برمی‌گرداند، در نتیجه از خراب شدن و خطای آن‌ها در نتیجه جاری شدن جریان الکتریکی جلوگیری می‌شود. کاربرد این موتورها در پمپ‌ها و محدوده توانی آن‌ها از ۱ تا ۱۵ اسب بخار است [۴۶].

موتور IE3، ۴ اسب بخار، ۳۸۰ ولت، ۴ قطب، ۵۰ هرتز، دارای سرعت ۱۴۵۵ دوربردقیقه، قیمت این محصول ۱۰۱۹ دلار است. مشخصات این موتور در جدول ۶۰–۲ آورده شده است.

جدول ۶۰–۲ : مشخصات موتور **ODP (IE3)** با توان ۴ اسب بخار شرکت **WEG** [۴۶]

گشتاور شکست (٪)	گشتاور روتور قفل شده (٪)	جریان بار کامل (A)		اندازه قاب (TS)			توان خروجی (اسب بخار)		
۲۸۰	۱۸۰	۶/۲۶		۱۸۲/۴			۴		
وزن (کیلوگرم)	زمان روتور قفل شده (ثانیه)	اینرسی (sq.ft.lb)	سرویس فاکتور	ضریب قدرت(٪)			بهره (٪)		
				۱۰۰	۷۵	۵۰	۱۰۰	۷۵	۵۰
۳۶	–	۰/۴۰۰۳۳	۱/۱۵	۸۰/۳	۷۰/۷	۶۰/۳	۷۸۷/	۱۸۸/	۱۸۸/

نمونه همین محصول در ولتاژ ۴۱۵ و ۴۰۰ ولت و قدرت ۴ اسب بخار هم دارای استاندارد IE3 هستند.

- موتورهای با کاربرد عمومی کلاً بسته W22

این موتور یک نوع موتور با طراحی فریم آهنی ریخته‌گری، به منظور مصرف پایین انرژی، تهویه حداکثری، اتلاف گرما و لرزش و نویز بسیار کم است [۴۶]

این نوع موتورها توسط حلقه محافظت از بیرینگ تغذیه می‌شوند تا از جاری شدن جریان در طول شفت موتور در راستای بیرینگ جلوگیری شود و جریان را به فریم برمی‌گرداند، در نتیجه از خراب شدن و خطای آن‌ها در نتیجه جاری شدن جریان الکتریکی جلوگیری می‌شود. محدوده توانی این موتورها ۱۵ تا ۴۰ اسب بخار است [۴۶].

موتور IE2، ۴۰ اسب بخار، ۳۸۰ ولت، ۴ قطب، ۵۰ هرتز، دارای سرعت ۱۴۶۵ دوربردقیقه، قیمت این محصول ۴۵۷۸ دلار است. مشخصات این موتور در جدول ۶۱-۲ آورده شده است.

جدول ۶۱-۲ : مشخصات موتور **TEFC (IE2)** با توان ۴۰ اسب بخار شرکت **WEG** [۴۶]

گشتاور شکست (٪)	گشتاور روتور قفل شده (٪)	جریان بار کامل (A)		اندازه قاب (TS)			توان خروجی (اسب بخار)		
۱۸۰	۱۷۰	۵۶/۷		۳۲۴/۶			۴۰		
وزن (کیلوگرم)	زمان روتور قفل شده (ثانیه)	اینرسی (sq.ft.lb)	سرویس فاکتور	ضریب قدرت(٪)			بهره (٪)		
				۱۰۰	۷۵	۵۰	۱۰۰	۷۵	۵۰
۴۱۵	۱۴	۹/۱۶۲۴	۱	۸۰/۷	۸۰/۴	۷۰/۸	۹۲/۴	۹۳/۳	۹۳/۶

نمونه همین محصول در ولتاژ ۴۱۵ و ۴۰۰ ولت و قدرت ۴۰ اسب بخار هم دارای استاندارد IE2 هستند. استاندارد IE3 این محصول داری قدرت ۳۰ اسب بخار در ولتاژهای ۳۸۰،۴۰۰،۴۱۵ ولت است.

- موتورهای ولتاژ متوسط IE2 و IE3 برای کاربردهای عمومی و شرایط سخت

این موتورها از نوع قفس سنجابی با قاب آلومینیومی و دیواره به صورت کاملاً بسته و خنک شونده با فن[1] هستند. محدوده توان این موتورها ۱۲۰ تا ۶۰۰ اسب بخار و محدوده ولتاژ آن‌ها از ۱/۲ تا ۶/۶ کیلوولت و دارای سرویس فاکتور ۱/۱۵ هستند [۴۶].

کاربردهای این موتورها عبارتند از:

۱) پمپ‌ها و فن‌ها
۲) موتورهای کوبید[2]
۳) موتورهای نوار نقاله
۴) موتورهای خردکننده[3]
۵) ماشین‌های سانتریفیوژ
۶) موتورهای پرس کننده و آسانسورها
۷) تجهیزات بسته بندی[4]
۸) موتورهای دریل[5]

- موتور برج‌های خنک‌کننده با دیواره‌ی کاملاً بسته و خنک‌شونده با فن دو سرعته IE2

1- Totally Enclosed Fan Cooled
2- Crushers
3- mills
4- Packing equipment
5- Grinder

این نوع موتورها، بر طبق استانداردهای NEMA Premium و CEE برای بهره انرژی هستند. این موتورها بر طبق مشخصات NEMA و برای عملکرد در محیطهایی با رطوبت ۱۰۰٪ و محیطهای خورنده[1] طراحی‌شده‌اند. همچنین این موتورها برای عملکرد در حالت افقی یا برای حالت عمودی[2] طراحی‌شده‌اند. مانند تمامی موتورهای شرکت WEG، موتورهای برج خنک‌کننده نیز بر طبق IEEE 112، روش B تست شده‌است و بهره آن‌ها براساس UL Labs (CSA C390) تأییدشده است. توان این موتورها ۱۰ یا ۴۰ اسب بخار و ولتاژ آن‌ها ۲۳۰/۴۶۰–۲۰۸–۲۰۰–۴۶۰ یا ۵۷۵ ولت است [۴۶].

کاربردهای این موتورها عبارتند از:

۱) برج خنک‌کننده
۲) کندانسورهای تبخیرکننده
۳) صنایع شیمیایی
۴) کارخانه‌های کاغذ و خمیرکاغذ
۵) پمپ‌ها
۶) فن‌ها

- موتور برج خنک‌کننده TEAO (IE3)

این نوع موتورها، بر طبق استانداردهای NEMA Premium و CEE برای بهره انرژی هستند. این موتورها بر طبق مشخصات NEMA و برای عملکرد در محیطهایی با رطوبت ۱۰۰٪ و محیطهای خورنده طراحی‌شده‌اند. همچنین این موتورها برای عملکرد در حالت افقی یا برای حالت عمودی طراحی‌شده‌اند. مانند تمامی موتورهای شرکت WEG، موتورهای برج خنک‌کننده نیز بر طبق IEEE 112، روش B تست شده‌است و بهره آن‌ها براساس UL Labs (CSA C390) تأییدشده است. محدوده توان این موتورها از ۱ تا ۳ اسب بخار و محدوده ولتاژ آن‌ها ۲۳۰/۴۶۰–۲۰۸–۲۰۰–۴۶۰ یا ۵۷۵ ولت است. این موتورها دارای قاب کاملاً بسته و مقاوم در برابر آب و غبار است [۴۶].

- موتور ترمزی

موتورهای ترمز WEG شامل یک ماشین القایی کوپل‌شده با یک ترمز DC است، که تشکیل یک بخش فشرده به هم‌پیوسته و قدرتمند را می‌دهد. ترمز از یک ساختار محکم، همراه بخش‌های قابل حرکت محدود ساخته شده است که تضمین‌کننده دوام با حداقل نگهداری است. محدوده توانی این موتورها از ۱ تا ۲ اسب بخار و محدوده ولتاژ آن‌ها ۲۳۰/۴۶۰–۲۰۸ ولت است. این موتورها از نوع قفس سنجابی با قاب آلومینیومی و به صورت کاملاً بسته هستند [۴۶].

کاربردهای این موتورها عبارتند از:

۱) کانوایرها
۲) کاهش‌دهنده‌های دنده[3]
۳) ابزارهای ماشین
۴) تجهیزات کنترل مواد

- شرکت SEW

1- corrosive
2- shaft up position
3- Gear reducers

محصولات این شرکت به تفکیک کلاس بهره در جدول ۶۲-۲ آورده شده‌اند.

جدول ۶۲-۲ : کلاس‌های بازدهی محصولات شرکت **SEW** [۴۷]

	IE3
بازدهی عالی	اروپا، استرالیا، نیوزیلند، ایالات‌متحده، کانادا - موتورهای AC از نوع DRP (موتورهای با بازدهی عالی) توان: از ۰/۷۵ تا ۱۶۰ کیلووات اندازه موتور: ۹۰ و بزرگ‌تر - روتور قفس سنجابی از نوع مسی یا آلومینیومی اروپا، سوییس، ترکیه - موتورهای AC از نوع DRN (موتورهای با بازدهی عالی) توان: از ۷/۵ تا ۲۰۰ کیلووات - اندازه موتور: 132M و بزرگ‌تر - موتورهای AC از نوع DRN (موتورهای با بازدهی عالی) توان: از ۰/۷۵ تا ۵/۵ کیلووات - اندازه موتور: 80M و بزرگ‌تر - موتورهای با قاب آلومینیومی قفس سنجابی
	IE2
بازدهی بالا	اروپا، استرالیا، نیوزیلند، ایالات‌متحده، کانادا، برزیل، کره و چین - درجه بالایی از بازدهی - موتورهای AC از نوع DRE (موتورهای با بازدهی بالا) توان: از ۰/۷۵ تا ۲۰۰ کیلووات اندازه موتور:۸۰ و بزرگ‌تر - روتور قفس سنجابی از نوع مسی یا آلومینیومی

جدول ۶۳-۲ تا جدول ۶۵-۲ محصولات IE2 و IE3 شرکت SEW eurodrives را نشان می‌دهند.

جدول ۶۳-۲ : موتورهای سری **DRE (IE2)** شرکت **SEW** [۴۷]

سری DRE		
این موتورها از نوع بازدهی بالا هستند که برچسب IE2 را بر طبق استاندارد IEC60034-30-1 گرفته‌اند.		
اندازه موتور	۸۰-۳۱۵	
محدوده توان موتورهای چهار قطب	۰/۷۵-۲۰۰ کیلووات	
فرکانس‌ها	۵۰ و ۶۰ و ۵۰/۶۰	
برچسب بهره	بین‌المللی	IE2
	آمریکای شمالی	CSAe, ee

جدول ۶۴-۲ : موتورهای سری **DRN (IE3)** شرکت **SWE** [۴۷]

سری DRN		
این موتورها با بازدهی عالی هستند که برچسب IE3 را بر طبق استاندارد IEC60034-30-1 گرفته‌اند.		
اندازه موتور	۸۰-۳۱۵	
محدوده توانی موتورهای چهار قطب	۷۵-۰/۲۰۰ کیلووات	
فرکانس‌ها	۵۰ و ۶۰ و ۵۰/۶۰	
برچسب انرژی	بین‌المللی	IE3

جدول ۶۵-۲ : موتورهای سری **DRE (IE3)** شرکت **SWE** [۴۷]

سری DRE		
این موتورها با بازدهی عالی هستند که برچسب IE3 را بر طبق استاندارد IEC60034-30-1 گرفته‌اند.		
اندازه موتور	۹۰-۳۱۵	
محدوده توان موتورهای چهار قطب	۷۵-۰/۱۶۰ کیلووات	
فرکانس‌ها	۵۰ و ۶۰ و ۵۰/۶۰	
برچسب بهره	بین‌المللی	IE3
	آمریکای شمالی	CSAe, ee

- شرکت Tatung
  - موتورهای ODP با بازدهی بسیار عالی (IE4)

این موتورها از نوع IE4، دارای توان خروجی از ۱ تا ۳۰۰ اسب بخار، فرکانس ۶۰ هرتز در ولتاژهای ۲۰۸-۲۳۰/۴۶۰ و ۵۷۵ ولت (برای ۲۰۰ اسب بخار و بالاتر ولتاژ ۴۶۰ یا ۵۷۵ ولت)، تعداد قطب‌های ۲، ۴و ۶، سرویس فاکتور ۱/۱۵ و دارای قاب از نوع آهن سخت هستند. جدول ۶۶-۲ مشخصات دو نمونه از این موتورها را نشان می‌دهد [۴۸].

جدول ۶۶-۲ : مشخصات موتورهای **ODP** ۱۰۰ و ۱۵۰ اسب بخار با بازدهی عالی **IE4** شرکت **Tatung** [۴۸]

توان (اسب بخار)	سرعت بار کامل	قاب NEMA	جریان در ۲۳۰ ولت		گشتاور			بهره			ضریب قدرت		
			جریان بار کامل (A)	جریان روتور قفل شده (A)	گشتاور بار کامل	روتور قفل شده	گشتاور شکست	بار کامل	۷۵٪ بار کامل	۵۰٪ بار کامل	بار کامل	۷۵٪ بار کامل	۵۰٪ بار کامل
۱۰۰	۳۵۶۰	365 TS	۳۰ ۲	۴۵۰ ۱	۲۰۰	۶۰ ۱	۲۲۰	۹۳	۹۳	۹۱	۸۷	۸۴	۷۹
۱	۱	444	۳	۲	۶۰۰	۱	۲۴۰	۹	۹	۹	۵	۸	۷

۸	۴	۸۶/	۴	۵	۵		۸۰		۱۷۰	۴۵	T	۷۸۰	۵۰

- موتورهای کاملاً بسته با بازدهی عالی (IE3)

این موتورها از نوع IE3، دارای توان خروجی از ۰/۷۵ تا ۲۰۰ کیلووات، تعداد قطب‌های ۲، ۴ و ۶، فرکانس ۵۰/۶۰ هرتز، در ولتاژهای ۲۰۰/۲۲۰ ولت و از نوع قفس سنجابی هستند. مشخصات دو نوع از این موتورها در جدول ۶۷-۲ بیان شده است [۴۸].

جدول ۶۷-۲ : مشخصات موتورهای **IE3** چهار قطب ۲۰۰ ولت **TEFC** شرکت **Tatung** [۴۸]

توان (اسب بخار)	سرعت بار کامل	قاب NEMA	جریان در ۲۳۰ ولت		گشتاور			بهره			ضریب قدرت		
			جریان بار کامل (A)	جریان روتور قفل شده (A)	گشتاور بار کامل	روتور قفل شده	گشتاور شکست	بار کامل	۷۵٪ بار کامل	۵۰٪ بار کامل	بار کامل	۷۵٪ بار کامل	۵۰٪ بار کامل
۲/	۱۴۴۵	100L	۹/۲	۸۷	۱۴/۵۱	۱۰۴	۳۳۵	۸۷	۸۶/۷	۸۶۰	۸۰/۵	۷۴/۵	۲۶
۳۰	۱۴۷۵	180L	۱۸۱	۹۵۶	۱۹۴	۱۵۲	۲۵۰	۴۹	۹۴/۵	۹۳/۵	۸۷	۷۴/۵	۶۴/۵

- موتورهای با بازدهی بالا (IE2)

این موتورها از نوع IE2، دارای توان خروجی از ۰/۱۸ تا ۲۰۰ کیلووات، تعداد قطب‌های ۲، ۴و ۶، فرکانس ۶۰ هرتز و اندازه قاب آن‌ها 63M ~ 315M است. مشخصات دو نوع از این موتورها در

جدول ۶۸-۲ بیان شده است [۴۸].

جدول ۶۸-۲ : مشخصات موتورهای **IE2** دو قطب شرکت **Tatung** [۴۸]

توان (اسب بخار)	سرعت بار کامل	قاب NEMA	جریان در ۲۳۰ ولت		گشتاور			بهره			ضریب قدرت		
			جریان	جریان روتور	گشتاور	روتور	گشتاور	بار	۷۵٪ بار	۵۰٪	بار	۷۵٪ بار	۵۰٪ بار

			بار کامل (A)	قفل شده (A)	بار کامل	قفل شده	شکست	کامل	کامل	بار کامل	کامل	کامل	کامل
۵ ۱۸/	۳ ۵۳۵	160 L	۳ ۴	۵ ۹	۵۰	۲ ۹۰	۳۲۰	۵ ۹۱/	۵ ۹۱/	۷ ۹۰/	۵ ۸۹/	۸ ۷	/۵ ۸۰
۱ ۱۰	۳ ۵۷۵	280 S	۳ ۴	۲ ۳۰	۲۹۴	۱ ۷۰	۲۸۰	۷ ۹۴/	۴ ۹۴/	۲ ۹۳/	۸ ۷	۵ ۸۴/	/۵ ۷۷

- شرکت North America Electrics
  - محصولات با کاربرد عمومی IE3

محدوده توانی این موتورها ۱ تا ۳۰۰ اسب بخار و کاربرد آن‌ها برای اهداف عمومی در پمپ‌ها، فن‌ها، دمنده‌ها، فشرده‌سازها، کانوایرها، کنترل مواد و سایر صنایع ماشینی که در محیط‌های رطوبت دار، غبارآلود و کثیف فعالیت می‌کنند، می‌باشد [۴۹] . جدول ۶۹-۲ مشخصات فنی یک نوع از این دسته موتورهای شرکت NAE را نشان می‌دهد.

جدول ۶۹-۲ : مشخصات موتورهای ۳ اسب بخار **IE3** شرکت **North America Electric** [۴۹]

وزن (کیلوگرم)	گشتاور (Nm)			ضریب قدرت			بهره (٪)				جریان (در ولتاژ ۴۶۰ ولت)	
۴۴	گشتاور شکست	روتور قفل شده	بار کامل	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	حداقل بازده	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	روتور قفل شده	بار کامل
	۳۰۰	۲۱۵	/۲ ۱۲	۵ ۰/۸	۰/۷	۰/۷۷	/۵ ۸۷	۸۷/۶	۱ ۸۹/	/۵ ۸۹	۳ ۲	۴
حداکثر دمای محیط	رنج IP	نوع دیواره	کد NEMA	لغزش (٪)	طراحی NEMA	کلاس ایزولاسیون	فرکانس	ولتاژ	قاب	سرعت	توان خروجی (اسب بخار)	
۴۰	۵۵	T EFC	K	۲ ۲/	B	F	۶۰	/۴۶۰ ۲۳۰-۲۰۸	1 82T	۱ ۷۶۰	۳	

- موتورهای NEMA PREMIUM EFFICICENT 586/7U & UZ FRAMES- CRUSHER با کاربرد خاص IE3

محدوده توانی این موتورها از ۲۵۰ تا ۶۰۰ اسب بخار و کاربرد آن‌ها برای اهداف ویژه در خرد کردن، له کردن، آرد کردن و سایر صنایعی که به گشتاورهای راه‌اندازی بسیار زیاد و گشتاورهای شکننده نیاز دارند، است [۴۹].

جدول ۷۰-۲ مشخصات فنی یک نوع از این دسته موتورهای شرکت NAE را نشان می‌دهد.

جدول ۷۰-۲ : مشخصات موتورهای ۳۵۰ اسب بخار **IE3** شرکت **North America Electric** [۴۹]

وزن (کیلوگرم)	گشتاور (Nm)			ضریب قدرت			بهره (٪)				جریان (در ولتاژ ۴۶۰ ولت)	
	گشتاور شکست	روتور قفل شده	بار کامل	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	حداقل بازده	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	روتور قفل شده	بار کامل
۵/ ۲۱۹۸	۲۷۰	۲۰۰	۲/ ۱۸۸۳	۸ ۰/۲۴	۸۶۳ ۰/	۰/۸۸۲	۴/ ۹۵	۲/ ۹۵	۸/ ۹۵	۲/ ۹۶	۲ ۵۵۰	۵/ ۳۷۸
حداکثر دمای محیط	رنج IP	نوع دیواره	کد NEMA	لغزش (٪)	طراحی NEMA	کلاس ایزولاسیون	فرکانس	ولتاژ	قاب	سرعت	توان خروجی (اسب بخار)	
۴۰	۵۵	T EFC	G	۷/ ۰	C	F	۶۰	۴ ۶۰	5 87U	۱ ۷۸۸	۳۵۰	

- موتورهای پمپ Closed-Coupled-IE3

محدوده توانی این نوع موتورها ۱ تا ۵۰ اسب بخار است. این موتورها به‌صورت ویژه برای استفاده در صنایع و واحدهای بازرگانی پمپاژ طراحی شده‌اند [۴۹].

جدول ۷۱-۲ مشخصات فنی یک نوع از این دسته موتورهای شرکت NAE را نشان می‌دهد.

جدول ۷۱-۲ : مشخصات موتورهای ۱۰ اسب بخار **IE3** شرکت **North America Electric** [۴۹]

وزن (کیلوگرم)	گشتاور (Nm)			ضریب قدرت			بهره (٪)				جریان (در ولتاژ ۴۶۰ ولت)	
	گشتاور شکست	روتور قفل شده	بار کامل	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	حداقل بازده	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	روتور قفل شده	بار کامل
۷۵/ ۷۵	۲۹۰	۱۶۰	۲/ ۲۰	۸ ۰/۳	۸۹/ ۰	۰/۹۲	۵/ ۸۸	۸ ۶	۸۹	۲/ ۹۰	۸ ۱	۲ ۱۱/
حداکثر دمای محیط	رنج IP	نوع دیواره	کد NEMA	لغزش (٪)	طراحی NEMA	کلاس ایزولاسیون	فرکانس	ولتاژ	قاب	سرعت	توان خروجی (اسب بخار)	
۴۰	۵۵	T EFC	H	۱/ ۲	B	F	۶۰	۴ ۶۰/ ۲ ۳۰	21 5JM	۳ ۵۲۵	۱۰	

- موتورهای پمپ EISA COMPLIANT Closed-Coupled-IE2

محدوده توانی این موتورها از ۱ تا ۵۰ اسب بخار است. این موتورها به‌صورت ویژه برای استفاده در صنایع و واحدهای بازرگانی پمپاژ طراحی‌شده‌اند [۴۹].

جدول ۷۲-۲ مشخصات فنی یک نوع از این دسته موتورهای شرکت NAE را نشان می‌دهد.

جدول ۷۲-۲ : مشخصات موتورهای ۱/۵ اسب بخار **IE2** شرکت **North America Electric** [۴۹]

وزن (کیلوگرم)	گشتاور (Nm)			ضریب قدرت			بهره (٪)				جریان (در ولتاژ ۴۶۰ ولت)	
	گشتاور شکست	روتور قفل شده	بار کامل	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	حداقل بازده	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	روتور قفل شده	با بار کامل
۱۹/۵	۳۳۰	۲۸۵	۳	۵۰/۲	۶۵/۰	۰/۷۴	۸۰	۵۷۷/	۸۱	۵۸۲/	۲۰	۲۲/
حداکثر دمای محیط	رنج IP	نوع دیواره	کد NEMA	لغزش (٪)	طراحی NEMA	کلاس ایزولاسیون	فرکانس	ولتاژ	قاب	سرعت	توان خروجی (اسب بخار)	
۴۰	۵۵	TEFC	M	۱/۳	C	F	۶۰	۴۶۰/۲۳۰	143JM	۳۴۹۰	۱/۵	

- موتورهای پمپ عمودی IE2

محدوده توانی این موتورها از ۱۰ تا ۵۰۰ اسب بخار است. این موتورها برای پمپ‌های توربینی عمیق طراحی‌شده‌اند. کوپلینگ آن با یک چرخ‌دنده غیر چرخشی[1]، تجهیز شده است که از چرخش موتور هنگامی که خاموش است، جلوگیری می‌کند. این موتورها بر اساس استاندارد NEMA ساخته‌شده‌اند و ترکیب بلبرینگ‌های ویژه‌ای را دارا می‌باشند که بارهای سنگین را حمل کند [۴۹]

جدول ۷۳-۲ مشخصات فنی یک نوع از این دسته موتورهای شرکت NAE را نشان می‌دهد.

جدول ۷۳-۲ : مشخصات موتورهای ۵۰ اسب بخار **IE2** شرکت **North America Electric** [۴۹]

وزن (کیلوگرم)	گشتاور (Nm)	ضریب قدرت	بهره (٪)	جریان (در ولتاژ ۴۶۰ ولت)

1- None Reverse

/۹ ۳۴۲	گشتاور شکست	روتور قفل شده	بار کامل	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	حداقل بازده	۵۰٪ بار کامل	۷۵٪ بار کامل	بار کامل	روتور قفل شده	بار کامل
	۱۹ ۵	۲۳ ۰	۲۷۱	۷ ۰/۶	/۸۵ ۰	۰/۸۷	/۹ ۹۰	۸ ۸۶/	/۳ ۸۷	۹ ۳	/۱ ۳۳۹	۸ ۶۱/
حداکثر دمای محیط	رنج IP	نوع دیواره	کد NEMA	لغزش (٪)	طراحی NEMA	کلاس ایزولاسیون	فرکانس	ولتاژ	قاب	سرعت	توان خروجی (اسب بخار)	
۴۰	۲۳	WP1	C	۷ ۱/	B	F	۶۰	۴ /۶۰ ۲ ۳۰	32 6TP	۱ ۷۷۰	۵۰	

- شرکت Techtop Industries
  - موتورهای کاملاً بسته با قاب آلومینیومی با بازدهی عالی IE3

این موتورها دارای محدوده توانی از ۰/۳۳ تا ۱۵ اسب بخار، ولتاژ ۲۳۰/۴۶۰–۲۰۸ ولت، در سرعت‌های ۱۲۰۰/۱۸۰۰/۳۶۰۰ دوربردقیقه، تعداد قطب‌های ۶/۴/۲، اندازه قاب 56C-215T و درجه حفاظت IP55 هستند [۵۰].

  - موتورهای کاملاً بسته با قاب آهن ریخته‌گری با بازدهی عالی IE3

این موتورها دارای محدوده توانی ۱ تا ۳۰۰ اسب بخار، ولتاژ ۲۳۰/۴۶۰–۲۰۸ ولت، در سرعت‌های ۱۲۰۰/۱۸۰۰/۳۶۰۰ دوربردقیقه، تعداد قطب‌های ۶/۴/۲ و اندازه قاب 143C-449T هستند [۵۰].

  - موتورهای استاندارد IEC-IE3

این موتورها دارای محدوده توانی ۰/۱۲۵ تا ۱۵۰ اسب بخار، ولتاژ ۲۳۰/۴۶۰–۲۰۸ ولت، در سرعت‌های ۱۲۰۰/۱۸۰۰/۳۶۰۰ دوربردقیقه، تعداد قطب‌های ۶/۴/۲ و اندازه قاب ۲۸۰–۵۶ هستند [۵۰].

  - موتورهای ODP با بازدهی عالی IE3

این موتورها دارای محدوده توانی ۱ تا ۱۵۰ اسب بخار، ولتاژ ۲۳۰/۴۶۰–۲۰۸ ولت، در سرعت‌های ۱۸۰۰/۳۶۰۰ دوربردقیقه، تعداد قطب‌های ۲ و ۴ و اندازه قاب 143T-445T هستند [۵۰].

- شرکت TECO Westinghouse
  - موتورهای ولتاژ متوسط با بازدهی عالی (IE3)

این موتورها دارای محدوده توان ۱۰۰ تا ۹۰۰ اسب بخار، ولتاژ ۲۳۰۰/۴۱۶۰ ولت، در سرعت‌های ۳۶۰۰–۱۸۰۰–۱۲۰۰–۹۰۰ دوربردقیقه هستند. این موتورها در پمپ‌ها، فن‌ها، دمنده‌ها، به کار می‌روند [۵۱].

  - موتورهای TEFC با بازدهی عالی (IE3) برای شرایط سخت

این موتورها دارای محدوده توان ۰/۷۵ تا ۸۰۰ اسب بخار، ولتاژ ۵۷۵–۴۶۰–۲۳۰/۴۶۰ ولت، در سرعت‌های ۳۶۰۰–۹۰۰–۱۲۰۰–۱۸۰۰ دوربردقیقه هستند. این موتورها در فن‌ها و دمنده‌ها، پمپ‌ها، سنگ‌شکن‌ها (crushers)، فشرده‌سازها، همزن‌ها، کانوایرها و در محیط‌هایی که نیاز به مقاومت زیاد وجود دارد مانند: پتروشیمی، کاغذ و خمیر کاغذ به‌کار می‌روند [۵۱].

  - موتورهای ODP با بازدهی عالی (IE3)

این موتورها دارای محدوده توان ۱ تا ۵۰۰ اسب بخار، محدوده ولتاژ ۵۷۵–۴۶۰–۴۶۰–۲۳۰/۴۶۰ ولت، در سرعت‌های ۳۶۰۰–۱۸۰۰–۱۲۰۰ دوربردقیقه هستند. کاربرد این موتورها در فن‌ها و دمنده‌ها– پمپ‌ها– فشرده‌سازها است [۵۱].

- موتورهای با بازدهی عالی Rolled Steel (IE3)

این موتورها دارای محدوده توان ۱ تا ۴۰ اسب بخار، ولتاژ ۲۳۰/۴۶۰ ولت، در سرعت‌های ۳۶۰۰–۱۸۰۰–۱۲۰۰ دوربردقیقه هستند. کاربرد این موتورها در فن‌ها، دمنده‌ها، پمپ‌ها، تجهیزات HVAC و فشرده‌سازها است [۵۱].

- شرکت Lesson/Lincoln Electric Motors
  - موتورهای کاملاً بسته با بازدهی عالی Rigid base (IE3)

مشخصات این نوع موتورها در جدول ۷۴–۲ ارائه شده است.

جدول ۷۴–۲ : مشخصات موتورهای **TE-IE3** (**Rigid-Base**) ساخت شرکت **Lesson Electric Motors** [۵۲]

توان خروجی (اسب بخار)	۱ تا ۱۰	۰/۳۳ تا ۱۰	۱ تا ۲
سرعت (دوربردقیقه)	۳۶۰۰	۱۸۰۰	۱۲۰۰
اندازه قاب	56-215 T	56-215 T	145-184 T

- موتورهای کاملاً بسته با بازدهی عالی C-Face (IE3)

مشخصات این نوع موتورها در جدول ۷۵–۲ نشان داده شده است.

جدول ۷۵–۲ : موتورهای **TE-IE3** (**C-Face**) ساخت شرکت **Lesson Electric Motors** [۵۲]

توان خروجی (اسب بخار)	۱ تا ۲۵	۰/۳۳ تا ۱۰۰	۱
سرعت (دوربردقیقه)	۳۶۰۰	۱۸۰۰	۱ ۲۰۰
اندازه قاب	56C-256 TC	56C-405 TC	5 6 C

- موتورهای ODP Rigid Base (IE3)

مشخصات این نوع موتورها در جدول ۷۶–۲ ارائه شده است.

جدول ۷۶–۲ : موتورهای **ODP Rigid Base** (**IE3**) ساخت شرکت **Lesson Electric Motors** [۵۲]

توان خروجی (اسب بخار)	۱ تا ۱۵	۰/۳۳ تا ۱۰۰	۱ تا ۲
سرعت (دوربردقیقه)	۳۶۰۰	۱۸۰۰	۱۲۰۰
اندازه قاب	56-215 T	56-215 T	145-184 T

- موتورهای ODP C-Face (IE3)

مشخصات این نوع موتورها در جدول ۷۷–۲ آورده شده است.

جدول ۷۷-۲ : موتورهای **ODP C-Face** (**IE3**) ساخت شرکت **Lesson Electric Motors** [۵۲]

توان خروجی (اسب بخار)	–	۰/۳۳ تا ۱۰۰	–
سرعت (دوربردقیقه)	۳ ۶۰۰	۱۸۰۰	۱ ۲۰۰
اندازه قاب	-	56-215 T	-

- موتورهای کاملاً بسته کاربرد سنگین با بازدهی عالی Rigid Base (IE3)

مشخصات این نوع موتورها در جدول ۷۸-۲ آورده شده است.

جدول ۷۸-۲ : موتورهای **TEFC-Sever duty-IE3** ساخت شرکت **Lesson Electric Motors** [۵۲]

توان خروجی (اسب بخار)	۷/۵ تا ۲۰	۳ تا ۲۰	۳ تا ۲۰
سرعت (دوربردقیقه)	۳۶۰۰	۱۸۰۰	۱۲۰۰
اندازه قاب	213T-256T	182T-256T	213T-286T

کاربردهای موتورهای TEFC: برای استفاده در مکان‌هایی که در معرض آب، غبار و مواد خورنده وجود دارد. به طور ایده‌آل مناسب برای استفاده در پمپ‌ها، فشرده‌سازها، دمنده‌ها، فن‌ها، کانوایرها، ابزارهای ماشینی [۵۳].

کاربردهای موتورهای ODP: برای استفاده در مکان‌هایی که آب و غبار به صورت متعادل وجود دارد. به طور ایده‌آل مناسب برای استفاده در پمپ‌ها، فشرده‌سازها، دمنده‌ها، فن‌ها، کانوایرها، ابزارهای ماشین [۵۳].

- شرکت Baldor Electric
  - موتورهای با کاربرد عمومی

خط تولید موتورهای با اهداف عمومی Baldor، گستره وسیعی از موتورهای با اهداف عمومی شامل موتورهای کاملاً بسته در قاب آهنی ریخته‌گری، و موتورهای steel band برای کاربردهای سخت را در بر می‌گیرد. واژه طراحی‌شده برای "اهداف عمومی" به این معنی است که این موتورها در بسیاری از کاربردها به کار می‌روند [۵۴].

کارخانه‌های متداول مورد استفاده این نوع موتورها عبارتند از [۵۴]:

۱) کارخانه‌های سیمان، سنگ و آسفالت
۲) تهویه هوا
۳) صنایع شیمیایی، بنزین و گاز
۴) صنایع غذایی، نوشیدنی و دارویی
۵) کاغذ و جنگل
۶) صنایع بسته بندی

کاربردهای این نوع موتورها عبارتند از فشرده‌سازها، پمپ‌ها، فن‌ها، کانوایرها، کنترل مواد و ابزار ماشین.

محدوده توانی موتورهای کاملا بسته با قاب آهنی ریخته‌گری با اهداف عمومی IE3 ۰/۱۳ تا ۴۰۰ اسب بخار و محدوده توانی موتورهای ODP با اهداف عمومی IE3: ۰/۳۳ تا ۵۰۰ اسب بخار است.

محدوده توانی موتورهای بسته با اهداف عمومی تک فاز IE3: این موتورها برای کاربردهایی که تنها موتورها تک فاز استفاده می‌شوند، کاربرد دارند. این موتورها در محدوده توانی ۰/۱۲۵ تا ۱۵ اسب بخار در طرح‌های TEFC موجود هستند. پیکربندی‌های پایه‌ای استاندارد نیز در دسترس هستند. این موتورها همچنین در محدوده توانی ۰/۲۵ تا ۵ اسب بخار برای استاندارد IE4 نیز موجود هستند [۵۴].

محدوده توانی موتورهای تک فاز IE3: این موتورها برای کاربردهایی که تنها موتورها تک فاز استفاده می‌شوند، کاربرد دارند. این موتورها در محدوده توانی ۰/۰۸۳ تا ۱۰ اسب بخار در طرح‌های ODP موجود هستند. پیکربندی‌های پایه‌ای استاندارد نیز در دسترس هستند. این موتورها همچنین در محدوده توانی ۰/۲۵ تا ۵ اسب بخار برای استاندارد IE4 نیز موجود هستند [۵۴].

- موتورهای کاربرد سنگین

این موتورها برای عملکرد و عمر طولانی در محیط‌های سخت و خشن صنعتی طراحی‌شده‌اند. این موتورهای با بازدهی عالی در طراحی شامل ویژگی‌هایی هستند، که از آن‌ها در مقابل آلودگی، رطوبت، لرزش مقاومت می‌کنند [۵۴].

محدوده توانی موتورهای کاربرد سنگین عمومی در محدوده ۱ تا ۴۰۰ اسب بخار است و کارخانه‌های متداول مورد استفاده این موتورها عبارتند از صنایع شیمیایی، صنایع گاز و بنزین، صنایع تولیدات جنگل، صنایع سیمان، سنگ، آسفالت، صنایع معدن، صنایع آهن و صنایع آب و فاضلاب.

کاربردهای متداول این نوع موتورها نیز عبارتند از فشرده‌سازها، پمپ‌ها، فن‌ها، کانوایرها و کاهش‌دهنده‌های دنده.

- موتورهای Crusher Duty

این موتورها برای استفاده در خردکننده‌های سنگ تسمه‌ای[1]، کارخانه‌های گلوله سازی[2]، و بقیه کاربردهایی که نیاز به گشتاور راه‌اندازی بالا دارند به کار می‌رود. محدوده توانی این موتورها ۵ تا ۳۵۰ اسب بخار و کارخانه‌های متداول مورد استفاده این موتورها عبارتند از [۵۴]:

۱) سیمان، سنگ، آسفالت
۲) معدن

کاربردهای متداول این نوع موتورها نیز عبارتند از خردکننده‌های سنگ تسمه‌ای، کاربردهای گلوله سازی و کاربردهای با گشتاور راه‌اندازی بالا.

- موتورهای HVAC شفت زمین‌شده

این موتورها دارای بازدهی عالی IE3 بوده و در طرح‌های ODP و TEFC و در محدوده توانی ۰/۲۵ تا ۱۰۰ اسب بخار هستند. کارخانه‌های متداول مورد استفاده این نوع موتورها، کارخانه‌های HVAC هستند. همچنین، کاربردهای متداول این نوع موتورها عبارتند از گرمایش، تهویه مطبوع و دمنده‌ها و فن‌های موتورها.

- موتورهای پمپ Closed-Coupled

از کاربردهای آن می‌توان همچون فاضلاب تا سیستم‌های مهار آتش، یا استخرهای تجاری را نام برد. این شرکت موتورهای پمپ با قابلیت بالا و با هزینه نگهداری کم تولید می‌کند. با بهبود طراحی‌های مربوط به بهبود مصرف انرژی،

1- Belt-driven rock crushers
2- Pellet mills

موتورهای پمپ این شرکت، به سطح استاندارد IE3 رسیده‌اند و در محدوده‌های سرعت گشتاور وسیعی به کار می‌روند. ساختار این موتورها می‌تواند برای کاربردهای خاص طراحی شود و در صنایعی مانند غذا، شستشو یا در کاربردهای ضد انفجار برای مکان‌های پرخطر به کار رود [۵۴].

این موتورها برای کاربردهایی که نیاز به بسته بودن کامل موتور با قاب آهنی نیاز است به کار می‌روند. محدوده توان این موتورها ۱ تا ۶۰ اسب بخار است. کارخانه‌های متداول مورد استفاده این نوع موتورها عبارتند از صنایع سنگ، آسفالت، صنایع سیمان، صنایع شیمیایی، صنایع جنگل، صنایع نفت، صنایع کاغذ و خمیر کاغذ و صنایع غذایی.

کاربردهای متداول این نوع موتورها نیز عبارتند از کنترل مایعات، آب درمانی، پمپ‌های انتقال و گردش آب و پمپ استخرها.

- موتورهای پمپ عمودی P Base

این نوع موتورها برای پمپ‌های سانتریفیوژی، پمپ‌های کف‌کش (لجن‌کش)، پمپ‌های توربینی، پمپ‌های پردازش خطی، فن‌ها، همزن‌ها، اتوکلاوها[1] ، برج‌های خنک‌کننده و در صنایعی با کاربردهای مشابه بکار می‌روند. تمامی فریم‌های این موتورها از نوع آهنی ریخته‌گری است و ویژگی‌های برجسته‌ای دارند تا اجزای موتور را در مقابل خوردگی، ساییدگی و مواد شیمیایی محافظت کرده و باعث افزایش عمر ماشین‌ها و بهبود عملکرد آن‌ها شود. محدوده توان این موتورها، ۳ تا ۷۵ اسب بخار است و دو محصول ویژه ۲ و ۲۵۰ اسب بخار نیز در دسترس هستند [۵۴].

کارخانه‌های متداول مورد استفاده این نوع موتورها عبارتند از کارخانه‌های سنگ، آسفالت، صنایع سیمان، صنایع شیمیایی، صنایع جنگل، صنایع پتروشیمی و صنایع کاغذ و خمیر کاغذ.

کاربردهای متداول این نوع موتورها نیز عبارتند از پردازش کردن[2]، کنترل مایعات[3]، آب درمانی، فاضلاب و کشاورزی.

- شرکت VEM

محدوده توان موتورهای IE2 این شرکت از ۰/۰۹ تا ۵۰۰ کیلووات و اندازه آن‌ها و اندازه آن‌ها ۳۵۵–۵۶ است. محدوده توان موتورهای IE3 این شرکت نیز از ۰/۷۵ تا ۷۱۰ کیلووات و اندازه آن‌ها ۴۰۰–۸۰ است [۵۵].

محدوده توان موتورهای IE4 این شرکت، از ۰/۱۲ تا ۲۵۰ کیلووات، تعداد قطب‌های ۴، ۶ و ۸ و در سرعت‌های ۳۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۱۰۰۰ دوربردقیقه و فرکانس ۵۰ هرتز است. موتورهای ۲/۲–۰/۱۲ کیلووات نیز در سرعت ۷۵۰ دوربردقیقه و فرکانس ۵۰ هرتز هستند [۵۵].

- شرکت Lafert Motors

محدوده توانی موتورهای IE2 این شرکت از ۰/۷۵ تا ۲۰۰ کیلووات، تعداد قطب‌های ۲، ۴ و ۶ در اندازه قاب‌های ۳۱۵–۱۸۰ برای طرح آهنی و اندازه قاب‌های ۱۶۰–۷۱ برای طرح آلومینیومی است. کاربردهای این نوع موتورها نیز عبارتند از [۵۶]:

صنایع نساجی، پکیجینگ و لیبلینگ، ماشین‌ها، ماشین‌های مورد استفاده در کارخانه‌های چوب، پروسه‌های تولید غذا، کانوایرها، کاهش دهنده‌های دنده (Gear reducers)، HVAC ها، پمپ‌های مایعات، فن و تهویه مطبوع، فشرده‌سازهای خنک‌کننده، فشرده‌سازهای هوا، پمپ‌های وکیوم، دمنده‌ها و انرژی‌ها نو.

- شرکت ZEST

1- autoclaves
2- Processing
3- Fluid handling

- موتورهای کاملاً بسته و خنک‌شونده با فن IE2

محدوده توانی این موتورها از ۰/۱۲ تا ۵۰۰ کیلووات، تعداد قطب این موتورها ۲ تا ۸، نوع قاب این موتورها از نوع آهنی ریخته‌گری شده، ولتاژ ۳۸۰Y–۴۱۵ (در صورت تغذیه بصورت ستاره)/۲۴۰–Δ۲۲۰ (در صورت تغذیه بصورت مثلث) و فرکانس ۵۰ هرتز برای قاب ۶۳ تا ۱۰۰، ولتاژ: ۶۶۰Y–۳۸۰/۶۹۰–Δ۴۱۵ و فرکانس ۵۰ هرتز برای قاب ۱۱۲ تا ۳۵۵ و ولتاژ ۵۲۵–Δ۵۵۰ و فرکانس ۵۰ هرتز برای قاب ۶۳ تا ۳۵۵ است [۵۷].

- موتورهای کاملاً بسته و خنک‌شونده با فن IE3

محدوده توانی این موتورها از ۰/۱۲ تا ۵۰۰ کیلووات، تعداد قطب این موتورها ۲ تا ۸، نوع قاب موتورها از نوع آهنی ریخته‌گری شده، ولتاژ ۳۸۰Y–۲۲۰/۴۱۵–Δ۲۴۰ و فرکانس ۵۰ هرتز برای قاب ۶۳ تا ۱۰۰، ولتاژ ۶۶۰Y–۳۸۰/۶۹۰–Δ۴۱۵ و فرکانس ۵۰ هرتز برای قاب ۱۱۲ تا ۳۵۵، ولتاژ: ۵۵۰–Δ۵۲۵ و فرکانس ۵۰ هرتز برای قاب ۶۳ تا ۳۵۵ است [۵۷].

کاربردها: پمپ‌ها، فن‌ها، فشرده‌سازها، کانوایرها، کارخانه‌ها، ماشین‌های سانتریفیوژ، پرس کننده‌ها، آسانسورها، تجهیزات پکیجینگ، خردکننده‌ها [۵۷].

- موتورهای کاملاً بسته و خنک‌شونده با فن IE4 یا IE5 (TEFC)

محدوده توان این موتورها از ۷/۵ تا ۰/۳۷ کیلووات، تعداد قطب این موتورها ۴ تا ۶، نوع قاب موتورها از نوع آهنی ریخته‌گری شده، ولتاژ ۳۸۰Y–۲۲۰/۴۱۵–Δ۲۴۰ در فرکانس ۵۰ هرتز یا ۶۶۰Y–۳۸۰/۶۹۰–Δ۴۱۵ در فرکانس ۵۰ هرتز یا ۵۲۵–Δ۵۵۰ در فرکانس ۵۰ هرتز، در اندازه قاب IEC ۸۰–۱۳۲ هستند. این نوع موتورها برای کاربردهای با سرعت متغیر و همراه با اینورتر قابل استفاده هستند [۵۷].

۱۴-۲-۲-۲- شرکت‌های داخلی تولیدکننده الکتروموتور

در ایران شرکت‌های مختلفی وجود دارند که فعالیت آن‌ها به نحوی با تولید الکتروموتورهای پربازده مرتبط است. این شرکت‌ها در حوزه‌های ساخت ماشین‌های الکتریکی، بخصوص موتورهای الکتریکی و پژوهش‌های کاربردهای خاص فعالیت می‌کنند که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که برخی از این شرکت‌ها، در حال حاضر محصول پربازده تولید می‌کنند و برخی تجهیزات و خط تولید مشابه تولید الکتروموتورهای پربازده را دارند، اما در حال حاضر الکتروموتور پربازده، تولید نمی‌کنند.

توانمندی‌های صنعتی در حوزه موتورهای الکتریکی پربازده را به دو بخش می‌توان تقسیم نمود. بخش اول به امکان طراحی و ساخت الکتروموتورهای پربازده و بخش دوم به امکان تست و ارائه گواهی به این الکتروموتورها مربوط می‌شود.

- شرکت الکتروژن

شرکت الکتروژن یک شرکت کاملاً خصوصی است که در سال ۱۹۸۰ تأسیس شده است. هدف اصلی این شرکت، ارائه پمپ‌ها و الکتروموتورهای کوچک مورد نیاز بازار ایران است. کارخانه این شرکت که مجهز به تجهیزات کامل تولید، ذخیره، کنترل کیفیت و فناوری‌های پیشرفته است، در جنوب تهران واقع شده است. خطوط تولید شرکت الکتروژن مجهز به دستگاه‌های اتوماتیک تولید الکتروموتور بوده و با در اختیار داشتن یکی از واحدهای قالب‌سازی منحصر به فرد در ایران، قادر به ساخت پیچیده‌ترین و دقیق‌ترین قالب و ابزارهای خط تولید است [۵۸].

مساحت زمین کارخانه، ۱۵۰ هزار متر مربع و مساحت ساختمانی آن، ۱۰۰ هزار متر مربع است. شرکت الکتروژن با ۱۵۰۰ نفر نیروی انسانی، در زمینه تولید ۵۰ نوع الکتروموتور صنعتی و خانگی مختلف مانند انواع مختلف سیستم تهویه هوا، الکتروموتورهای ماشین‌های شویندگی، پمپ کولرهای آبی و انواع مختلف سیستم‌های اشتعال نفت و گاز، پیشتاز است [۵۸].

نمونه‌برداری و تست محصولات الکتروژن، بر اساس جداول AQL و مطابق با استاندارد ISO 2859-1/1989 (E) صورت می‌گیرد و این روند بر اساس مقادیر مواد خام ورودی، سطوح مورد انتظار و معیارهای قبولی هدایت می‌شود. ویژگی

مهم این دو بخش، کنترل دقیق نتایج تست، مطابق با استانداردهای بین‌المللی مانند IEEE، DIN، ISO، IEC و ASTM است [۵۸].

محصولات الکتروژن در محدوده ۰/۰۵ تا ۴۵ کیلووات است و در ابعاد و استانداردهای بین‌المللی ارائه می‌شوند. همچنین شرکت الکتروژن اولین تولیدکننده الکتروموتورهای پربازده در ایران بوده است.

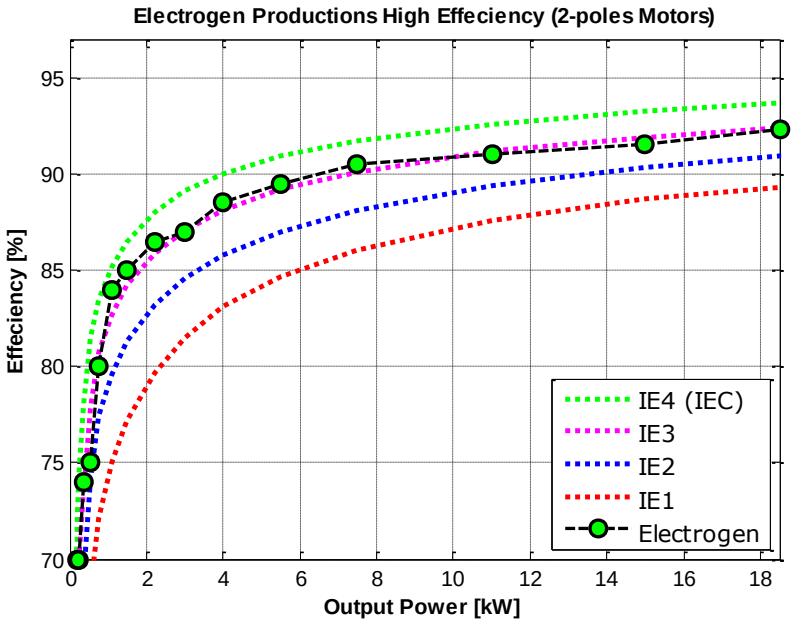
محصولات پربازده شرکت الکتروژن در سطح راندمان IE2 استاندارد IEC 60034-30-1 از ۰/۰۹ کیلووات تا ۴۵ کیلووات سه‌فاز با تعداد قطب‌های ۲ تا ۸ عدد در جدول ۷۹-۲ نشان داده شده است.

جدول ۷۹-۲: راندمان موتورهای سه‌فاز فریم استاندارد با سطح بازدهی **IE2** تولیدی شرکت الکتروژن [۵۸]

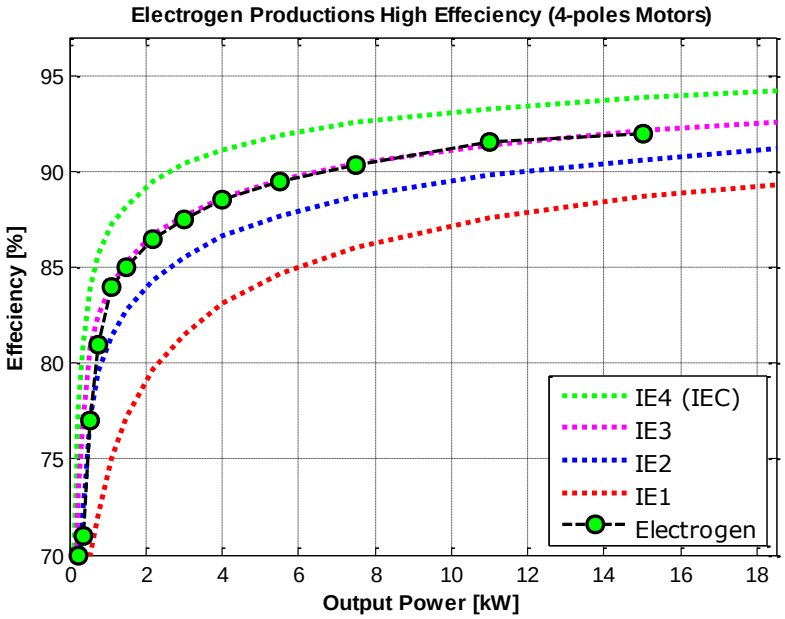
توان (kw)	بازده			
	۲ قطب	۴ قطب	۶ قطب	۸ قطب
۰/۰۹	-	-	-	–
۰/۱۲	-	۶۶	-	–
۰/۱۸	۷۰	۶۲	-	–
۰/۲۵	۷۰	۷۰	-	–
۰/۳۷	۷۴	۷۱	-	–
۰/۵۵	۷۵	۷۷	-	–
۰/۷۵	۸۰	۸۱	۷۵/۵	–
۱/۱	۸۴	۸۴	۸۲	–
۱/۵	۸۵	۸۵	۸۵	–
۲/۲	۸۶/۵	۸۶/۵	۸۴	–
۳	۸۷	۸۷/۵	۷۹	–
۴	۸۸/۵	۸۸/۵	۸۴	–
۵/۵	۸۹/۵	۸۹/۵	۸۶	–

۷/۵	/۵ ۹۰	/۳ ۹۰	۸۸	–
۱۱	۹۱	/۵ ۹۱	/۵ ۸۸	/۷ ۸۸
۱۵	/۵ ۹۱	۹۲	-	/۳ ۸۹
/۵ ۱۸	/۳ ۹۲	-	-	/۱ ۹۱
۲۲	/۱ ۹۴	/۲ ۹۳	/۹ ۹۱	/۶ ۹۱
۳۰	/۵ ۹۳	/۴ ۹۳	/۲ ۹۳	–
۳۷	/۱ ۹۴	/۴ ۹۴	–	–
۴۵	/۹ ۹۴	/۷ ۹۴	–	–

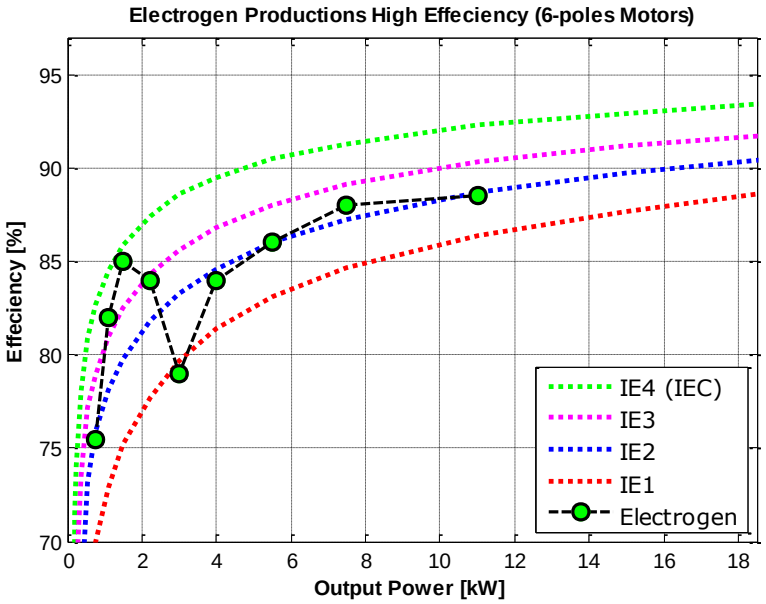
شرکت الکتروژن در سال ۱۹۹۶ و ۲۰۰۹ میلادی موفق به دریافت لیسانس از شرکت Hanning آلمان، Sole و Sisme ایتالیا گردیده است. این شرکت با استقرار سیستم مدیریت کیفیت با دریافت گواهینامه‌ی ISO 9001-2008 موفق گردیده تا کلیه فرآیندهای خود را به صورت موثر کنترل و پایش نماید. لازم به ذکر است کلیه محصولات شرکت الکتروژن دارای نشان استاندارد CE از اتحادیه اروپا هستند [۵۸].



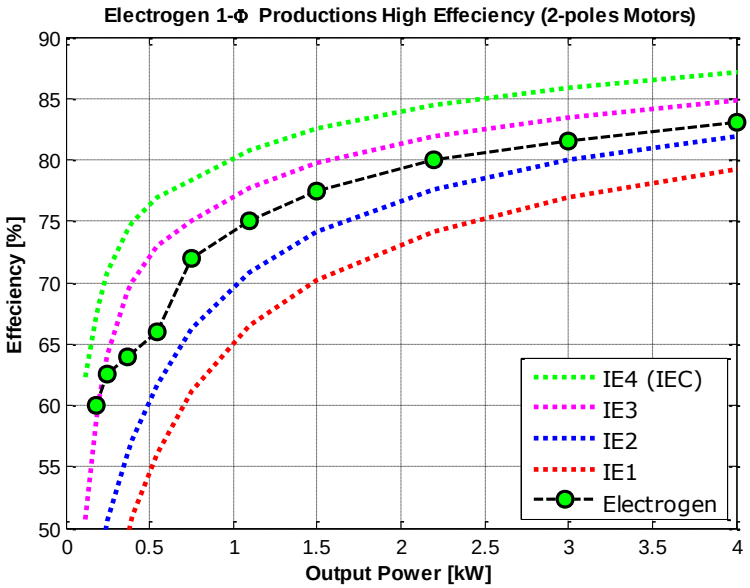
شکل ۲۴۸-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع **IE2**) با استاندارد **IEC60034-30-1** برای یک موتور ۲ قطب [۵۸]



شکل ۲۴۹-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع **IE2**) با استاندارد **IEC60034-30-1** برای یک موتور ۴ قطب [۵۸]



شکل ۲۵۰-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع **IE2**) با استاندارد **IEC60034-30-1** برای یک موتور ۶ قطب [۵۸]



شکل ۲۵۱-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت الکتروژن (نوع تکفاز) با استاندارد **IEC60034-30-1** برای یک موتور ۲ قطب [۵۸]

آزمایشگاه تست محصولات الکتروژن، دارای دو بخش آزمایشگاه مواد و آزمایشگاه فیزیک است که هر یک مجهز به تجهیزات پیشرفته مانند ماشین تست فشار قوی، گالوانومتر و اتاق تست عمر برای تست عمر مورد انتظار مواد خام ورودی مانند سیم‌های مسی، کابل‌ها، خازن‌ها، وارنیش‌ها و محافظ کابل‌ها در شرایط عملکردی مختلف در سطوح مختلف ایزولاسیون است. آزمایشگاه فیزیک این شرکت نیز مجهز به دینامومتر و ماشین‌های تست روتور و اتاق‌های مخصوص برای تست‌های آکوستیک به منظور بررسی نویز و تست عمر است [۵۸].

شکل ۲۵۲-۲: نمایی از داخل کارخانه شرکت الکتروژن [۵۸]

- شرکت جمکو

شرکت صنایع ماشین‌های الکتریکی جوین (جمکو) در سال ۱۳۸۰ به‌منظور رفع نیاز صنایع مختلف در زمینه ماشین‌های الکتریکی تأسیس گردید. این کارخانه در زمینی به مساحت ۲۵۰ هکتار، با زیربنایی حدود ۶۰ هزار متر مربع و با ۸ کارگاه تولیدی ساخته شده است. شرکت جمکو به واسطه‌ی کادر متخصص و مجرب و کارآزموده در واحدهای تولید، مهندسی، تحقیق و توسعه، بازرگانی، خدمات پس از فروش و کنترل کیفیت و تجهیزات و ماشین‌آلاتی که در اختیار دارد امکان طراحی، ساخت و تعمیر انواع الکتروموتور و ژنراتور در ایران را داراست [۵۹].

تولیدات جمکو شامل انواع الکتروموتورهای صنعتی از ۵/۵ تا ۱۰۰۰۰ کیلووات می‌باشد و کلیه تست‌های لازم طبق استانداردهای معتبر جهانی با تجهیزات پیشرفته انجام می‌پذیرد.

موتورهای تولید شده در شرکت جمکو در جدول ۸۰-۲ آورده شده است.

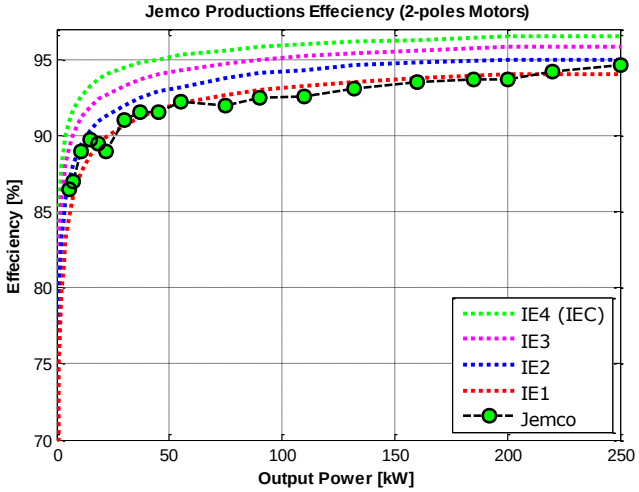
جدول ۸۰-۲: توان و راندمان الکتروموتورهای تولیدی شرکت جمکو [۵۹]

ردیف	توان (کیلووات)	تعداد قطب	کلاس بازدهی	درصد بازدهی (٪)	ردیف	توان (کیلووات)	تعداد قطب	کلاس بازدهی	درصد بازدهی (٪)
۱	۱۵	۶	IE1	۸۹/۰۱	۲۱	۷۵	۶	IE2	۹۳/۸
۲	۱۸/۵	۲	IE1	۸۸/۹	۲۲	۹۰	۲	IE1	۹۳/۷
۳	۱۸/۵	۴	IE2	۹۱/۲	۲۳	۱۳۲	۴	IE2	۹۴
۴	۱۸/۵	۶	IE2	۹۰/۶	۲۴	۱۳۲	۶	IE2	۹۴/۷
۵	۲۲	۲	IE1	۹۰/۰۹	۲۵	۱۶۰	۲	IE1	۹۴/۵
۶	۲۲	۴	IE1	۹۱/۲۳	۲۶	۱۶۰	۴	IE2	۹۵/۴
۷	۲۲	۶	IE2	۹۱/۴۶	۲۷	۲۰۰	۲	IE2	۹۵/۰۲
۸	۳۰	۲	IE1	۹۱/۰۵	۲۸	۲۰۰	۴	IE2	۹۴/۹
۹	۳۰	۴	IE1	۹۱/۵	۲۹	۲۰۰	۶	IE2	۹۴/۷۸
۱۰	۳۰	۶	IE1	۹۱/۲	۳۰	۲۵۰	۴	IE2	۹۴/۸۸
۱۱	۳۷	۴	IE2	۹۲/۷۶	۳۱	۲۵۰	۶	IE2	۹۴/۶۹
۱۲	۳۷	۶	IE2	۹۳/۰۸	۳۲	۳۱۵	۲	IE3	۹۶/۱۲
۱۳	۴۵	۲	IE1	۹۲/۶۶	۳۳	۳۱۵	۴	IE2	۹۵/۵
۱۴	۴۵	۴	IE2	۹۲/۳۷	۳۴	۳۱۵	۶	IE2	۹۴/۹
۱۵	۴۵	۶	IE1	۹۲/۳	۳۵	۳۵۵	۴	IE1	۹۳/۸
۱۶	۵۵	۲	IE1	۹۲/۶۶	۳۶	۴۰۰	۴	IE1	۹۴/۵
۱۷	۵۵	۴	IE2	۹۴	۳۷	۴۵۰	۴	IE2	۹۵/۳
۱۸	۵۵	۶	IE2	۹۳/۴					

۱۹	۷۵	۲	IE2	۹۳/۷۷					
۲۰	۷۵	۴	IE2	۹۳/۸					

واحد تحقیق و توسعه نسبت به طراحی و استخراج اطلاعات شکل لمینیشن، طول هسته روتور و استاتور، سیم‌پیچی و غیره، واحدهای مهندسی نسبت به استخراج اطلاعات مهندسی محصول، مهندسی تولید، امور ریخته‌گری و قالب‌ها، جیگ و فیکسچرها و غیره، واحد کنترل کیفی فرآیندهای کنترلی ورود مواد، جریان خط، تست نهایی و بسته‌بندی و واحد تولید بر اساس نقشه‌ها، دستورالعمل‌ها، برنامه اعلام شده را انجام می‌دهد [۵۹].

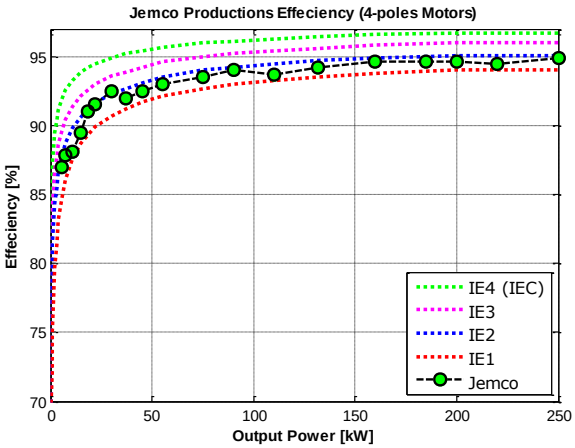
برای موتورهای الکتریکی ساخت این شرکت در رنج توانی مختلف با استفاده از داده‌های کاتالوگ استخراج و برای موتورهای ۲، ۴ و ۶ قطب به ترتیب در شکل ۲۵۳-۲ تا شکل ۲۵۵-۲ ترسیم شده است.



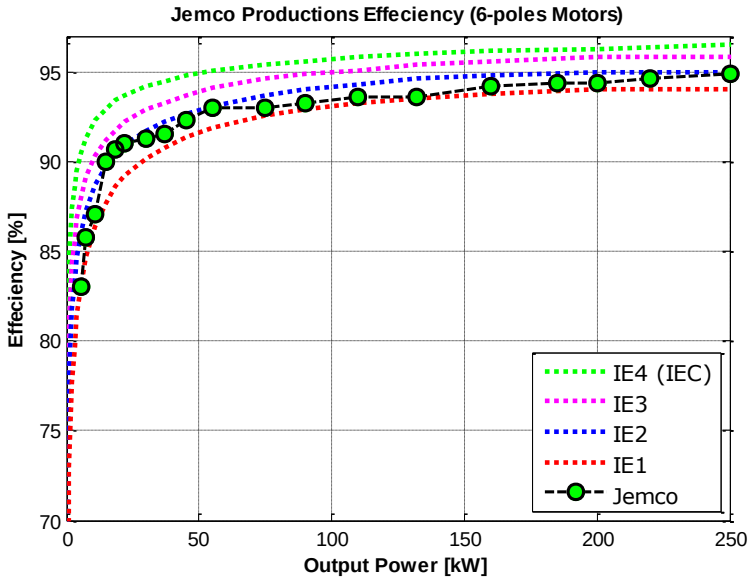
شکل ۲۵۳-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت جمکو با استاندارد **IEC60034-30-1** برای یک موتور ۲ قطب [۵۹]

در این اشکال برای مقایسه، گروه‌های بازدهی استاندارد IEC 60034-30-1 نیز ترسیم شده است. شکل ۲۵۳-۲ نشان می‌دهد که موتورهای دو قطب این شرکت تا حدودی نیازمندی‌های حداقل بازده انرژی مد نظر استاندارد IEC را برآورده می‌کند. همچنین شکل ۲۵۴-۲ و شکل ۲۵۵-۲ نشان می‌دهند که موتورهای چهار و شش‌قطب ساخت این شرکت نیز حتی به سطح IE2 نیز می‌رسد. لازم به ذکر است که این نتایج از روی کاتالوگ این شرکت استخراج شده و مربوط به نتایج آزمایشگاه نمی‌باشد.

شرکت جمکو موفق به اخذ استاندارد و گواهینامه‌های استاندارد ملی ایران، ISO 9001:2008، ISO 10002:2004، ISO 10004:2011 و ISO/IEC 1705:2005 شده است.



شکل ۲۵۴-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت جمکو با استاندارد **IEC60034-30-1** برای یک موتور ۴ قطب [۵۹]



شکل ۲۵۵-۲: مقایسه بین تولیدات شرکت جمکو با استاندارد **IEC60034-30-1** برای یک موتور ۶ قطب [۵۹]

شرکت جمکو با پشتوانه فنی و مهندسی خریداری شده از شرکت زیمنس در زمینی به وسعت ۵۰۰۰ متر مربع در سه طبقه مجهزترین آزمایشگاه مرجع تست انواع ماشین‌های الکتریکی شامل:

۱- انواع الکتروموتورهای آسنکرون از توان ۱ کیلووات تا ۲۵۰۰ کیلووات با سطوح ولتاژ LV، MV و HV، شامل کلیه تست‌های لازم مطابق استاندارد (IEC 60034-1)

۲- انواع الکتروموتورهای سنکرون از حداقل توان تا ۲۰۰۰ کیلووات مطابق با استاندارد (IEC 60034-1)

۳- انواع ژنراتورهای آسنکرون نیروگاه‌های بادی تا توان ۲۰۰۰ کیلووات با سطوح ولتاژ LV، MV

۴- انواع ژنراتورهای سنکرون بدون جاروبک تا توان ۱۲۵۰ کیلوولت آمپر

همچنین این شرکت دارای آزمایشگاه‌هایی شامل:

۱- آزمایشگاه مرجع برای تست کلیه مواد مصرفی الکتروموتور شامل قطعات چدنی- قطعات فولادی سیلیکون استیل- مواد عایقی- انواع رزین‌ها- انواع مفتول‌های مسی- آلومینیومی.

۲- آزمایشگاه تست IP در دو بخش شامل تست آلاینده‌های محیطی رطوبتی و میزان نفوذ آلاینده‌های محیطی گرد و غبار به داخل موتور برای تعیین IP6X و IP5X.

۴- آزمایشگاه تست پاشش آب به منظور بررسی میزان نفوذ آب و مایعات به داخل الکتروموتور برای تعیین سطح IP5X و IP6X.

۵- آزمایشگاه تست الکتروموتورهای ضد انفجار با گازهای متفاوت در زمینی به وسعت ۱۰۰۰۰ متر مربع و با توان تست ۲۰۰۰ کیلووات نیز طراحی و ساخته شده است.

شکل ۲۵۶-۲: نمایی از داخل کارخانه جمکو [۵۹]

شکل ۲۵۷-۲: نمایی از داخل آزمایشگاه جمکو [۵۹]

- شرکت موتوژن

شرکت موتوژن در سال ۱۳۵۲با نام گلدالکتریک تأسیس شده است و در سال ۱۳۵۴ به موتوژن تغییر نام داده است و در حال حاضر بیش از ۲ میلیون دستگاه انواع الکتروموتورهای تک فاز و سه فاز با کاربردهای صنعتی و خانگی را مطابق با استانداردهای جهانی نظیر IEC و NEMA و DIN در سال تولید و به بازارهای مصرف ایران، اروپا، آسیا و آفریقا عرضه می‌کند. این شرکت گواهی ISO 9001 - 2008 را از مؤسسه SGS سوئیس اخذ کرده است [۶۰].

این شرکت موتورهای تکفاز صنعتی ۲ و ۴ قطب را در محدوده توانی ۰/۰۶ تا ۲/۲ کیلووات، الکتروموتورهای سه فاز صنعتی را در محدوده توانی ۰/۷۵ تا ۲۵۰ کیلووات و با تعداد قطب‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ تولید می‌کند. موتورهای تولیدی این شرکت در محدوده گروه‌های بازدهی استاندارد ملی یعنی A تا E قرار دارند و این نشان می‌دهد که استاندارد ملی در مقایسه با استاندارد IEC دارای سطح نسبتاً پایینی می‌باشد. البته این اختلاف در گروه‌های بازدهی E و D می‌باشد که در استاندارد

ملی نیز پیش‌بینی حذف این گروهها از سال سوم اجرای شده بود. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که هنوز فاصله زیادی بین بازده تولیدی این شرکت با استانداردهای بین‌المللی وجود دارد [۶۰].

شرکت موتوژن موفق به اخذ استاندارد ملی ایران و گواهینامه ISO 9001:2000، گواهینامه CE از TUV و تایید صلاحیت آزمایشگاه از موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران شده است.

شرکت موتوژن دارای آزمایشگاه‌های الکتروتکنیک، مترولوژی و کالیبراسیون ابزارهای مکانیکی، متالوژی، آزمایشگاه مواد اولیه، آزمایشگاه نویز و ارتعاش، آزمایشگاه کالیبراسیون ابزارهای الکتریکی است.

تجهیزات آزمایشگاه الکتروتکنیک عبارتند از دینامومتر MS-2821-4 (3000 rpm- 100kW)، دینامومتر MS-2218-4(6000rpm- 60 kW)، دینامومتر (3000rpm- 925 W) و میکرواهم‌متر دیجیتالی DO 5000.

تجهیزات آزمایشگاه مترولوژی و کالیبراسیون ابزارهای مکانیکی عبارتند از دستگاه اندازه‌گیری سه بعدی C.M.M، دستگاه اندازه‌گیری فریم MMQ2، ، دستگاه اندازه‌گیری زبری (صافی) سطوح perthometer C5D و دستگاه بزرگنما PH-350.

تجهیزات آزمایشگاه متالورژی عبارتند از دستگاه آنالیز فلزات Quantometer, ARL-3460 و دستگاه سختی سنج WOLPERT- Tester Label.

تجهیزات آزمایشگاه مواد اولیه عبارتند از دستگاه میکروسکوپ متالوگرافی leitz metallux، تجهیزات تست روتور RQA/125/SATS 2, RQA/300/ITS، دستگاه سنجش ولتاژ فروپاشی Automatic Dielectric Tester-20 kv، دستگاه‌های اندازه‌گیری قطر سیم لاکی 487/101 , 487/102، دستگاه سنجش ازدیاد طول نسبی Elongation، تجهیزات ویژه برای بررسی مشخصات مکانیکی- حرارتی عایق سیم‌های لاکی و ترازوی حساس Sartorius 2842.

تجهیزات آزمایشگاه نویز و ارتعاش عبارتند از ارتعاش سنج ۲۵۱۱، سیستم اندازه‌گیری شدت ارتعاش ماشین‌های الکتریکی چرخان و ترازسنج صوتی ۲۲۳۰.

تجهیزات آزمایشگاه کالیبراسیون ابزارهای الکتریکی عبارتند از کالیبراتور توان ۹۸۴۶ و کالیبراتور دما و کمیت‌های الکتریکی TRX2.

- شرکت آرین صنعت

شرکت آرین صنعت سهامی خاص در سال ۱۳۶۲ در ایران تأسیس و در شهر تهران به ثبت رسیده است. اولین پروژه‌ی این شرکت، ساخت کارخانه‌ی تولید ماشین‌های الکتریکی در شهر صنعتی ساوه می‌باشد.

پروژه کارخانه ماشین‌های الکتریکی با همکاری فنی شرکت ACEC بلژیک که در ساخت ماشین‌های الکتریکی در کشورهای صنعتی اروپا معروف بوده و محصولات آن در رنج وسیعی در سراسر دنیا مصرف می‌شود، شروع شده است. پروژه با قرارداد انتقال تکنولوژی موتورهای القایی در گستره توان ۹۰ وات تا ۷/۵ کیلووات در سال ۱۳۶۴ آغاز گردیده است. مطالعات اجرایی و ساخت کارخانه و نصبو تأسیسات و خرید ماشین‌آلات و نصب آن‌ها تا سال ۱۳۷۵ بطول انجامید و در سال ۱۳۷۶ به تولید انبوه رسیده است. تکنولوژی ساخت الکتروموتور در این شرکت توسط یک تیم مجرب شامل کارشناسان ACEC بلژیک، کارشناسان مؤسسه DR.ERNEST BRAUN، شرکت Statomat و شرکت Roos & Kubler از آلمان –تحقق یافته است [۶۱]

شرکت آرین صنعت در مورد ماشین های الکتریکی گواهی استانداردهای متعددی کسب کرده است که از جمله آن ایزو ۹۰۰۱ و ایزو ۹۰۰۲ و با داشتن مدارک فنی مجاز به استفاده از علامت "سی ای " در محصولات خود می باشد و در قسمت خودرویی دارای استاندارد "کیو اس" و "ایزو تی اس ۱۶۹۴۹" می‌باشد که با خط مشی ذیل از سال ۱۳۷۶ به تولید انبوه مشغول می باشد [۶۱].

- شرکت رشد صنعت نیرو

شرکت رشد صنعت نیرو، یک شرکت سهامی خاص است که با پشتوانه دو دهه تجربه در زمینه ماشین‌های الکتریکی خدمات ارزنده‌ای در زمینه طراحی، ساخت، تعمیر و بهینه‌سازی انواع الکتروموتورها و ژنراتورها به صنایع مختلف از جمله صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، صنایع معادن و فلزات، صنایع سیمان، صنایع حمل و نقل ریلی و صنایع نیروگاهی ارائه نموده است [۶۲].

شرکت رشد صنعت نیرو از سال ۱۳۶۹ تا سال ۱۳۸۴ بعنوان دپارتمان ماشین‌های الکتریکی شرکت رشد صنعت در حال فعالیت بوده است و با توجه به رشد صنعتی کشور و نیاز صنایع مختلف به ساخت و بازسازی تخصصی ماشین‌های الکتریکی و افزایش حجم سفارشات، جهت پاسخگویی به این نیاز و ارتقای سطح کیفی و کاهش هرچه بیشتر زمان انجام کار این دپارتمان از شرکت رشد صنعت تفکیک شده و از سال ۱۳۸۴ به عنوان یک شرکت کاملاً مستقل در حال فعالیت می‌باشد [۶۲].

این شرکت تاکنون موفق به اخذ گواهینامه‌های HSE-MS و ISO 9001:2008 شده است.

تست‌های انجام‌شده در این شرکت عبارتند از: تعیین ویژگی‌های بار، تست افزایش دما، محاسبه گشتاور شکست، اندازه‌گیری سطح نویز، مقاوت ایزولاسیون، تست ولتاژ بالا (های پات)، تست دور به دور (ضربه)، فاکتور تلفات دی الکتریک، مقاومت خاموش شدن، تست لرزش، دمای بیرینگ، تست اولتراسونیک، تست اجزای مغناطیس، تست ورود مایع، بازرسی جوش.

شکل ۲۵۸-۲: نمونه توربین تولیدشده در شرکت رشد صنعت نیرو [۶۲]

شکل ۲۵۹-۲: نمایی از داخل کارخانه رشد صنعت نیرو [۶۲]

- شرکت نام‌آوران صنایع آروین

شرکت نام آوران صنایع آروین (با مسئولیت محدود) از سال ۱۳۸۷ فعالیت خود را آغاز نمود. این شرکت یکی از پیشگامان صنعت تولید انواع الکتروموتور هود آشپزخانه در ایران می‌باشد که هم اکنون با تنوع بیش از ۱۰ مدل الکتروموتور پیشتاز در این صنعت بوده و تمامی محصولات خود را تحت نظارت کارشناسان متخصص و مجرب طراحی و تولید می‌کند. همچنین این شرکت کلیه محصولات خود را به‌مدت ۳۰ ماه گارانتی کرده و دارای گواهینامه‌های استاندارد ملی ایران، ایزو ۹۰۰۱:۲۰۰۸ و استاندارد اروپا می‌باشد [۶۳].

توانمندی‌های این شرکت در زمینه‌ی انتقال و توسعه دانش و فناوری؛ در سه حوزه تحقیق و توسعه، ماشین آلات تولیدی و لوازم و تجهیزات آزمایشگاهی اعلام می‌گردد.

این شرکت در واحد تحقیق و توسعه دارای ۵ نیرو با مدرک برق و مکانیک با درجه کارشناسی ارشد و کارشناسی است که در طراحی و ساخت و بهینه‌سازی الکتروموتورها؛ فرآیندهای تولیدی داخل کارخانه؛ قالب‌ها و ... مشغول هستند [۶۳].

در حوزه ماشین آلات تولیدی، این کارخانه از ادوات با توان تولیدی مناسب بهره می‌برد. این ادوات و ماشین آلات شامل پرس High Speed؛ دستگاه‌های تزریق پلاستیک، ریخته‌گری، دستگاه‌های سیم‌پیچی رباتیک و خط تولید الکتروموتور با توان ۲۰۰ وات و ... است.

تجهیزات و لوازم آزمایشگاهی این شرکت شامل دستگاه‌های پیشرفته تست الکتروموتور مطابق با معیارهای روز دنیا (مستقر در خط تولید)؛ دستگاه‌های صافی سنج؛ سنجش صدا؛ اتو ترانس؛ مولتی‌متر؛ Hi-v؛ دینامومتر ساخت داخلی کارخانه؛ دستگاه سنجش بالانس پروانه تا حداکثر قطر ۱۵۰ میلی‌متر و عرض پره ۸۰ میلی‌متر و... است [۶۳].

- شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس ژنراتور)

شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس) در سال ۱۳۷۷ در راستای سیاست‌های ارتقای دانش فنی و توانایی صنعتی کشور، با هدف انتقال تکنولوژی ساخت و تولید انواع ژنراتورهای نیروگاه‌های حرارتی (تا ظرفیت ۱۶۰ مگاوات)، آبی (تا ظرفیت ۲۵۰ مگاوات) و باس داکت‌های نیروگاهی، شروع به فعالیت نمود [۶۴].

در خصوص ساخت داخل الکتروموتور پربازده و با روش انتقال دانش فنی، مذاکراتی با شرکت‌های معتبر اروپایی متعدد انجام و در نهایت تفاهم‌نامه همکاری و قرار داد در خصوص انتقال دانش فنی، ساخت و آموزش‌های مورد نیاز برای ساخت انواع الکتروموتورهای هواخنک، آب خنک دور ثابت و دور متغیر و با ظرفیت‌های توانی از ۷۰۰ کیلووات تا ۱۸ مگاوات و بر اساس استانداردهای IEC و IEEE به امضا رسیده است. بر اساس این قرارداد، دانش فنی طی چند مرحله به شرکت پارس منتقل قابلیت انتقال دارد [۶۴].

- شرکت آزمایشگاه‌های صنایع انرژی (اپیل)

شرکت آزمایشگاه‌های صنایع انرژی (اپیل) با مشارکت دانشگاه‌های تهران، امیرکبیر، علم و صنعت، شهید عباسپور و بیش از ۸۰ شرکت فعال صنایع برق، نفت، گاز، و مخابرات با هدف ایجاد یک مرکز معتبر و بین‌المللی آزمایشگاهی در کشور ایجاد شده است. این شرکت دارای گواهینامه‌ی ISO IEC ۱۷۰۵ با اسکوپ کاری وسیع بوده ومورد تأیید توانیر، شرکت نفت، شرکت ملی گاز، سازمان تنظیم مقررات رادیویی، سازمان ملی استاندارد و معاونت فناوری ریاست جمهوری می‌باشد. لازم بذکر است این آزمایشگاه مرجع علاوه بر تأییدیه های داخلی، گواهینامه‌های بین‌المللی در زمینه‌ی انجام آزمون و ممیزی بر اساس دایرکتیوهای اروپایی CE و ATEX را نیز دریافت نموده است [۶۵].

سرفصل‌های خدمات و امکانات شرکت اپیل عبارتند از:

- انجام آزمون در مجموعه آزمایشگاهی اپیل و آزمایشگاه‌های همکار
- انجام آزمون در محل مشتری (On-site)
- انجام آزمون در آزمایشگاه‌های معتبر خارجی و داخلی و صدور گزارش

- ارائه خدمات مشاوره تأسیس و توسعه آزمایشگاه‌های محلی
- ارزیابی کیفی خط تولید و محصول (ارائه نشان EPIL COR)
- ارائه گواهینامه‌های اورجینال CE و ATEX با قابلیت ردیابی بین‌المللی
- ارائه‌ی خدمات برای انجام آزمون‌های تحقیقاتی
- انجام آزمون‌های تحقیقاتی
- برگزاری سمینار، کارگاه و دوره آموزشی در زمینه‌های: استانداردهای بین‌المللی و کاربرد آن‌ها، نحوه انجام آزمون‌های مختلف، نکات فنی و عملی، نحوه کار با تجهیزات تست مختلف

آزمایشگاه‌های اپیل عبارتند از: آزمایشگاه IP، آزمایشگاه کابل و یراق‌آلات، آزمایشگاه روشنایی، آزمایشگاه پست کمپکت و تابلو برق، آزمایشگاه Temperature Rise و تزریق جریان ۱۰ کیلوآمپر سه‌فاز، آزمایشگاه PD و tanδ، آزمایشگاه شینه‌های نیروگاهی و باسداکت، آزمایشگاه EMC، آزمایشگاه کنتور، آزمایشگاه رله و حفاظت، آزمایشگاه ATEX و Explosion Proof، آزمایشگاه ایمنی، آزمایشگاه الکتروموتور و ژنراتور الکتریکی، آزمایشگاه ترانسفورماتور توزیع CT و VT، آزمایشگاه شرایط محیطی شامل گرما، سرما، رطوبت، XENON، UV و ... ، آزمایشگاه فشار قوی، آزمایشگاه لوازم خانگی، آزمایشگاه پزشکی الکترونیکی، آزمایشگاه پنل‌های خورشیدی (در حال تکمیل)، آزمایشگاه کیفیت توان (جریان، ولتاژ، فرکانس، هارمونیک، حالت گذرا و ...) [۶۵].

آزمایشگاه‌هایی که برای اولین بار در کشور و توسط اپیل ایجاد شده‌اند عبارتند از:

- طراحی و تجهیز اولین آزمایشگاه تجهیزات ضد انفجار (ATEX) خاورمیانه
- طراحی و تجهیز اولین آزمایشگاه تجهیزات ذاتاً ایمن[1] با همکاری شرکت ملی گاز
- طراحی و تجهیز اولین آزمایشگاه ترمومکانیک شینه‌های نیروگاهی
- طراحی و تجهیز اولین آزمایشگاه تحمل ولتاژی شینه‌های نیروگاهی
- طراحی اولین آزمایشگاه قدرت و اتصال کوتاه خاورمیانه با همکاری KEMA هلند و تأمین بخش اعظمی از تجهیزات اولیه مورد نیاز
- طراحی و تجهیز اولین آزمایشگاه جامع و مرجع روشنایی ملی کشور با همکاری و حمایت سازمان بهره‌وری انرژی (سابا)– در حال راه‌اندازی
- سوابق مهم انجام آزمون‌های مختلف در EPIL عبارتند از:
- فعالیت به عنوان نماینده رسمی کما[2] هلند در ایران
- همکاری بسیار نزدیک با آزمایشگاه‌های بسیار معتبر جهان از جمله CESI ایتالیا، VDE آلمان، KERI کره جنوبی، KINECTRICS کانادا، ICEMT رومانی ... و ارسال تجهیزات تولیدی داخل کشور جهت انجام آزمون‌هایی که امکان آن‌ها در داخل کشور وجود ندارد
- مشاوره در زمینه طراحی و ساخت آزمایشگاه‌های روتین و تایپ در محل کارخانجات
- ساخت انواع تجهیزات آزمایشگاهی و آموزشی
- خدمات آزمون‌های تحقیقاتی به بسیاری از صنایع، دانشگاه امیرکبیر، جهاد دانشگاهی علم و صنعت و ...

.

[1]- Intrinsically Safe
[2]- KEMA

از دیگر خدمات این آزمایشگاه می‌توان به ارائه گواهینامه CE اورجینال از اتحادیه اروپا با قابلیت ردیابی بین‌المللی اشاره کرد. علامت CE انطباق محصول با قوانین و مشخصات تعریف شده در اتحادیه اروپا را نشان می‌دهد.

قبلاً برای دریافت گواهینامه‌ی CE، تولیدکنندگان ناگزیر بودند مستقیماً از طریق اروپا اقدام نمایند، ولی با توجه به مسائل سیاسی موجود، اینکار غیر ممکن و در صورت امکان، مستلزم صرف زمان و هزینه‌های بسیار زیادی می‌باشد. لذا شرکت اپیل با درک وضعیت موجود و در راستای تسهیل پروسه اخذ نشان CE، اقدام به اخذ تأییدیه آزمایشگاه از NBهای معتبر نمود و طی آن تولیدکنندگان می‌توانند با صرف زمان و هزینه به مراتب کمتر، گواهینامه CE از NB معتبر اروپایی دریافت نمایند. لازم به ذکر است آزمون‌ها و ارزیابی توسط اپیل انجام می‌شود و نهایتاً گواهینامه CE توسط NB معتبر اروپایی صادر می‌گردد [۶۵].

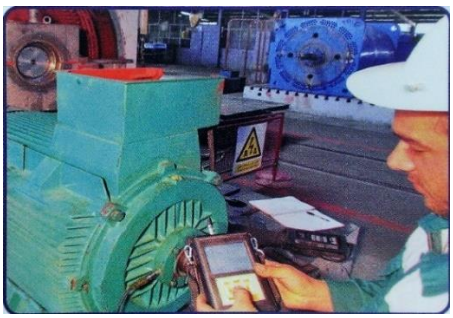
صدور گواهینامه‌ی ATEX نیز از دیگر خدمات آزمایشگاه اپیل می‌باشد. گواهینامه‌ی ATEX برای تجهیزاتی که در محیط‌های قابل انفجار نصب می‌شوند، مورد نیاز می‌باشد. بر اساس قوانین و مقررات اتحادیه اروپا، تجهیزات مرتبط با محیط‌های ضد انفجار، باید الزامات و تأییدیه مستقیم ATEX را دارا باشند. البته علاوه بر اتحادیه اروپا، در سایر کشورها مانند آمریکای شمالی و ... نیز این نشان شناخته شده است [۶۵].

- شرکت توربوژنراتور شاهرود

شرکت توربوژنراتور شاهرود از سال ۱۳۶۹ فعالیت خود را در زمینه طراحی، ساخت و بازسازی ماشین‌های الکتریکی آغاز کرد. طراحی و ساخت موتورهای MV و HV، ژنراتورهای نیروگاهی، موتورهای DC، ترانسفورماتور و مغناطیس دائم، خدماتی است که به صنایع مختلف از جمله: پتروشیمی، نفت و گاز، مس، چوب و کاغذ، نظامی، حمل و نقل ریلی، سیمان، فولاد، حمل و نقل دریایی، صنایع لاستیک، آب و فاضلاب و قند و شکر ارائه می‌نماید [۶۷].

شرکت توربوژنراتور شاهرود دارای گواهینامه‌ی طرح ساخت الکتروموتورهای سه‌فاز با روتور سیم‌پیچی شده و مقاومت راه‌انداز مورد مصرف در کارخانجات قند از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران است.

آزمایشگاه تست این شرکت مجهز به امکاناتی نظیر؛ دستگاه آنالیز ارتعاشات و پایش وضعیت دستگاه‌ها در حین کار (شکل ۲۶۰-۲)، عیب یابی و تحلیل عیوب مشاهده شده در انواع ماشین‌های دوار، Surge Tester (شکل ۲۶۱-۲) جهت تست اتصال حلقه و تست قطعی روتوربار در روتورهای قفس سنجابی است [۶۷].



شکل ۲۶۰-۲: دستگاه آنالیز ارتعاشات و پایش وضعیت دستگاه‌ها در حین کار [۶۷]

شکل ۲۶۱-۲: **Surge Tester** [۶۷]

آزمایش‌های انجام شده در این شرکت عبارتند از:

- راه اندازی بی‌باری الکتروموتورهای سه فاز فشار قوی تا قدرت ۱۰ مگاوات و سطح ولتاژ ۱۱ کیلوولت و آنالیز ارتعاشات
- راه اندازی بی‌باری الکتروموتورهای سه فاز فشار متوسط تا توان ۳۰۰ کیلووات و سطح ولتاژ ۶ کیلوولت و آنالیز ارتعاشات
- راه اندازی الکتروموتورهای فشار ضعیف تا توان ۵۰۰ کیلووات و آنالیز ارتعاشات
- انجام کلیه تست‌های روتین الکتروموتورهای (LV,MV,HV) AC، DC تا قدرت ۱ مگاوات و آنالیز ارتعاشات
- تست تلفات هسته برای استاتورهای AC تا تون ۴۰۰ مگاولت
- انجام تست‌های فرآیند IPXX با استفاده از اتاق‌های غبار و آب
- تأمین جریان آب تا فشار ۵ بار برای موتورهای شناور
- تأمین جریان آب تا دبی ۷/۵ متر مکعب بر ساعت و فشار ۵ بار برای کوینگ‌های آبی
- تأمین جریان روغن تا دبی ۱۰ لیتر بر دقیقه و فشار ۲۰ بار برای یاتاقان‌های روغنی

شکل ۲۶۲-۲: نمایی از داخل آزمایشگاه تست تور [۶۷]

خدمات کیفی فنی و مهندسی این شرکت نیز شامل موارد زیر است:

- صحه گذاری طراحی الکتریکی در نرم‌افزار تخصصی شرکت توربوژنراتور شاهرود
- شبیه‌سازی مکانیکی پیش از فرآیند ساخت در نرم‌افزارهای Solid، Ansys
- شبیه‌سازی الکتریکی الکتروموتور پیش از فرآیند ساخت در نرم‌افزار تجاری المان محدود Jmag Designer
- اصلاح طراحی بر اساس نتایج شبیه سازی به منظور افزایش راندمان

- شرکت ماه نیرو

شرکت صنعتی ماه نیرو در سال ۱۳۶۳ خورشیدی، با تولید ژنراتورهای برق مقیاس کوچک آغاز به کار کرد. در سال ۱۳۷۰ با انتقال تکنولوژی و دانش فنی از شرکت آلمانی AVK که از مورد اطمینان ترین نام‌های صنعتی جهان است، تولید ژنراتورهای سه فاز سنکرون از قدرت ۳۰ الی ۲۵۰ کیلووات آغاز شد. در سال‌های بعد با توسعه کارخانه، تنوع تولیدات تا قدرت ۲۰۰۰ کیلوولت آمپر افزایش یافت.

در کنار تولید ژنراتور، این شرکت تولید کننده هزاران واحد دیزل ژنراتور و پانل‌های حفاظت و کنترل است که در سراسر ایران به کار گرفته شده‌اند [۶۸].

با همکاری‌های گسترده‌ی بین شرکت صنعتی ماه نیرو و شرکت صنعتی ماهیار گروهی تشکیل شده است که با اتکا به تجربه و امکانات گسترده تولید، دانش فنی، نیروی انسانی متخصص و کارآزموده و امکانات اعتباری و بازرگانی، اکنون یکی از بزرگترین تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان مولدهای برق در ایران است که با خدمات پس از فروش و پشتیبانی فنی مشتریان، حمایت از سرمایه‌گذاری آنان را تضمین می‌کند [۶۸].

شرکت ماه نیرو تاکنون موفق به اخذ گواهینامه‌های ISO 9001:2008، ISO 14001:2004، IMS، OHSAS 18001:2007، گواهینامه‌ی CE از DRS و گواهینامه‌ی AVK شده است.

- شرکت نوید موتور

شرکت صنایع نوید موتور در سال ۱۳۷۵ تأسیس شد. مأموریت این شرکت که سایت کارخانه آن در ۳۵ کیلومتری شهر تبریز در شهرک صنعتی سلیمی واقع است، ساخت و تولید الکتروموتورهای صنعتی و خانگی و مخصوص طبق سفارش مشتری تعریف شده است.

شرکت نوید موتور تاکنون موفق به اخذ گواهینامه عضویت در انجمن صنعت تاسیسات ایران و گواهینامه TUV شده است [۶۹].

تست‌های انجام‌شده در این آزمایشگاه عبارتند از:

- تست بی باری الکتروموتورهای تولیدی شرکت نوید موتور
- تست با بار نامی الکتروموتورهای تولیدی شرکت نوید موتور
- تست روتور قفل شده الکتروموتورهای تولیدی شرکت نوید موتور
- اندازه‌گیری دمای سیم‌پیچی
- اندازه‌گیری گشتاور نامی و گشتاور شکست
- اندازه‌گیری جریان، توان ورودی، توان خروجی، راندمان
- اندازه‌گیری ضریب توان
- اندازه‌گیری سرعت چرخش و لغزش
- اندازه‌گیری ظرفیت خازن

امکانات و تجهیزات اصلی و خاص آزمایشگاهی این آزمایشگاه عبارتند از: دینامومترهای ۱۲۰، ۷۵۰ و ۲۲۰۰ وات، دماسنج تماسی و غیر تماسی، رطوبت سنج، آمپرمتر، ولت متر، اهم متر، فاراد متر، ویبرومتر، دستگاه‌های ویژه اندازه‌گیری و تست نویز [۶۹].

با توجه تمام مطالب مذکور، به عنوان جمع‌بندی شرکت‌های داخلی معرفی‌شده فعال در حوزه ساخت، تعمیرات و انجام آزمایش‌های مربوط به الکتروموتورها بر اساس میزان توانایی، تجهیزات در اختیار، سوابق کاری و تکنولوژی ساخت در جدول ۸۱-۲ دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۸۱-۲ : دسته‌بندی شرکت‌های داخلی فعال در حوزه الکتروموتور بر اساس میزان توانایی، تجهیزات در اختیار، سوابق کاری و تکنولوژی ساخت

ردیف	شرکت	ساخت			تعمیرات			انجام آزمایش‌ها		
		خوب	متوسط	ضعیف	خوب	متوسط	ضعیف	خوب	متوسط	ضعیف
۱	شرکت الکتروژن	*			*			*		
۲	شرکت جمکو	*			*			*		
۳	شرکت موتوژن	*			*			*		
٤	شرکت آرین صنعت		*			*			*	
٥	شرکت رشد صنعت نیرو		*			*			*	
٦	شرکت نام‌آوران صنایع آروین			*			*			*
۷	شرکت مهندسی و ساخت ژنراتور مپنا (پارس)	*			*			*		
۸	شرکت آزمایشگاه‌های صنایع انرژی (اپیل)	عدم فعالیت در این حوزه			عدم فعالیت در این حوزه			*		
۱۱	شرکت توربوژنراتور شاهرود	*			*			*		
۱۲	شرکت ماه نیرو		*			*				*
۱۳	شرکت نوید موتور			*			*			*

۱۵-۲-۲-۲- توانمندی‌های دانشگاهی و پژوهشی

- دانشگاه اصفهان

در این دانشگاه، دکتر آرش کیومرثی، عضو هیئت علمی گروه مهندسی برق دانشگاه اصفهان و تیم دانشجویی مربوطه حدود بیست سال بر روی طراحی، بهینه سازی و ساخت ماشین‌های الکتریکی متمرکز بوده است. ایشان در دوره دکتری در دانشگاه صنعتی اصفهان موفق به طراحی و بهینه‌سازی یک موتور سنکرون مغناطیس دائم از نوع داخلی شده است و پس از آن در کشور آلمان، دانشگاه صنعتی برلین، موفق به ساخت و آزمایش موتور درایو شده است.

- دانشگاه تهران

در دانشگاه تهران نیز اساتید متخصص در حوزه ماشین‌های الکتریکی مانند دکتر صادق واعظزاده و دکتر جواد فیض، پژوهش‌هایی در این حوزه انجام‌داده‌اند. فعالیت‌های دکتر واعظزاده در این حوزه بصورت زیر دسته‌بندی می‌گردد:

۱- مدل‌سازی، طراحی، بهینه‌سازی، نمونه‌سازی و توسعه تکنولوژی موتورهای سنکرون خودراه‌انداز

۲- بهنه‌سازی طراحی موتورهای سنکرون آهنربای دائم و سیستم کنترل آنها
۳- درایو و سیستم کنترل موتورهای القایی تکفاز با بازده زیاد
۴- کنترل حداکثر بازده موتورهای القایی و سنکرون
موارد یادشده در قالب نمونه‌های ساخته‌شده و عملیاتی، اختراع ثبت‌شده بین‌المللی و غیره می‌باشد.

- جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی

جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی، یکی از واحدهای فعال در زمینه‌ی توسعه‌ی الکتروموتورهای پربازده است. مدیرعامل این واحد آقای مهندس محمد خدادی می‌باشد. پرسنل این واحد متشکل از ۹ نفر دکترای تخصصی، ۲۴ نفر کارشناسی ارشد، ۶۴ نفر کارشناسی، ۷۸ نفر تکنسین فنی هستند.

فعالیت‌های پژوهشی و فناورانه و پروژه‌های این واحد عبارتند از:

- طراحی و ساخت درایو الکتروموتور آهنربای دائم (BLDC) معکوس گرد با توان ۸ و ۷۲ کیلووات
- طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی معکوس گرد DC با توان‌ها ۳۸، ۶۰ و ۷۰ کیلووات
- طراحی و ساخت موتور آهنربای دائم (BLDC) با سرعت بالا و با آهنربای داخلی V-type
- طراحی و ساخت دینامومتر فوکو با توان‌های ۷۲ و ۴۵ کیلووات
- طراحی و ساخت اینورتر سه فاز چهار سیمه ۵ کیلووات ۴۰۰ هرتز
- طراحی و ساخت سیستم کنترل جریان روتور ژنراتور القایی در VRCC سیستم توربین بادی ۶۶۰ کیلووات
- کنترل سیستم شبیه‌ساز سامانه هوایی و برنامه‌نویسی تخصصی میکروکنترلر ARM (CortexM4)
- طراحی و ساخت کامل ژنراتورهای ۱۰، ۱۸ و ۲۰ کیلوولت آمپر
- طراحی و ساخت کوره های القایی و تأسیس مرکز ساخت آن
- طراحی و ساخت کویل‌های ولتاژ بالا تا ۱۱ کیلوولت

از دیگر امکانات این واحد، مجهز بودن به آزمایشگاه تست و کنترل کیفی ماشین‌های الکتریکی AC و DC است.

امکانات و تجهیزات اصلی و خاص این واحد عبارتند از:

- تجهیزات کامل برای طراحی و تست ماشین‌های الکتریکی و ادوات الکترونیک قدرت موجود است، برخی تجهیزات کارگاهی در زیر ذکر می‌شود
- پرس گرم کویل برای سیستم عایق کاری رزین ریچ
- سیستم لاک کاری تحت خلأ
- پرس هیدرولیک مخصوص مونتاژ و دمونتاژ شفت
- سیستم تست بار ترمز فوکو برای موتورهای معکوس گرد
- دستگاه فرم‌دهنده تمام کویل و نیم کویل با ابعاد مناسب

۳-۲-۲- سیستم‌های درایو

۱-۳-۲-۲- تکنولوژی سیستم‌های درایو نیروگاه‌های حرارتی

در این بخش به تکنولوژی‌های مربوط به سیستم‌های درایو مورد کاربرد در نیروگاه‌های حرارتی پرداخته خواهد شد. در این راستا به انواع فناوری‌های مبدل‌های منبع جریان و منبع ولتاژ مورد استفاده و مزایا و معایب هر کدام و همچنین الگوریتم‌های کنترلی مورد استفاده خواهیم پرداخت. همچنین منحنی بلوغ هر فناوری ارائه گردیده و درخت فناوری این تکنولوژی رسم می‌گردد.

در سالهای اخیر کاربرد نیروگاه های حرارتی در صنعت برق افزایش چشمگیری داشته است. این نیروگاهها از نیروگاههای کاربردی در شبکه قدرت ایران میباشند. نیروگاههای ری ، سنندج و جنوب اصفهان از جمله این نیروگاهها در کشور میباشند. رشد روز افزون این نیروگاهها در صنعت برق و شبکه قدرت ایران سبب نیاز بیشتر به سیستمهای درایو کنترل سرعت در این نیروگاهها گردیده است. از آنجا که سیستمهای درایو مورد استفاده در نیروگاه های حرارتی دارای توپولوژی و ساختارهای متنوع هستند، لذا در ادامه این ساختارها را مورد بررسی قرار می دهیم.

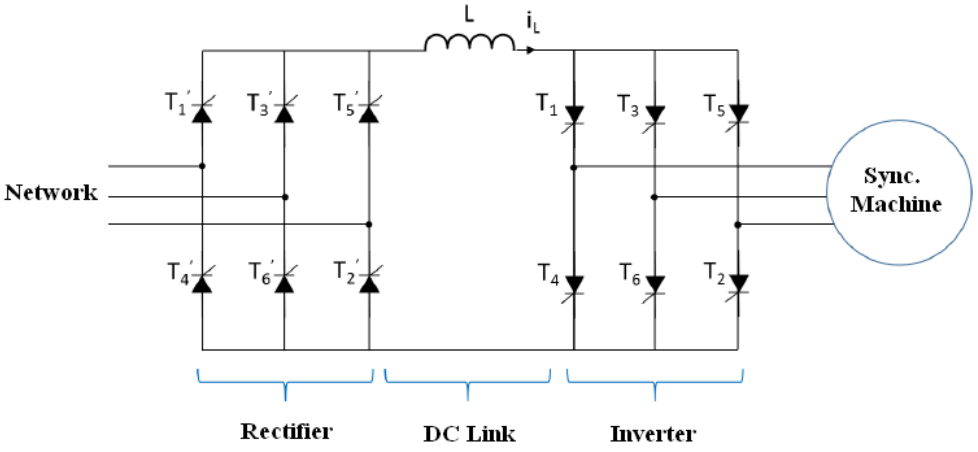
- اینورترهای منبع جریان (CSI) مورد استفاده در سیستمهای درایو نیروگاه حرارتی

سیستمهای درایو متداول از یک سو به موتور الکتریکی و از سوی دیگر به یک شبکه AC متصل می شوند. این دو سیستم (AC شبکه و ماشین) از نظر فرکانس و اندازه ولتاژ تا حد زیادی مستقل از هم میباشند و ارتباط میان این دو با یک لینک DC انجام می‌گیرد. بسته به استفاده لینک DC از عناصر ذخیره کننده انرژی القایی یا خازنی و همچنین نوع سوییچها به ترتیب سیستم کلی منبع جریانی یا منبع ولتاژی نامیده می‌شود. در این بخش انواع سیستمهای درایو از نوع منبع جریان مورد بررسی قرار می‌گیرند.

- ساختار کلی سیستمهای درایو با اینورتر منبع جریان

درسیستمهای درایو در بسیاری از موارد از ساختار اینورتر منبع جریان برای درایو ماشینهای سنکرون استفاده می‌گردد [1]. یک نمونه از این ساختار در شکل زیر نشان داده شده است. این اینورتر دارای دو پل تریستوری مشابه هم می باشد. تریستورهای T1 تا T6 که در سمت راست شکل نشان داده شده‌اند مبدل سمت ماشین را تشکیل می دهند. تریستورهای T'1تا T'6 که در سمت چپ شکل نشان داده شده‌اند مبدل سمت شبکه را تشکیل می دهند. در عملکرد موتوری ماشین که جهت شارش توان از شبکه به سمت ماشین می باشد، پل سمت راست در حالت اینورتری و پل سمت چپ در حالت یکسوسازی وظیفه خود را انجام می دهند. صدالبته این ساختار قابلیت کار در حالت بازگشت انرژی از ماشین به شبکه را نیز دارا می باشد. این ساختار به عنوان اینورتر منبع جریان نیز شناخته می شود. این نامگذاری به این دلیل است که اینورتر مبدل از یک منبع جریان(اندوکتانس لینک) DC تغذیه می شود.

در این ساختار مبدل سمت شبکه، جریان متناوب سه فاز ورودی را به جریان DC تبدیل می کند. کنترل جریان لینک DCاز طریق فرمان پالس گیت تریستورهای مبدل شبکه یا یکسوساز صورت می‌گیرد. وظیفه مبدل سمت ماشین تبدیل ورودی جریان مستقیم به جریان متناوب می باشد. فرکانس خروجی جریان متناوب در بازه صفر تا مقدار نامی اینورتر تغییر می کند. این مقدار برای راه انداز نیروگاه در حدود ۷۰ درصد فرکانس شبکه می باشد.[2]



شکل ۲۶۳-۲ : ساختار کلی و اتصالات اینورتر منبع جریان به عنوان درایو ماشین سنکرون

- حالت‌های کارکرد

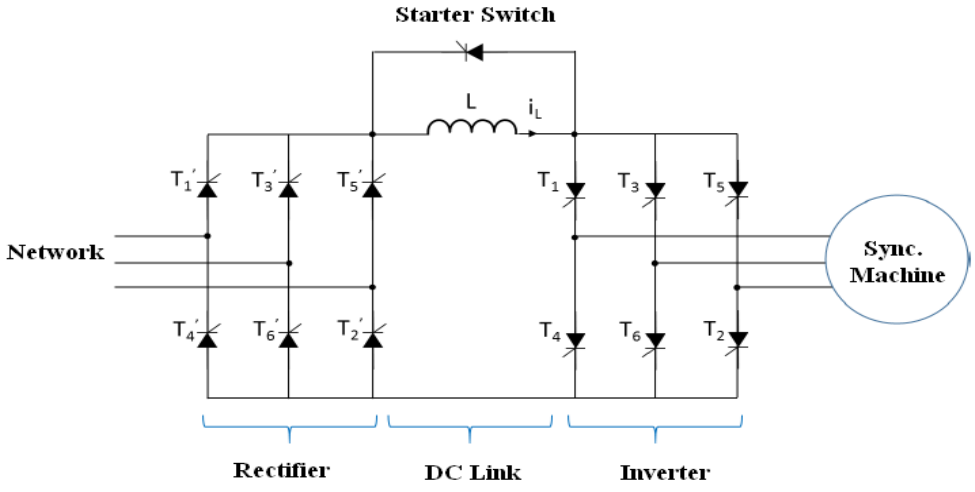
اینورتر منبع جریان در صورت استفاده از کلیدهای تریستوری برای کموتاسیون وابسته به بار می‌باشند؛ به این معنی که ولتاژ معکوس مورد نیاز برای انجام کموتاسیون بایستی از طریق بار اعمال شود. این مبدلها اینورتر کموتاسیون بار (LCI) نیز نامیده می شوند. نیروی ضد محرکه الکتریکی ماشین به دو عامل تحریک ماشین سنکرون و سرعت گردش ماشین بستگی دارد. در حالت راه اندازی دو حالت کاری متفاوت از نظر کموتاسیون وجود دارد. در سرعتهای پایین نیروی ضد محرکه الکتریکی القا شده در ماشین سنکرون مقدار کمی دارد. مقدار ولتاژ ماشین در سرعتهای پایین برای کموتاسیون بار کافی نمی باشد. بنابراین در سرعتهای پایین بایستی استراتژی کموتاسیون از حالت کموتاسیون بار به کموتاسیون اجباری یا کموتاسیون منبع تغییر کند. با افزایش سرعت به دلیل بالا بودن ولتاژ القا شده در استاتور ماشین، کموتاسیون از حالت اجباری به حالت کموتاسیون بار تغییر می کند.[4-3]

نقاط ضعف سیستم عبارتند از وابستگی به بار جهت انجام صحیح عملکرد و وابستگی به حداقلی از سرعت ماشین جهت انجام صحیح کموتاسیون.

- کارکرد در سرعتهای پایین و در حالت کموتاسیون اجباری

نیروی ضد محرکه القا شده در ماشین در تحریک ثابت با سرعت ماشین رابطه خطی مستقیم دارد. در سرعتهای پایین ولتاژ داخلی (نیروی ضد محرکه ماشین پایینتر از مقداری است که توانایی خاموش کردن تریستورها را داشته باشد. این حالت از عملکرد، بازه ای از سرعت صفر تا حدود ۵ تا ۱۰ درصد سرعت نامی را شامل می شود. در این بازه بایستی روشی غیر از کموتاسیون بار برای کارکرد صحیح مدار و کموتاسیون تریستورها در نظر گرفته شود. در این بخش چند نمونه از روشهای مورد استفاده در این محدوده از سرعت برای کموتاسیون موفق تریستورها ارائه شده است.[12-2]

یکی از روش‌هایی که برای این محدوده از کار سیستم پیشنهاد شده است روش کموتاسیون منبع می باشد[3-2]. در این روش خاموش کردن تریستورها از طریق قرار دادن مقدار مرجع جریان لینک DC در مقدار صفر برای هر کموتاسیون در مبدل سمت شبکه انجام می‌پذیرد. در این حالت ولتاژ معکوس مورد نیاز برای خاموش کردن تریستورهای سمت شبکه با اعمال ولتاژ از سمت شبکه تأمین می شود. همچنین با صفر کردن مقدار مرجع جریان لینک DC در کنترل کننده و کاهش جریان لینک DC به مقدار صفر، تریستورهای سمت بار نیز میتوانند خاموش شوند. برای سرعت بخشیدن به فرآیند کاهش جریان اندوکتانس لینک DC میتوان یک سوییچ تریستوری را به موازات آن قرار داد. این سوییچ با عنوان سوییچ راه اندازی در شکل زیر نشان داده شده است.



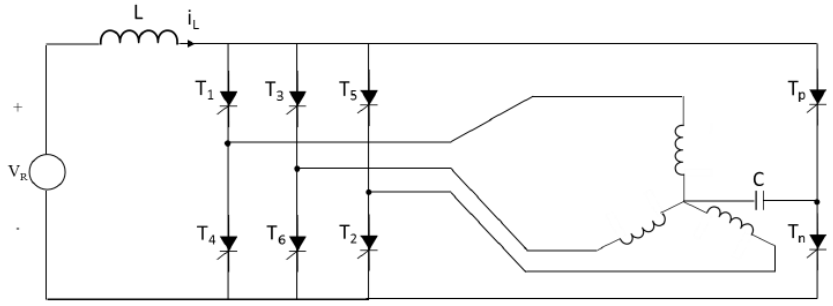
شکل ۲۶۴-۲ : اینورتر منبع جریان دارای سوییچ راه اندازی برای تسریع در کاهش جریان لینک **DC** به صفر

در این روش کموتاسیون اجباری بایستی جریان لینک DC در هر دوره تناوب ولتاژ و جریان سمت ماشین شش مرتبه تا مقدار صفر کاهش یابد. به دلیل مقدار بالای اندوکتانس لینک DC کاهش جریان لینک تا مقدار صفر به زمانی در حدود چند سیکل سمت منبع نیازمند است. بنابراین از این روش تنها در سرعتهای پایین که تعداد دوره های تناوب ولتاژ و جریان سمت منبع در یک بازه زمانی در مقایسه با تعداد دوره های تناوب سمت ماشین به اندازه کافی بیشتر است، میتوان استفاده نمود.

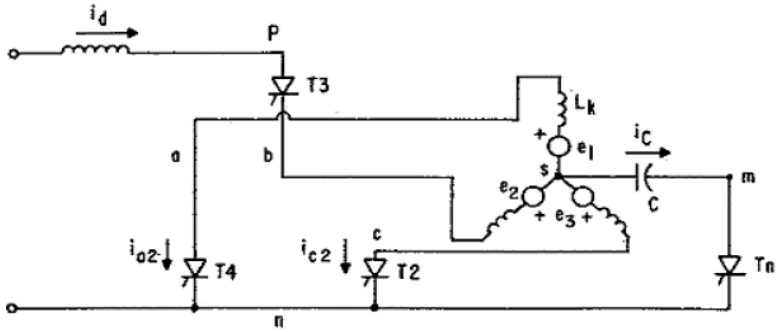
نقاط ضعف این روش عبارتند از اینکه کاهش جریان لینک dc زمانبر می باشد، استفاده از سوئیچ تریستوری هزینه را افزایش داده و قابلیت اطمینان سیستم را می کاهد و عملکرد بهینه آن به سرعت پایین ماشین وابسته است.

روش کموتاسیون اجباری با استفاده از خازن کموتاسیون و تریستورهای کمکی برای حل مشکل روش کموتاسیون منبع در سرعتهای پایین در اینورترهای کموتاسیون بار ارائه شده است[4-3]. در روش پیشنهادی از یک خازن کموتاسیون و دو تریستور کمکی برای استفاده در محدوده سرعتهای پایین استفاده شده است. مدار پیشنهادی در شکل زیر نشان داده شده است.

در این شکل مجموعه پل تریستوری یکسوساز و شبکه قدرت در سمت چپ با منبع ولتاژ V_R مدل شده اند. در سمت راست شکل نیز خازن کموتاسیون C و دو تریستور کموتاسیون Tp و Tn نشان داده شده اند. اتصالات به گونه‌ای است که خازن کموتاسیون از یک سو به نقطه میانی تریستورها و از سوی دیگر به نقطه خنثی ماشین متصل شده است. بنابراین برای استفاده از این ساختار بایستی نقطه خنثی ماشین در دسترس باشد.



شکل ۲۶۵-۲ : مدار پیشنهادی برای حالت کموتاسیون اجباری سوییچهای اینورتر در سرعتهای پایین



شکل ۲۶۶-۲ : مدار معادل در حالت کموتاسیون بین دو تریستور **T2** و **T4**

نقاط ضعف این روش عبارتند از وابستگی به نقطه نوترال سیم پیچیهای استاتور، افزایش دو تریستور و خازن کموتاسیون به توپولوژی سیستم و حجیم شدن سیستم درایو تنها برای استفاده در سرعتهای پایین و افزایش هزینه و ریسک قابلیت اطمینان.

در روش استفاده از کموتاسیون بار در سرعتهای پایین در تمام زمان درایو ماشین حتی در سرعتهای پایین از حالت کموتاسیون بار استفاده می شود[5]. بنابراین از مهمترین مزیتهای این روش میتوان وجود تنها یک حالت کاری را نام برد.

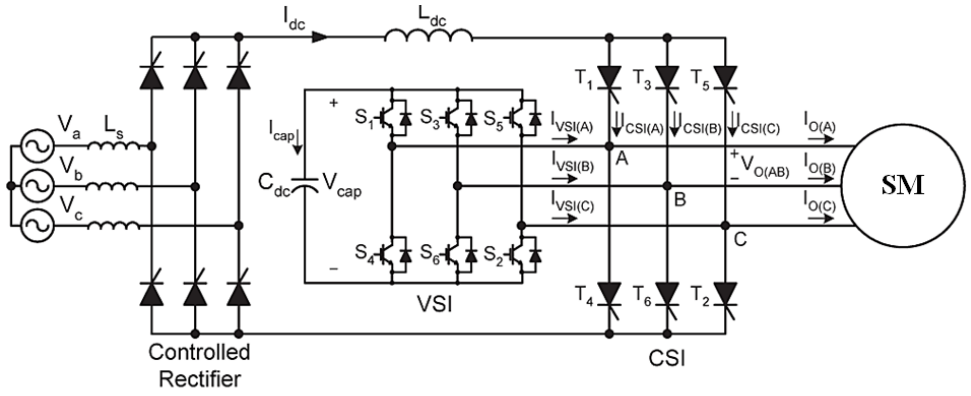
این در حالی است که در اکثر روشها، روشهای کنترل درایو ماشین در دو حالت کار در سرعتهای پایین و سرعتهای بالا متفاوت از یکدیگر است. از آنجا که در سرعتهای پایین کموتاسیون بار امکان پذیر نمی باشد، لازمه استفاده از این روش آن است که سرعت ماشین در ابتدا تا سرعت کمینه ای که برای کموتاسیون بار لازم است، افزایش یابد. بنابراین برای استفاده از این روش بایستی ماشین توانایی افزایش سرعت سریع را داشته باشد. این مورد برای ماشینهای بزرگ، به دلیل لختی بالای سیستم، به سادگی امکان پذیر نمی باشد. سرعت کمینه ای که برای انجام کموتاسیون بار لازم است طبق رابطه زیر به دست می‌آید :

$$\frac{\omega_r}{\omega_b} = \frac{r_s I_{dc}}{\sqrt{\Psi_{rr}^2 + (X_{rr} I_{dc})^2}}$$

در این رابطه ωr و ωb به ترتیب سرعتهای کمینه و سرعت نامی ماشین را مشخص می کنند Idc، rs، Ψ′′ و X′′ نیز به ترتیب جریان لینک DC ، مقاومت یک فاز استاتور، شار پیوندی زیر گذرای ماشین و راکتانس زیر گذرای متوسط دو محور مستقیم و متعامد ماشین را نمایش می دهند. انجام موفقیت آمیز این روش در صورتی امکان پذیر است که طبق این رابطه سرعت ماشین قبل از انجام نخستین کموتاسیون به سرعت کمینه مورد نیاز برای کموتاسیون بار برسد.

نقاط ضعف این روش عبارتند از نیاز به یک سرعت کمینه ماشین جهت انجام کموتاسیون بار، توانایی افزایش سریع سرعت توسط ماشین که در مورد ماشین‌های سنکرون بزرگ بسیار دشوار می باشد و به دلیل شرایط فوق الذکر از این سیستم در نیروگاه های حرارتی توان بالا به ندرت استفاده می گردد.

در روش استفاده از یک اینورتر منبع ولتاژ برای انجام کموتاسیون یک اینورتر منبع جریان با روش جدیدی در کموتاسیون اجباری ارائه شده است[13]. این روش کموتاسیون میتواند در اینورترهای کموتاسیون بار نیز مورد استفاده قرار گیرد. مبدلهای فرکانس متغیر تریستوری می‌توانند از این روش در سرعتهای پایین برای کموتاسیون اجباری استفاده کنند. در شکل زیر مدار معادل این اینورتر منبع جریان آورده شده است.



شکل ۲۶۷-۲ : اینورتر منبع جریان با روش کموتاسیون اجباری ارائه شده

در سمت راست شکل اینورتر منبع جریان قرار دارد که با عبارت CSI مشخص شده است. شش کلید IGBT و خازن نیز در این شکل اینورتر منبع ولتاژ (VSI) را نشان می دهد. در این طرح، اینورتر منبع ولتاژ یک مدار خارجی است که سه وظیفه را انجام می دهد:

۱- خاموش کردن تریستورها

۲- انتقال توان راکتیو به بار

۳- کلمپ کردن ولتاژ دو سر بار و تریستورها در مقدار بیشینه

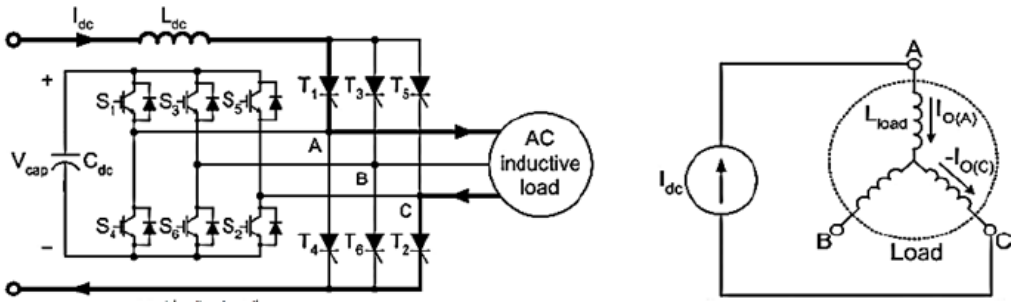
در این طرح اینورتر منبع ولتاژ تنها در موقع کموتاسیون کار خواهد کرد.

مزایای این روش عبارتند از کوچک شدن خازن کموتاسیون، سادگی کنترل و کاهش مقادیر نامی مدار کموتاسیون. همچنین معایب آن عبارتند از استفاده از یک اینورتر منبع ولتاژ تنها برای لحظات کموتاسیون، افزایش حجم و وزن سیستم و افزایش هزینه محصول.

چگونگی عملکرد مدار کموتاسیون در پنج مرحله شرح داده شده است:

الف – حالت اول

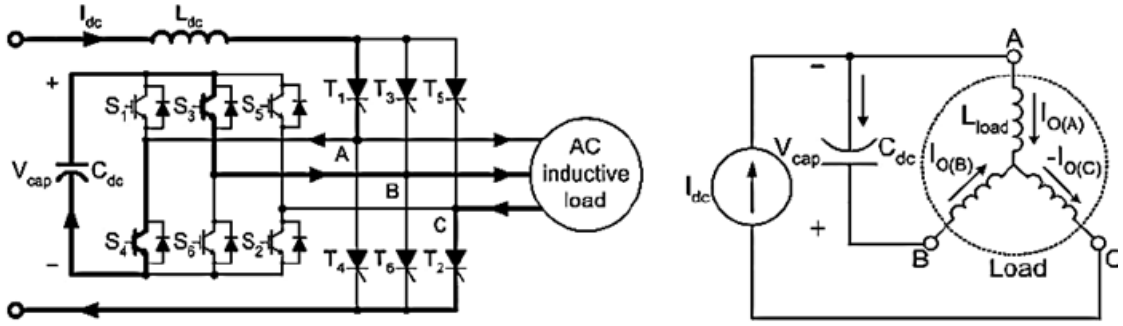
این حالت در شکل زیر نشان داده شده است. در این شکل مسیرهای هدایت به صورت پررنگ مشخص شده اند. در ستون سمت راست نیز مدار معادل مربوطه آورده شده است. در حالت اول تریستورهای T۱ و T۲ در اینورتر منبع جریان، در حالت هدایت میباشند و فازهای A و C بار، در حال تغذیه میباشند.



شکل ۲۶۸-۲ : سیستم در حالت اول

ب – حالت دوم

فرآیند کموتاسیون از فاز A به فاز B در این بازه شروع می شود. در این بازه هدایتی هدف کاهش جریان $I_{O(A)}$ و افزایش جریان $I_{O(B)}$ با عمل کلیدزنی در اینورتر منبع ولتاژ است. این کار با اعمال منفی ولتاژ DC اینورتر منبع جریان به فاز در حال خروج از هدایت A و اعمال ولتاژ مثبت به فاز در حال ورود به هدایت B انجام میگیرد. برای این منظور بایستی کلیدهای $S3$ و $S4$ در اینورتر منبع ولتاژ روشن شوند. در این حالت تمام جریان لینکDC از تریستور $T1$ عبور می کند، که مقداری از آن به فاز A و باقی آن به وسیله اینورتر منبع ولتاژ به فازB بار وارد می شود.

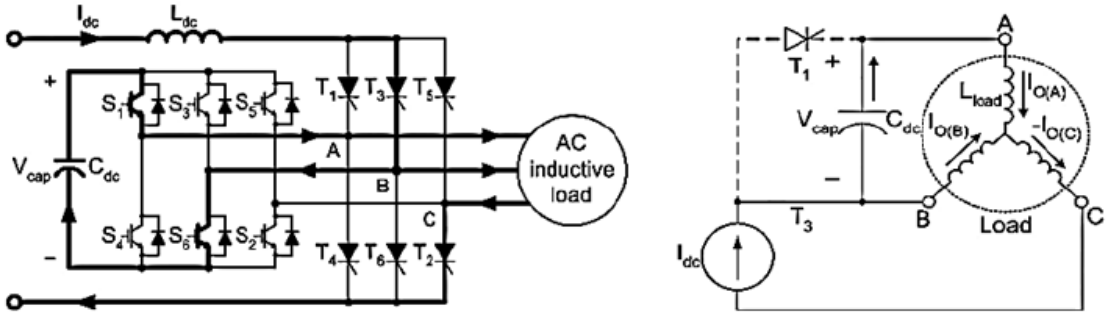


شکل ۲۶۹-۲ : سیستم در حالت دوم

ج – حالت سوم

زمانی که تریستور در حال ورود به هدایت $T3$ در اینورتر منبع جریان مبدل روشن می شود، با روشن کردن کلیدهای $S1$و $S6$ در اینورتر منبع ولتاژ، تریستور در حال خروج از هدایت $T1$تحت تأثیر ولتاژ معکوس خازن قرار گرفته و خاموش

می شود. پس از خاموش شدن تریستور $T1$ تمام جریان لینک dc از تریستور $T3$ خواهد گذشت. در این حالت هدایت بر خلاف حالت دوم، ولتاژ منفی و ولتاژ مثبت خازن لینک dc به ترتیب به فازهای B و A متصل میباشند. این مورد منجر به افزایش جریان $I_{O(A)}$ و کاهش جریان $I_{O(B)}$ خواهد شد. به این دلیل که این تغییرات جریان مغایر با تغییرات مطلوب است، این بازه بایستی مدت زمان کمتری نسبت به حالت دوم طول بکشد. در واقع در حالت سوم فرض بر آن است که بلافاصله پس از اعمال ولتاژ معکوس به تریستور در حال خروج از هدایت، این تریستور خاموش می شود.

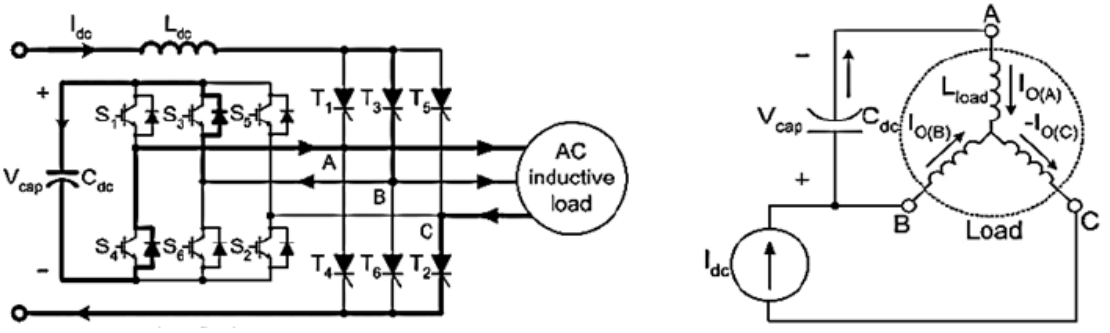


شکل ۲۷۰-۲ : سیستم در حالت سوم

د – حالت چهارم

پس از مدت زمان کوتاه حالت سوم، حالت چهارم با خاموش کردن تمامی کلیدهای IGBT اینورتر منبع ولتاژ شروع می شود. هرچند انرژی موجود در اندوکتانس بار موجب می شود جریان، از دیودهای هرزگرد کلیدهای $S3$ و $S4$ عبور کند که در حالت دوم هدایت بر عهده IGBT های این کلیدها بود. در حالت چهارم بر خلاف حالت قبل جهت اعمال ولتاژ به دو فاز در حالت کموتاسیون مانند حالت دوم در جهت مطلوب می باشد. در این بازه خازن اینورتر منبع ولتاژ شارژ شده و ولتاژ آن افزایش می یابد. جهت جریان در اینورتر منبع ولتاژ در حالت چهارم مخالف این جهت در حالت دوم است.

انرژی شارژ شده در خازن لینک dc در این حالت در حالت بعدی صرف افزایش جریان فاز در حال ورود به کموتاسیون در دوره کموتاسیون بعدی(حالت دوم در دوره کموتاسیون بعدی)خواهد شد. در نتیجه خازن به عنوان ذخیره کننده موقت انرژی در این مدار استفاده می شود. با ثابت نگاه داشتن دو سطح بیشینه وکمینه ولتاژ خازن تعادل در شارژ و دشارژ در مدار حفظ خواهد شد.

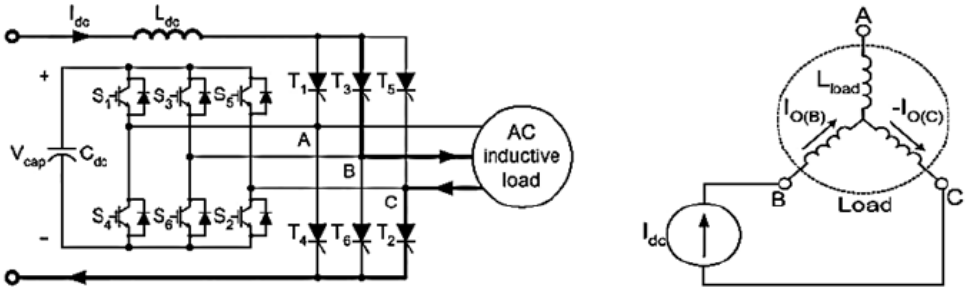


شکل ۲۷۱-۲ : سیستم در حالت چهارم

ه – حالت پنجم

با رسیدن جریان فاز A به صفر حالت هدایت چهارم خاتمه می یابد. پس از آن جریان $I_{O(B)}$ به مقدار جریان لینکDC می‌رسد. از این زمان حالت پنجم آغاز می شود. در این حالت تمام انرژی بار از طریق فاز و تریستور در حال ورود به هدایت

تأمین می شود، هدایت اینورتر منبع ولتاژ متوقف شده است و فرآیند کموتاسیون خاتمه یافته است. این حالت تا دوره کموتاسیون بعدی ادامه خواهد یافت و تمامی جریان بار فقط از طریق اینورتر منبع جریان تأمین می شود.



شکل ۲۷۲-۲ : سیستم در حالت پنجم

- کارکرد در حالت کموتاسیون بار

ساختار اینورتر منبع جریان برای درایو موتور در حالت کار عادی به صورت کموتاسیون بار کار می کند. برای اینکه ولتاژ داخلی ماشین توانایی انجام کموتاسیون در تریستورهای اینورتر را داشته باشد بایستی سرعت موتور بالاتر از حدود ۵ تا ۱۰ درصد سرعت نامی باشد. در حالت کموتاسیون بار جریان لینک DC به دلیل بالا بودن اندوکتانس لینک ثابت می باشد. وظیفه تریستورهای اینورتر توزیع این جریان ثابت در بازه های ۱۲۰ درجه بین دسته تریستورهای بالایی و پایینی می باشد. در حالت ایده‌آل جریان فازها در هنگام کموتاسیون به سرعت تغییر کرده و این جریانها با یکدیگر همپوشانی نخواهند داشت. ولی در واقع چنین نیست و به دلیل وجود اندوکتانس کموتاسیون در هنگام کموتاسیون، جریانها با هم همپوشانی دارند که این مورد بایستی در کنترل مدار مورد ملاحظه قرار گیرد. [12,14]

برای بررسی چگونگی کموتاسیون بار در حالت دائمی فرض میکنیم تریستورهای بالایی دو فاز A وB و به عبارت دیگر T1و T3 در حالت کموتاسیون بوده و جریان از طریق تریستور پایین فاز C یا T2 در حال برگشت است. در ابتدای کموتاسیون و در لحظه صفر تمام جریان لینک DC وارد فاز A شده و از فاز C برمیگردد. در انتهای کموتاسیون نیز تمام جریان لینک وارد فاز B شده و از فاز C برمیگردد. در بین این دو حالت ابتدایی و انتهایی جریان فاز A و B به ترتیب رفته رفته کاهش و افزایش می یابد. در این قسمت با استفاده از شکل زیر معادلات مداری در زمان کموتاسیون استخراج می شوند:

$$i_d = i_a + i_b$$

$$L_c \frac{di_a}{dt} + V_{a1} = L_c \frac{di_b}{dt} + V_{b1}$$

$$i_a(t=0) = i_d\,,\ i_b(t=0) = 0$$

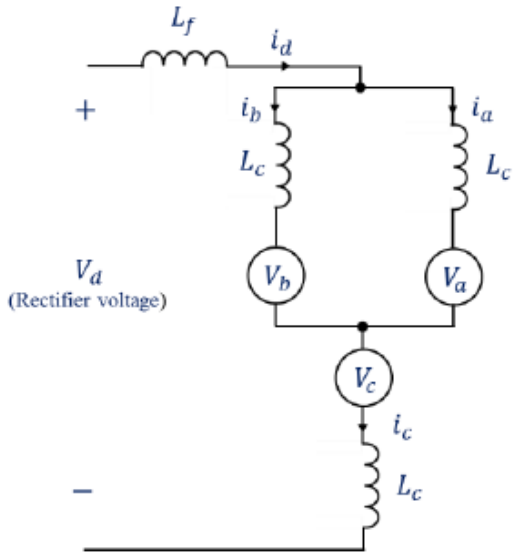
$$i_a(t=t_c) = 0\,,\ i_b(t=t_c) = i_d$$

بنابراین با حذف i_b خواهیم داشت:

$$2L_c \frac{di_a}{dt} = -V_{ab1} = -(V_{a1} - V_{b1})$$

برای کموتاسیون صحیح بایستی تا انتهای زمان کموتاسیون Vab1 مثبت باشد. علاوه بر آن پس از انجام کموتاسیون نیز بایستی گذر از صفر Vab1 برای مدتی تأخیر داشته باشد. این زمان را که با t_{off} نشان می دهیم برای باز ترکیب

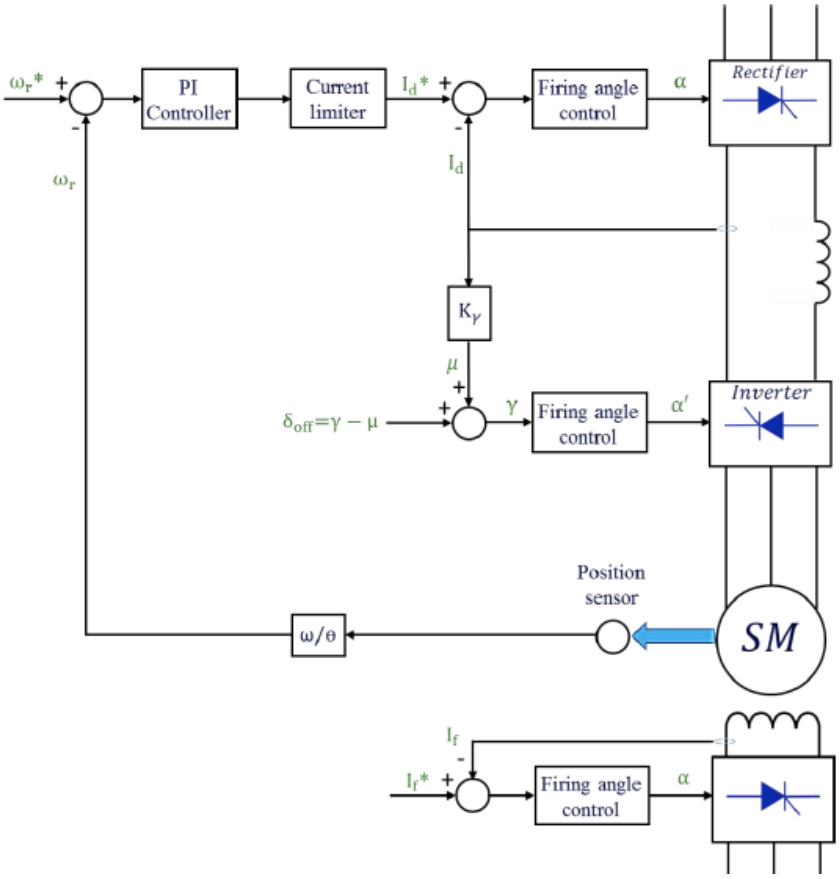
بارهای الکتریکی تریستور در حال خاموش شدن(دراینجا T1) مورد نیاز است و بایستی در دادن پالس به تریستورها لحاظ شود. همچنین زمان کموتاسیون را نیز با t_c نشان میدهیم. بنابراین بایستی زمان گذر از صفر به ولتاژ Vab1 به اندازه t_{off} + t_c نسبت به لحظه آغاز کموتاسیون تأخیر داشته باشد. این موارد از ناایده‌آلی های اینورترهای کموتاسیون بار محسوب می شوند.



شکل ۲۷۳-۲ : مدار معادل در حالت کموتاسیون دو فاز ماشین

- کنترل اینورترهای کموتاسیون بار

در این قسمت با توجه به اصول کموتاسیون که در قسمتهای قبل معرفی شد چگونگی کنترل این اینورترها بررسی می شود. کنترل سیستم از طریق فراهم کردن صحیح فرمان پالس برای دو دسته تریستورهای سمت منبع و بار امکان پذیر است. در روشی که در اینجا ارائه می شود جریان لینک DC از طریق تریستورهای سمت منبع کنترل می شود. این جریان با گشتاور الکترومغناطیسی مورد نیاز متناسب می باشد. تریستورهای سمت ماشین نیز بایستی با توجه به جریان بار در لحظه ای مناسب برای انجام کموتاسیون صحیح پالس دریافت کنند. شکل زیر بلوک دیاگرام کنترل کننده درایو ماشین با یکسوساز کنترل شده و اینورتر منبع جریان در حالت کموتاسیون بار را نمایش می دهد. [14-15]



شکل ۲۷۴-۲ : بلوک دیاگرام کنترلی درایو ماشین سنکرون با استفاده از اینورتر کموتاسیون بار و یکسوساز فعال

در قسمت بالای این شکل کنترل کننده پل تریستوری یکسوساز نشان داده شده است. در این قسمت سرعت مرجع و مقدار واقعی سرعت ماشین با هم مقایسه می شوند و خطای بین این دو مقدار وارد کنترل کننده تناسبی انتگرالی PI می شود و خروجی کنترل کننده به عنوان جریان مرجع لینک DC در نظر گرفته می شود. این مقدار مرجع نیز با مقدار واقعی جریان لینک DC مقایسه می شود و در نهایت مقدار زاویه آتش تریستورها محاسبه می شود. به این ترتیب با تنظیم جریان لینک DC سرعت ماشین میتواند سرعت مرجع را دنبال کند. فرمان پالس تریستورهای پل اینورتری برای کنترل سرعت ماشین استفاده نمی شود. فرمان این تریستورها با توجه به موقعیت ماشین و جریان لینک DC و با محاسبه زاویه تقدم γ نسبت به گذر از صفر ولتاژ خط انجام می شود. در پایین این شکل نیز کنترل جریان تحریک ماشین نشان داده شده است. در اینجا فرض شده تحریک ماشین از نوع استاتیک بوده و با استفاده از یکسوساز تریستوری صورت می‌گیرد. [16]

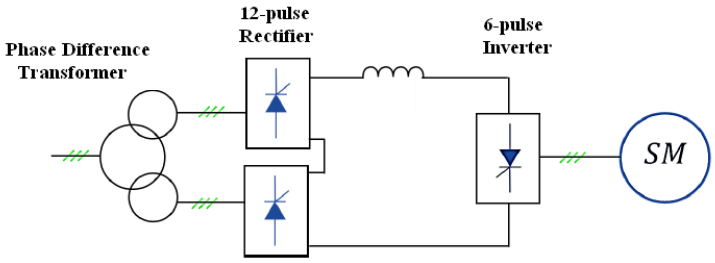
- اینورترهای منبع جریان کموتاسیون بار

در ساختار اینورتر یکسوساز شش پالسه به دلیل مستطیلی بودن جریانهای منبع و ماشین مؤلفه های هارمونیکی ماشین مقدار بالایی را به خود اختصاص خواهند داد و اعوجاج هارمونیکی کلTHD مقدار بالایی را خواهد داشت. برای کاهش THDمیتوان از مبدلهای ۱۲، ۱۸ و یا ۲۴ پالسه استفاده کرد. به این صورت میتوان هارمونیک‌های جریان را کاهش داد. شکل زیر ساختار یک مبدل فرکانس متغیر با یکسوساز ۱۲ پالسه و اینورتر ۶ پالسه را نشان می دهد. البته با استفاده از ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه مشابه آنچه که در سمت یکسوساز استفاده شده است میتوان در سمت اینورتر نیز از مبدل ۱۲ پالسه استفاده کرد. ترانسفورماتورهای نشان داده شده دارای دو دسته سیم‌پیچی سه فاز ثانویه مثلث و ستاره می باشد. در

اثر وجود اختلاف فاز ۳۰ درجه‌ای بین ولتاژهای خط این دو دسته سیم‌پیچی، مبدل به صورت ۱۲ پالسه کار خواهد کرد. [17-18]

مزایای این نوع اینورترها عبارتند از کاهش قابل توجه اعوجاج هارمونیکی کل THD، کاهش ریپل جریان راکتور DC و افزایش قابلیت اطمینان سیستم به طوری که در صورت ایجاد مشکل در یکی از مبدلهای سمت منبع یا بار ساختار سیستم را می توان به گونه‌ای تنظیم نمود که مبدل ۱۲ پالسه به صورت ۶ پالسه کار کند.

معایب آن‌ها عبارتند از افزایش هزینه با استفاده از ترانسفورماتور سه سیم پیچه، افزایش هزینه با استفاده از مبدلهای اضافی در سمت منبع و بار و افزایش حجم سیستم درایو.

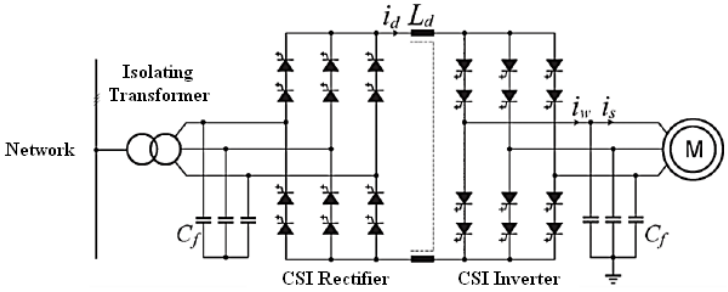


شکل ۲۷۵-۲ : اینورتر ۶ پالسه و یکسوساز ۱۲ پالسه برای درایو و راه اندازی ماشین سه فاز

- اینورترهای منبع جریان با مدولاسیون عرض پالس PWM

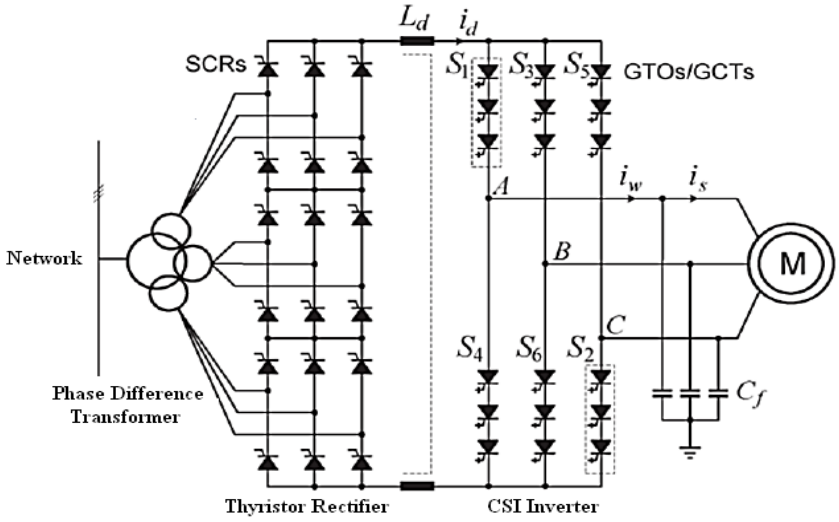
در این قسمت اینورترهای منبع جریان که از روش مدولاسیون عرض پالس استفاده می کنند معرفی می شوند. از آنجا که لازمه استفاده از این روش قابلیت کموتاسیون اجباری کلیدهای الکترونیک قدرت می باشد در این نوع اینورترها از کلیدهای GTO که قابلیت خاموش شدن با دریافت فرمان از طریق پالس را دارند استفاده می شود. این نوع اینورترهای منبع جریان به دلیل وابسته نبودن کموتاسیون به بار می‌توانند برای درایو بارهای پسفاز مورد استفاده قرار گیرند. خازنهای سه فاز در هنگام استفاده از این نوع اینورترها بایستی به صورت موازی با بار قرار گیرند تا در هنگام قطع کلیدهای اینورتر جریان بار را تأمین کنند. در غیر اینصورت پدید آمدن جرقه‌های ولتاژ بالا ناشی از راکتانس نشتی بار می‌تواند به سیستم صدمه وارد کند. علاوه بر این وجود این خازنها میتواند به عنوان فیلتر عمل کرده و اثر هارمونیکهای مرتبه پایین جریان را تا حد زیادی کاهش دهد. [19]

اینورترهای دارای کلیدهای با خاموشی کنترل شده نیز میتوانند مانند اینورترهای کموتاسیون بار در ساختارهای مختلف مورد استفاده گیرند. پلهای با کلیدهای GTO میتوانند در حالتهای ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ پالسه به عنوان یکسوساز نیز مورد استفاده قرار گیرند. البته در این حالت نیز بایستی خازنهای سه فاز برای کموتاسیون مناسب، موازی با شبکه نیز قرار گیرند. شکل زیر ساختار ۶ پالسه در اینورتر و یکسوساز را با استفاده از سوییچهای GTO در هر دو سمت بار و شبکه نشان می دهد. همانطور که گفته شد بایستی در این حالت در هر دو سمت بار و شبکه خازنهای کموتاسیون موجود باشند که این مورد در این شکل دیده می شود.



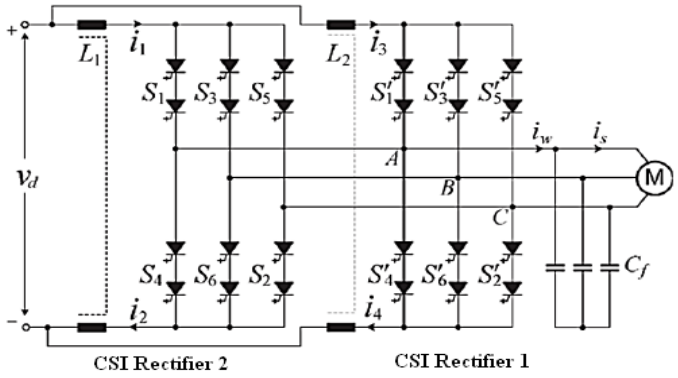
شکل ۲۷۶-۲ : ساختار ۶ پالسه در اینورتر و یکسوساز با استفاده از سوییچ‌های **GTO**

در شکل زیر از یکسوساز ۱۸ پالسه تریستوری استفاده شده است.



شکل ۲۷۷-۲ : اینورتر ۶ پالسه منبع جریان و یکسوساز ۱۸ پالسه تریستوری

شکل زیر نیز ساختار دو اینورتر موازی را نشان می دهد. ساختار دو یا چند اینورتر موازی برای بالا بردن قدرت سیستم کلی استفاده می شود. از مهمترین مسائلی که باید در این ساختار مورد توجه قرار گیرد توازن جریان لینکهای DC اینورترهای موازی می باشد. [20]



شکل ۲۷۸-۲ : دو اینورتر منبع جریان مشابه موازی

مزایای این نوع اینورترها عبارت است از وابسته نبودن کموتاسیون به بار، نقش خازنها به عنوان فیلتر هارمونیکهای جریان، قابلیت استفاده در رکتیفایر و تشکیل یکسوسازهای 6N پالسه و قابلیت موازی سازی در سمت اینورتر جهت بالابردن قدرت سیستم.

همچنین معایب آن‌ها عبارتند از استفاده از خازنهای سه فاز در سمت بار و منبع جهت جلوگیری از جرقه‌های ولتاژ بالا در هنگام کلیدها، پایش توازن جریان لینکهای DC در ساختار اینورترهای موازی و افزایش حجم و هزینه با استفاده از ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه و خازنها و غیره.

- مقایسه مزایا و معایب اینورتر تلفیقی کموتاسیون بار منبع جریان

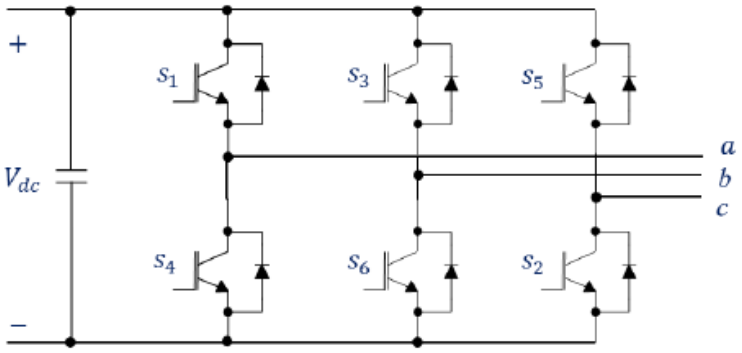
هرکدام از دو نوع اینورتر مزایا و معایبی دارند که موجب برتری یافتن هر یک از آنها در کاربردهای مختلف می شود. از یک سو اینورتر کموتاسیون بار از مزیت کلیدزنی نرم و تعداد کم دفعات سوئیچینگ(شش مرتبه در اینورتر ۶ پالسه)در هر دوره تناوب جریان خروجی برخوردار است. ولی این ساختار مقدار زیادی مؤلفه‌های هارمونیکی مرتبه پایین جریان را به موتور تزریق می کند. همچنین این ساختار تنها توانایی درایو ماشینهای سنکرون فوق تحریک را دارا می باشد. از سوی دیگر اینورتر منبع جریان با کموتاسیون اجباری قابلیت درایو ماشینهای القایی را دارا می باشد. ولی این نوع اینورترها به دلیل استفاده از کلیدهای GTO و روش مدولاسیون و همچنین کموتاسیون سخت، تلفات حالت وصل و کلیدزنی بیشتری در مقایسه با اینورترهای کموتاسیون بار خواهند داشت. [21]

- اینورترهای منبع ولتاژ

در این بخش اینورترهای منبع ولتاژ مورد بررسی قرار میگیرند. اینورترهای منبع ولتاژ با توان و ولتاژ بالا در یک تقسیم بندی کلی به دو نوع اینورترهای منبع ولتاژ دو سطحی و چند سطحی تقسیم بندی میشوند.

- اینورترهای منبع ولتاژ دو سطحی با قدرت بالا

اینورترهای منبع ولتاژ دو سطحی با استفاده از سوییچهای IGBT با ولتاژ نامی بالا میتوانند برای کاربردهای با توان و ولتاژ بالا نیز مورد استفاده قرار گیرند. ساختار یک اینورتر منبع ولتاژ دو سطحی در شکل زیر نشان داده شده است. این ساختار مشابه کاربردهای توان متوسط و پایین است و تفاوت آن برای کاربردهای توان بالا در مقادیر نامی خازن لینک DC و کلیدهای قدرت می باشد. [22]



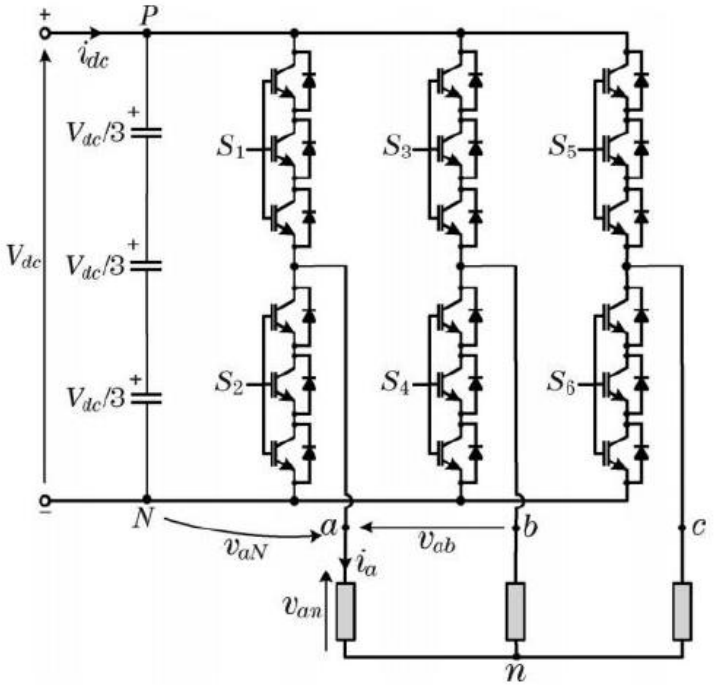
شکل ۲۷۹-۲ : اینورتر منبع ولتاژ دو سطحی

علاوه بر این میتوان با اتصال سری کلیدهای قدرت و خازنها و تقسیم پتانسیل بین آنها به اینورتر با مقادیر نامی ولتاژ بالاتر نسبت به مقادیر نامی ولتاژ تک تک کلیدها و خازنها دست یافت. در شکل زیر نمونه‌ای از این ساختار نشان داده شده است. در این شکل هر سه سوییچ متوالی به عنوان یک سوییچ قدرت مورد استفاده قرار میگیرند و ولتاژ لینک DC بین سه خازن تقسیم شده است. به منظور مدولاسیون اینورترهای دو سطحی توان بالا نیز میتوان از روشهای متداول برای

مدولاسیون در اینورترهای منبع ولتاژ دو سطحی مانند روش مدولاسیون عرض پالس و روش بردار فضایی استفاده کرد. علاوه بر این دوروش، روشهای مبتنی بر محاسبات بهینه سازی برون خطی مانند حذف انتخابی هارمونیکها(SHE) برای مدولاسیون اینورترهای توان بالا در فرکانس سوییچینگ پایین مورد استفاده قرار میگیرند.

مزایای این نوع اینورترها عبارتند از در توان و ولتاژ ثابت استفاده از اتصال سری کلیدها و خازنها سبب کاهش مقادیر نامی هر کدام می گردد و استفاده از روش سری کردن سبب دستیابی به اینورتر با مشخصات نامی بالاتر می گردد.

همچنین معایب آن‌ها عبارتند از در شرایط یکسان روش سری کردن سبب افزایش حجم و هزینه محصول می گردد و قابلیت اطمینان سیستم به دلیل تعداد سوئیچها و امکان نقص هر کدام از سوئیچهای سری کاهش می یابد.



شکل ۲۸۰-۲ : اینورتر منبع ولتاژ دو سطحی با استفاده از اتصال سری کلیدهای قدرت و خازنهای لینک **DC**

- اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی

در حال حاضر اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی در طیف گسترده ای از کاربردها مورد استفاده قرار می‌گیرند. اینورتر منبع ولتاژ چند سطحی در حالت کلی به اینورتری گفته می شود که ولتاژ یک فاز نسبت به نقطه خنثی آن دارای سه یا بیش از سه سطح ولتاژ باشد[22-26]. در حالت کلی یک اینورتر منبع ولتاژ با داشتن ولتاژ فاز m سطحی دارای ولتاژ فاز به فاز k سطحی خواهد بود. همچنین در صورتیکه بار اتصال ستاره داشته باشد ولتاژ هر فاز نسبت به نقطه خنثی بار دارای p پله خواهد بود. [27]

$$k = 2m + 1$$

$$p = 2k - 1$$

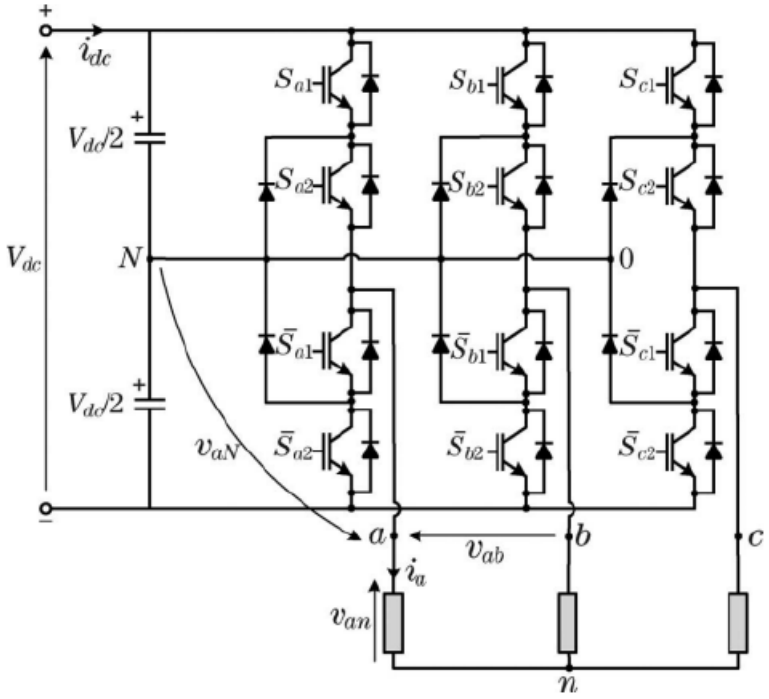
مقایسه مزایا و معایب کلی ساختارهای چند سطحی در مقایسه با ساختار دو سطحی را بدین صورت می توان خلاصه نمود. مزایای این نوع اینورترهای عبارتند از ساختارهای چند سطحی امکان پیاده سازی اینورترهای با ولتاژ نامی بالاتر با

وجود ولتاژ نامی پایین کلیدها و خازنها را فراهم می کنند و در اینورترهای چند سطحی با افزایش تعداد سطوح ولتاژ، مقدار آلودگی هارمونیکی کاهش می یابد.

همچنین معایب آن‌ها عبارتند از کنترل پیچیده ساختارهای چند سطحی، بحث توازن ولتاژ سطوح مختلف از مسائلی است که بایستی در این اینورترها برطرف شود و حجیم و گرانتر شدن محصول.

- ساختار نقطه خنثی مقید شده (کلمپ شده) دیودی

این ساختار شباهت زیادی به اینورتر دو سطحی با اتصال سری دو کلید قدرت به عنوان یک کلید دارد. با این تفاوت که دو دیود مقید سازی در هر فاز در این ساختار اضافه شده‌اند. [22,23,27]



شکل ۲۸۱–۲ : ساختار اینورتر سه سطحی مقید شده دیودی

با استفاده از این ساختار ولتاژ خروجی هر فاز نسبت به نقطه خنثی اینورتر میتواند سه مقدار Vdc/2، Vdc/2- و صفر را به خود اختصاص دهد. مقادیر ولتاژهای فاز و حالت کلیدها متناظر برای فاز a در جدول زیر نشان داده شده اند. در این جدول مقادیر ۱ و صفر در رابطه با فرمان سوئیچها به ترتیب نشان دهنده حالتهای روشن و خاموش است. در این جدول فقط حالت سوئیچهای بالایی نشان داده شده است و این به دلیل آن است که فرمان دو سویئچ پایینی مکمل سوئیچهای بالایی متناظر است.

جدول ۸۲–۲ : حالتهای مختلف سوییچینگ اینورتر سه سطحی مقید شده دیودی

S_{a1}	S_{a2}	V_{aN}
1	1	$V_{dc}/2$
0	1	0
0	0	$-V_{dc}/2$

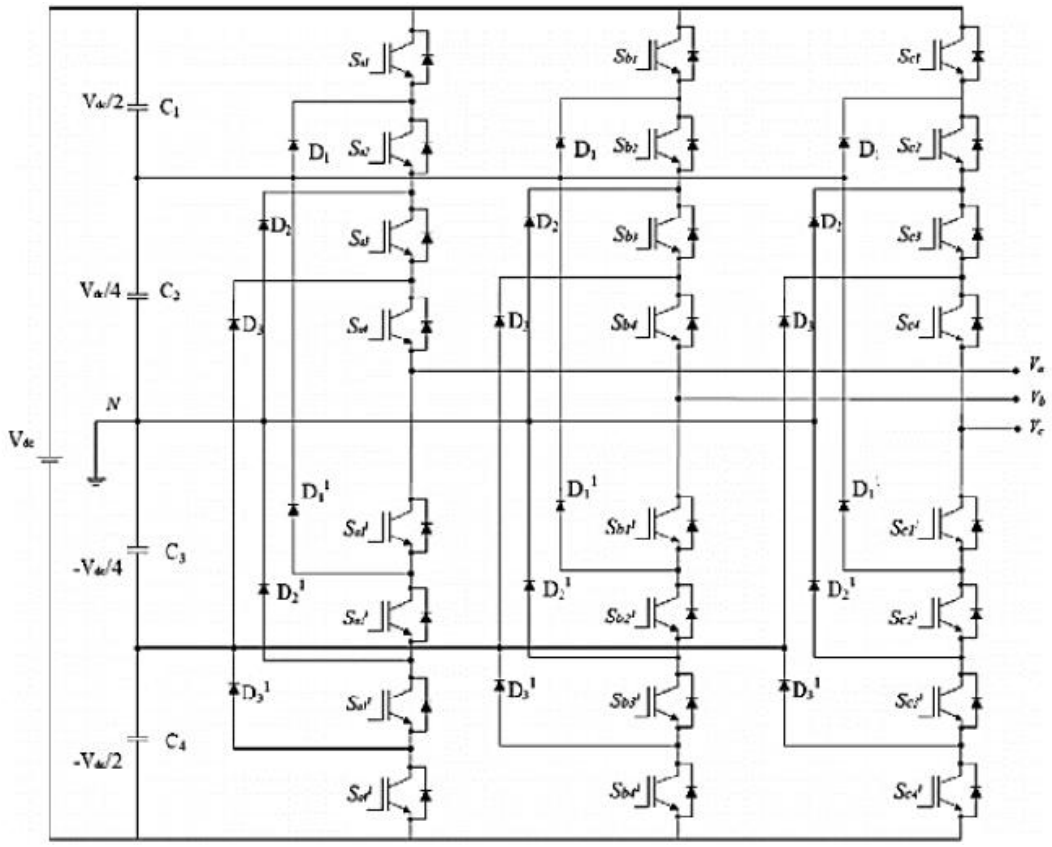
از ویژگیهای مهم اینورترهای مقید شده دیودی ساختار ساده آنها به دلیل عدم لزوم استفاده از ترانسفورماتور و همچنین تعداد کم خازن می باشد. همانطور که گفته شد این نوع اینورترها میتوانند تعداد سطوح بیشتری نیز داشته باشند. در حالت کلی در یک اینورتر مقید شده دیودی دارای m سطح، تعداد دیودهای مقید کننده j، تعداد کلیدهای قدرت موازی معکوس با دیودها در هرفاز d و تعداد خازنهای مورد استفاده در لینک DC به میزان c به ترتیب از رابطه های زیر به دست می‌آیند:

$$j = (m-1)(m-2)$$

$$d = 2(m-1)$$

$$c = m-1$$

با توجه به روابط بالا تعداد دیودهای مقید کننده با توان دوم سطوح اینورتر افزایش می یابد. بنابراین با افزایش زیاد تعداد سطوح پیچیدگی مدار زیاد می شود. از سایر مشکلات این ساختار ماژولار نبودن آن است. به این صورت که اینورترهای با تعداد سطوح بالاتر از چند اینورتر با تعداد سطوح پایینتر ساخته نشده‌اند. موارد ذکر شده در مورد تعداد سطوح بالاتر را میتوان در شکل زیر نیز دریافت. در این شکل یک اینورتر مقید شده دیودی پنج سطحی نمایش داده شده است.



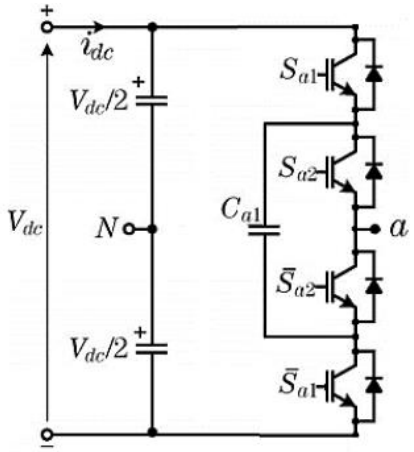
شکل ۲۸۲-۲ : ساختار یک اینورتر مقید شده دیودی پنج سطحی

مزایای این ساختار عبارتند از عدم استفاده از ترانسفورماتور و همچنین تعداد کم خازن و کاهش اعوجاج هارمونیکی کل و امکان پیاده سازی تا سطوح ولتاژ بالاتر. همچنین معایب آن عبارتند از افزایش پیچیدگی مدار با زیاد شدن تعداد سطوح و ماژولار نبودن ساختار آن.

- ساختار خازن شناور

این ساختار شباهت زیادی به ساختار مقید شده دیودی دارد و در آن به جای استفاده از دیودهای مقید کننده از خازن استفاده می شود[23,27]. ساختار سه سطحی فاز a این نوع اینورتر در شکل زیر نشان داده شده است. جدول زیر نیز حالتهای سوییچینگ و ولتاژ خروجی متناظر این حالتها را بر حسب ولتاژ لینک DC برای اینورتر سه سطحی برای فاز a بیان می کند. در این جدول تنها حالتهای سوییچینگ دو کلید بالایی نشان داده شده و دو کلید پایینی به صورت مکمل دو کلید بالایی کار می کنند. لازمه این که ولتاژهای خروجی مطابق این جدول باشد آن است که خازن C_{a1} دارای ولتاژ برابر با هر یک از خازنهای لینک DC باشد.

در این ساختار بایستی در حالت راه اندازی مدار به نحوی کلید زنی انجام شود تا خازنهای موجود تا مقدار ولتاژ مورد نیاز شارژ شوند. تفاوتی که در ساختار خازن شناور نسبت به حالت قبلی وجود دارد وجود دو حالت سوییچینگ برای ولتاژ فاز صفر می باشد. از این ویژگی میتوان برای ایجاد توازن ولتاژ خازنهای موجود استفاده کرد.

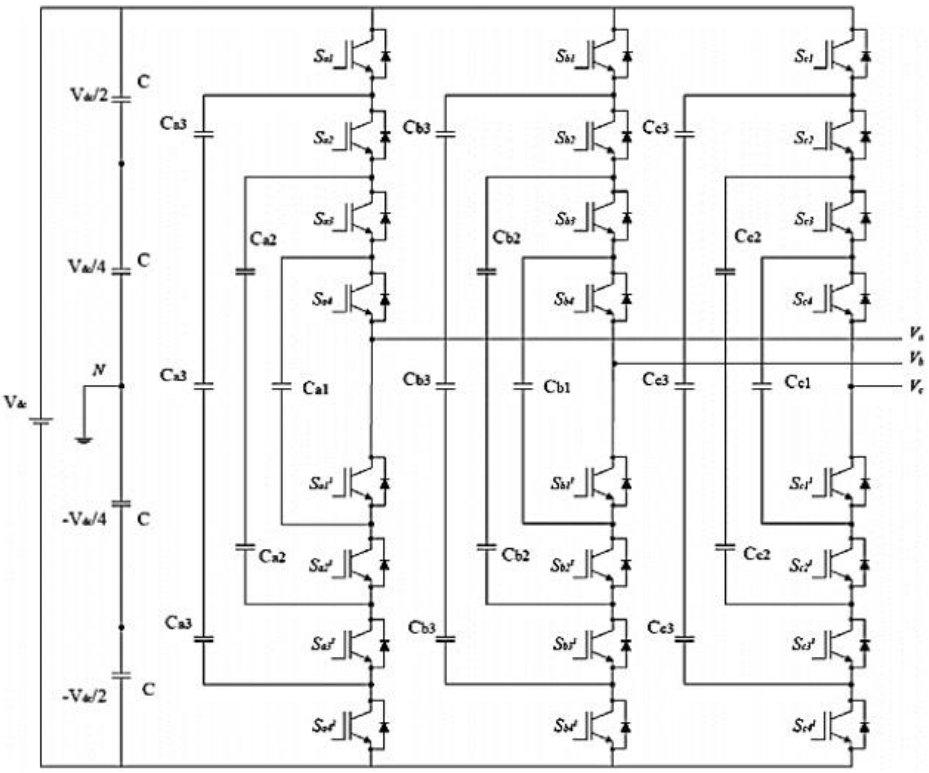


شکل ۲۸۳-۲ : ساختار اینورتر سه سطحی با خازن شناور

جدول ۸۳-۲ : حالتهای سوییچینگ و ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ لینک **DC**

S_{a1}	S_{a2}	V_{out}
1	1	V_{dc}
0	1	0
1	0	0
0	0	$-V_{dc}$

در شکل زیر یک اینورتر سه فاز پنج سطحی با خازن شناور نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود تعداد خازنهای مورد استفاده در این ساختار با افزایش تعداد سطوح به صورت شدیدی افزایش می یابد. تعداد بالای خازنها در این ساختار باعث افزایش هزینه، به خصوص در تعداد سطوح بالا می شود.



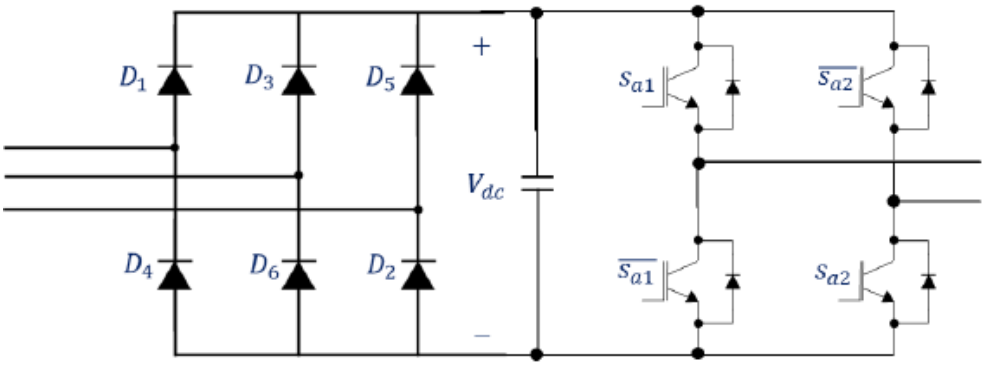
شکل ۲۸۴-۲ : ساختار اینورتر سه فاز پنج سطحی با خازن شناور

در این حالت نیز مانند ساختار مقید شده دیودی تعداد عناصر کمکی با توان دوم تعداد سطوح افزایش می یابد. به علاوه عناصر کمکی در این حالت خازن میباشند که این مسأله علاوه بر پیچیدگی باعث افزایش هزینه مدار در تعداد سطوح بالا می شود. پیچیدگی و هزینه بالا از مشکلات این ساختار می باشد.

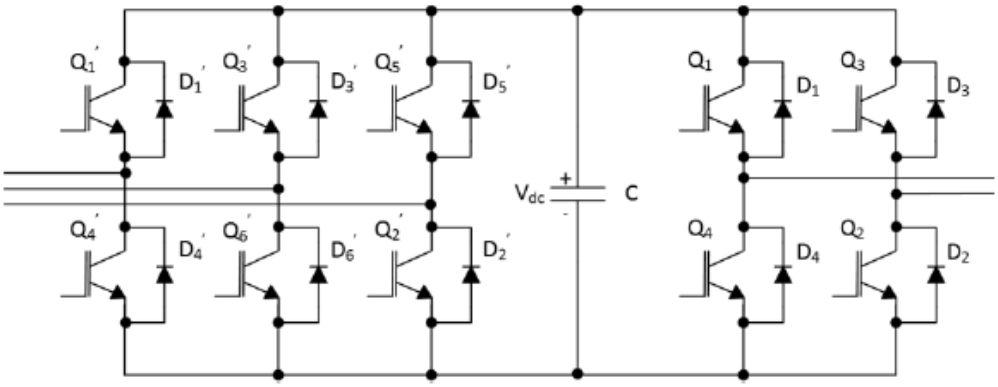
مزایای این ساختار عبارتند از وجود دو حالت سوییچینگ برای ولتاژ فاز صفر جهت برای ایجاد توازن ولتاژ خازنهای موجود، دارای لینک DC مشترک و فاقد ترانسفورماتور. همچنین معایب آن عبارتند از افزایش زیاد تعداد خازنها با افزایش سطوح ولتاژی، افزایش هزینه و افزایش پیچیدگی مدار.

- ساختار پل اچ آبشاری

ساختار اینورتر چند سطحی پل اچ متوالی در حال حاضر به طور گسترده‌ای در مصارف توان بالا مورد استفاده قرار می-گیرد. این ساختار از اتصال آبشاری یا متوالی پلهای تکفاز اچ استفاده می کند. هر پل اچ در این ساختار از یک لینک DC ، چهار سوییچ IGBT موازی معکوس با دیودها تشکیل شده است[22,28]. در شکلهای زیر یک بلوک پل اچ تکفاز به ترتیب با استفاده از یکسوساز سه فاز دیودی(یک طرفه) و فعال(دو طرفه) نشان داده شده است. در حالت یکسوسازی دیودی جهت شارش توان یکطرفه و از سمت شبکه به اینورتر می باشد. حال آنکه در حالت یکسوسازی فعال جهت شارش توان دوطرفه خواهد بود و بازگشت انرژی از اینورتر به شبکه نیز امکانپذیر خواهد بود. [23]



شکل ۲۸۵-۲ : ساختار پل اچ تکفاز با یکسوساز دیودی



شکل ۲۸۶-۲ : ساختار پل اچ تکفاز با یکسوساز فعال

جدول ۸۴-۲ : حالتهای مختلف سوییچینگ اینورتر پل اچ

S_{a1}	S_{a2}	V_{out}
1	1	V_{dc}
0	1	0
1	0	0
0	0	$-V_{dc}$

هر یک از پلهای اچ دارای ولتاژ تکفاز خروجی سه سطحی می باشد. خروجی این پلها میتواند سه مقدار Vdc، 0 و- Vdcرا اختیار کند. ولتاژ خروجی و حالتهای سوییچینگ متناظر در این حالت مطابق جدول می باشد. در این جدول تنها حالت سوییچهای S1 و S2 نمایش داده شده است و حالت سوییچهای S4 و S3 به ترتیب مکمل این دو سوییچ می باشد. تفاوتی که در اینجا با حالتهای قبل وجود دارد این است که در این حالت خروجی مدار به اندازه دو برابر ولتاژ لینک DC میتواند تغییر کند. ولی در انواع قبلی تغییرات ولتاژ خروجی به اندازه ولتاژ لینک DC می باشد. [29]

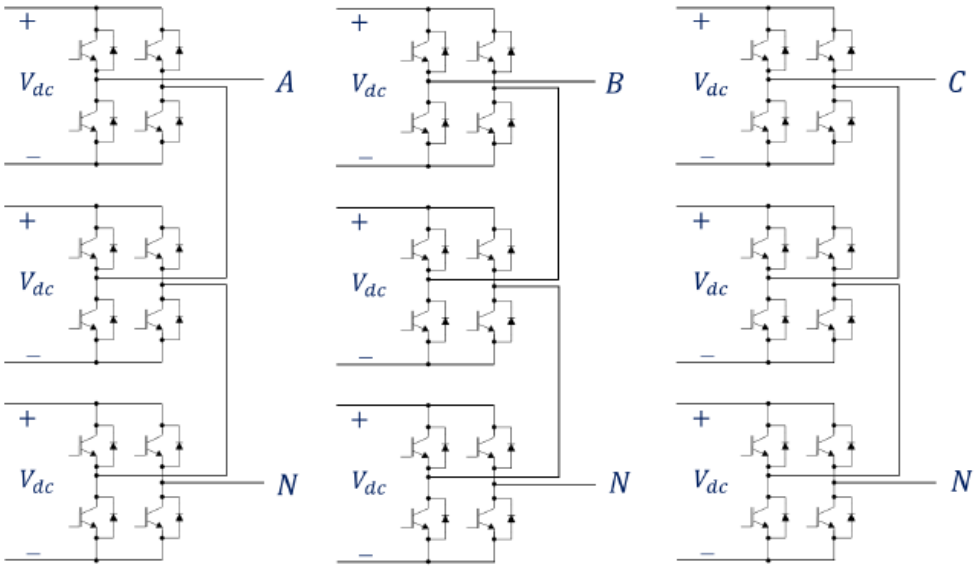
مزایای این روش عبارتند از ماژولار بودن، تغییر خروجی مدار تا دو برابر ولتاژ لینک DC، تعمیر و نگهداری آسان و امکان تغذیه پلها از طریق منابع مختلف و متفاوت. همچنین عیب آن عبارت است از حجیم بودن و تعداد زیاد سوئیچها در ساختار پلها با لینک DC برابر.

- پل اچ آبشاری با ولتاژ لینکهای DC برابر

با اتصال متوالی پلهای اچ، اینورتر چند سطحی پل اچ آبشاری ساخته میشود .در اتصال آبشاری و در حالت سه فاز این ساختار، لینکهای DC مشترک نبوده و هر پل اچ لینک DC مختص خود را دارد. تغذیه پلهای اچ متوالی از طریق منابع مستقل و ایزوله از هم، باعث مناسب بودن استفاده از این اینورترها برای تغذیه از طریق سلولهای خورشیدی و پیل سوختی و همچنین باتریهای ایزوله میشود[23]. در حالت تغذیه از شبکه قدرت ایزوله کردن منابع در سمت AC از طریق ترانسفورماتور ایزولاسیون صورت می‌گیرد. به این ترتیب بایستی تعداد سیم پیچیهای ثانویه این ترانسفورماتور با تعداد پلهای اچ برابر باشد .شکل زیر یک اینورتر پل اچ آبشاری سه فاز هفت سطحی را نشان می‌دهد.

به عنوان مثال در صورت تغذیه این اینورتر از یکسوسازهای سه فاز به یک ترانسفورماتور ایزولاسیون سه فاز با تعداد نه ثانویه و همچنین نه خازن لینک DC نیاز خواهیم داشت .در حالت کلی در این ساختار با اتصال n پل اچ متوالی با ولتاژ برابر در لینکهای DC ، در هر فاز به ولتاژ m سطحی در خروجی می‌رسیم که ارتباط این دو مقدار طبق رابطه زیر می باشد:

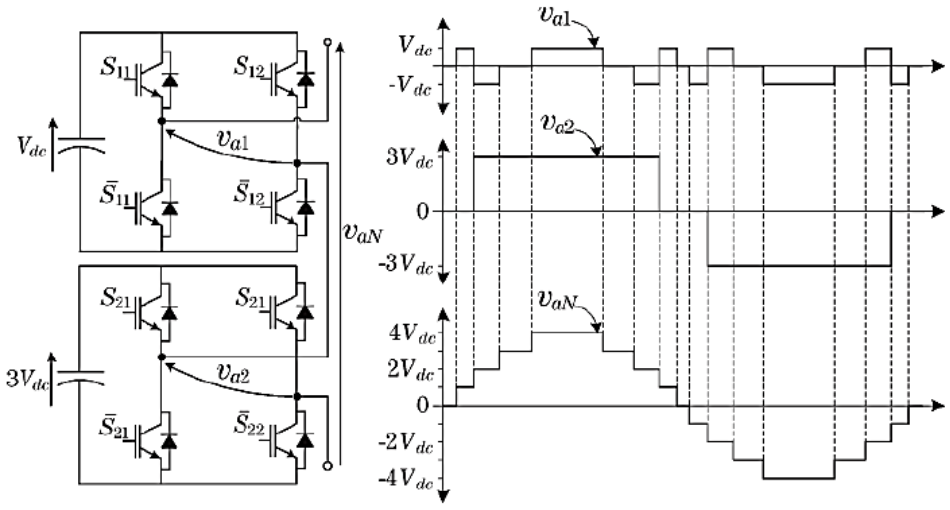
$$m=2n+1$$



شکل ۲۸۷-۲ : اینورتر سه فاز آبشاری هفت سطحی

- اینورتر پل اچ آبشاری با ولتاژ لینکهای DC نا برابر

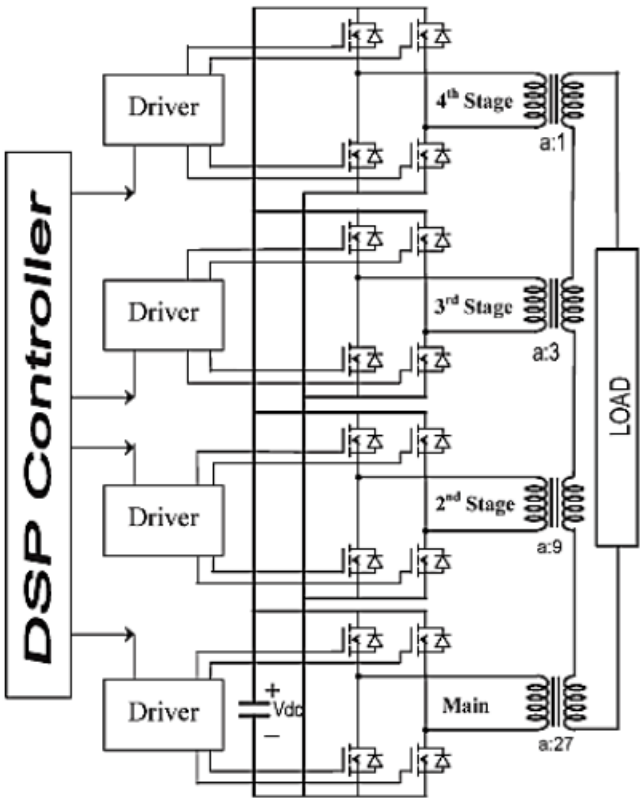
در این ساختار به دلیل ایزوله بودن لینکهای DC ، این لینکها میتوانند ولتاژهای متفاوتی داشته باشند. این ویژگی در اینورترهای آبشاری این امکان را فراهم میکند تا با استفاده از تعداد بلوکهای سری با تعداد یکسان، در حالت استفده از لینکهای دارای ولتاژ DC نابرابر به تعداد سطوح ولتاژ خروجی بیشتری نسبت به حالت ولتاژهای DC برابر دست یافت. به عنوان مثال با استفاده از دو پل اچ متوالی میتوان به ولتاژ خروجی نه سطحی در خروجی دست یافت. این در حالی است که اگر ولتاژهای DC با هم برابر باشند برای ولتاژ نه سطحی در خروجی بایستی از چهار پل اچ متوالی برای هر فاز استفاده کرد. شکل زیر ساختار و شکل موجهای ولتاژ خروجی کل و هر یک از اینورترها را در این ساختار نشان میدهد.[22]



شکل ۲۸۸-۲ : شکل موجهای ولتاژ و ساختار اینورتر نه سطحی با استفاده از دو پل اچ متوالی

- اینورتر پل اچ آبشاری با لینک DC مشترک

در شکل زیر یکی از فازهای مدار پیشنهادی برای این منظور نشان داده شده است. در این ساختار با استفاده از یک ابر خازن یک لینک DC مشترک پیاده سازی شده است و عمل ایزوله سازی در سمت خروجی انجام شده است. به این صورت که ولتاژ خروجی هر پل اچ با استفاده از ترانسفورماتور به مقدار مناسب رسیده و ایزوله سازی میشود. همچنین در این ساختار نسبت دور این ترانسفورماتورها برابر نمی‌باشد. به عبارت دیگر ترانسفورماتورهای با نسبتهای تبدیل نابرابر مانند ولتاژهای لینکهایDC نابرابر در حالت قبل عمل میکنند.[24,30]



شکل ۲۸۹–۲ : اینورتر پل اچ آبشاری با استفاده از تنها یک ابر خازن به عنوان لینک **DC**

۲-۳-۲-۲- روش‌های کنترل مبدل‌ها

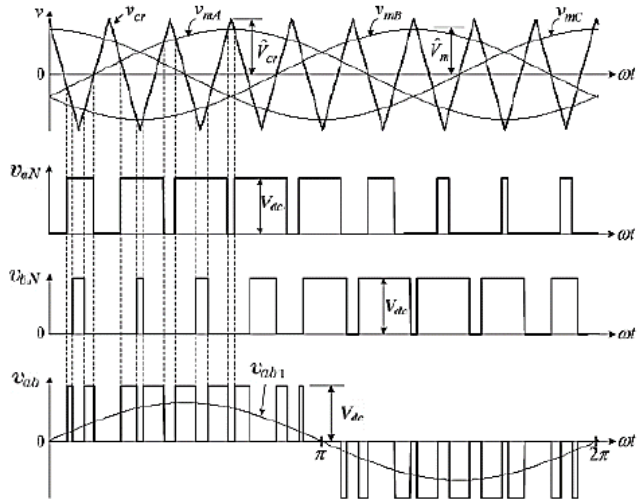
در این قسمت روشهای مختلفی که برای مدولاسیون اینورترهای توان بالا و اینورترهای چند سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند، معرفی می‌شوند.

- روش مدولاسیون عرض پالس

روش مدولاسیون عرض پالس از روشهایی است که به طور گسترده برای کنترل اینورترها مورد استفاده قرار میگیرد. در این روش در حالت دو سطحی شکل موج ولتاژ مرجع سینوسی هر فاز با شکل موج حامل مثلثی مقایسه می‌شود و فرمانهای کلیدزنی فاز متناظر با توجه به رابطه این دو شکل موج صادر میشود. فرکانس کلیدزنی در این روش همان فرکانس موج حامل و فرکانس ولتاژ اینورتر فرکانس شکل موج ولتاژ مرجع میباشند. برای درک بهتر موارد در شکل زیر نشان داده شده است. در این شکل در قسمت بالا ولتاژهای مرجع و موج حامل نشان داده شده‌اند. پایین تر از آن نیز ولتاژهای فازها و خط آمده‌اند .[31].

در این روش با افزایش ولتاژ مرجع، مؤلفه اصلی ولتاژ اینورتر نیز افزایش میابد. در این روش سایر هارمونیکهای ولتاژ خروجی در حوالی دو برابر فرکانس کلیدزنی تمرکز دارند. در صورتی که اینورتر برای کاربرد درایو ماشینهای الکتریکی به کار گرفته شود به دلیل وجود اندوکتانس داخلی ماشین جریان ماشین شکل موج با اعوجاج هارمونیکی کمتری نسبت به ولتاژ ماشین را دارا خواهد بود .دلیل این امر امپدانس بالای اندوکتانس ماشین در فرکانسهای بالا مانند فرکانس کلیدزنی میباشد . بنابراین به منظور کاهش اعوجاج هارمونیکی بایستی فرکانس کلیدزنی مقدار بالایی در نظر گرفته شود. از سوی دیگر این امر موجب افزایش تلفات در اینورتر می‌شود. بنابراین همواره برای انتخاب فرکانس کلیدزنی بایستی مصالحه‌ای بین اعوجاج هارمونیکی و تلفات اینورتر صورت پذیرد. [16,31]

از این روش برای مدولاسیون اینورترهای چند سطحی نیز استفاده می‌شود. برای این منظور میتوان از یکی از دو روش انتقال سطح و فاز موج حامل استفاده نمود .در این دو روش به ترتیب از چند موج حامل با فرکانس یکسان و سطح یا فاز انتقال یافته استفاده می‌شود.



شکل ۲۹۰-۲ : شکل موج ولتاژهای مرجع، فاز و خط در حالت مدولاسیون عرض پالس اینورتر دو سطحی سه فاز

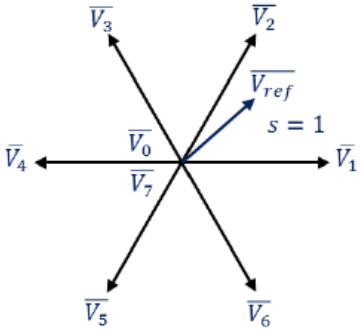
- روش مدولاسیون بردار فضایی

روش مدولاسیون بردار فضایی از روشهای دیجیتال مدولاسیون می‌باشد. پیاده سازی این روش نیازمند استفاده از میکروپروسسورها برای انجام محاسبه‌های بلادرنگ برای زمان روشن بودن کلیدها با توجه به مکان و اندازه ولتاژ مرجع در صفحه αβ می‌باشد. بنابراین پیاده سازی این روش به صورت آنالوگ امکان پذیر نمی‌باشد. در این قسمت به صورت خلاصه به توضیح این روش برای اینورترهای دو سطحی و چند سطحی پرداخته می‌شود.[31]

یک اینورتر دو سطحی دارای هفت بردار پایه مجزا در صفحه αβ میباشد که البته دو بردار صفر آن بر هم منطبق می‌باشند. در حالت دو سطحی صفحه αβ توسط شش بردار پایه فعال به شش بخش تقسیم می‌شود. این بخشها به ترتیب در جهت مثلثاتی شماره گذاری می‌شوند. برای انجام مدولاسیون بردار فضایی بایستی در هر دوره تناوب سوییچینگ، بردار ولتاژ مرجع با استفاده از سه بردار مجاور در صفحه α ساخته شود. به عبارت دیگر با استفاده از اصل تعادل ولت ثانیه زمان لازم برای اختصاص بردارهای مجاور محاسبه می‌شود. با فرض قرار داشتن بردار مرجع در بخش یکم زمان اختصاص بردارهای ولتاژ مرجع طبق روابط ذیل محاسبه میشود:

$$\overline{V_{ref}}T_s = \bar{V}_2T_2 + \bar{V}_1T_1 + \bar{V}_0T_0$$

$$T_s = T_2 + T_1 + T_0$$

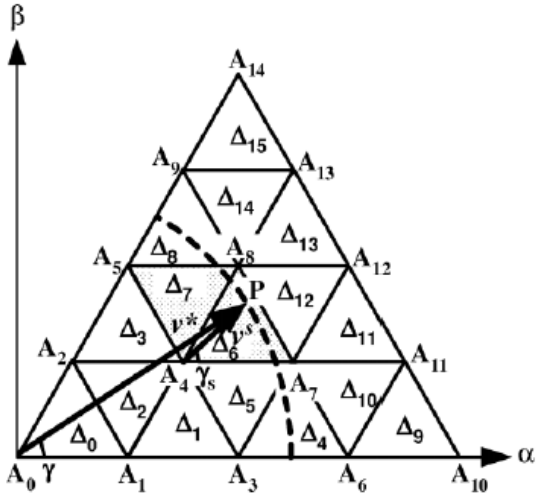


شکل ۲۹۱-۲ : بردار پایه موجود در صفحه **αβ** برای یک اینورتر دو سطحی

در این رابطه T0 ، T1 و T2 به ترتیب زمان اعمال بردارهای پایه با شماره متناظر و Ts نیز دوره تناوب کلیدزنی را نشان می‌دهند. معادله ولتاژ مرجع یک معادله برداری بوده و دارای دو مؤلفه می‌باشد. بنابراین با استفاده از این دو معادله به دست آوردن زمان اعمال سه بردار مجاور امکان پذیر می‌باشد. شکل زیر بردارهای پایه اینورتر دو سطحی و ولتاژ مرجع در بخش یکم را نشان می‌دهد. مشابه این روابط در بخشهای دیگر صفحه αβ نیز برای محاسبه این زمانها استفاده می‌شود.

روش مدولاسیون بردار فضایی برای اینورترهای چندسطحی نیز میتواند مورد استفاده قرار گیرد. در بسیاری از مقالات این روش همانند حالت دو سطحی با اعمال بردارهای مجاور و بنا بر اصل توازن ولت-ثانیه پیاده سازی شده است. در بعضی موارد نیز تلاشهایی برای افزایش محدوده کار خطی مدولاسیون پیشنهاد شده است.[32-34]

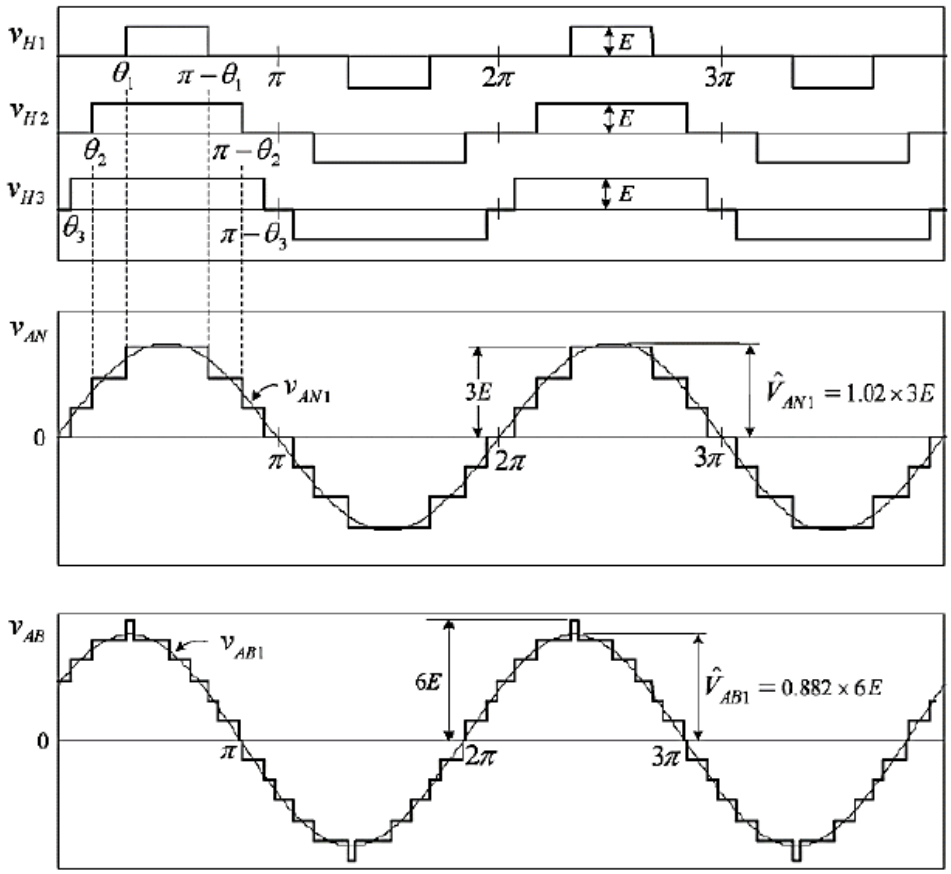
تفاوتی که این روش در حالت چند سطحی خواهد داشت تعداد بیشتر بردارهای پایه در صفحه خواهد بود. به عنوان مثال در یک اینورتر سه سطحی ۱۹ و در یک اینورتر پنج سطحی ۶۱ بردار پایه مجزا در صفحهی αβ وجود دارند. شکل زیر بردارهای موجود در بخش یکم صفحه را برای یک اینورتر پنج سطحی نشان می‌دهد. علاوه بر این، تعداد زیادی از این بردارهای پایه می‌توانند با حالتها متفاوت سوییچها ایجاد شوند. از این حالتهای اضافی میتوان برای تنظیم ولتاژ خازنها استفاده کرد. بنابراین انتخاب بخش و ناحیه‌ای که بردار مرجع در آن قرار دارد سخت تر بوده و پیاده سازی این روش در اینورترهای با تعداد سطوح بالا پیچیده‌تر خواهد بود.



شکل ۲۹۲-۲ : بردار پایه موجود در صفحه **αβ**برای یک اینورتر چند سطحی

- روش حذف هارمونیکهای انتخابی

این روش به دلیل فرکانس پایین کلید زنی از روشهای مناسب برای کاربردهای توان بالا می‌باشد. در عمل با افزایش تعداد سطوح در اینورترهای چند سطحی استفاده از این روش بیشتر ترجیح پیدا می‌کند. شکل زیر شکل موج ولتاژهای فاز و خط را برای یک اینورتر ۷ سطحی پل اچ آبشاری را نشان می‌دهد.



شکل ۲۹۳-۲ : شکل موجهای ولتاژ یک اینورتر ۳ سطحی با روش مدولاسیون حذف هارمونیکی

همانطور که در شکل دیده می‌شود با انتخاب مقدار زاویه‌های θ میتوان مقادیر ولتاژ خط و فاز را تغییر داد. رابطه ذیل تحلیل ریاضی هارمونیکی ولتاژ فاز A را بر حسب زاویه‌هایθ با شرط ذکر شده بیان می‌کند.

$$v_{AN}=\frac{4V_{dc}}{\pi}\sum_{n=1,2,3,..}^{\infty}\frac{1}{n}(cos(n\theta_1)+cos(n\theta_2)+cos(n\theta_3))\,sin(n\omega t)$$

$$0\le\theta_1<\theta_2<\theta_3\le\frac{\pi}{2}$$

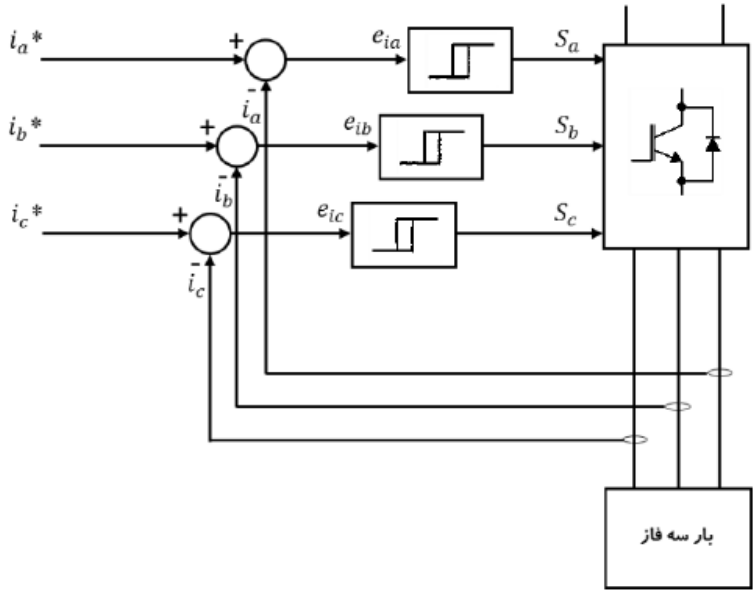
در این رابطه ولتاژ فاز بر حسب مؤلفه‌های هارمونیکی آن بیان شده است. ایده اصلی در روش حذف هارمونیک این است که زاویای θ به گونه‌ای انتخاب شوند که مؤلفه هارمونیک اول ولتاژ برابر با مقدار ولتاژ مرجع بوده و از سایر درجه‌های آزادی برای حذف دو مؤلفه هارمونیکی با کمترین مرتبه استفاده شود.[31]

- روش کنترل جریان هیسترزیس

کنترل جریان هیسترزیس از سایر روشهای متداول برای کنترل جریان اینورترها می‌باشد. در این روش اینورتر، بدون نیاز به ساختن ولتاژ مرجع، به صورت مستقیم با استفاده از جریان مرجع کنترل می‌شود. در شکل ۲۹۴-۲ ساختار کلی یک اینورتر کنترل جریان هیسترزیس نشان داده شده است.

همانطور که در شکل دیده می‌شود خطای موجود بین دو جریان مرجع و واقعی هر فاز وارد بلوکهای کنترل هیسترزیس میشود و خروجی این بلوکها فرمان کلیدهای اینورتر را صادر می‌کند. در اینورترهای دو سطحی با استفاده از تعریف یک باند هیسترزیس در بلوکهای کنترل هیسترزیس، این روش پیاده سازی می‌شود. تا زمانی که خطای جریان در مقدار قابل قبولی در بین دو مرز باند هیسترزیس باقی بماند، عمل کلیدزنی اتفاق نمی‌افتد. ولی به محض رسیدن خطای جریان به یکی از مرزهای باند هیسترزیس در هر فاز، حالت کلیدهای آن فاز تغییر می‌کند. این تغییر حالت سوییچینگ به گونه‌ای خواهد بود که انحراف جریان از مقدار مرجع را کاهش دهد. این روش مدولاسیون، مدولاسیون عرض پالس حلقه بسته نیز نامیده می‌شود.

این روش در اینورترهای چند سطحی نیز قابل پیاده سازی می‌باشد. در اینورترهای چند سطحی به جای تعریف یک باند هیسترزیس با دو مرز از چند مرز استفاده می‌شود. با برخورد خطای جریان به هر یک از مرزها حالت سوییچینگ به گونه‌ای تغییر می‌کند که جریان در بین انتهایی‌ترین مرزها قرار گرفته و هم سوییچینگ با فرکانس پایینتری انجام شود. البته مانند حالتهای قبلی شرط توازن ولتاژ خازنها نیز بایستی در این حالت مد نظر قرار گیرد.[35-36]



شکل ۲۹۴-۲ : پیاده سازی روش کنترل جریان هیسترزیس در یک اینورتر سه فاز منبع ولتاژ

یکی از مهمترین مشکلات روش کنترل جریان هیسترزیس فرکانس کلیدزنی متغیر آن می‌باشد. با این وجود این روش به دلیل دارا بودن مزیتهای زیادی مانند دینامیک سریع، وابسته نبودن به پارامترهای سیستم و سادگی پیاده سازی از روشهای متداول مدولاسیون اینورترهای منبع ولتاژ در بازه گسترده‌ای از توان نامی می‌باشد. [37]

- روش کنترل میدان گرا (FOC)

اصول روش کنترل میدان گرا در سال ۱۹۷۱ برای اولین بار مطرح شد[38]. این روش پس از آن حجم بالایی از مقالات را به خود اختصاص داده است و در حال حاضر نیز از روشهای استاندارد به شمار می‌آید.[39-47]

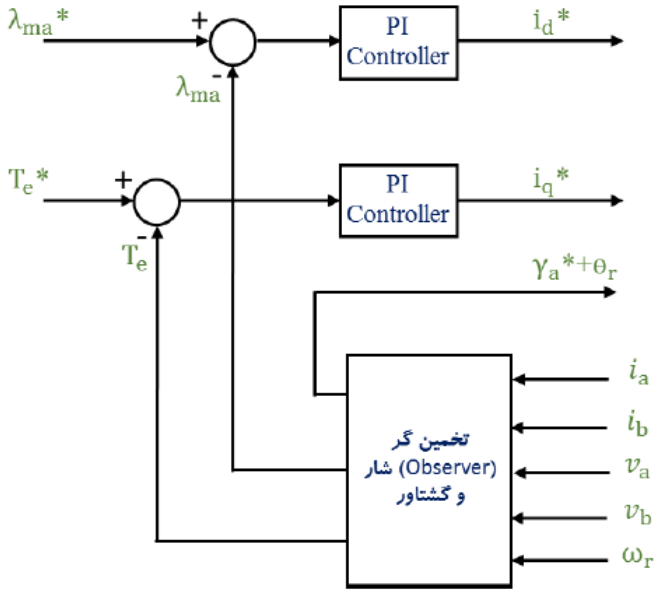
ورودیهای روش کنترل میدان گرا مقدار شار و گشتاور الکترومغناطیسی مرجع می‌باشند. در این روش سعی بر آن است که مؤلفه‌های جریان استاتور که مؤثر در گشتاور و شار ماشین می‌باشند، از یکدیگر تجزیه شوند. روش میدان گرا بردار جریان استاتور را به دو مؤلفه متعامد i_{sq} وi_{sd} تجزیه می‌کند تا اینکه یکی از این دو مؤلفه i_{sq} گشتاور و دیگری i_{sd} شار ماشین را کنترل کنند. بنابراین مؤلفه محور عمودی جریان استاتور در جهت شار ماشین قرار خواهد گرفت. در کنترل میدان گرا بسته

به اینکه از شار فاصله هوایی، استاتور یا روتور برای تمرکز میدان استفاده شود سه حالت میدان گرای فاصله هوایی، میدان گرای استاتور و میدان گرای روتور نتیجه می‌شود.

شکل ۲۹۵-۲ : بلوک تجزیه جریانها

- کنترل میدان گرای مستقیم (DFOC)

در روش میدان گرای مستقیم همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، از مقایسه مقدار شار مرجع و شار ماشین و گذراندن اختلاف این دو مقدار از یک کنترل کنندهی PI مقدار جریان مرجع محور مستقیم ساخته می‌شود. همچنین با گذراندن خطای بین گشتاور الکترومغناطیسی ماشین و مقدار مرجع آن از کنترل کننده PI مقدار جریان مرجع محور متعامد ساخته می‌شود. بنابراین مقادیر مرجع جریان محورهای مستقیم و متعامد استاتور به صورت مجزا از هم به دست می‌آیند. به دلیل اینکه در این روش جریانهای مرجع با استفاده از کنترل کنندههای PI به دست می‌آیند مستقل از مدل و پارامترهای ماشین میباشد و با تغییرات پارامترهای ماشین خطای ماندگار در کارکرد سیستم پیش نمی‌آید. ولی به دلیل استفاده از کنترل کننده‌های PI پایداری سیستم نسبت به حالتی که از مدل ماشین برای جداسازی جریانها استفاده شود ضعیف تر خواهد بود. لازمه پیاده‌سازی این روش تخمین گشتاور و شار ماشین می‌باشد. در شکل زیر یک بلوک برای محاسبه گشتاور الکترومغناطیسی و شار ماشین با استفاده از متغیرهای قابل اندازه‌گیری ماشین در نظر گرفته شده است. در این روش با وجود اینکه کنترل شار و گشتاور مستقل از پارامترهای سیستم صورت می‌گیرد، تخمین شار و گشتاور الکترومغناطیسی وابسته به پارامترهای ماشین می‌باشد.[42,47]



شکل ۲۹۶-۲ : شبکه جداسازی جریانها در روش میدان گرای مستقیم

- کنترل میدان گرای غیرمستقیم (IFOC)

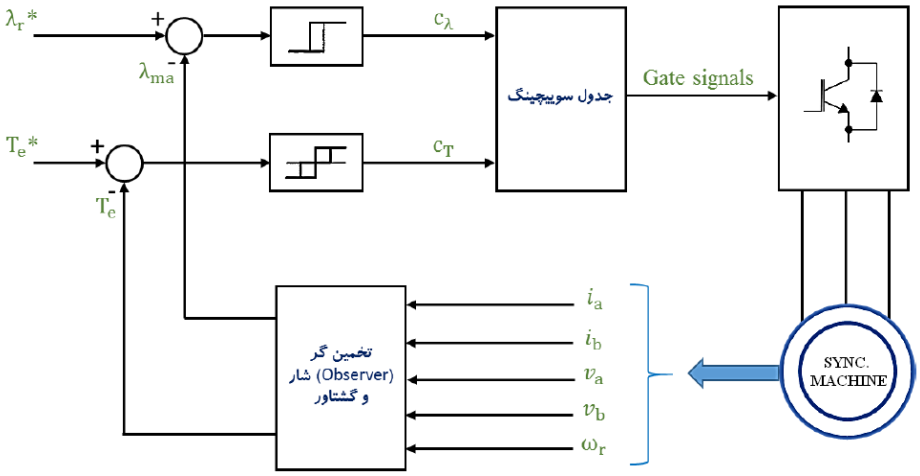
در این روش جداسازی جریان دو محور مستقیم و متعامد از طریق مدل ماشین انجام می‌شود. این روش برخلاف روش مستقیم وابسته به پارامترهای ماشین بوده و نسبت به تغییر پارامترهای ماشین از مقداری که برای محاسبه به کار گرفته می‌شود، حساس می‌باشد. البته این روش به دلیل استفاده نکردن از کنترل کننده‌های PI در مقایسه با روش مستقیم پایدارتر است. پس از جداسازی جریانهای دو محور با هر یک از دو روش مستقیم یا غیر مستقیم روشهای متفاوتی برای کنترل جریان میتواند مورد استفاده قرار گیرد.[12,45]

- روش کنترل مستقیم شار و گشتاور (DTFC)

روش کنترل مستقیم شار و گشتاور یا به طور خلاصه کنترل مستقیم گشتاورDTC یکی از روشهای دیگر کنترل برداری است که در حدود 13 سال پس از روش میدان گرا ارائه شده است و تا به حال نیز توجه محققان را به خود معطوف داشته است و باعث شده در این زمینه نوآوری‌هایی مانند ارائه روشهای متفاوت مدولاسیون و تخمین حالت به وقوع بپیوندد.[47-53]

گشتاور الکترومغناطیسی با افزایش مقدار شار استاتور و زاویه بین شار استاتور و روتور افزایش می‌یابد. از طرفی تغییرات شار استاتور با ولتاژ پایانه‌های استاتور که در اصل یکی از بردارهای ولتاژ پایه اینورتر است کنترل می‌شود. همچنین به دلیل کند بودن دینامیک مدار روتور فرض می‌شود مقدار شار روتور ثابت بماند. بنابراین با توجه به موارد فوق با انتخاب بردار پایه مناسب و کنترل تغییرات شار، میتوان مقدار شار و گشتاور را به طور مستقیم و با دینامیک سریع کنترل کرد.

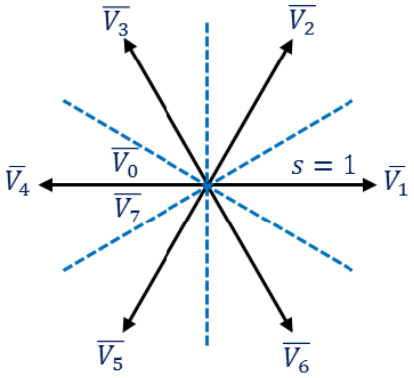
طرح ساده پیاده سازی این روش در شکل زیر نشان داده شده است. در این شکل کنترل کننده گشتاور، مقایسه‌گر هیسترزیس سه سطحی و کنترل کننده شار، از نوع مقایسه گر دو سطحی هیسترزیس می‌باشند. به این ترتیب در خروجی کنترل کننده گشتاور سه حالت ممکن صفر، ۱ و ۱- خروجی کنترل کننده شار دو حالت ممکن ۱ و ۱- را خواهیم داشت. با توجه به حالتهای مختلف خروجی کنترل کننده‌های هیسترزیس و با توجه به قطاعی که بردار شار در حوزه αβ در آن قرار دارد، از جدول سوییچینگ که در جدول زیر نشان داده شده است، بردار ولتاژ مناسب انتخاب شده و اعمال می‌شود. بردارهای ولتاژ و قطاع‌های در نظر گرفته شده در این روش نیز در شکل زیر نشان داده شده اند.[48-49]



شکل ۲۹۷-۲ : پیاده سازی روش کنترل مستقیم گشتاور

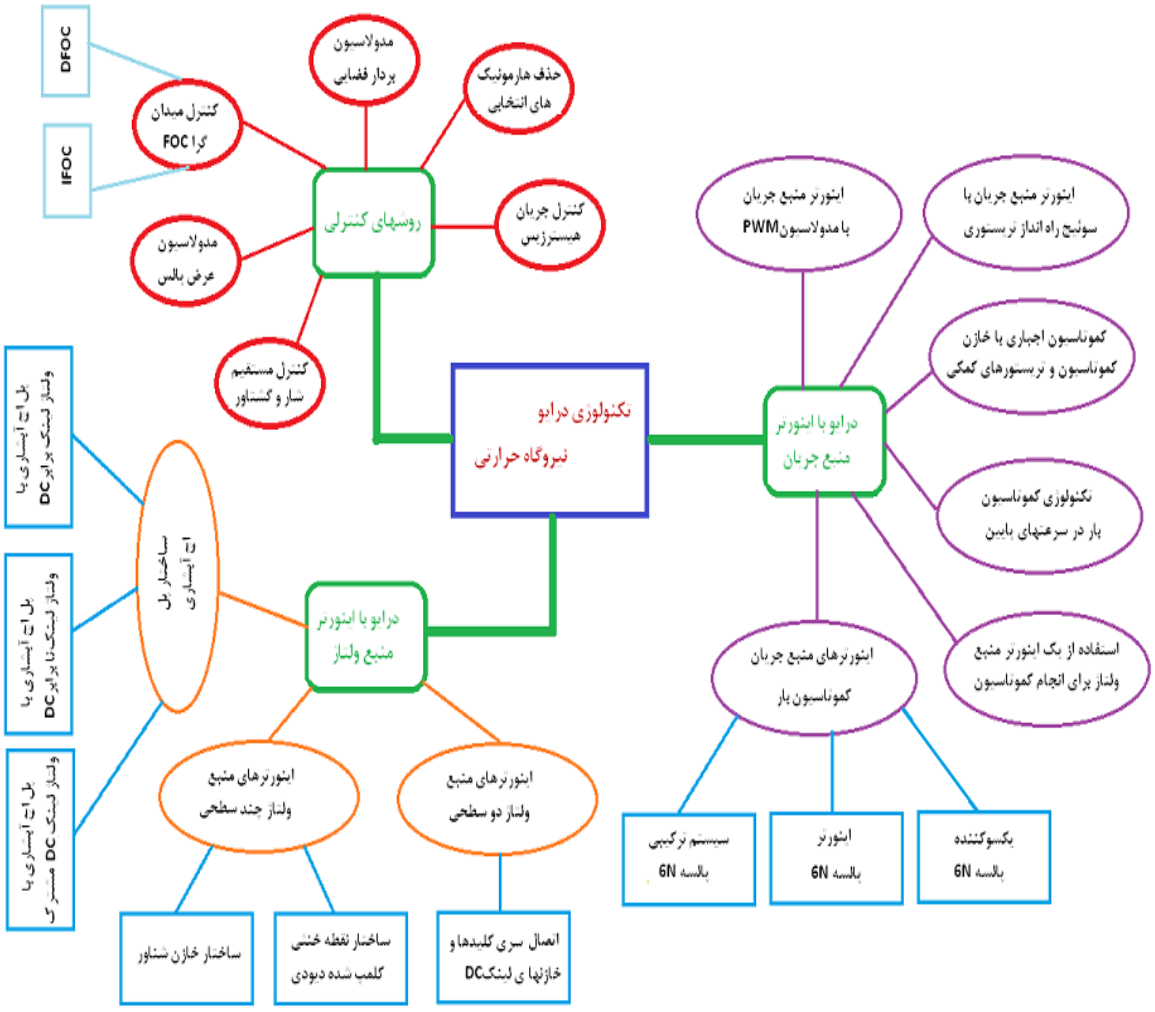
جدول ۸۵-۲ : جدول سوییچینگ در حالت کنترل مستقیم گشتاور

Sector		1	2	3	4	5	6
$c_\varphi = -1$	$c_T = -1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_3$	$\overline{V}_4$	$\overline{V}_5$	$\overline{V}_6$	$\overline{V}_1$
	$c_T = 0$	$\overline{V}_7$	$\overline{V}_0$	$\overline{V}_7$	$\overline{V}_0$	$\overline{V}_7$	$\overline{V}_0$
	$c_T = +1$	$\overline{V}_6$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_3$	$\overline{V}_4$	$\overline{V}_5$
$c_\varphi = +1$	$c_T = -1$	$\overline{V}_3$	$\overline{V}_4$	$\overline{V}_5$	$\overline{V}_6$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$
	$c_T = 0$	$\overline{V}_0$	$\overline{V}_7$	$\overline{V}_0$	$\overline{V}_7$	$\overline{V}_0$	$\overline{V}_7$
	$c_T = +1$	$\overline{V}_5$	$\overline{V}_6$	$\overline{V}_1$	$\overline{V}_2$	$\overline{V}_3$	$\overline{V}_4$



شکل ۲۹۸-۲ : بردارهای پایه سوییچینگ

۲-۲-۳-۳- درخت فناوری سیستم‌های درایو نیروگاه حرارتی



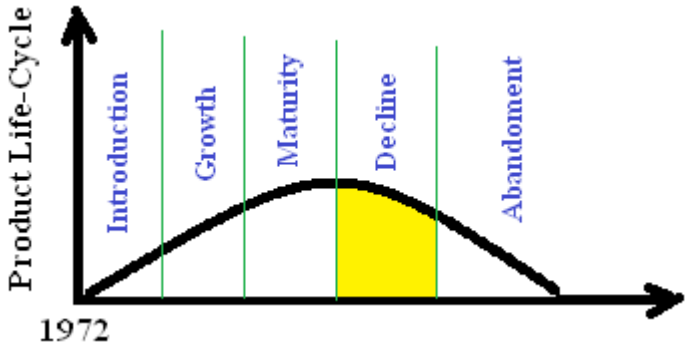
شکل ۲۹۹-۲ : درخت تکنولوژی سیستم درایو نیروگاه حرارتی

۲-۲-۳-٤- چرخه بلوغ فناوری

در این بخش به بررسی چرخه بلوغ فناوریهای مورد اشاره با توجه به زمان ارائه و وضعیت کنونی آنها می پردازیم.

- ساختار کموتاسیون منبع

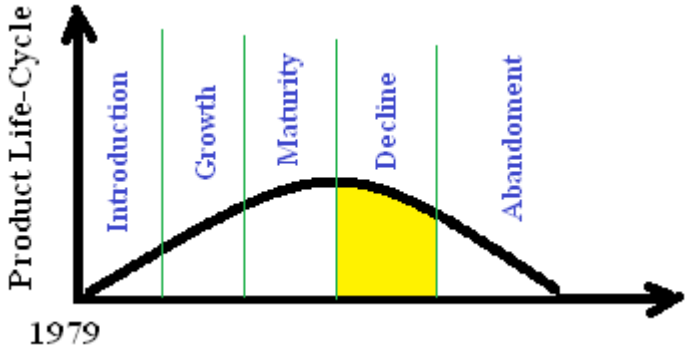
این تکنولوژی اولین بار در سال ۱۹۷۲ میلادی توسط پترسون و جل ارائه گردید[2]. در سال ۲۰۰۵ هم توسط بولدآ و نصر در ردیف یکی از درایو های الکتریکی مورد اشاره قرار گرفت[12]. هم اکنون استفاده از این تکنولوژی با توجه به معایب ذکر شده همچون زمانبر بودن کاهش جریان لینک DC و وابستگی عملکرد آن به سرعت پایین ماشین و با عنایت به روشهای مترقی تر ابداع شده کمتر انجام می گیرد. در شکل زیر چرخه بلوغ این فناوری و مرحله ای که هم اکنون در آن قرار داریم نشان داده شده است.



شکل ۳۰۰-۲ : چرخه بلوغ فناوری ساختار کموتاسیون منبع

- کموتاسیون اجباری با استفاده از خازن کموتاسیون و تریستورهای کمکی

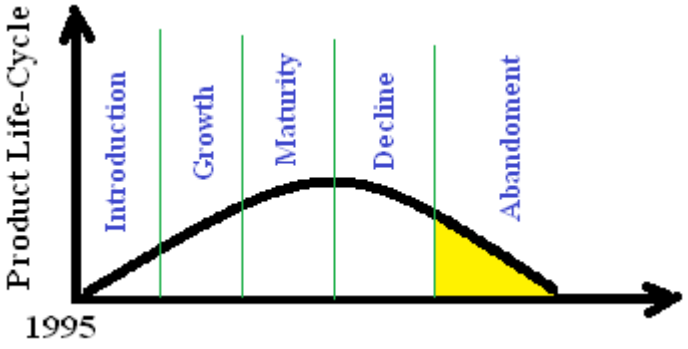
این روش اولین بار در سال ۱۹۷۹ توسط محققان بنامی همچون اشتایگروالد و لیپو مورد توجه قرار گرفت و نتایج تحقیقات خود را در مقاله ای ارائه نمودند[3]. اگرچه در حال حاضر با توجه به روشهای با مزیت بالاتری که وجود دارد، این روش کمتر برای کاربردهای توان بالا مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳۰۱-۲ : چرخه بلوغ فناوری ساختار کموتاسیون اجباری با استفاده از خازن کموتاسیون و تریستورهای کمکی

- روش استفاده از کموتاسیون بار در سرعتهای پایین

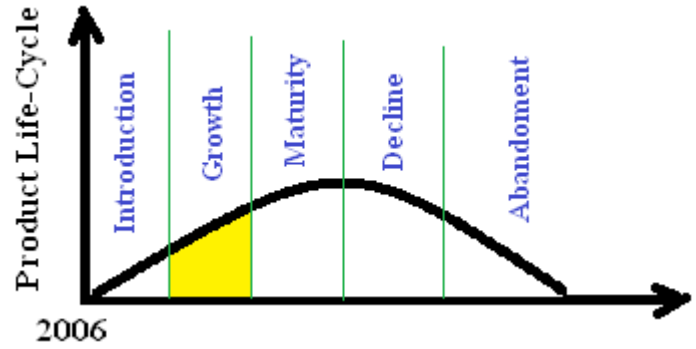
این روش ابتدا توسط سادهوف و همکاران در سال ۱۹۹۵ ارائه گردید. البته هم اکنون به دلیل معایب ذکر شده در خصوص درایو ماشینهای سنکرون بزرگ و نیاز به یک سرعت مینیمم جهت کموتاسیون بار کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳۰۲-۲ : چرخه بلوغ فناوری روش استفاده از کموتاسیون بار در سرعتهای پایین

- استفاده از یک اینورتر منبع ولتاژ برای انجام کموتاسیون

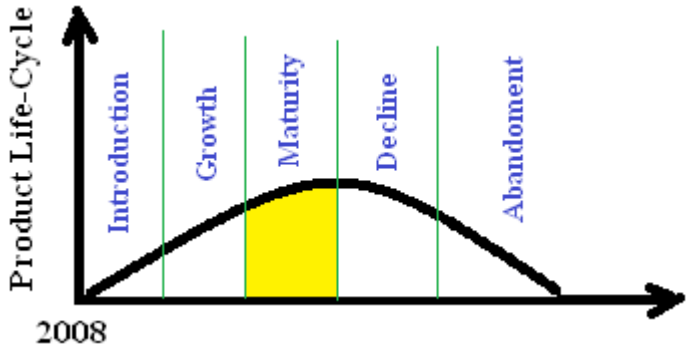
این روش اولین بار در سال ۲۰۰۶ توسط کواک و تولیت ارائه گردیده است[13]. این روش با توجه به مزایایی از جمله کاهش مقادیر نامی مدار کموتاسیون و سادگی کنترل روش مناسبی است اما با توجه به هزینه تمام شده بالاتر هنوز در مرحله رشد تکنولوژی خود قرار دارد.



شکل ۳۰۳-۲ : چرخه بلوغ فناوری روش استفاده از یک اینورتر منبع ولتاژ برای انجام کموتاسیون

- اینورترهای منبع جریان کموتاسیون بار

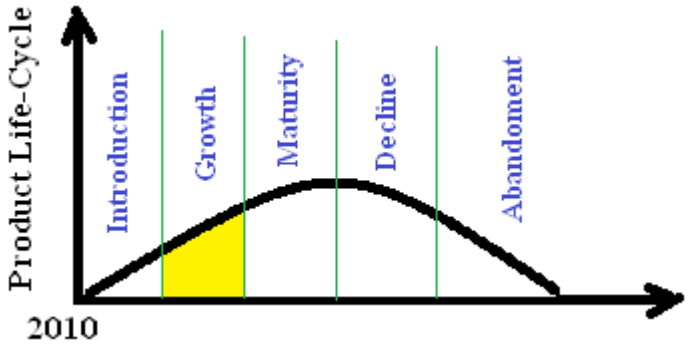
این روش در سال ۲۰۰۸ ارائه گردید[19] و با توجه به مزایای بسیار و کاهش THD قابل توجه این فناوری در مرحله بلوغ خود می باشد.



شکل ۳۰۴-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع جریان کموتاسیون بار

- اینورترهای منبع جریان با مدولاسیون عرض پالس PWM

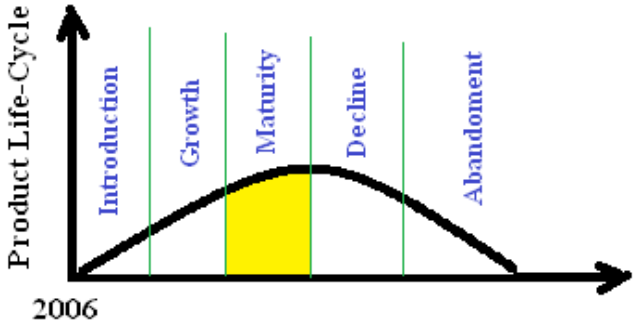
این روش توسط کورو و همکاران در سال ۲۰۱۰ ارائه گردیده است[20]. با توجه به مزایای فوق العاده این روش در این سالها این تکنولوژی در حال رشد می باشد.



شکل ۳۰۵-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع جریان با مدولاسیون عرض پالس **PWM**

- اینورترهای منبع ولتاژ دو سطحی با قدرت بالا

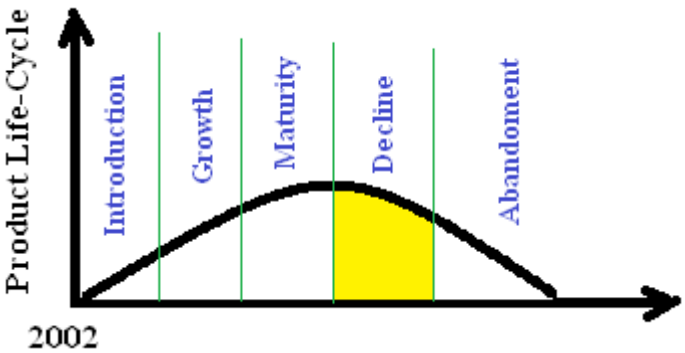
این روش در سال ۲۰۰۶ توسط کواک و همکاران ارائه گردیده است[21] و با توجه به مزایای اتصال سری در کاهش مقادیر نامی مورد استفاده قرار دارد.



شکل ۳۰۶-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ دو سطحی با قدرت بالا

- اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار نقطه خنثی مقید شده (کلمپ شده) دیودی

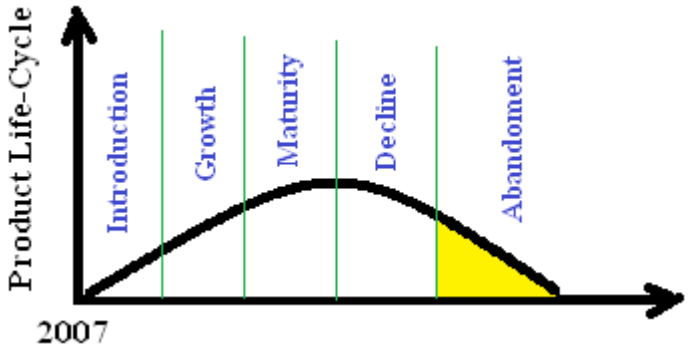
گرچه سابقه این ساختار به دهه ۹۰ میلادی باز می گردد. اما به صورت جدی این ساختار در سال ۲۰۰۲ در ابتدا به عنوان اینورتر سه سطحی ارائه شد. رودریگوئز و همکاران به توپولوژی و ساختار این سیستم اشاره نموده اند[27]. اگرچه این ساختار مزایای قابل توجهی دارد اما با توجه به پیچیدگی زیاد و از آن مهمتر ماژولار نبودن ساختار آن روند استفاده از آن به سمت کاهش می باشد.



شکل ۳۰۷-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار نقطه خنثی مقید شده (کلمپ شده) دیودی

- اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار خازن شناور

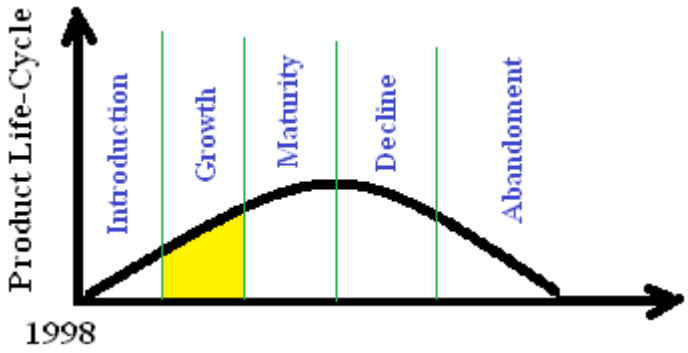
این ساختار در ابتدا در سال ۱۹۹۲ ارائه گردید اما به صورت یک سیستم چند سطحی در سال ۲۰۰۷ مورد توجه قرار گرفت[22]. با توجه به تعداد زیاد خازن مورد استفاده با افزایش سطوح ولتاژ و در نتیجه افزایش حجم و هزینه سیستم این روش هم اکنون چندان مورد استفاده قرار ندارد.



شکل ۳۰۸-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار خازن شناور

- اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار پل اچ آبشاری

اگرچه ارائه اولیه این ساختار در ۱۹۸۸ توسط مارکیزونی و همکاران صورت گرفت اما ارائه جدی به عنوان سیستم چند سطحی قابل استفاده در سال ۱۹۹۸ به چاپ رسید[26]. این تکنولوژی دارای مزایای فراوانی به خصوص ماژولار بودن آن می باشد. یا توجه به بلوغ علمی این ساختار در صنعت توسط شرکتهای بزرگ سازنده درایو هنوز آنطور که شایسته است به کار گرفته نشده است.



شکل ۳۰۹-۲ : چرخه بلوغ فناوری اینورترهای منبع ولتاژ چند سطحی با ساختار پل اچ آبشاری

۲-۲-۳-۵- مشخصه‌های فنی

در این بخش به مشخصات فنی سیستمهای درایو می پردازیم. لذا برخی پارامترهایی که در جداول مشخصات فنی تولیدکنندگان سیستم درایو ارائه می گردد، معرفی می شوند. درایوها معمولا از ساختاری شامل یکسوکننده، اینورتر، راکتور لینک DC (اینورتر منبع جریان)، خازن لینک DC (اینورتر منبع ولتاژ) و دیگر اجزا تشکیل می شوند. ولتاژ منبع به ورودی رکتیفایر داده شده و پس از یکسو شدن جهت اعمال ولتاژ AC با فرکانس مد نظر به ورودی اینورتر داده می شود. سپس اینوتر با سوئیچینگ کلیدهای خود ولتاژ مطلوب را در خروجی تحویل می دهد. در مشخصات فنی این تجهیزات مطابق جدول ذیل کمیات ورودی و خروجی شامل ولتاژ، توان و فرکانس در اختیار کاربر قرار داده می شود.

جدول ۸۶-۲ : جدول مشخصات فنی پارامترها

پارامتر	توضیحات
Structure	ساختار مبدل
V_{in}	ولتاژ ورودی سه فاز نامی که می بایست به ورودی یکسوساز متصل گردد.
$V_{in\sim}$	دامنه تغییرات مجاز ولتاژ ورودی
f_{in}	فرکانس نامی ولتاژ ورودی
$f_{in\sim}$	دامنه تغییرات مجاز فرکانس ورودی
pf	ضریب توان ورودی در شرایط بار نامی
V_{ctrl}	ولتاژ مورد نیاز برای سیستم کنترل و بخشهای الکترونیکی
V_{out}	ولتاژ نامی خروجی
I_{out}	جریان نامی خروجی
P_{out}	توان نامی خروجی
f_{out}	فرکانس خروجی
Eff	بازده مبدل
IP	درجه حفاظت محفظه مبدل
Cooling	نوع سیستم خنک سازی مبدل
dB	میزان نویز تولیدی سیستم درایو بر حسب دسیبل در بار کامل
STD	استاندارد مورد استفاده در ساخت درایو
ENV	محدوده مجاز شرایط محیطی محل کاربری
THD	اعوجاج هارمونیکی کل
DIM	مشخصات فیزیکی مانند وزن، حجم و ..

لازم به ذکر است که سازندگان حسب مورد ممکن است تنها بخشی از اطلاعات فوق را در اختیار کاربران قرار دهند.

۶-۳-۲-۲- شرکت‌های خارجی سازنده سیستم‌های درایو

در این بخش به بررسی شرکتهای سازنده خارجی تجهیزات درایو که در حوزه بین المللی مطرح هستند، خواهیم پرداخت. همچنین در خصوص سیستم به کار رفته و مشخصات فنی محصولات آنها نیز مطالب مربوطه ارائه خواهد گردید.

- شرکت ABB

مدل ACS5000 بر اساس پلتفرم مشهور ACS شرکت ABB در بسیاری از نیروگاهها و صنایع مورد استفاده می-باشد. این درایو به طور خاص برای موتورهای تا سطح ولتاژ ۱۳/۸ کیلوولت طراحی شده است. در این درایو از ترکیب

درایوهای سابق شرکت ABB در سطح ولتاژ متوسط و تکنولوژی اینوترهای چند سطحی بدون فیوز منبع ولتاژی[1] استفاده شده است. این تکنولوژی باعث افزایش قابلیت اطمینان و بازده می‌شود. در شکلهای زیر نمای جلو و نمای پشت این درایو نشان داده شده است.[54]

شکل ۳۱۰-۲ : نمای جلوی درایو **ACS5000**

شکل ۳۱۱-۲ : نمای پشت درایو **ACS5000**

مزایای این درایو به شرح زیر می‌باشد:

- قابلیت اطمینان بالاتر به علت کاهش ادوات استفاده شده
- راندمان بالاتر نسبت به نمونه‌های مشابه به علت استفاده از تکنولوژی VSI-MF
- دارای THD پایین جریان ورودی به علت یکسوساز ۳۶ پالسه ورودی
- کنترل کامل بر روی موتور بر اساس استفاده از الگوریتم کنترلی DTC
- نصب و راه‌اندازی ساده و سادگی در تعمیرات

مشخصات مهم سخت افزاری این درایو به شرح زیر می‌باشد:

[1]- Voltage Source InverterMultilevel-Fuseless

- استفاده از کلیدهای الکترونیک قدرت IGCT: استفاده از IGCT باعث کاهش در تعداد قطعات، کاهش پیچیدگی، افزایش بازده و قابلیت اطمینان می‌شود.

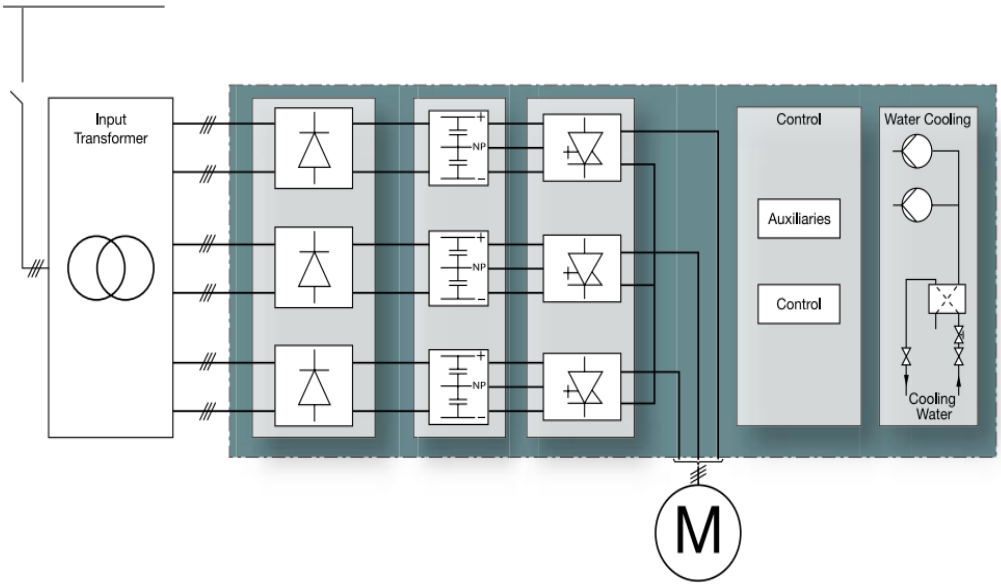
شکل ۳۱۲-۲ : نمایی از **IGCT**

- استفاده از خازنهای لینک DC با عمر بالا: در این درایو از خازنهای خودترمیم ساخته شده از فویل استفاده شده است که باعث افزایش عمر خازنهای لینک DC و به طبع آن عملکرد مناسب درایو می‌شود.
- کانورتر بدون فیوز: با توجه به اینکه فیوزهای فشار متوسط دارای عمر کم، قیمت بالاو همچنین عدم قابلیت اطمینان بالا میباشند در این درایو از IGCT استفاده شده است که حفاظت با سرعت بیشتر(زیر ۲۵ میکروثانیه) و همچنین با قابلیت اطمینان بسیار بالا را فراهم می‌کند.

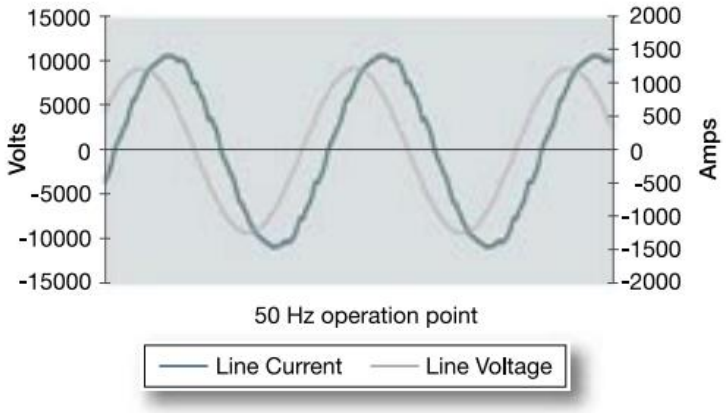
آرایش کلی این درایو در شکل ۳۱۳-۲ آمده است.

مزیت‌های این آرایش عبارتند از:

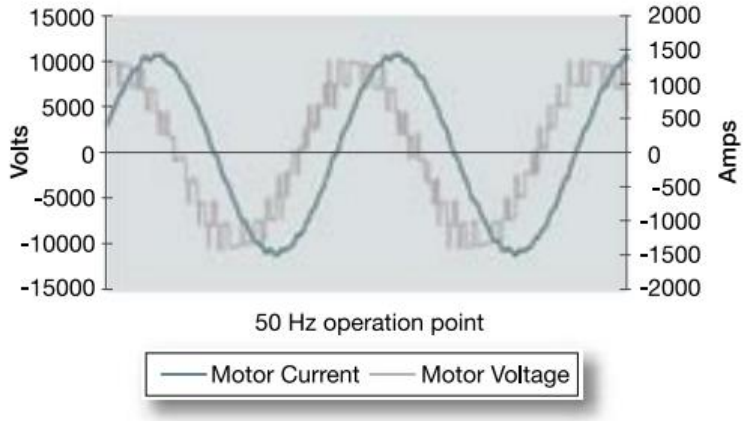
- به منظور کاهش THD جریان ورودی، یکسوساز استفاده شده در این درایو از نوع ۳۶ پاسه میباشد باعث می‌شود جریان وردی دارای THD بسیار پایینی باشد (شکل ۳۱۴-۲).
- به علت کارکرد راحت‌تر موتور و افزایش عمر آن در این درایو از تکنولوژی چند سطحی استفاده شده است. همچنین مبدل این درایو از نوع ولتاژی می‌باشد و علت آن قابلیت کنترل‌پذیری بهتر آن نسبت به مبدل‌های جریانی است (شکل ۳۱۵-۲).



شکل ۳۱۳-۲ : آرایش کلی سیستم **ACS5000**



شکل ۳۱۴-۲ : نمودار جریان و ولتاژ ورودی درایو **ACS5000**



شکل ۳۱۵-۲ : نمودار جریان و ولتاژ خروجی درایو **ACS5000**

در جدول زیر مشخصات فنی این سیستم ذکر شده است:

جدول ۸۷-۲ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت **ABB**

پارامتر	توضیحات
Structure	36-Pulse Diode Rectifier & Multilevel Voltage Source Inverter
V_{in}	1920~3960V
$V_{in\sim}$	+/-10%
f_{in}	50/60Hz
$f_{in\sim}$	5%
Pf	>0.96
V_{ctrl}	110/220VDC or 110~240VAC
V_{out}	6~13.8KV
P_{out}	2000~36000KW
f_{out}	0~250Hz
Eff	>98.5%
IP	IP21(Air)-IP42(Air & Water)- IP54(Water)
Cooling	Air-Water
dB	<80dB
STD	EN-IEC-CE
ENV	0~40℃-2000m

لازم به ذکر است که تکنولوژی مگادرایو شرکت ABB در گزارش حوزه سیستم راه انداز مورد مطالعه قرار گرفته است که جهت پرهیز از تکرار مطالب به آن گزارش ارجاع می گردد.

- شرکت زیمنس (Siemens)

شرکت Siemens یکی از شرکت‌هایی است که در تمامی سطوح ولتاژ دارای درایو می‌باشد و تکنولوژی خاص خود را در زمینه کنترلی و سخت افزاری پیاده کرده است. درایوهای فشار ضعیف، فشار متوسط و ولتاژ DC این شرکت در بسیاری از مناطق جهان مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

یکی از درایوهای معروف ولتاژ متوسط شرکت زیمنس مدل GL150 میباشد که دارای رنج ولتاژی و توانی بالایی میباشد[55]. در شکل ۳۱۶-۲ نمایی از این مدل آمده است.

شکل ۳۱۶-۲ : نمایی از درایو **GL150** شرکت زیمنس

مبدل LCI (اینورتر کموتاسیون بار) ، SINAMICS GL150 ، برای کاربردهای تک موتوره با ویژگی های گشتاور متغیر و ثابت در رده های قدرت تا ۸۵ مگاوات (مقادیر بالاتر در صورت درخواست) طراحی شده است. دارای قابلیت خنک کنندگی توسط هوا و آب می‌باشد. معمولاً برای کاربردهای با سرعت متغیر و همچنین برای راه اندازی موتورها و ژنراتورهای بزرگ سنکرون و تا سرعتهای حدود ۷۰۰۰ دور در دقیقه استفاده می شود.

در ساختار این سیستم رکتیفایر پل تریستوری با تکنولوژی ۶، ۱۲ و ۲۴ پالسه در اختیار می باشد. همچنین اینورتر سیستم به صورت پل تریستوری به صورت ۶ و ۱۲ پالسه عرضه می گردد.

از مزیت‌های این درایو می‌توان به نکات ذیل اشاره نمود:

- در مقایسه با درایوهای منبع ولتاژی (VSI) دارای قیمت رقابتی در توان‌های بالا می‌باشد.
- استفاده از تریستورهای پرقدرت باعث کم شدن تعداد قطعات شده است.
- قابلیت برگشت توان
- طراحی ضد قوس الکتریکی

جدول زیر مشخصات فنی این محصول را نشان می دهد.

جدول ۸۸-۲ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت زیمنس

پارامتر	توضیحات
Structure	6/12/24 Pulse Thyristor Rectifier and 6/12 Pulse LCI Thyristor

	Bridge Inverter
V_{in}	Air Cooling: up to 5.4KV Water Cooling: up to 12KV
$V_{in\sim}$	10%
f_{in}	50/60 Hz
$f_{in\sim}$	3%
pf	0.82
V_{out}	Air Cooling: up to 4.8KV Water Cooling: up to 11KV
P_{out}	5~85MW
f_{out}	0~125Hz
Eff	>99%
IP	Air Cooling: IP20 Water Cooling: IP42
Cooling	Air, Water
STD	IEC, EN, CE
ENV	5~40℃- 1000m

- شرکت جنرال الکتریک (General Electric)

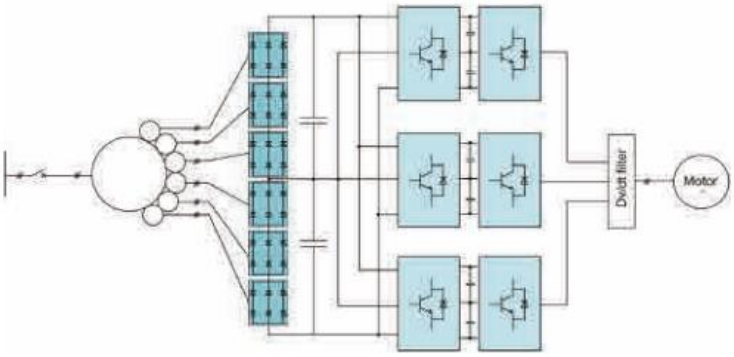
شرکت جنرال الکتریک یکی از شرکتهای معتبر و پیشرو در عرصه تکنولوژی درایوهای فرکانس متغیر می باشد که محصولات آن در کاربردهای مختلف و در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار می گیرد. این شرکت سازنده درایوهای فشار ضعیف و فشار متوسط و سیستمهای راه انداز استاتیک نیروگاهی می باشد. درایوهای سری MV این شرکت درایوهای فشار متوسطی هستند که در صنایع نیروگاهی مورد استفاده قرار می گیرند[56].

این درایوها از درایوهای پیشرفته شرکت GE میباشد که دارای توان خروجی تا ۸۱ مگاوات میباشد. در شکل زیر نمایی از این درایو نشان داده شده است.

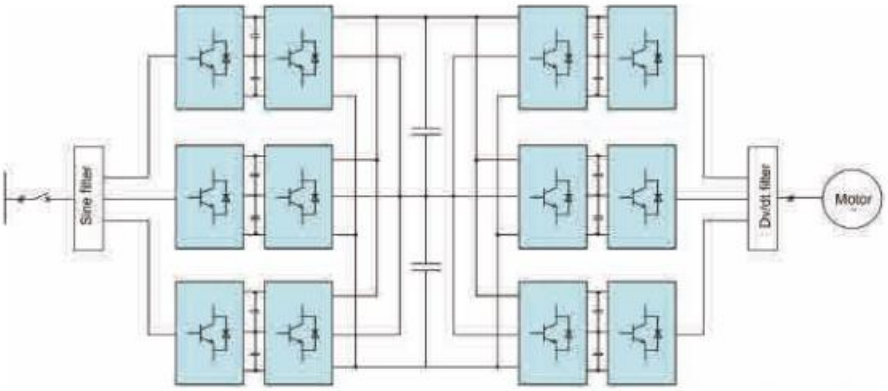
شکل ۳۱۷-۲ : نمای از درایو سری **MV** شرکت جنرال الکتریک

مزیت‌های این درایو شامل موارد زیر است:

- دارای یکسوساز ۳۶ پالسه (نیازمند ترانسفورماتور میباشد) (شکل ۳۱۸-۲) و یا یکسوساز اکتیو (بدون نیاز به ترانسفورماتور) (شکل ۳۱۹-۲) جهت کاهش THD جریان ورودی

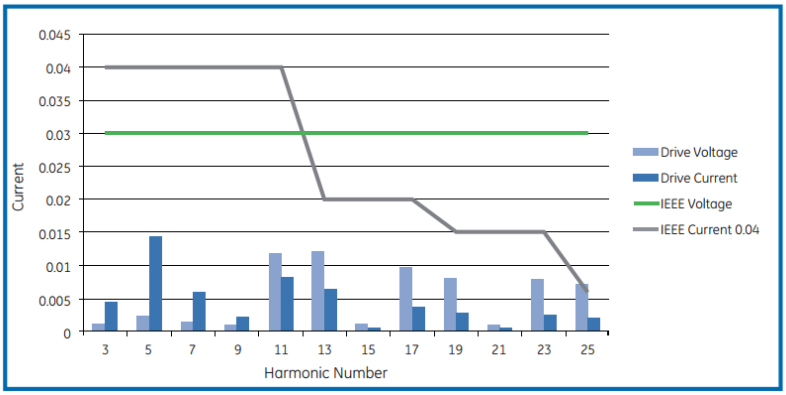


شکل ۳۱۸-۲ : شماتیک درایو **MV** شرکت جنرال الکتریک با یکسوساز ۳۶ پالسه



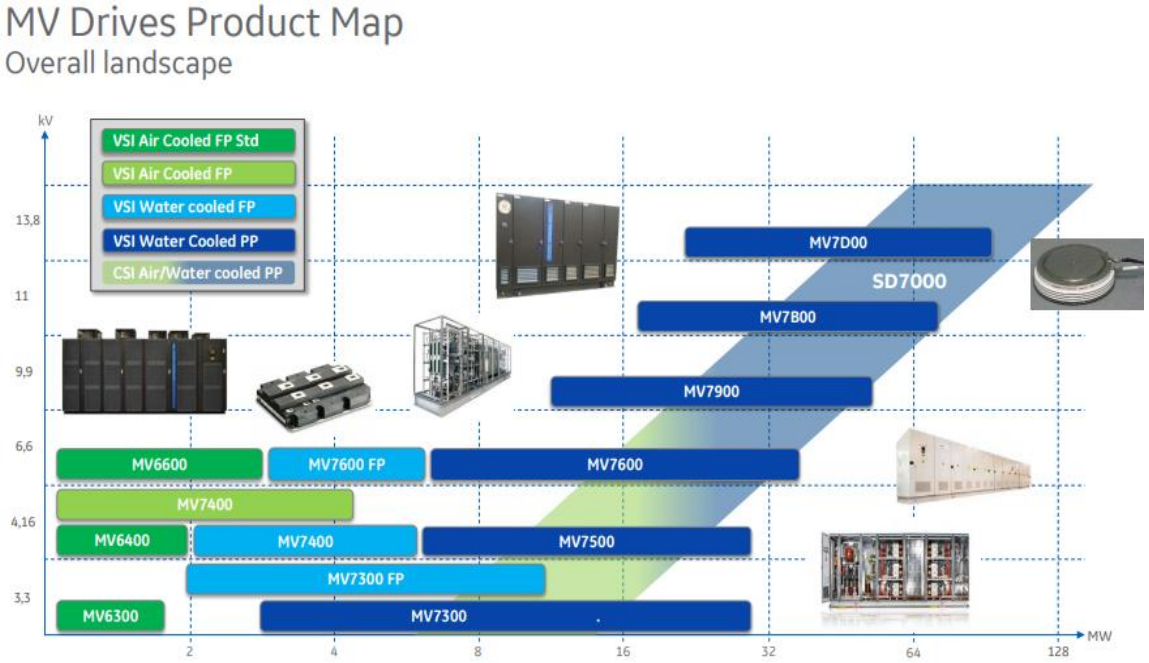
شکل ۳۱۹-۲ : شماتیک درایو **MV** شرکت جنرال الکتریک با یکسوساز فعال

- طراحی ماژولار که باعث افزایش سرعت تعمیر می‌شود
- ولتاژ خروجی سینوسی با THD بسیار پایین که باعث در تنش قرار نگرفتن عایق کابل‌ها و موتور می‌شود. ولتاژ خروجی این مدل توسط تکنولوژی چندسطحی و با استفاده از IGBTهای با رنج مناسب ساخته می‌شود. در شکل ۳۲۰-۲ آنالیز هارمونیکی ولتاژ و جریان خروجی مدل MV6 آمده است و با مقادیر مجاز استاندارد مقایسه شده است.



شکل ۳۲۰-۲ : آنالیز هارمونیکی ولتاژ و جریان خروجی درایو **MV6**

درایوهای سری MV در صنایع مختلف خصوصا صنایع نیروگاهی و نفت و گاز مورد استفاده قرار می گیرد. شکل ۲-۳۲۱ گستره عملکرد این سری محصولات را در گستره توان و ولتاژ به خوبی نشان می دهد.



شکل ۲-۳۲۱ : گستره عملکرد درایو سری **MV** شرکت جنرال الکتریک

جدول ۲-۸۹ مشخصات فنی درایوهای فشار متوسط سری MV را لیست نموده است.

جدول ۲-۸۹ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت جنرال الکتریک

پارامتر	توضیحات
Structure	12~36-Pulse Diode Rectifier/IGBT Bridge Rectifier & Multilevel(3 or 5 level) Voltage Source Inverter IGBT
V_{in}	3~13.8KV
$V_{in\sim}$	+/-10%
f_{in}	50/60Hz
$f_{in\sim}$	5%
pf	>0.96
V_{out}	3~13KV
P_{out}	3~81MW
f_{out}	0~300Hz
Eff	>99%
IP	IP31-IP44
Cooling	Air-Water
STD	EN-IEC
ENV	0~45℃-1000m

- شرکت Allen-Bradley

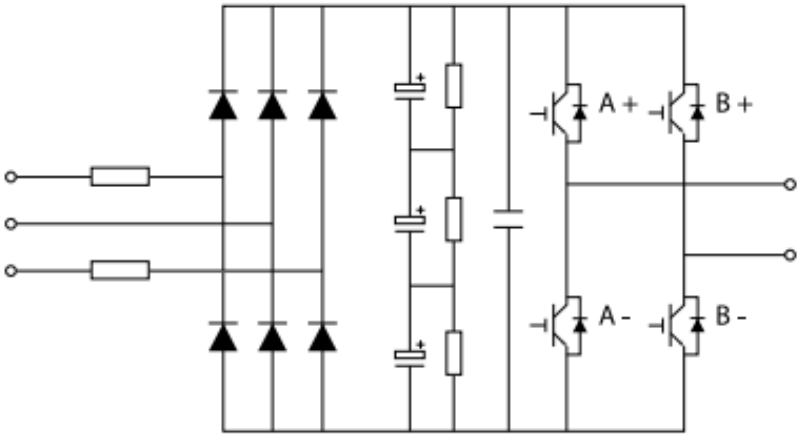
پیشرفته ترین محصول درایو ولتاژ متوسط این شرکت با نام PowerFlex7000 می باشد که قابلیت مهم و اصلی آن دارا بودن حفاظت از قوس الکتریکی است. در شکل زیر نمای این درایو نشان داده شده است[57].

شکل ۳۲۲-۲ : نمای درایو فشار متوسط شرکت **Allen-Bradley**

این درایوهای ولتاژ متوسط برای کاربردهای مختلفی همچون کنترل سرعت موتورهای ولتاژ متوسط تا فن، پمپ، آسیاب، نوار نقاله و کمپرسور به کار می روند. تجهیزاتی موثر برای کنترل موتورهای تا ۶۳۰۰ کیلووات و با ولتاژ ۲.۳ تا ۶.۶ کیلوولت می باشند. این درایوها با سیستم خنک کننده هوا و آب طراحی شده اند.

برای به حداکثر رساندن بهره وری انرژی، دارای امکان شروع نرم و کنترل سرعت متغیر در کاربردهای عادی و سنگین می باشند. برای دستیابی به هارمونیک ورودی کم و ضریب قدرت نزدیک به واحد، در ساختار درایوها از توپولوژیBridge Cascaded H استفاده شده است.

تعدادی از این ماژولهای قدرت ولتاژ پایین یکسان به هم سری (کسکود) می شوند تا ولتاژ متوسط با سطح مورد نیاز برای کارکرد موتور تولید شود. تغییرات خروجی ناشی از هر ماژول نسبتا کوچک است و از مدولاسیون عرض پالس برای الگوی سوئیچینگ استفاده می شود. لذا هارمونیکهای خروجی و نوسانات گشتاور موتور حتی در سرعت های پایین نیز مینیمم هستند. این فناوری اجازه می دهد تا از موتورهای استاندارد برای کاربردهای جدید استفاده شود و این امکان را می دهد تا طول کابل موتور بدون نیاز به فیلتر کردن خروجی، طولانی تر گردد.



شکل ۳۲۳-۲ : ماژول قدرت **H Bridge** شرکت **Allen-Bradley**

این ساختار ماژول قدرت تعمیر و نگهداری را سریع و آسان می کند. هر ماژول دارای تشخیص داخلی برای شناسایی و جداسازی در هنگام خرابی جهت جایگزینی است. با این کار زمان تعویض ماژول قدرت به حداقل می رسد. همچنین گزینه Bypass ماژول معیوب نیز در دسترس می باشد. همچنین در ساختار اینورتر از اینورترهای منبع جریانی با سوئیچ مدرن SGCT نیز استفاده می گردد.

جدول ۹۰-۲ مشخصات فنی این سیستم را نشان می دهد:

جدول ۹۰-۲ : مشخصات فنی سیستم درایو شرکت **Allen-Bradley**

پارامتر	توضیحات
Structure	Active Front End SGCT /18-Pulse SCR Rectifier/18~54 Pulse Diode Rectifier Cascaded H Bridge IGBT/ SGCT Current Control Inverter
V_{in}	2400V, 3300V, 4160V, 6600V
$V_{in\sim}$	10%
f_{in}	50/60Hz
$f_{in\sim}$	5%
pf	>0.95
V_{ctrl}	110/120V-220/240V
V_{out}	0~6.6KV
P_{out}	150~6300KW
f_{out}	0.1~90Hz
Eff	>97.5%
IP	IP21-IP42
Cooling	Air-Water

dB	85dB
STD	NEMA, IEC, CSA, UL, ANSI, IEEE
ENV	0~40℃-1000m

- شرکت INGETEAM اسپانیا

سری MV900 از خانواده INGEDRIVE از مبدل های ولتاژ متوسط با توپولوژی سه سطحی و نیمه هادی های HV-IGBT داخلی تشکیل شده است. آنها آب خنک هستند و برای کنترل انواع ماشینهای الکتریکی در کاربردهای نیروگاهی، صنعتی و دریایی طراحی شده اند.[58]

این تجهیز یک راه حل فشرده مناسب و کاربرپسند برای سیستمهای توان بالا با توجه به دینامیک بالای تجهیز و محدوده توانی عملکرد آن می باشد.

شکل ۳۲۴-۲ : نمایی از سیستم مبدل ولتاژ متوسط شرکت **INGETEAM**

سخت افزار کنترل بر اساس ماژول های مشترک استاندارد خانواده INGEDRIVETM، چه در ولتاژ پایین و چه در ولتاژ متوسط ساخته شده است. سیستم کنترل از ماژول های اصلی زیر تشکیل شده است:

PMM [Power Management Module]و CCU [Converter Control Unit] که اجازه ساختار چند سطحی را فراهم نموده و می تواند برای توپولوژی های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

مشخصات اصلی سیستم به شرح زیر است:

- سخت افزار قابل اطمینان براساس ماژول های استاندارد
  - طراحی مدولار همه کاره
  - در بخشهای مختلف کاربرد معتبر است
- ظرفیت پردازش پیشرفته
  - پردازنده DSP برای تنظیم و کنترل توابع
  - ریز پردازنده PLC برای توابع منطقی کنترل
- رابط قدرتمند برای ورودی و خروجی
  - اندازه گیری با وضوح بالا

- گزینه ای برای گسترش ورودی / خروجی دیجیتال / آنالوگ
- امکان ارتباط با چندین باس میدان

- مقاومت الکترومکانیکی بالا
  - طراحی مقاوم با پوشش فلزی
  - دارای گواهینامه EMC (IEC 60092 / IEC 61800)

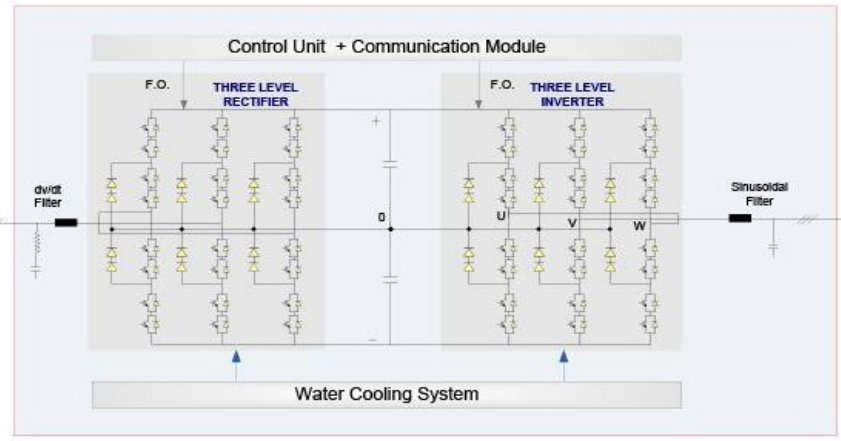
دستگاه‌های استاندارد INGEDRIVETM حاوی PLC هستند که برنامه نویسی آنها بر اساس استاندارد است و به مشتری این امکان را می دهد تا از لاجیک سیستم خود استفاده کند و سیگنال ها و ارتباطات خود را مطابق با نیازهای خود برنامه ریزی کند.

سیستم کنترل خانواده INGEDRIVETM چنان قدرتمند و تطبیق پذیر است که می توان آن را با توپولوژی های مختلف مبدل، مانند موارد زیر سازگار کرد:

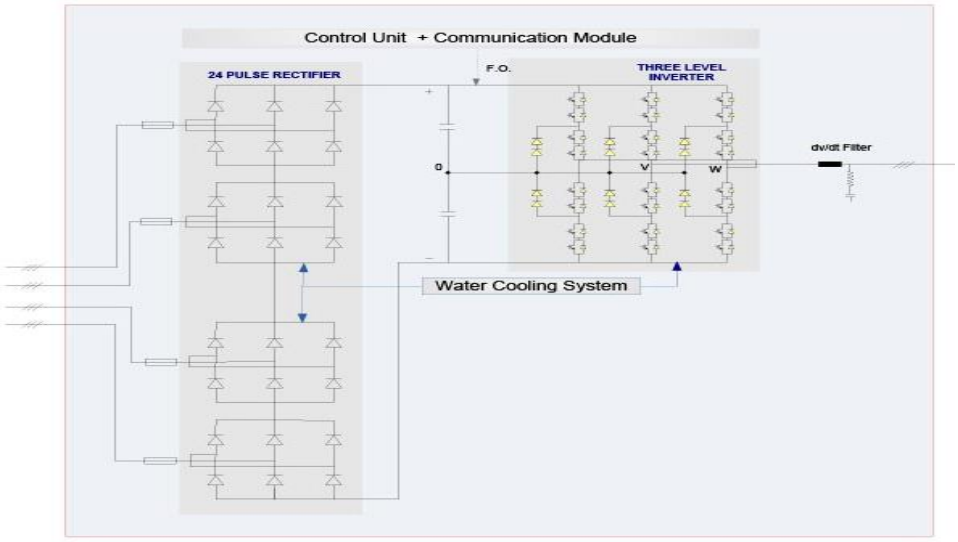
- اینورتر دو سطحی
- اینورتر NPC سه سطحی با مدولاسیون برداری یا حذف هارمونیک انتخابی
- اینورترهای ۵ سطح با توپولوژیH-Bridge

علاوه بر این ، سیستم کنترل قادر است نه تنها تنظیمات تک درایو بلکه تنظیمات چند درایو را نیز مدیریت کند و خود را با نیازهای برنامه های مختلف با ویژگی های عملکردی زیر سازگار کند:

- توپولوژی Multidrive متناسب با نیازهای برنامه.
- تنظیم ولتاژ باس DC با استفاده از فناوری توپولوژیهای DFE یا AFE
- گزینه ریداندانت باس DC با استفاده از دو یکسوساز AFE متصل به شبکه های مختلف برق.
- مبدل فرکانس برای توپولوژی های ترکیبی. مبدل فرکانس استاتیک
- گزینه ای برای کنترل چندین نوع ماشین با الگوریتم های کنترل تنظیم خودکار برای هر نوع موتور:
  - موتورهای القایی توان بالا
  - کنترل برداری
  - کنترل برداری بدون انکودر
  - موتور سنکرون (با و بدون جاروبک)
  - موتورهای آهنربای دائمی
  - کنترل باتری برای توپولوژی های هیبریدی
  - توپولوژی‌های ریداندانت با استفاده از موتورهای دارای تغذیه مضاعف. سنکرون و غیرسنکرون.



شکل ۳۲۵-۲ : شماتیک مداری درایو شرکت **INGETEAM** با رکتیفایر اکتیو سه سطحی و اینورتر سه سطحی



شکل ۳۲۶-۲ : شماتیک مداری درایو شرکت **INGETEAM** با رکتیفایر ۲۴ پالسه دیودی و اینورتر سه سطحی

جدول ۹۱-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت **INGETEAM**

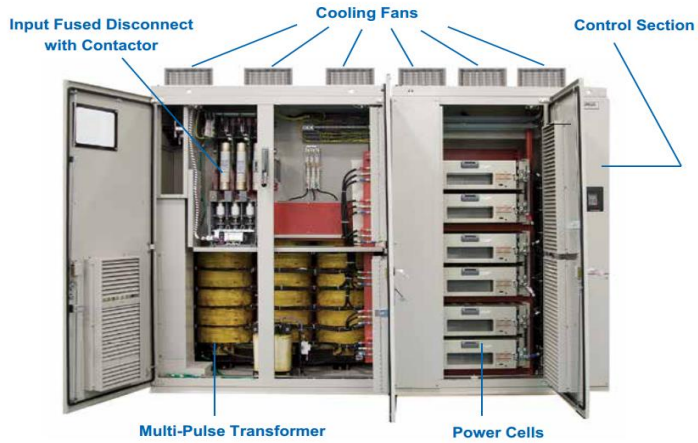
پارامتر	توضیحات
Structure	Three-level NPC or Five-Level H-Bridge voltage source inverter with HV-IGBT power semiconductors & 24-PULSE or Three-level Rectifier
V_{in}	6600v
$V_{in\sim}$	+/-10
f_{in}	50/60
$f_{in\sim}$	+/-5
Pf	>0.96
V_{out}	0~6600V
P_{out}	4~44MW
f_{out}	0~100Hz
Eff	>0.97
IP	IP44

Cooling	De-ionized water cooled
dB	80dB
STD	IEC 61800-4, IEC 60146-1-1
ENV	0~+45℃, 2000m

- شرکت Yasgawa

شرکت Yaskawa یکی از شرکت‌های معتبر در زمینه ساخت درایو و مبدلهای فرکانسی میباشد که بالای سی سال تجربه در زمینه اتوماسیون سیستم دارد. این شرکت در بخش درایوهای ولتاژ متوسط دارای محصولی با نام MV1000 می باشد که دارای رنج‌های توانی ۱۷۵ تا ۱۶۰۰۰ اسب بخار می‌باشد. در شکلهای زیر نمای این سیستم نشان داده شده است.[59]

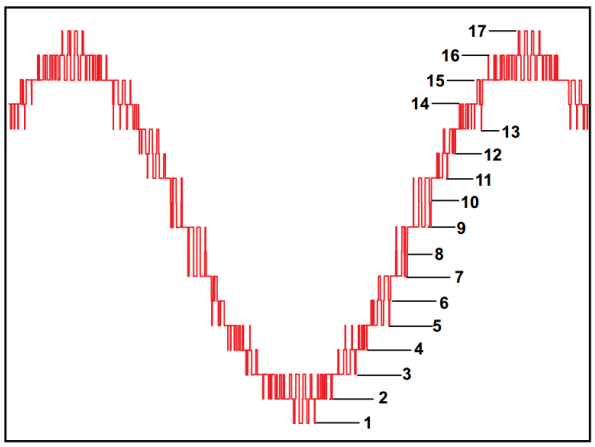
شکل ۳۲۷-۲ : نمای تابلو درایو فشار متوسط **MV1000**



شکل ۳۲۸-۲ : نمای پشت تابلو درایو **MV1000**

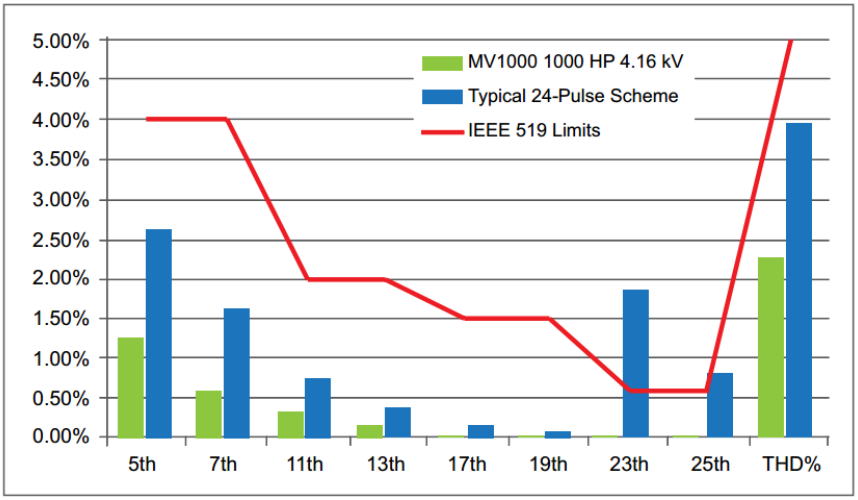
مزیت‌های این درایو عبارتند از:

- این درایو از آرایش چند سطحی جهت تولید ولتاژ خروجی استفاده می‌کند. آرایش چند سطحی باعث حذف فیلتر و همچنین افزایش کیفیت ولتاژ خروجی درایو می‌شود. در شکل زیر ولتاژ خروجی این درایو که یک ولتاژ ۱۷ سطحی می‌باشد نشان داده شده است.



شکل ۳۲۹-۲ : خروجی ولتاژ ۱۷ سطحی درایو **MV1000**

- همچنین یکسوساز این درایو به صورت اکتیو می‌باشد که باعث می‌شود هم THD جریان ورودی بسیار پایین باشد و همچنین ضریب توان درایو بسیار به یک نزدیک شود. در شکل ۳۳۰-۲ نمودار مقایسه‌ای بین THD جریان ورودی درایو در صورت استفاده از یکسوساز ۲۴ پالسه و یکسوساز اکتیو قرار داده شده در این درایو نشان داده شده است. همچنین الزامات استاندارد IEEE519 نیز نشان داده شده است.



شکل ۳۳۰-۲ : مقایسه **THD** جریان‌های ورودی یکسوساز ۲۴ پالسه و یکسوساز درایو **MV1000**

- قابلیت Power Dip Ride Through: این درایو دارای ترمز انرژی جنبشی می‌باشد که باعث می‌شود در صورت افت شدید ولتاژ برای مدت زمان کوتاه و برگشت دوباره ولتاژ به همان دامنه قبلی، جریان راه‌اندازی بالایی بعد از عادی شدن ولتاژ از موتور عبور نکند. در حالتی که مد کنترلی KEB (ترمز انرژی جنبشی) فعال باشد جریان هیچگاه صفر نمی‌شود و بعد از بازگشت ولتاژ نیز جریان بالایی از موتور عبور نمی‌کند.

MV1000 یک درایو AC ولتاژ متوسط (MV) است که جهش نسلی را در سهولت کاربرد و نصب می طلبد. با استفاده از ترانسفورماتور جداسازی ورودی و فناوری Yaskawa Smart Harmonics و خروجی ۹ سطحی برای درایوهای ۴ کیلوولت (۱۷ سطحی خط به خط) ، بزرگترین مسائل سنتی در مورد استفاده از درایوهای فشار متوسط از بین می روند.

MV1000 یک پکیج جمع و جور و شامل سوئیچ ورودی (اختیاری) است که برای نصب های جدید یا مقاوم سازی ایده آل است. برخی از مشخصات برجسته این درایو به قرار زیر است:

- طراحی جمع و جور یک محصول کاملا رقابتی در کل محدوده توان در محفظه NEMA TYPE1 (دارای فیلتر و گسکت)
- با استفاده از فناوری Yaskawa Smart Harmonics ضریب اعوجاجات هارمونیکی کل THD بدون نیاز به فیلترهای اضافی بسیار کاهش یافته است.
- خروجی منحصر به فرد با استفاده از پیکربندی پیشرفته Cascaded H-Bridge تعداد سلولهای قدرت را به نصف کاهش می دهد ، یک شکل موج خروجی بسیار تمیز به موتور ، بدون نیاز به فیلترهای اضافی یا راکتورها ارائه می دهد.
- ویژگی های کنترل پیشرفته با کارایی بالا از جمله الگوریتم کنترل بردار حلقه باز و قابلیت های عالی صرفه جویی در انرژی
- اپراتوری دیجیتال با صفحه نمایش LCD برای مشاهده آسان
- گزینه های ارتباطی برای همه شبکه های اصلی صنعتی، کنترل و نظارت با سرعت بالا را فراهم نموده و هزینه نصب را کاهش می دهد
- سیستم DriveWizard و نرم افزار کامپیوتری MV و مجموعه اپلیکیشن‌ها ها برای پیکربندی آسان
- واحد USB Copy و ذخیره سازی پیکربندی صفحه کلید ، سرعت و راحتی را برای پیکربندی مشابه چندین درایو فراهم می کنند.
- طراحی با کیفیت بالا ، با زمان پیش بینی شده MTBF بیش از ۲۰۰۰۰۰ ساعت (معادل ۲۲.۸ سال)

مشخصات فنی این درایو در جدول ۹۲-۲ لیست گردیده است.

جدول ۹۲-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت یاسکاوا

پارامتر	توضیحات
Structure	Smart Harmonics Technology Rectifier(Input Current THD<2.5%) Cascaded H-Bridge Inverter with 2 Five-level cells per phase
V_{in}	2.4~11KV
$V_{in\sim}$	-20%~+10%
f_{in}	50/60Hz
Pf	0.95
V_{out}	2.4~11KV
P_{out}	13200HP @11KV

	16000HP @6.6KV
f_{out}	0.01~120Hz
Eff	0.97
IP	IP40
Cooling	Air Forced
ENV	-5~+40℃
THD	<2.5%

- شرکت Delta

درایو MVD3000 جدیدترین مدل درایوهای ولتاژ متوسط شرکت Delta میباشد که دارای پیشرفته‌ترین تکنولوژی روز دنیا و مناسب برای صنایع مختلف با موتورهای پرقدرت است. [60]

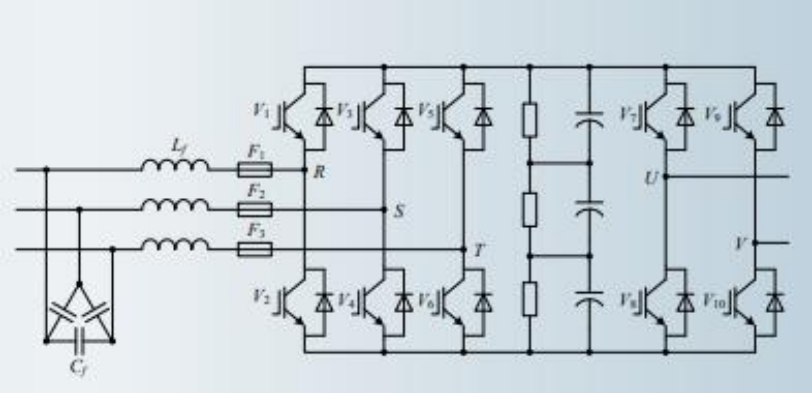
در شکل ۳۳۱-۲ نمای این درایو نشان داده شده است.

شکل ۳۳۱-۲ : نمای درایو **MVD3000** شرکت **Delta**

سیستم تنظیم سرعت فرکانس متغیر سری MVD3000 با استفاده از فن آوری های پیشرو کنترل برداری و فیدبک انرژی ، محصولی با کارایی بالا در قابلیت تنظیم دقیق سرعت و توانایی عملکرد در چهار ربع است که دارای ویژگیهایی همچون قابلیت اطمینان بالا، رابط کاربری کاربرپسند ، تنوع ارتباطی، ملاحظات ایمنی سطح بالا و همچنین نگهداری آسان است.

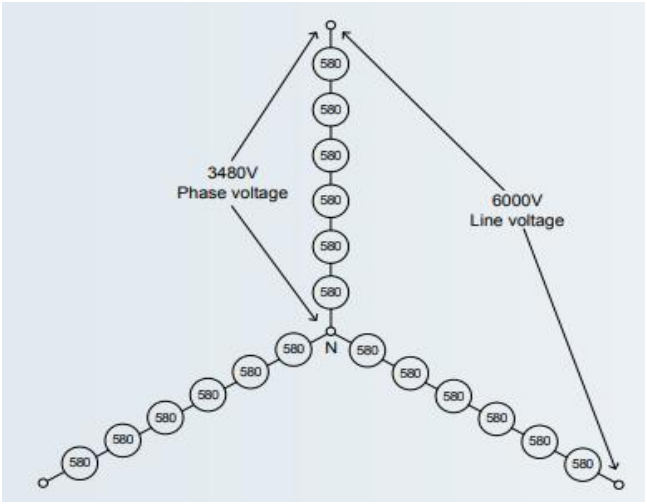
با یکسوساز کامل کنترلی در ماژولهای قدرت MVD3000، این شرکت به آلودگی هارمونیکی کم و امکان مسیر جریان دو جهته برای تبادل انرژی، بازدهی و پایداری بالا دست یافت. با جدا کردن کنترل شار موتور و گشتاور، فناوری کنترل برداری با کارایی بالا که توسط این سیستم مورد استفاده قرار می گیرد، سبب دریافت پاسخ دینامیکی سریع برای گشتاور شده و توانایی تولید گشتاور بالا هنگام راه اندازی موتور را دارد. این یک عملکرد موتور پایدارتر و کنترل دقیق تر سرعت را به دست می آورد ، که با تنظیم سرعت بالاتر برنامه ها را راضی می کند.

ماژولهای قدرت این درایو که در شکل زیر نشان داده شده است، هر سلول دارای رکتیفایر پل تمام کنترلی و اینورتر منبع ولتاژ با تکنولوژی IGBT می باشد.



شکل ۳۳۲-۲ : سلول قدرت استفاده شده در سیستم درایو **MVD3000** شرکت **Delta**

این سلول‌ها با توجه به سطح ولتاژ و توان مورد نیاز بار در هر فاز به صورت ماژولهای در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که نمای آن برای سطح ولتاژ خط ۶۰۰۰ ولت در شکل زیر نشان داده شده است. در این حالت در خروجی دارای تکنولوژی چند سطحی بود که با توجه به کیفیت شکل موج خروجی و شباهت نزدیک آن به شکل موج سینوسی، نیازی به فیلتر خروجی نمی باشد.



شکل ۳۳۳-۲ : سیستم درایو فشار متوسط شرکت **Delta** با کسکود شدن سلولهای قدرت

مشخصات فنی درایو فشار متوسط این شرکت در جدول ۹۳-۲ لیست گردیده است.

جدول ۹۳-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت **Delta**

پارامتر	توضیحات
Structure	Power cell cascade technology based on IGBT
V_{in}	3.3~11kV
$V_{in\sim}$	10%
f_{in}	50/60Hz
$f_{in\sim}$	2%
Pf	0.97

V_{out}	3.3~11Kv
P_{out}	315~5335KW
f_{out}	0~75Hz
Eff	97.5%
IP	IP30
Cooling	Air Forced
ENV	0~+40℃- 1000m

- شرکت LS

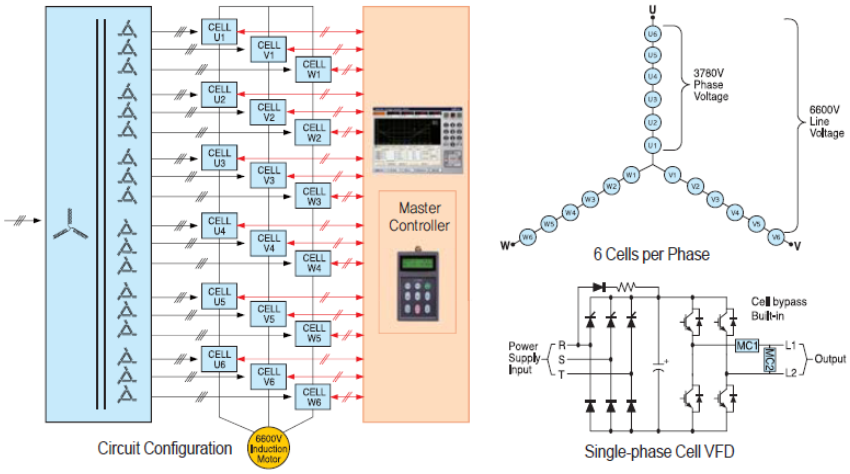
شرکت کره‌ای LS پیشرفته ترین درایو فشار متوسط خود را با نام LSMV-M1000 ارائه نموده است. سطح ولتاژ خروجی این سیستم تا ۱۱ کیلوولت بوده و قابلیت تولید توان خروجی تا ۱۲۵۰۰ کیلوولت آمپر را دارد.[61] نمای این سیستم در شکل ۳۳۴-۲ نشان داده شده است.

شکل ۳۳۴-۲ : نمای درایو **LSMV-M1000** شرکت **LS**

این درایو الگوریتم پیشرفته کنترل برداری بدون سنسور را به کار می گیرد و نه تنها ویژگی های کنترل گشتاور را بهبود می بخشد بلکه توانایی کنترل سرعت در شرایط نامشخص ناشی از تغییر بار را نیز ارتقا می‌دهد.

این سیستم قادر است گشتاور قوی در محدوده سرعت کم ایجاد نماید. در این شرایط لازم است پارامترهای الکتریکی موتور برای یک کارکرد بهینه تنظیم گردند. سیستم اتوتیونیگ درایو به صورت اتوماتیک پارامترهایی همچون مقاومت استاتور، مقاومت روتور، اندوکتانس نشتی و جریان بی باری را که برای کیفیت مناسب عملکرد الگوریتم کنترلی لازم است، اندازه‌گیری می نماید.

همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است جهت تامین ولتاژ خروجی ۶۶۰۰ ولت، خروجی های ۱۸ سیم پیچی ترانسفورماتور شیفت فاز جهت تغذیه ۱۸ ماژول قدرت فرکانس متغیر مورد استفاده قرار می گیرند. در هر فاز خروجی درایو ۶ ماژول به صورت سری با هم قرار می‌گیرند که سبب تولید ولتاژ سه فاز ۲۵ سطحی در خروجی درایو می گردد. از روش کنترلی PWM در کلیدزنی هر ماژول استفاده شده است. یک کنترل کننده اصلی برای مدیریت ولتاژ خروجی PWM بکار رفته است. با توجه به ماژولار بودن سیستم، انجام تعمیرات و نگهداری و همچنین حفاظت و خارج از سرویس کردن ماژول معیوب به سهولت امکانپذیر می باشد.



شکل ۳۳۵-۲ : ساختار درایو **LSMV-M1000** شرکت **LS**

در جدول ۹۴-۲ مشخصات فنی سیستم آمده است.

جدول ۹۴-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت **LS**

پارامتر	توضیحات
Structure	Power cell cascade technology based on IGBT
V_{in}	3.3kV/4.16kV/6.6kV/10kV/11kV
$V_{in\sim}$	10%
f_{in}	50/60Hz
Pf	0.95
V_{ctrl}	220/380/440V
V_{out}	3.3~11KV
P_{out}	200~12500KVA
f_{out}	0~120
Eff	>98.5%
IP	IP21-IP52
Cooling	Air Forced
ENV	-5~40˚C- 1000m

- شرکت Danfoss

این شرکت سازنده درایو ولتاژ متوسط به نام VACON3000 می‌باشد[62]. این درایو دارای کاربرد در موتورهای با توان بالا در صنایع نیروگاهی، نفت، گاز، مواد و ... می‌باشد. نمای این سیستم در شکل ۳۳۶-۲ نشان داده شده است.

شکل ۳۳۶-۲ : نمای درایو **VACON3000** شرکت دانفوس

در این سیستم از یکسوکننده های دیودی ۱۲و یا ۲۴ پالسه و یا رکتیفایر اکتیو با تکنولوژی IGBT استفاده گردیده است. همچنین تکنولوژی اینورتر نیز به صورت سه سطحی ماژولار با نقطه خنثی کلمپ شده و با سوئیچهای IGBT ارائه گردیده است. این سیستم در دو سطح ولتاژی ۳۳۰۰ ولت و ۴۱۶۰ ولت ارائه می گردد و توان خروجی آن بیش از ۷۰۰۰ کیلوولت آمپر می باشد. سیستم خنک کننده آن نیز با مایع که شامل آب و یا گلیکول می باشد تجهیز گردیده است.

در جدول ۹۵-۲ مشخصات فنی این سیستم لیست گردیده است.

جدول ۹۵-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت دانفوس

پارامتر	توضیحات
Structure	12/24 Pulse Diode OR IGBT Bridge Rectifier 3-level neutral point clamped (NPC) Inverter
V_{in}	3300/4160V
$V_{in\sim}$	10%
f_{in}	50/60 Hz
$f_{in\sim}$	5%
Pf	0.95
V_{out}	3300/4160V
I_{out}	640A @ 3300V 510A@ 4160V
P_{out}	2430~7060KVA
f_{out}	0~120 Hz
Eff	98%
Cooling	Liquid Forced
STD	IEC-UL
ENV	0~45℃
THD	<5%

- جمع‌بندی تولیدکنندگان معتبر خارجی

در این فصل به مطالعه و بررسی محصولات درایوهای فشار متوسط شرکتهای معتبر بین المللی پرداخته شد. همانگونه که ملاحظه گردید هر شرکتی تکنولوژی مختص خود را در ساخت این مبدلها با توجه به ساختارهای یکسوکننده و اینورتر که در فصل اول به آن پرداخته شده به کار می گیرد. تنوع فناوریهای استفاده شده متفاوت است.

در قسمت یکسوساز عمدتا از رکتیفایرهای ۶، ۱۲ و یا ۲۴ پالسه استفاده می گردد. اگرچه با افزایش تعداد پالسها کیفیت یکسوسازی بهبود یافته و ریپل خروجی یکسوساز کاهش می یابد، اما تعداد سوئیچها افزایش یافته و حجم و قیمت محصول را افزایش می دهد.

در خصوص اینورترها تنوع بیشتری وجود دارد. به طوری از پلهای تریستوری معمولی و یا سری تا اینورترهای چندسطحی، ماژولار، مبدلهای H-Bridge و اینورترهای کلمپ شده، پلهای قدرت IGBT و غیره می توان نام برد که در این محصولات مورد استفاده قرار گرفته است.

لذا این هنر شرکتهای سازنده معتبر بین المللی است که با افزایش کیفیت سیستم قدرت، کنترل و مانیتورینگ کاربرپسند و در نتیجه بهبود و ارتقای محصول، طراحی مدرن و کامپکت را ارائه نموده و قیمت نهایی محصول را رقابتی نمایند.

رنج ولتاژ و توان این محصولات بسیار گسترده است و همانگونه که ملاحظه می گردد ولتاژ سیستم از کمتر از ۲ کیلوولت تا حدود ۱۵ کیلوولت را شامل می‌شود. همچنین توان خروجی سیستمها نیز از گستره ۲ مگاوات تا بیش از ۸۰ مگاوات در دسترس است.

- نمونه‌هایی از کاربردهای سیستم درایو فشار متوسط در نیروگاه‌های خارج از کشور

در نیروگاه Grosskraftwerke شهر مانهایم آلمان، جهت نوسازی سیستم بویلر ۲۸۰ مگاواتی بلوک ۶ نیروگاه دو عدد از سه دستگاه پمپ تامین آب توسط شرکت ABB به درایوهای کنترل دور ولتاژ متوسط مجهز شده اند. توان نامی پمپ های مذکور ۵۸۰۰ کیلووات بوده و قبلا بوسیله کوپلینگ هیدرولیک کنترل می شده اند. در نتیجه اجرای راهکار نصب درایو بر روی تجهیزات مذکور، صرفه جویی انرژی تقریبی سالیانه حدود ۱۲۰۰۰ مگاوات ساعت و کاهش تولید گاز CO_2 در حدود ۱۰۰۰۰ تن در سال گزارش شده است. [63]

در راستای ارتقای سیستم نیروگاهی در نیروگاه حرارتی ۵۵۳ مگاواتی شهر روستوک آلمان از درایوهای فرکانس متغیر شرکت زیمنس استفاده گردیده است. این کار با نصب دو درایو فشار متوسط برای دو پمپ تامین آب بویلر با ظرفیت هرکدام ۱۳/۵ مگاوات انجام گردید. این طرح به صورتی انجام پذیرفت که از همان سیستم کابلی موجود استفاده گردید و همچنین سیستم خنکسازی موجود نیز توسعه داده شد. با انجام این طرح علاوه بر بهبود سیستم کنترل این پمپها، در مصرف انرژی نیز صرفه جویی حاصل گردید.[64]

شرکت ABB در یکی از بزرگترین شرکت های تولید و توزیع برق در فنلاند به نام Helsinki Energy، بر روی چهار پمپ ولتاژ متوسط تامین آب بویلر درایوهای کنترل دور نصب نموده است. الکتروموتور تجهیزات مذکور از نوع روتور سیم پیچی شده بوده و توان نامی هریک ۴۵۰۰ کیلووات می باشد. گزارشات حاکی از آنست که در نتیجه اجرای راهکار فوق، بهبود راندمان نیروگاه و کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات حاصل شده است. [63]

شرکت ABB برای نیروگاه Mälarenergi در شهر واستراس سوئد سیستمهای درایو فشار متوسط تامین نموده است. این درایوها برای ارتقای عملکرد پمپهای حرارتی نیروگاه بوده و سبب صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف انرژی گردیده است. چهار دستگاه درایو فشار متوسط هر یک به توان ۱۷۵۶ کیلووات در این پروژه نصب گردید. این طرح سبب کاهش تلفات حرارتی به میزان قابل توجه و سبب افزایش تولید انرژی الکتریکی به میزان ۳۵ گیگاوات ساعت در سال گردیده است.[63]

شرکت جوینت توشیبا- میتسوبیشی TMEIC برای چهار ID فن های بویلر نیروگاهی در ایالات متحده درایو فرکانس متغیر فشار متوسط ارائه نموده است. توان هر کدام از فنها ۶۶۰۰ اسب بخار در ولتاژ نامی ۴/۲ کیلوولت می باشد. این طرح سبب کنترل مناسب آلاینده ها و صرفه جویی قابل توجه در مصرف انرژی ابن فنها گردید.[65]

در نیروگاه Abbott در ایالت ایلینویز ایالات متحده، یکی از فن های موجود توسط شرکت ABB به درایو کنترل دور ولتاژ متوسط مجهز شده است. توان نامی فن مذکور ۷۵۰ کیلووات بوده و قبلا بوسیله دمپر موجود در ورودی فن کنترل می شده است. صرفه جویی انرژی تقریبی سالیانه حدود ۱۴۶۰ گیگاوات ساعت و کاهش تولید گاز CO_2 در حدود ۷۳۰ تن در سال، همچنین کنترل بهتر فرآیند، کاهش هزینه های تعمیرات به میزان ۱۰۰۰۰ دلار در سال و کاهش مشکلات هنگام راه اندازی گزارش شده است. [66]

برای نیروگاه سیکل ترکیبی Volkswagen در شهر ولفسبورگ آلمان با ظرفیت ۲۸۸ مگاوات، شرکت Ingeteam اسپانیا، هفت دستگاه درایو فشار متوسط جهت کنترل پمپهای تامین آب نصب نموده است. این درایوها در دو رنج توانی ۱۰۰۰ و ۱۳۱۰ کیلوات و در ولتاژ ۶/۶ کیلوولت طراحی گردیده است.[67]

بر روی پمپ های آب کندانس موجود در یکی از نیروگاه های بزرگ واقع در کشور آفریقای جنوبی درایوهای کنترل دور ولتاژ متوسط توسط شرکت ABB نصب گردیده است. نیروگاه مذکور حدود ۴۵ درصد برق کل آفریقا را تامین می کند. گزارشات نیروگاه مذکور از بهبود راندمان نیروگاه پس از نصب درایوها نشان دارد. [66]

۷-۳-۲-۲- شرکت‌های سازنده داخلی و محصولات آنها و توانایی و ظرفیت‌های بالقوه

در این بخش به معرفی شرکتهای داخلی تولیدکننده و تامین کننده و تعمیر کننده سیستم راه انداز و درایو در حوزه نیروگاهی خواهیم پرداخت و توانایی های آنها را در حوزه ساخت و تامین و مشخصات محصولات ارائه شده را مرور خواهیم نمود. لذا با توجه به شناخت قابلیتهای شرکتهای داخلی میتوان جهت تامین نیازهای صنعت نیروگاهی کشور از توان شرکتهای داخلی بهره برد و تا حد امکان در داخل کشور به این نیازها پاسخ داد.

- شرکت اطمینان‌بخش

شرکت دانش بنیان اطمینان بخش با توان بومی و ملی انجام شده، سازنده و تولید کننده درایوهای ماژولار فشار ضعیف LVدر همه رنجهای صنعتی و درایوهای ماژولار فشار متوسط MV تا سطح ولتاژ ۱۱ کیلوولت و توان ۱۲۸۰۰ کیلووات و یک شرکت ایرانی است که نشان کیفیت صنعت نفت ایران و جزء توانمندی های داخلی سایت وزارت صنعت، معدن و تجارت در زمینه تولیدات داخلی درایوهای ماژولار فشار ضعیف و فشار متوسط می باشد. این شرکت با دارا بودن مجموعه موتور و ژنراتور تا ۳۲۰۰ کیلووات در داخل کارخانه، عملا امکان تست واقعی درایو در بار کامل را تا رنج مذکور فراهم نموده است. همچنین آزمایشگاههای فشار قوی، تست دما، تست ارتعاش و تست رطوبت جهت ماژولها و بردهای الکترونیکی در داخل کارخانه، بطور مرتب تجهیزات تولیدی را مورد پایش قرار می دهند. علاوه بر این درایوهای تولیدی این شرکت در آزمایشگاهها و مراجع ذی صلاح گواهینامه های زیر را کسب نموده است.

- گواهینامه تست سازگاری الکترومغناطیسی EMC
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی فرکانس قدرت تابلو ماژولهای قدرت
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی فرکانس قدرت ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز ایزوله
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی ضربه صاعقه ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز ایزوله
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی فرکانس قدرت کابل رابط افشان فشارقوی

کاربرد درایو های فول ماژولار تولیدی این شرکت در صنایع مادر اعم از نیرو، نفت و گاز و پتروشیمی، فولاد، آب و فاضلاب، نیرو، سیمان و معدن ، صنایع غذایی و غیره می باشد.

جدول ۹۶-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو فشار متوسط شرکت اطمینان بخش

پارامتر	توضیحات
Structure	6,12or 24-Pulse Rectifier, Modular Cascaded H-Bridge Inverter
V_{in}	2.3~11KV
f_{in}	50/60Hz
$f_{in\sim}$	+/-2%
Pf	0.96
V_{ctrl}	220V
V_{out}	2.3~11KV
I_{out}	800A
P_{out}	12800KW
f_{out}	0~75Hz
Eff	0.98
Cooling	Air Forced
ENV	-5~40℃- 1000m
DIM	19000Kg- 1.6*12.5*2.9 m^3

مزایای این سیستم‌ها عبارتند از:

- حوزه وسیع کاربرد: با توجه به ماژولار بودن و سهولت تغییر چیدمان ماژولها به حوزه ولتاژ ۲/۳ تا ۱۱ کیلوولت قابل دستیابی است.
- قابلیت کنترل موثر: به دلیل کاربرد سیستم کنترل برنامه پذیر PLC دسترسی به انواع روشهای کنترلی توسط بهره بردار به راحتی امکانپذیر است.
- صرفه جویی قابل توجه در مصرف انرژی
- بهینه کردن مراحل کنترل
- ارتقای بهره برداری سیستم
- کاهش نیاز و سهولت در تعمیر و نگهداری به دلیل ماژولار بودن سیستم
- نصب آسان

شکل ۳۳۷-۲ : نمایی از تابلو درایو شرکت اطمینان بخش

برخی از پروژه‌های انجام‌شده توسط این شرکت به قرار زیر هستند:

- طراحی، ساخت، نصب و راه اندازی یک دستگاه درایو (VFD) با ولتاژ ۶۶ KV (MV) با قدرت ۲مگاوات برای شرکت ممتاز پمپ
- طراحی، ساخت، نصب و راه اندازی یک دستگاه درایو ۱۴۰۰ کیلو وات برای شرکت آب تهران

همچنین اطلاعات تماس این شرکت به قرار زیر است:

کارخانه:

استان البرز- شهرک صنعتی هشتگرد- فاز یک- خیابان یاس دو
02644222122
02644228568
02644222122

دفتر تهران:

میدان آرژانتین- خیابان عماد مغنیه-پلاک۷- واحد۱۱
02188792613
02188792613
eb-co.ir
etminanbakhsh.com
info@etminanbakhsh.com

- شرکت پرتو صنعت

شرکت پرتو صنعت از سال ۱۳۶۹ موفق به طراحی و تولید " کنترل کننده دور موتور" یا درایوهای دور متغیر VFD گردیده و در طول این مدت درایوهای تولیدی خود را مطابق با آخرین فناوری روز، ارتقاء بخشیده است. درایوهای تولیدی

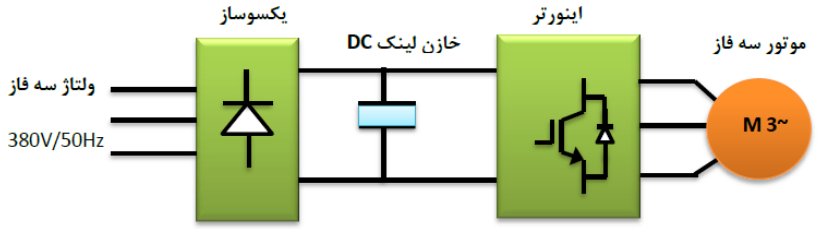
این شرکت تا رنج توان ۴۰۰۰ کیلووات با تکنولوژیVector Control ، قابل رقابت با محصولات اروپایی بوده به نحوی که مورد استقبال دیگر کشور ها نیز قرار گرفته و به کشورهایی مانند ترکیه و امارات صادر میگردد.

این شرکت با تکیه بر R&D با اهداف دستیابی به دانش و فن آوری روز موفق به تامین نیازهای صنایع داخل کشور از قبیل نفت و گاز شده است. این شرکت با بهره گیری ازمهندسین و دانش آموختگان نخبه و با تجربه خود، در تبدیل دانش به فناوری و سپس تجاری سازی آن ضمن ایجاد ارزش افزوده و نیز اشتغالزایی در کشور، اقتصاد مبتنی بر دانش و فناوری را پایه گذاری کرده است . اینورترهای تولیدی این شرکت در کلیه صنایع از قبیل صنایع نفت و گاز نصب و در حال بهره برداری بوده و نیز با ظرفیت تولید چهل هزار عدد دستگاه در سال با مساحتی بالغ بر چهار هزار مترمربع در شهرک صنعتی پرند تهران، یکی از بزرگترین تولید کنندگان درایو در خاورمیانه می باشد.

این شرکت دارای تاییدیه دانش بنیان از معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری برای کلیه محصولات خود بوده و همچنین در طرح ۱۰ قلم کالای ساخت داخل وزارت نفت شرکت کرده و نیز در وندور لیست کالای شرکت مناطق نفت خیز جنوب ، شرکت ملی گاز ،شرکت اسپک پتروشیمی ،شرکت پخش و پالایش نفت، شرکت کالای نفت، شرکت خط لوله و مخابرات نفت و بسیاری از شرکتهای زیر مجموعه وزارت نفت می باشد.

- درایو ولتاژ متوسط توان بالا

کنترل کننده دور موتور که به اصطلاح Variable Frequency Drive (VFD) گفته می شود، برای تغییر سرعت موتورهای سه فاز بکار می رود. برای تغییر دور موتور نیاز به تغییر فرکانس کار موتور می باشد. از طرفی به دلیل اینکه جریان موتور متناسب با نسبت ولتاژ به فرکانس اعمالی به موتور می باشد، پس کاهش فرکانس به تنهایی باعث افزایش جریان موتور می شود. بنابراین برای تغییر سرعت موتور نیاز می باشد که مقدار فرکانس و ولتاژ باهم تغییر یابند. در درایوها ولتاژ سه فاز اعمالی به موتور ابتدا توسط یکسوساز به ولتاژ DC تبدیل می گردد و پس از آن از روی ولتاژ DC یک ولتاژ ACبا فرکانس و ولتاژ متغیر ایجاد شده و به موتور اعمال می گردد. تغییر فرکانس و ولتاژ توسط کاربر می تواند انجام گیرد که در نهایت بدینوسیله می توان سرعت موتور را کنترل نمود. درایو با تغییر فرکانس و ولتاژ ، جریان و گشتاور راه اندازی موتور را ثابت نگه داشته ، بنابراین برای راه اندازی تمام موتورها با بارهای مختلف سبک و سنگین مناسب می باشد.



شکل ۳۳۸-۲ : شماتیک درایو فرکانس متغیر

یکی از محصولات اخیر این شرکت ساخت درایو فشار متوسط با توان نامی تا ۴۰۰۰ کیلووات می باشد که مشخصات آن در ذیل آمده است.

شکل ۳۳۹-۲ : ویژگیهای درایو فشار متوسط شرکت پرتوصنعت

شکل ۳۴۰-۲ : سیستم ماژولار اینورتر شرکت پرتوصنعت با ساختار سلول های قدرت سری

مشخصات فنی این نوع درایوها به قرار زیر است:

جدول ۹۷-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو فشار متوسط شرکت پرتو صنعت

پارامتر	توضیحات
Structure	IGBT BRIDGE Modular Cascaded Technology
V_{in}	6.6KV
f_{in}	50/60 Hz
$f_{in\sim}$	+/-10%
Pf	>0.96
V_{out}	6.6KV

P_{out}	4000KW
f_{out}	0~80Hz
Eff	>0.96%
Cooling	Air Forced
STD	IEEE 519
ENV	-5~45℃
THD	1%

برخی پروژه‌های صنعتی انجام‌شده توسط این شرکت عبارتند از:

- طراحی، ساخت، نصب و راه اندازی درایو ۲۵۰ کیلوواتی فشار متوسط برای شرکت آب و فاضلاب خراسان رضوی
- طراحی، ساخت، نصب و راه اندازی دو دستگاه درایو ۳۱۵ کیلوواتی برای سیستم تقویت فشار شرکت ملی گاز ایران
- قرارداد طراحی و ساخت ۶۸۲ دستگاه درایو تا محدوده توانی ۲۵۰ کیلووات به شرکت مهرسان صنعت
- طراحی، ساخت، نصب و راه اندازی چندین دستگاه درایو تا محدوده توانی ۲۵۰ کیلوواتی برای شرکت فولاد سازان

همچنین اطلاعات تماس این شرکت به قرار زیر است:

تلفن: ۸۸۶۶۲۲۸۸

نمابر: ۸۸۸۸۷۸۰۹

پست الکترونیکی: info@partosanat.com

کد پستی: ۱۵۱۷۸۴۳۳۱۶

آدرس: تهران – خیابان ولیعصر – نرسیده به میدان ونک نبش خیابان ۱۴ – شماره ۲۴۱۷

- جهاد دانشگاهی علم و صنعت

جهاد دانشگاهی علم و صنعت بعنوان نهاد عمومی غیر دولتی فعالیت خود را از سال ۱۳۵۹ با هدف بومی سازی و تولید دانش فنی در زمینه طراحی و ساخت محصولات صنعتی ، ارایه خدمات تخصصی و انجام تحقیقات کاربردی مورد نیاز کشور در حوزه برق و مکانیک انجام می دهد.

این مجموعه با ایجاد مراکز خدمات تخصصی و گروه های پژوهشی برق و مکانیک توانسته است باایجاد ارتباطات مناسب با دانشگاه ها و مراکز علمی و تخصصی کشور و جذب متخصصان مجرب گام های موثری درراستای تامین نیازهای پژوهشی ، تحقیقات کاربری ، خدمات مهندسی کشور و همچنین طراحی و ساخت محصولات مورد نیاز صنعت بردارد.

حضور موفق این واحد در صنایع نفت ،گاز ، پالایشگاه ها ، پتروشیمی ، صنایع ریلی ، صنایع سیمان و معدن ، تولید فلزات غیر آهنی ، مس ، آلومینیم و فولاد و عقد قراردادهای متعدد با کارفرمایان نشان از اعتماد صنعت به این مجموعه دانش بنیان می باشد.

از مهمترین محصولات این واحد می توان به طراحی و ساخت انواع رکتیفایر های صنعتی ولتاژ بالا و جریان بالا، منابع تغذیه بدون وقفه شامل انواع یو پی اس و شارژرهای صنعتی ، کنترل دور موتورهای ولتاژ متوسط ، سیستم برق و کنترل دکل حفاری نفت ، تجهیزات آزمایشگاه فشار قوی و خدمات تست عایقی ، انواع غبار گیر های صنعتی شامل فیلترهای الکترواستاتیک و بگ هاوس ، دکل حفاری نفت ، بازوهای بارگیری دریایی نفت ، سیستم جلوگیری رسوب مخازن نفت و نمکزدایی الکترواستاتیکی اشاره نمود که در صنایع مختلف و با کارفرمایان متعدد انجام شده است.

تضمین سیستم کیفیت مطابق با استاندارد ایزو ۹۰۰۱/۲۰۱۵ ، کسب رتبه در هفت دوره جشنواره خوارزمی و کسب تائید های انطباق کیفیت محصول حاکی ازپویایی و عملکرد حرفه ای جهاد دانشگاهی علم و صنعت در صنعت می باشد.

این مجموعه را ۴۰۰ نفر پرسنل شامل اعضای هئیت علمی چهار گروه پژوهشی و شش مرکز خدمات مهندسی و تخصصی از نظر اجرایی (طراحی و ساخت صنعتی) پشتیبانی می کنند.

با توسعه روز افزون کاربرد الکتروموتورهای پرقدرت فشار متوسط در صنعت نیاز به استفاده از راه‌اندازهای نرم و کنترل دور الکتروموتورهای آسنکرون بیش از پیش اهمیت پیدا کرده است. کاهش مصرف انرژی، افزایش طول عمر الکتروموتورها، بهبود کیفیت توان مصرفی از شبکه از مهمترین ویژگی‌های این محصولات می‌باشد.

این درایوها در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، صنایع سیمان و مواد معدنی، نیروگاه‌ها و آب و فاضلاب کاربرد دارند.

شکل ۳۴۱-۲ : نمایی از تابلو درایو فشار متوسط شرکت جهاد دانشگاهی علم وصنعت

جدول ۹۸-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو فشار متوسط شرکت جهاد دانشگاهی علم وصنعت

پارامتر	توضیحات
Structure	12/24-PULSE RECTIFIER AND MULTILEVEL NPC INVERTER
V_{in}	3~20KV
f_{in}	50/60Hz
Pf	0.97
V_{out}	3~6.6KV
P_{out}	10MVA
f_{out}	0~120Hz
Eff	97%
THD	ACCORDING TO IEEE 519

همچنین اطلاعات تماس این شرکت به قرار زیر است:

آدرس: تهران، نارمک، خیابان فرجام، خیابان شهید حیدرخانی، خیابان شهید ملک لو، پلاک ۱۸۸و۱۹۰ کد پستی:۱۶۸۴۹۳۳۵۱۱

دفتر مرکزی: 02177455001
روابط عمومی: 02177225705
فکس: 02177455003
ایمیل: info@jdevs.ir

- شرکت برنا الکترونیک

شرکت برنا الکترونیک در سال ۱۳۶۳ و فقط با تولید رله های الکترونیکی تاسیس و با ادامه روند رو به رشد , شرکت توانست محدوده محصولات خود را توسعه داده و علاوه بر انواع رله های الکترونیکی به تولید تجهیزات حفاظت کاتدیک ، کنترل دورهای AC و DC ، انواع درایوها، یکسوسازها، باتری شارژرها و UPSهای صنعتی، دستگاه مقاومت اتصال زمین NGR ، خدمات مونتاژ SMD می پردازد.

کنترل دور فشار متوسط برنا الکترونیک که با نام تجاری مگادرایو برنا (BORNA MegaDrive) شناخته می شود، از جدیدترین محصولات این شرکت بوده که با در نظر گرفتن نیاز روز صنایع داخلی برای اولین بار در کشور در سال ۱۳۹۳ طراحی و تولید شده است. این محصول در محدوده ولتاژ ۳ تا ۱۱ کیلوولت و توان ۲۵۰ تا ۱۵،۰۰۰کیلووات قابل تولید می باشد.

بـــه علـــت انعطاف پذیـــری و قابلیتهـــای زیاد مگادرایـــو برنا، این دســـتگاه در صنایـــع گوناگـــون کاربردهای بســـیاری دارد. از جملـــه این کاربردها میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

نیروگاه ها، خطوط لوله، صنایع سیمان، صنایع ذوب و ریخته گری، پتروشیمی، صنایع شیمیایی، تامین آب مناطق شهری، معادن

با توجه به سطح ولتاژ بالای این تجهیز از ساختار پل های سری شده و یا Cascaded HBridge که یکی از رایج ترین ساختارهای اینورتر چند سطحی است، استفاده شده است. در این ساختار، از سری کردن اینورتر های ولتاژ پایین برای تولید ولتاژ با سطح بالا استفاده می شود. همچنین، با استفاده از بروزترین الگوریتم های تولید پالس و پردازنده ها، تولید ولتاژ خروجی به صورت چند سطحی متناسب با فرکانس تنظیمی کاربر انجام می شود به گونه ای که کمترین اعوجاج ولتاژ و جریان خروجی و پالس گشتاور در بار خروجی ایجاد شود.

در این دستگاه از ماژول های قدرت سری شده برای تولید ولتاژهای چند کیلو ولتی اســتفاده شده اســت که این کار با ایجاد موجهای پله‌ای انجام میگیـــرد. بنابرایـــن ولتاژ خروجی دارای هارمونیک بســـیار کمی اســـت. قطعات اصلی استفاده شده در این دستگاه مانند IGBT ها، پلهای یکسوساز، PLC،خازنهای الکترولیتی و غیره از مرغوبتریـــن محصولات است. در ایـــن دســـتگاه از پردازنده‌هـــای F28335 DSP شـــرکت TI بـــه عنوان پردازشـــگر اســـتفاده شـــده اســـت. بنابراین مگادرایـــو برنـــا دارای قدرت پردازش و دقت کنترل بسیار بالایی میباشد. مـــاژول های قدرت دارای حفاظت خاصی هســـتند که هنگام بروز خطا، بدون ایجاد توقف در عملکرد دستگاه، از مدار خارج میشوند. همچنین این ماژول ها و سیستم کنترل، در برابر گرد وخاک، رطوبت، بخارهای اسیدی و غیره حفاظت شده‌اند. عملکرد "سنکرون سازی موتور" با شبکه در صورت درخواست اضافه می‌شود.

از جمله مزایای محصولات این شرکت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- صرفه‌جویی چشم گیر در مصرف انرژی
- کیفیت توان بسیار مطلوب در ورودی و خروجی بدون نیاز به قرار دادن فیلتر (THD جریان ورودی و خروجی کمتر از ۵٪)
- قابلیت کار در حالت خطا به دلیل استفاده از ساختار cascaded HBridge

- کاهش چشمگیر هزینه های تعمیر و نگه داری موتور و بار مکانیکی متصله
- کاهش جریان راه اندازی موتور از ٪۶۰۰ برابر جریان نامی به ٪۱۰۰ جریان نامی
- تصحیح ضریب قدرت جریان شبکه به ٪۹۵ (حذف خازن اصلاح ضریب توان)
- کاهش چشمگیر هزینه های اولیه پروژه

مشخصات فنی محصولات این شرکت به قرار زیر است:

جدول ۹۹-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم مگادرایو شرکت برنا الکترونیک

پارامتر	توضیحات
Structure	IGBT Multilevel HBridge
V_{in}	3~11KV
f_{in}	45~65Hz
Pf	0.95
P_{out}	15MW
f_{out}	0.5~400Hz
Eff	96%
IP	IP31
Cooling	AIR/WATER FORCED
THD	<5%

همچنین برخی ویژگی‌های فنی محصولات شرکت برنا الکترونیک عبارتند از:

- این دستگاه یک مبدل AC/AC است که به صورت منبع ولتاژ کار می‌کند و قابلیت تولید ولتاژ با دامنه و فرکانس مورد نظر را دارد. در نتیجه این تجهیز امکان تنظیم سرعت موتور را به صورت پیوسته در اختیار کاربر قرار می دهد.
- در این تجهیز به دلیل استفاده از ترانسفورمر شیفت فاز در ورودی، هارمونیک‌های جریان شبکه بسیار کم بوده به گونه ای که برای بار های بیش از ٪۸۰ بارنامی، THD جریان شبکه کمتر از ٪۵ خواهد بود. علاوه بر این، استفاده از این نوع ترانسفورمر خاص باعث می شود تاضریب قدرت جریان شبکه در بارهای بیشتر از ٪۲۰ بار نامی، بالای ۰.۹۵ است، به همین دلیل دیگر نیازی به استفاده از تصحیح کننده ضریب توان و فیلتر در ورودی نیست.
- هارمونیک خروجی بسیار کم است و موتور حرارت و صدای بسیار کمی ایجاد می‌کند.
- در مواردی که ولتاژ و یا فرکانس کاری موتور با شبکه موجود سازگاری ندارد، این تطابق توسط دستگاه مگادرایو به راحتی و با هزینه بسیار کم می تواند ایجاد می شود.
- سلول‌های قدرت (Power Cell) به صورت ماژولار طراحی شده‌اند و به‌راحتی قابل تعویض، تعمیر و تولید می‌باشند. همچنین این دستگاه با استفاده از کنترل کننده پیشرفته‌ای که دارد قادر است محل دقیق خطا را مشخص نمایند.
- در صورت بروز خطا در یکی از سلول‌های قدرت، کنترل کننده مرکزی، سلول معیوب را شناسایی کرده و از مدار خارج می‌نماید و با ایجاد تغییراتی، دستگاه همچنان به کار خود ادامه خواهد داد.
- دارای صفحه‌ی نمایشگر رنگی که سهولت بهره‌برداری و نگهداری را در پی دارد.
- دارای قابلیت کنترل از راه دور، عملکرد با سیستم DCS و پشتیبانی تمامی واسطها مانند CAN، Profibus، Modbus، RS232، RS485 و غیره.

- به‌کارگیری مدرن‌ترین تجهیزات، استفاده از DSP های شرکت TI و FPGA های شرکت Altera برای ایجاد ظرفیت بالای محاسباتی و نمونه‌برداری ۱۶ بیتی آنالوگ به دیجیتال AD7606 برای تضمین دقت سیستم.

شکل ۳۴۲-۲ : نمایی از سیستم مگادرایو شرکت برناالکترونیک

در دستگاه مگادرایو برنا، حفاظت‌های مختلفی در نظر گرفته شده که علاوه بر تامین امنیت اپراتور، افزایش عمر مفید موتور و دستگاه را در پی دارد. این حفاظت‌ها عبارتند از:

- حفاظت در برابر اضافه جریان
- حفاظت در برابر اضافه بار
- حفاظت در برابر اضافه ولتاژ
- حفاظت در برابر افت ولتاژ
- حفاظت در برابر از دست رفتن فاز ورودی یا خروجی
- حفاظت در برابر از کار افتادن فن‌ها
- حفاظت در برابر اضافه حرارت ترانسفورماتور
- حفاظت در برابر زمین شدن خروجی
- حفاظت در برابر قطع شدن فیبر نوری

شکل ۳۴۳-۲ : سیستم حفاظت مگادرایو شرکت برناالکترونیک

شرکت ملی صنایع پتروشیمی، شرکت ملی فولاد ایران، صنعت برق، شرکت ملی گاز ایران، شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران و شرکت ملی صنایع مس ایران برخی از مشتریان این شرکت هستند.

همچنین اطلاعات تماس این شرکت به قرار زیر است:

کارخانه رجایی

آدرس: تهران، خیابان شهید رجایی، پلاک ۱۸۱

تلفن: ۵۵۵۴۴۰۰۰-۳ (۰۲۱)

فکس: ۵۵۵۴۳۸۸۱ (۰۲۱)

ایمیل: info@borna-co.com

کارخانه صنعت

آدرس: تهران، خیابان شهید رجایی، خیابان صنعت، پلاک ۹

تلفن: ۵۵۲۳۲۹۳۳-۵ (۰۲۱)

فکس: ۵۵۲۳۱۴۱۲ (۰۲۱)

ایمیل: info@borna-co.com

- شرکت مهندسی پرتو نیرو ماد (تأمین‌کننده)

شرکت پرتو نیرو ماد نماینده رسمی درایو و سافت استارترهای کاربردهای ولتاژ متوسط Ingeteam اسپانیا و MOCOTECH آلمان ، طراح و مجری پروژه های اتوماسیون صنعتی در کشور می باشد که با هدف تأمین تجهیزات و اجرای پروژه های اتوماسیون صنعتی با به کارگیری مجموعه ای توانمند از کارشناسان مجرب و متخصص و تامین تجهیزات از برندهای مطرح تأسیس گردیده است . این شرکت فعالیت خود را در زمینه تأمین تجهیزات و ارائه خدمات فنی مهندسی مربوط به پروژه‌های اتوماسیون صنعتی آغاز نموده و در زمره فعالترین تأمین کنندگان ادوات و تجهیزات اتوماسیون و

الکتریکال در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی ، فولاد ، نیروگاهی ، سیمان، آب و فاضلاب ، خودروسازی ، صنایع غذایی و دارویی ، تأسیسات حرارتی و برودتی ، ماشین سازی، کاشی و سرامیک ، سیم و کابل و و دیگر صنایع وابسته قرار دارد.

اطلاعات تماس این شرکت نیز به قرار زیر است:

آدرس : تهران – خیابان سعدی شمالی – خیابان هدایت – پلاک ۱۹۰ – مجتمع اداری و تجاری بهار – طبقه دوم – واحد ۵

تلفن : ۵۳ ۳۱ ۶۱ ۷۷ – ۰۲۱

تلفکس : ۶۳ ۳۱ ۶۱ ۷۷ – ۰۲۱

پست الکترونیک : Partoniroomad@gmail.com

- شرکت فناوران صنعت لوتوس (تعمیرکننده)

متخصصان این شرکت با در اختیار داشتن دانش طراحی و ساخت انواع اینورتر و باتری شارژر و آشنایی با برندهای مطرح در این حوزه، آماده ارائه خدمات فنی در زمینه مشاوره، تست و تعمیر این تجهیزات به صنایع کشور می باشد.

اطلاعات تماس این شرکت به قرار زیر است:

آدرس: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار دادمان، پژوهشگاه نیرو، ساختمان رویش، واحد ۳۰۶

شماره تماس: 021-22342204 و 021-88581762

پست الکترونیک: info@Lotus-tech.com

- شرکت میکروکنترل اصفهان

شرکت میکرو کنترل اصفهان یک شرکت سازنده دستگاه‌های کنترل دور موتور با نام IMC است. این شرک همچنین نمایندگی درایوهای ABB را نیز دارا است.

دستگاه کنترل دور مدل VSC3-2000 شرکت میکرو کنترل اصفهان مبتنی بر سیستم میکرو پروسسوری قابل برنامه‌ریزی و تکنیک ولتاژ و فرکانس به روش SPWM جهت کنترل دور موتورهای سه فاز طراحی شده است.

مشخصات کلی کنترل‌کننده‌های VSC3-2000 عبارتند از:

- دارای سه میکروپروسسور جهت کارائی و انعطاف بیشتر در کنترل و نمایش
- استفاده از تکنولوژی جدید نیمه هادیها، ترانزیستورهای IGBT و قطعات SMD
- قابلیت ارتباط با کامپیوتر از طریق پورت RS232
- ثبت پارامترهای تنظیم در حافظه ماندگار
- کنترل دور از ۱٪ تا ۲۰۰ ٪ دور نامی (فرکانس خروجی از ۰/۵ تا ۱۰۰ هرتز)
- ثبات گشتاور تا دور نامی
- افزایش گشتاور راه اندازی در دورهای پائین
- افزایش گشتاور تا ۱۳ ٪ بالاتر از دور نامی
- قابل برنامه ریزی جهت تنظیم حداکثر و حداقل سرعت مجاز، شتاب افزاینده و کاهنده سرعت
- کنترل سرعت بوسیله پتانسیومتر، صفحه کلید ، میکروسوئیچ ، جریان ۴–۲۰ میلی‌آمپر یا ولتاژ ۱–۵ ولت
- ورودی فیدبک جهت ایجاد حلقه بسته برای کنترل سرعت توسط تاکوژنراتور، انکودر و...
- ورودی دیجیتال ایزوله قابل اتصال به میکروسوئیچ برای اجرای فرمان از فواصل دور
- خروجی دیجیتال ایزوله برای تعیین وضعیت و فرمان به سیستمهای دیگر
- خروجی آنالوگ ۴–۲۰ میلی‌آمپر متناسب با سرعت یا جریان

- نمایش سرعت، جریان ، خطا و پارامترهای تنظیم و ... بر روی صفحه نمایش دیجیتال
- دارای حفاظتهای مورد نیاز در مقابل اضافه جریان، اضافه ولتاژ و اتصال کوتاه خروجی
- حذف شوکهای الکتریکی و مکانیکی ناشی از اتصال مستقیم موتور به شبکه و نتیجتاً افزایش عمر و بازدهی موتور

شکل ۳۴۴-۲ : نمایی از سیستم درایو شرکت میکروکنترل اصفهان

مشخصات فنی این درایوها به قرار زیر است:

جدول ۱۰۰-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو شرکت میکروکنترل اصفهان

پارامتر	توضیحات
Structure	IGBT Bridge
V_{in}	380V
f_{in}	50-60Hz
Iout	375A
P_{out}	200KW
f_{out}	0.5~100Hz
Cooling	AIR
DIM	117*45*35cm

همچنین اطلاعات تماس این شرکت به قرار زیر است:

آدرس: اصفهان- خیابان فردوسی - نبش منوچهری ساختمان امیر واحد ۱۰۱

تلفن: ۲۲۲۶۹۶۴-۲۲۲۷۳۷۷-۲۲۲۰۰۵۰-(۰۳۱۳)

۸-۳-۲-۲- قیمت محصولات

در خصوص قیمت درایوهای ولتاژ متوسط بر اساس محصولات و برند شرکتها قیمتهای متفاوتی وجود دارد. درایوهای با ولتاژ حدود ۱۰ کیلوولت و برندهای معتبری همچون ABB و زیمنس به ازای هر کیلووات توان خروجی به طور متوسط حدود ۱۹۰ تا ۲۳۰ دلار قیمت دارند. اگرچه برای برای سطوح ولتاژ پایینتر (کمتر از ۴ کیلوولت) قیمت متوسط در هر کیلووات به ۱۳۰ تا ۱۷۰ دلار می رسد. البته برای برندهای با شهرت کمتر همچون چینی و یا اروپای شرقی این اعداد به حدود نصف و یا حتی کمتر می‌رسد.

در خصوص شرکتهای سازنده داخلی از آنجا که بسیاری از هزینه ها متاثر از نرخ ارز می باشد، لذا قیمت گذاری به نرخ ارز وابسته است. البته شرکتهای داخلی سازنده درایوهای فشار متوسط نرخهای متنوعی دارند، اما میتوان در حوزه درایوهای فشار متوسط نرخ متوسط محصولات را در بازه ۱۰۰ تا ۱۳۰ دلار برای هر کیلووات توان درنظر گرفت.

۹-۳-۲-۲- برآورد توانایی ساخت داخل و بررسی توانمندیهای شرکتهای داخلی

در بخش قبل به بررسی شرکتهای داخلی فعال در زمینه سیستم درایو فشار متوسط نیروگاه های حرارتی پرداخته شد. همانگونه که ملاحظه گردید این شرکتها توانایی های غیر قابل انکاری در این حوزه دارند. شرکت اطمینان بخش توانایی ساخت این تجهیزات را با قدرت ۱۲/۸ مگاوات و تا سطح ولتاژ ۱۱ کیلوولت دارا می باشد. تکنولوژی مورد استفاده در این تجهیزات، فناوری بروز بوده به طوری که قابلیت ساخت رکتیفایر تا سطح ۲۴ پالسه را دارا می باشد. همچنین تکنولوژی اینورتر ساخت این شرکت نیز به صورت Modular Cascaded H-Bridge است که فناوری بروز استفاده شده در میان سازندگان معتبر خارجی می باشد.

طی مصاحبه با جناب آقای مهندس رئوفی مدیر فنی واحد مربوطه، در این شرکت اکثریت اجزای سیستم درایو از جمله ماژولهای قدرت H-Bridge، برد درایور و سیستم کنترل، ترانس شیفت فاز و ... در داخل کارخانه طراحی و تولید می گردد. سیستم مانیتورینگ را نیز با استفاده از PLC زیمنس و برنامه نویسی داخلی تولید می نمایند. همچنین سیستم درایو این شرکت این قابلیت را دارد که از سیستم کنترل خارجی نیز (با توجه به سفارش مشتری) استفاده نماید.

این شرکت مجموعه آزمایشگاهی متنوعی را در این حوزه در اختیار دارد. این آزمایشگاهها شامل آزمایشگاه شرایط محیطی همچون ارتعاش- برودت-حرارت- رطوبت- ضربه-مه نمکی، استقامت عایقی، عملکرد بی باری و با باری (تا ۸۵۰ کیلوولت آمپر)، آزمایشگاه فشار قوی و... می باشد. این شرکت از طریق مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک (RCII)، آزمون سازگاری الکترومغناطیسی خود را انجام می دهد.

شرکت پرتو صنعت حدود ۳۰ سال است که به ساخت انواع اینورتر و مبدل مشغول است و تجربه گرانبهایی در این زمینه دارد. درایو این شرکت تا سطح توان ۴ مگاوات و ولتاژ ۶/۶ کیلوولت ارائه می گردد. تکنولوژی مورد استفاده این شرکت به صورت پلهای IGBT ماژولار با قابلیت تعمیر و تعویض آسان می باشد که از جمله فناوریهای مطرح و مدرن است.

طبق تحقیقات بعمل آمده و مصاحبه با مدیر فنی واحد مربوطه، شرکت پرتو صنعت طراحی تمام اجزای سیستم درایو از جمله ماژول های قدرت، برد درایور، سیستم کنترل و غیره و نظارت بر ساخت را انجام داده و ساخت اکثر تجهیزات را به صورت برون‌سپاری به شرکتهای داخلی محول می نماید. در محل کارخانه نیز سیستم درایو اسمبل شده و تحت تست قرار می گیرد. البته سیستم مانیتورینگ مورد استفاده سیستم HMI شرکت Delta می باشد.

این شرکت موفق به اخذ تاییدیه های فنی مطابق استانداردهای:

EN 61800-3: 2012, Adjustable speed electrical power drive system- part 3 EMC requirements and specific test methods

EN 61800-5-1: 2007, Adjustable speed electrical power drive system- part 5-1 part: Safety requirements Electrical, Thermal and energy

برای محصولات خود شده و نیز گواهینامه – CE Certificate Of European Community از شرکت "آزمایشگاههای صنایع انرژی (E.P.I.L) "برای محصول صادراتی خود گردیده است. این شرکت دارای آزمایشگاه‌های الکتریکال، عایقی و تستهای بی باری و تحت بار تا توان ۷۵۰ کیلوولت آمپر می باشد. جهت تست بازده و تست هارمونیکی از امکانات آزمایشگاهی EPIL استفاده می نماید. همچنین از سوی مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک (RCII) تاییدیه آزمون سازگاری الکترومغناطیسی را در خصوص اینورترهای خود دریافت نموده است.

جهاد دانشگاهی علم و صنعت با تجربه ای ۴۰ ساله در حوزه درایو و مبدلهای الکترونیک قدرت فعال می باشد. این موسسه از جمله موفقترین نهادهای علمی داخلی در زمینه صنعت است که در طول این سالیان توانسته برخی محصولات مورد نیاز صنایع را در مقیاس توان بالا طراحی و ارائه نماید. از جمله محصولات قابل توجه این موسسه درایو فشار متوسط با توان ۱۰ مگاولت آمپر و ولتاژ ۶/۶ کیلوولت بوده که در صنایع نیروگاهی نیز کاربرد فراوان دارد. تکنولوژی مورد استفاده در این محصول یکسوساز تا ۲۴ پالسه و اینورتر چندسطحی NPC است که از فناوریهای بروز و مدرن می باشد.

طی مصاحبه با جناب آقای مهندس سید جعفری مدیر فنی مربوطه، این شرکت اجزای عمده سیستم درایو اعم از ماژولهای قدرت، درایور ماژول قدرت و بورد کنترل را طراحی و تولید می نماید. این شرکت با استفاده از PLC زیمنس و با نرم افزار خود، سیستم مانیتورینگ را تولید می نماید. البته محفظه تابلو درایو به صورت تامین از شرکتهای داخلی بوده و ترانس شیفت فاز نیز از داخل و یا بعضا از خارج از کشور (چین یا ایتالیا) تامین می گردد.

این مرکز با تکیه بر بیش از دو دهه دانش و تجربه در زمینه طراحی و ساخت تجهیزات آزمایشگاه‌های فشارقوی و ارایه خدمات کنترل کیفی مطابق با استانداردهای بین‌المللی، دارای گواهینامه تایید صلاحیت از مرکز ملی تایید صلاحیت ایران (NACI) وابسته به سازمان ملی استاندارد ایران، امکانات انجام آزمون‌هایی همچون تستهای عایقی، فرکانس قدرت، فشار قوی، اضافه ولتاژ صاعقه و سوئیچینگ و غیره رادارد. همچنین آمادگی انجام تستهای زیر بار را نیز تا حدود ۵۰۰ کیلوولت آمپر دارا می باشد. این شرکت جهت آزمون EMC از آزمایشگاه دانشگاه صنعتی امیرکبیر استفاده می نماید.

شرکت برنا الکترونیک با بیش از ۳۵ سال سابقه در زمینه محصولات الکترونیک صنعتی یکی دیگر از شرکتهای توانمند در این حوزه می باشد. محصول مگادرایو این شرکت با توان تا ۱۵ مگاولت آمپر و ولتاژ ۱۱ کیلوولت در برای اولین بار به صنعت کشور ارائه گردیده است که نشانگر تواناییهای این شرکت پیشرو می باشد. تکنولوژی به کاررفته در ساخت این محصول ماژولهای IGBT Cascaded HBridge که از بروزترینهای این صنعت می باشد، مورد استفاده قرار گرفته است. این ماژولها قابلیت ولتاژ چند سطحی تجهیز را همراه با نصب، تعمیر و تعویض آسان ارائه می نمایند.

طی تحقیقات بعمل آمده و مصاحبه با جناب آقای مهندس عصاران مدیر فنی واحد مربوطه، این شرکت عمده اجزای سیستم درایو فشار متوسط اعم از ماژولهای قدرت، سیستم کنترل و بورد درایور را خود طراحی و تولید می نماید. همچنین سیستم مانیتورینگ را با استفاده از PLC و کدنویسی کارشناسان شرکت تهیه می نماید. همچنین ترانسهای شیفت فاز را از خارج شرکت تهیه می نمایند.

این شرکت قابلیت انجام تستهای الکتریکال و عایقی و با بار محدود تا حدود ۱۰۰ کیلوولت آمپر را در داخل کارخانه فراهم نموده است. البته برای تستهای تحت بار کامل و EMC و ... از آزمایشگاه‌های شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران و شرکت EPIL بهره برده و جهت انجام تستهای فشار قوی از آزمایشگاه‌های پژوهشگاه نیرو و جهاد دانشگاهی علم و صنعت استفاده می نماید.

این شرکتهای پیشرو داخلی به همراه دیگر شرکتهایی فعال در این حوزه، با حمایتهای بیشتر می توانند زمینه رشد و شکوفایی صنعت نیروگاهی در کشور را سبب شوند و در بسیاری موارد نیاز صنایع را در زمینه ساخت سیستمهای درایو نیروگاهی را برطرف نمایند. لذا دیگر کمتر نیازی به وارد نمودن این تجهیزات از خارج از کشور احساس شده و سبب اشتغالزایی و عدم خروج ارز در این شرایط تحریم از کشور خواهد شد. همچنین دیگر شرکتهای دانش بنیان نیز به تاسی از

این پیشگامان وارد این حوزه گردیده و سبب پویایی هرچه بیشتر صنعت نیروگاهی می گردد. با تولید چنین محصولات با کیفیت داخلی رشد صادرات هرچه بیشتر این تکنولوژی به خصوص به کشورهای همسایه و منطقه ای نیز جامه عمل خواهد پوشید.

۱۰-۳-۲-۲- نمونه‌هایی از کاربرد سیستم درایو در نیروگاه های داخلی

الکتروموتورهای استفاده شده در نیروگاه‌های حرارتی موتورهایی با توانهای متوسط و بالا بوده که فنها و پمپ های با سرویسهای متنوع را به راه می اندازند. این ماشینها معمولا بواسطه ادواتی تنظیم می شوند و بدلیل راندمان کم، تلفات توان قابل توجه را به همراه دارند. با پیشرفت و توسعه تکنولوژی هم اکنون مبدلهای قدرت بزرگ و مناسب برای سافت استارت و کنترل موتورهای مذکور در دسترس می باشند. در بسیاری از موارد کنترل و راه اندازی این تجهیزات به طریق ستاره–مثلث و یا به طریق مکانیکی بوسیله دمپرهای و ولوها انجام می شود. با راه حل سرعت ثابت مکانیکی عملا رسیدن به بهره بهینه در دامنه تغییرات غیرممکن است. با استفاده از راه انداز و کنترل سرعت متغییر الکتریکی تغییرات دبی فن و پمپ به سادگی با تغییر سرعت الکترو موتورمربوطه بدست می آید. این عمل با صرفه جویی مصرف انرژی، کاهش نشر CO_2 و کم کردن هزینه کلی عملیات همراه است. بهبود عملکرد موتور، بهبود عملکرد واحد را در پی خواهد داشت. متاسفانه در نیروگاه‌های کشور، بسیار کم از این تکنولوژی استفاده گردیده است. در جدول ذیل برخی از موارد معدود استفاده از سیستم درایو را در نیروگاه های داخلی ارائه شده است.

جدول ۱۰۱–۲ : نمونه‌هایی از کاربرد سیستم درایو در نیروگاه های داخلی

نام نیروگاه	تعداد درایو مورد استفاده	کاربرد	شرکت سازنده	سطح توانی	سال نصب
نیروگاه طرشت	۶ دستگاه برای الکتروموتور پمپ های تغذیه	راه اندازی	ABB	600 KW	۱۳۹۰
	۲دستگاه برای الکتروموتور پمپ های سیرکولاسیون	راه اندازی	ABB	600 KW	۱۳۸۸
	۱ دستگاه برای سیستم RO شیمی	کنترل سرعت	TELE MECHANIC	30KW	۱۳۸۷
	۱عدد برای کمپرسور گاز واحد گازی هیتاچی	کنترل سرعت و راه اندازی	SIEMENS	355 KW	۱۳۹۸
نیروگاه رامین	۴ دستگاه درایو	کنترل سرعت	Omron CIMR-F7Z4037	57KW	۱۳۸۹

نیروگاه ایرانشهر	۹ دستگاه برای فنها و پمپها	کنترل سرعت	LS	132 KW	۱۳۸۸
	۹ دستگاه برای فنها و پمپها	کنترل سرعت	LS	132 KW	۱۳۹۶
نیروگاه اصفهان	۵ دستگاه برای فنهای کولینگ تاور	کنترل سرعت و راه اندازی	شرکت میکروکنترل اصفهان	200 KW	۱۳۹۱
	۲ دستگاه برای اسلاج پلنت	کنترل سرعت	TOPTEK	2.2K W	۱۳۸۸
نیروگاه بیستون- اسلام آباد غرب	۱ دستگاه درایو	در سیستم خنک کن هوای ورودی کمپرسور	FUJI FRN15E1S-4C	15K W	۱۳۹۸

همانگونه که در بخش‌های قبل بیان گردید، از درایوهای کنترل دور در نیروگاه های کشورهای مختلف دنیا استفاده شده و به عنوان یک سیستم کنترلی جدید به جای سیستم های کنترلی قدیمی مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، نتایج قابل قبولی نیز در زمینه بهبود فرایند کنترل، راندمان عملکرد و بهینه سازی مصرف انرژی از طرف نیروگاه های مذکور گزارش شده که قابل توجه و تامل می باشد. لذا می توان از این راهکار در نیروگاه های داخلی نیز استفاده نموده و به بهبود راندمان نیروگاه ها و در نتیجه کاهش مصرف انرژی در کل کشور کمک کرد. خوشبختانه اخیرا نهادهای مدیریتی صنایع نیروگاهی در این زمینه توجه خوبی را نشان داده‌اند و با توجه به پتانسیل شرکتهای داخلی در ساخت درایوهای فشار متوسط نیروگاهی که با تکنولوژی بروز محصولات خود را عرضه می‌کنند، می توان به این مهم دست یافت؛ بدون آنکه نگاه صنایع نیروگاهی به خارج از مرزها باشد و از خروج ارز از کشور جلوگیری شده و سبب تقویت اشتغال پایدار و توسعه کمی و کیفی شرکتهای دانش بنیان در حوزه ساخت داخل این تجهیزات خواهد گردید.

۱۱-۳-۲-۲- برآورد TRL بین المللی و داخلی در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاه حرارتی

امروزه تمرکزی قابل‌توجه در زمینه تجاری‌سازی نتایج تحقیقات و نوآوری‌های انجام‌شده توسط مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان در سطح دنیا و ازجمله ایران در صنایع مختلف به‌وجود آمده است و کلید واژه مدیریت فناوری هرچه بیشتر به‌منظور سرمایه‌آفرینی از فعالیت‌های پژوهشی و کاهش ریسک عملکردی، زمانبندی و سرمایه‌گذاری در توسعه محصولات با فناوری بالا مورد توجه قرار گرفته است، لذا بهره‌گیری از ابزاری مناسب، نقش اساسی در تصمیم‌گیری و کاهش ریسک در مرحله تزریق مالی به‌منظور تجاری‌سازی دستاوردهای تحقیق، و توسعه و نوآوری (RDI) ایفا می‌کند. یکی از ابزارهای کاربردی در این زمینه که توسط سازمان ناسا در دهه هفتاد میلادی توسعه‌یافت و مورد استفاده قرار گرفت،

ابزاری با هدف تعیین سطح آمادگی فناوری به نام TRL است. ابزار مذکور که امکان ارزیابی بلوغ فناوری را در مراحل توسعه محصول امکان‌پذیر می‌سازد، به صورت گسترده در سطح کشورهای پیشرفته در سازمان‌های صنعتی و دولتی مورد استفاده قرار گرفته است. به بیانی دیگر، ابزار TRL امکان ارزیابی بلوغ فناوری خاص حاصل از فرآیندهای نوآوری و تحقیق و توسعه و همچنین مقایسه سازگاری مابین انواع مختلف فناوری به‌کار رفته در ساختار یک تجهیز یا سیستم را امکان‌پذیر می‌سازد و برخلاف ابزارهای مشابه دیگر، ابزار مذکور سطحی که فناوری در آن قرار دارد را به صورت کاربردی شناسایی می‌کند. ارزیابی سطح آمادگی هر تکنولوژی (TRL) می‌تواند در قالب ۹ سطح تقسیم‌بندی شود که با توجه به محیط سیستم از پژوهش‌های پایه‌ای و استخراج معادلات مفهومی آغاز شده و تا تولید صنعتی و توسعه بازار ادامه یابد. این سطوح در جدول ذیل تشریح گردیده است.

جدول ۱۰۲-۲ : سطوح ارزیابی سطح آمادگی تکنولوژی **TRL**

	سطوح آمادگی فناوری(TRL)	توصیف
۱	**مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آنها**	تحقیقات علمی در این مرحله به دانش کاربردی و دانش توسعه‌ای منتهی می‌گردد. مثال :مقالات علمی حوزه فناوری
۲	**مدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن**	در این مرحله اختراع انجام شده است. بهره‌برداری در این مرحله تقریبی و مفهومی است. مثال: دانش استخراج شده از یک مقاله علمی.
۳	**اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه**	این مرحله شامل مطالعات دقیق علمی و تحلیلی و بررسی‌های آزمایشگاهی است تا اعتبار سنجی لازم صورت پذیرد. مثال: اجزای غیر یکپارچه یک مطالعه تحقیقاتی در حوزه فناوری که هنوز رسمی و اعلام نشده‌اند.
۴	**دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی**	با کنار هم قرار گرفتن اجزای یک سیستم، فناوری آماده به کار شکل میگیرد. البته هنوز سطح اطمینان و عملکرد فناوری پائین است. مثال: تکمیل شدن یک جزء سخت افزاری برای آزمایش نهائی در سیستم فناوری.
۵	**دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد**	با انجام آزمایشات تکمیلی، سطح اطمینان بالاتری حاصل می‌آید. اجزای اولیه یک فناوری در ابعاد و دقت واقعی و غیرآزمایشگاهی تهیه شده و در کنار یکدیگر برای آزمون نهائی واقعی مهیا میشوند. مثال: آزمایش نهائی یک سیستم.
۶	**دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد**	مدل نمایشی که خروجی سطح TRL-5 به حساب می‌آید و البته در محیط واقعی با موفقیت آزمایش شده است.مثال: آزمایش یک محصول پروتوتایپ در یک آزمایشگاه که این محصول قابلیت بکارگیری مطمئن در محیط شبیه سازی شده را نیز داراست.
۷	**اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی**	محصول فناوری در یک محیط عملیاتی متفاوت با شرایط اولیه آزمون واقعی بکار گرفته می‌شود. این مرحله سطح بلوغ یافته TRL-6 به حساب می‌آید. نیازمند وجود یک محیط و فضای عملیاتی متفاوت برای بکارگیری سیستم کامل فناوری و اجزا در آن است.مثال: آزمایش سیستم در محیطی متفاوت و واقعی.
۸	**تکمیل سیستم نهایی و دستیابی به شرایط لازم برای کاربرد عملیاتی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولید پایلوت**	فناوری آماده بهره برداری تحت وضعیت‌های مختلف است. در این مرحله ارزیابی و تست‌های نهائی پایان یافته و سیستم بصورت یک پکیج قابل اجرا و انتقال مورد تصور است. مثال: سیستم مورد بهره‌برداری در شرایط مختلف.

در خصوص محصولات خارجی درایو نیروگاهی با توجه به مطالعات انجام شده در فصول گذشته ملاحظه می گردد که شرکتهای بسیار معتبری با محصولات متنوع در این حوزه، سهم قابل توجهی در تولید و تامین این تجهیزات در مقیاس جهانی را دارا می باشند. این محصولات با توجه به پیشینه فعالیت این شرکتها به نیروگاه های نقاط مختلف در جهان و از جمله کشور عزیزمان صادر می گردد. در خصوص سطح آمادگی فناوری (TRL) سیستمهای درایو این شرکتهای معتبر لازم به ذکر است که محصولات آنها با این گستره از تولید و مصرف عموما در سطح TRL8-9 می باشد. البته همانگونه مطالعه گردید در خصوص ساخت سیستمهای درایو ماژولار و سلولار و با تکنولوژی خروجی چند سطحی (Multilevel) جا برای کار بیشتر و فراگیرتر شدن با توجه به مزایای متعدد این تکنولوژیها وجود دارد.

در خصوص درایوهای فشار متوسط نیروگاهی ساخت شرکتهای داخلی نیز با توجه به مطالعات صورت گرفته در بخشهای قبلی می توان اذعان نمود که در سالهای اخیر پیشرفت قابل توجهی در زمینه طراحی صنعتی و ساخت این تجهیزات در داخل کشور صورت گرفته است. خصوصا شرکتهای اطمینان بخش، پرتو صنعت، برنا الکتریک و جهاد دانشگاهی علم و صنعت موفق به ساخت درایوهایی تا ولتاژ ۱۱ کیلوولت و توان ۱۵ مگاوات گردیده اند. اگرچه این تولیدات دستاورد قابل توجهی است اما با توجه به نیاز صنعت کشور و حجم وارداتی که صورت می‌گیرد، تا رسیدن به نقطه مطلوب تلاش بسیار بیشتری را می‌طلبد. با توجه به اینکه در نیروگاه‌ها موتورهایی با ظرفیت توانی چند ده مگاواتی وجود دارد لازم است که این شرکتهای پیشرو داخلی نیز هدف‌گذاری فعالیتهای خود را به این گستره ارتقا دهند. همچنین شرکتهایی در داخل وجود دارند که در زمینه درایوهای فشار ضعیف و توان پایین فعالیت دارند. این شرکتها می توانند با توسعه واحد تحقیقات خود و کسب دانش و تکنولوژی موثر در طراحی و پیاده سازی درایوهای فشار متوسط نیروگاهی به چرخه تولید کنندگان این تجهیزات اضافه شده و زمینه کاهش واردات و خروج ارز از کشور را در این حوزه فراهم نمایند. لذا با در نظر گرفتن جمیع شرایط فوق الذکر سطح آمادگی متوسط این فناوری در داخل کشور را می توان با TRL7-8 مشخص نمود. البته از نکات مثبت این موضوع آن است که عمده شرکتهای پیشرو داخلی در این حوزه در ساخت محصولات خود از تکنولوژیهای نوین ماژولار و چند سطحی استفاده نموده‌اند که جای مباهات دارد.

۱۲-۳-۲-۲- سهم بازار و میزان واردات و صادرات سیستم درایو در حوزه نیروگاه حرارتی

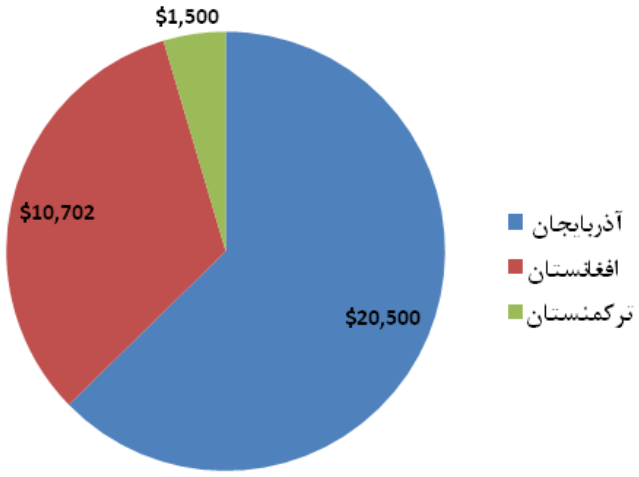
در این بخش به سهم بازار و میزان صادرات شرکتهای داخلی در حوزه سیستم درایو و اینورتر و میزان واردات این محصولات به داخل کشور جهت نیازهای صنایع پرداخته خواهد شد.

جدول ۲-۱۰۳ آمار صادرات درایوهای فرکانس متغیر را که از طریق گمرکات مختلف کشور در سال ۱۳۹۷ به خارج کشور ارسال گردیده‌اند، را نمایش می دهد. اطلاعات درج شده در این جدول شامل سال و ماه انجام صادرات هر ردیف، نام کمرگ ترخیصی، نام کشور مقصد، مشخصات و کد تعرفه محصول، وزن محموله، مبلغ ریالی و مبلغ دلاری صادرات صورت گرفته می باشد.

جدول ۲-۱۰۳ : اطلاعات صادرات اینورتر از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷

ردیف	ماه	سال	نام گمرک	نام کشور	شماره تعرفه	توضیحات تعرفه	وزن - کیلو گرم	ارزش - ریال	ارزش - دلار
1	1	1	آستا	آذربایـ	۸۵۰۴۴	کنترل دور	۲۵۰	861,000,	20,500

	000		موتورInverter	۰۵۰	جان	را	397		
4,800	423,417,600	۶۰۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	افغانستان	مشهد	1 397		2
4,176	364,271,824	۵۲۲	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	افغانستان	مشهد	1 397	2	3
1,500	65,820,000	۲۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	افغانستان	مشهد	1 397		4
1,500	65,820,000	۲۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	ترکمنستان	مشهد	1 397		5
226	19,806,000	۳۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	افغانستان	مشهد	1 397		6
	مجموع کل 32,702 دلار	**مجموع کل 1,800,135,424 ریال**							



شکل ۳۴۵-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات صادرات درایوهای فرکانس متغیر در سال ۱۳۹۷

شکل ۳۴۵-۲ اطلاعات جدول فوق را به صورت گرافیکی و خلاصه نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد، مجموع صادرات درایو و اینورتر در سال ۹۷ حدود ۲ تن و به ارزش ۳۲۷۰۲ دلار انجام شده است. مقصد صادرات نیز کشورهای آذربایجان، افغانستان و ترکمنستان بوده است. البته حدود ۷۰٪ ارزش صادرات به کشور آذربایجان صورت گرفته است.

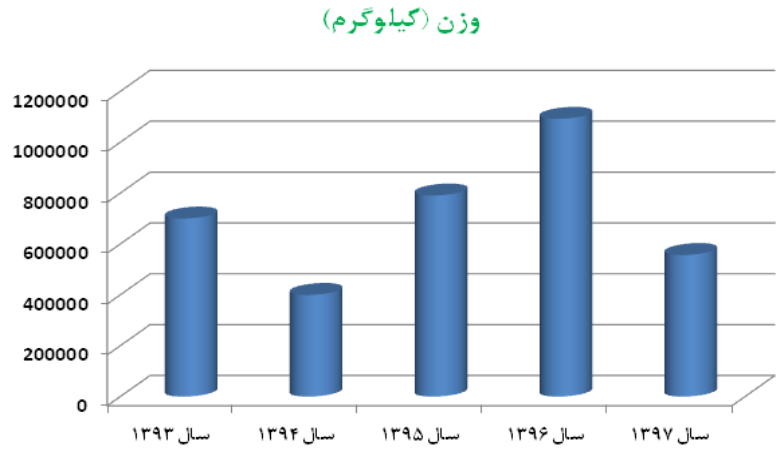
اگر بخواهیم از وضعیت واردات همین اقلام در سال ۱۳۹۷ برآوردی داشته باشیم، جدول ۶-۲ آمار واردات درایوهای فرکانس متغیر را از طریق گمرکات مختلف کشور در سال ۱۳۹۷ را نمایش می دهد. این جدول به دلیل طولانی بودن به پیوست گزارش منتقل گردیده است. همانگونه که مشاهده می شود این اقلام به میزان وزنی حدود ۵۵۶ تن و به ارزش

دلاری بیش از ۱۲ میلیون دلار از مبدا کشورهای آلمان، سوئد، اتریش، ارمنستان، ایالات متحده، اسپانیا، فنلاند، فرانسه، عمان، جمهوری چک ،چین، هند، کره جنوبی، ترکیه، تایوان و امارات متحده عربی و غیره وارد کشور گردیده است.

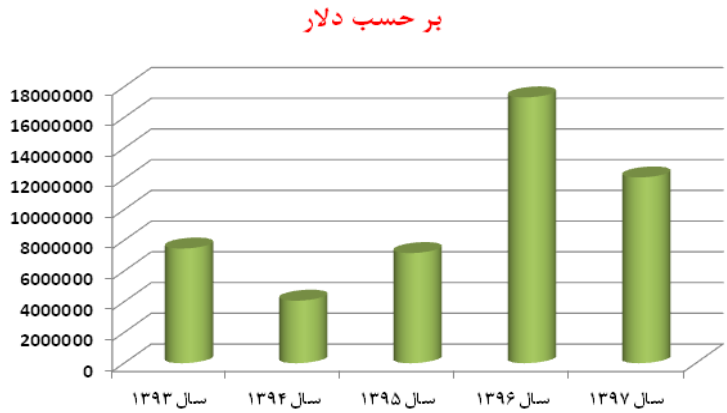
بیشترین واردات از کشورهای چین، آلمان، امارات، ترکیه و فنلاند به ترتیب حدود ۲.۵۲۶.۰۰۰ دلار ، ۲.۰۶۶.۰۰۰ دلار، ۱.۸۶۴.۰۰۰ دلار، ۱.۴۵۸.۰۰۰ دلار و ۱.۳۵۴.۰۰۰ دلار انجام پذیرفته است. پس از این دو کشور که حدود ۸۰٪ واردات این تجهیزات از آنها صورت می‌پذیرد، کشورهای کره جنوبی، اتریش و ایتالیا نیز نقش پررنگی در صادرات این تجهیزات به کشورمان داشته اند.

اگرچه جزئیات اطلاعات هر ردیف جدول شامل مشخصات فنی و توان الکتریکی اقلام در دسترس نمی‌باشد، اما با توجه به قابلیت‌های داخلی کشور در خصوص ساخت اینورترهای توان پایین، می‌توان اذعان نمود که درایوهای وارداتی عمدتاً دارای توان متوسط و بالا می باشند که طبیعتا محل مصرف آنها در نیروگاه‌ها و برخی صنایع سنگین می باشد.

برای اینکه روند واردات را در سالهای اخیر رصد نماییم، اطلاعات واردات مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ را مورد ارزیابی قرار می دهیم. در شکل ۳۴۶-۲ نمودار وزنی اینورترهای وارداتی طی سالهای مذکور نشان داده شده است. همچنین نمودار ارزش دلاری واردات صورت گرفته نیز در شکل ۳۴۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳۴۶-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات درایوهای فرکانس متغیر طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص وزنی



شکل ۳۴۷-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات درایوهای فرکانس متغیر طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص هزینه

از نمودارها ملاحظه می گردد که پس از افتی که در میزان واردات در سال ۱۳۹۴ رخ داده، طی سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ واردات رشد قابل توجهی داشته است. البته در سال ۱۳۹۷ دوباره شاهد کاهش واردات اینورترها می باشیم. اما یکی از نکات

جالب آن است که اگرچه میزان واردات در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۵ کاهش محسوسی داشته است، اما هزینه واردات حدود ۵۰٪ افزایش داشته است. به نظر می رسد که فشار تحریمهای تکنولوژی و مالی در افزایش هزینه واردات موثر بوده است. این موضوع با مقایسه هزینه واردات در سالهای ۱۳۹۶ و ۱۳۹۵ نیز صدق می نماید. با آنکه میزان واردات در این دو سال حدود ۲۰٪ تفاوت دارد، اما اختلاف هزینه در این دو سال بیش از ۹۰ درصد می باشد.

۱۳-۳-۲-۲- شناسایی سیاست ها و متغیرهای ملی و بین المللی تاثیرگذار بر محیط ساخت داخل و تجارت سیستم تحریک و راه انداز و درایو در حوزه نیروگاه حرارتی

در این بخش به تبیین سیاستها و متغیرهای مختلف در عرصه ملی و بین المللی خواهیم پرداخت که بر ساخت داخل تجهیزات نیروگاهی مذکور و همینطور بر صادرات و واردات این تجهیزات و فناوریها اثرگذارند. بدین منظور در دو بخش مجزا عوامل موثر در حوزه ساخت داخل و تجارت این فناوریها مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرد.

- عوامل موثر بر حوزه ساخت داخل

در سند چشم انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران برای بخش فناوری کشور اهداف کیفی همچون احراز جایگاه اول فناوری در سطح منطقه آسیای جنو بغربی، آسیای میانه، قفقاز، خاورمیانه و کشورهای همسایه، برخورداری از فناوریهای پیشرفته، توانایی در تولید فناوری، تکیه بر سهم برتر دانشمندان و مهندسان در تولید ملی و نیز تعامل فناورانه سازنده و مؤثر با سایر کشورهای جهان پیشبینی شده است. بنظر می رسد به منظور دسترسی به این اهداف کیفی در سند چشم انداز کشور، باید تفکر سیستم مدیریتی به ساخت داخل تغییر نموده و باور مدیریت کلان کشور در این موضوع تقویت گردد. همچنین ضروری است بستر مناسب برای ظهور، ترویج و توسعه این تفکر ایجاد شود تا با استفاده از نیروی جوان و با ابزار آموزش و پژوهش از نیروی جوان، نیرویی مجرب، پرانرژی و هدفدار به وجود آورد. ساخت داخل نباید تنها به ساخت تجهیزات و تأسیسات منحصر گردد؛ بلکه باید منجر به ارتقاء سطح دانش، تکنولوژی و توان اجرائی سازنده داخلی، توسعه دانش طراحی، تحقیق و توسعه و ارائه محصولات جدید شود.

یکی از رو شهای دستیابی سریع به یک فناوری، خرید آن از صاحبان و مبتکران اولیه آن است. در نگاه اول شاید به نظر برسد که در چشم بر هم زدنی مالک تمامی داشته‌ها و زحمات چندین ساله آنها شده ایم، اما نکات ظریفی در این میان وجود دارد. از جمله اینکه صاحبان این فناور یها قیمت بسیار بالایی برای فروش آن مطالبه می نمایند. به علاوه همیشه این کشورها راهی برای وابسته نگاه داشتن خریداران در نظر می‌گیرند و خریدار فناوری همیشه به نوعی به فروشنده آن وابستگی خواهد داشت. این موضوع در مورد کشور ما حادتر است، چرا که ممکن است به بهانه‌های واهی نظیر تحریم یا فروش سهام به شرکتهای آمریکایی و غیره از ارائه خدمات خودداری نمایند. صرفا خرید و انتقال فناوری باعث شکوفایی صنایع نیروگاهی نخواهد شد و این روش تنها زمانی مؤثر است که از آن برای مهندسی معکوس استفاده شده و تیم پژوهش و توسعه بتواند با شناخت آن و کسب تجربه کافی، بروزرسانی و ارتقاء سیستم مذکور را بر عهده گیرد .اگرچه این روش کند و زما نبر به نظر می‌رسد، لیکن با توجه به اینکه اساس دانش مورد نظر در داخل کشور پایه‌ریزی می‌گردد، علاوه بر اینکه تکیه‌گاه محکمی برای آینده خواهد بود، در ارتقاء روحیه خودکفایی نقش بسیار بزرگی ایفا خواهد نمود. در ادامه به برخی عوامل موثر داخلی و خارجی در حوزه ساخت داخل تجهیزات نیروگاهی مذکور خواهیم پرداخت.

- استفاده از نخبگان علمی و صنعتی شرکتها و سازمانهای نیروگاهی

یکی از مواردی که در صورت تحقق آن منجر به جدی گرفتن مقوله ساخت داخل در کشور خواهد شد، موضوع پژوهش و فن آوری در سازمانهای مادر و شرکتهای نیروگاهی است. در این خصوص می باید جمعی از نخبگان علمی و صنعتی آن سازمان که مدتی درگیر کارهای عملیاتی شده و یا در کنار جمعی از با سابقه‌ترین و ماهرترین افراد عملیاتی قرار گرفته‌اند با تلفیق تجربه و دانش، گره‌های این صنعت را شناسایی نموده و را ه‌های غلبه بر آن را مشخص سازند. اینکه در واحدهای

پژوهش و فناوری هر سازمان صرفا افراد نخبه و ممتاز جذب گردند و انتظار آن را داشت تا مسیر خودکفایی به تنهایی با تکیه بر دانش و استعداد این افراد پیموده شود، مشکل بنظر می‌رسد .چرا که این افراد علیرغم داشتن قابلیتهای دانشگاهی از تجربه کافی در این صنعت برخوردار نبوده و اساساً از مشکلات صنعت کم اطلاع هستند و را ه حلهایی که توسط ایشان ارائه می‌گردد در واقعیت یا قابل انجام نیست و یا انجام آن با مشکلات عدیدهٔا ی مواجه می‌گردد. لازم به ذکر است که این روحیه و استعداد درخشان می‌تواند در کنار تجربه افراد با سابقه سازمان، جهتدهی شده و راندمان بالایی داشته باشد.

- ارتباط موثر صنایع نیروگاهی و دانشگاه‌ها

نکته دیگری که در خصوص ترویج موضوع ساخت داخل می‌توان به آن اشاره نمود، تقویت ارتباط صنعت با دانشگاه است. شاید اساسی‌ترین تفاوت کشورهای کمتر توسعه یافته با کشورهای پیشرفته جهان، ارتباط تنگاتنگ صنعت با دانشگاه باشد و شاید حلقه گمشده کندی حرکت صنعت ایران در پیمودن راه خودکفایی و گسترش دستاوردها، عدم ارتباط صحیح دانشگاه با صنعت باشد. در حال حاضر اکثر بروندادهای پژوهشی و پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی تعریف شده در مقاطع مختلف دانشگاهی کمتر به رفع نیاز صنعت توجه دارند. این در حالیست که در کشورهای توسعه یافته، فعالیتهای علمی و پژوهشی بر اساس نیاز صنعت تعریف می‌شوند و هر یک، مشکلی از صنایع را مورد بحث و بررسی قرار داده و راه حلهای فناورانه ارائه می‌نمایند.

هم اکنون در کشورهای پیشرو شاهد آن هستیم که به جای استخدام نیروی متخصص با حقوق بسیار بالا، مشکلات صنعت به دانشگاهها ارجاع داده می‌شود و دانشگا ههها نیز نخبگان کشورهای کمتر توسعه یافته را با حقوق بسیار پایینتر و در ازای ارائه مدارک تحصیلی و تعریف مشکل صنعت به عنوان موضوع تحقیقاتی دانشجو به کار می‌گیرند. شاید چندین دانشجو همزمان در مورد یک موضوع یکسان تحقیق نمایند که برآیند این پژوهشها، راهکار حل معضل مورد نظر در صنعت خواهد بود .از این طریق مشکل صنعت مرتفع شده و در این میان صنعت نیز به عنوان حامی مالی علاوه بر تخصیص بودجه کافی بر ای تحقیق، تسهیلات و تجهیزات آزمایشگاهی، آزمایشهای میدانی و تجهیزات صنعتی را در اختیار ایشان قرار می‌دهد.

- حمایت و توسعه شرکتهای دانش بنیان در صنایع نیروگاهی

شرکتهای دانش بنیان با تحول در عرصه علم و فناوری و کشف یافته ها و نتایج جدید در رشد و توسعه صنعتی و فناوری کشور تاثیر زیادی دارند بطوری که رهبر معظم انقلاب اسلامی در دیدار با نخبگان و فعالان شرکتهای دانش بنیان بر اهمیت نقش این شرکتها در رونق فناوری و اقتصاد مقاومتی تاکید و آنها را موثرترین مولفه های تحقق پایدار توصیف فرمودند.

عدم توجه کافی به جایگاه خلاقیت و نوآوری در ساخت داخل تجهیزات صنایع نیروگاهی موجب افزایش وابستگی کشور به فناوری‌های خارجی شده است و این برای کشور ما یک ضعف مهم به شمار می رود. شرکتهای دانش بنیان موسسات خصوصی یا تعاونی هستند که به منظور افزایش علم و ثروت، توسعه بر پایه دانش و تحقق اهداف علمی و اقتصادی برای گسترش اختراعات، نوآوری و تجاری سازی نتایج تحقیق و توسعه شامل طراحی و تولید کالا و خدمات را در حوزه فناوریهای برتر و با ارزش افزوده فراوان انجام می دهند.

ترغیب هیات علمی دانشگاهها و واحدهای پژوهشی برای فعالیتهای بیشتر به منظور رفع نیاز و همچنین توسعه اقتصادی جامعه و تجاری سازی یافته های پژوهشی دیگر اهداف تشکیل شرکتهای دانش بنیان به شمار می‌رود.

تولید فناوری، استفاده از نتایج تحقیقات و نوآوری ها، تولید کالاهای با ارزش افزوده بالا حاصل فعالیت شرکت‌های دانش بنیان است و یکی از اصول اقتصاد این شرکتها سرمایه گذاری و تامین زیرساختها مبتنی بر فناوری است. همچنین یکی از عوامل اساسی رشد تولید سرانه ملی، شرکتهای دانش‌بنیان است و از راهکارهای اساسی خودکفایی پایدار در محصولات استراتژیک، ارتقاء فناوری و افزایش بهره‌وری عوامل تولید از طریق دانش‌بنیان نمودن فناوری و توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان است.

بدیهی است که حمایت و هدایت این شرکتها به سمت رفع نیازهای صنعت نیروگاهی با توجه به بنیه علمی و تحقیقاتی و دارا بودن نیروی انسانی متخصص و پویا در تولید فناوری و تجهیزات نیروگاهی مذکور در داخل کشور بسیار موثر می باشد.

- تحریم‌های ناعادلانه

پس از انقلاب اسلامی، قدرتهای غربی و جهانی، برای تغییر رفتار ایران مطابق با منافع خود، ابزار مختلفی علیه ایران به کار گرفته‌اند. شاید بتوان یکی از جنبه‌های بسیار مهم این اقدامات را تاثیرگذاری بر اقتصاد، تولید و رشد صنعتی و فناوری ایران از طریق تحریمها دانست. به عقیده کارشناسان مهمترین ابزار این سه دهه اخیر قدر تها برای تاثیرگذاری بر رفتار ایران، تحریمها بوده است.

یکی از انواع تحریمهایی که صنعت نیروگاهی را تحت تاثیر قرار داده است، تحریم دانش و تکنولوژی است که به صورت گسترده‌ای بر علیه کشورمان اعمال گردیده است. لذا کشورهای صاحب صنعت و فناوریهای تجهیزات نیروگاهی با تمسک به این تحریمها از فروش این تجهیزات و تبادل دانش و تکنولوژیهای این صنعت استنکاف می ورزند. از اثرات این تحریمها در حوزه تعمیرات و ساخت داخل تجهیزات صنایع نیروگاهی می توان فهرست وار به موار ذیل اشاره نمود:

– محدودیت دسترسی به تجهیزات مرغوب، ابزارهای خاص پژوهشی و آزمایشگاهی، قطعات و مواد اولیه مورد نیاز تعمیرکنندگان، سازندگان و فناوران داخل کشور

– نوسانات نرخ ارز، تورم و بی ثباتی های اقتصادی و عدم امکان برنامه ریزی و غیر قابل پیشبینی بودن آینده

– محدودیت در فرایندهای انتقال فناوری، ارتباطات تجاری و همکاری با شرکتهای بزرگ صاحب فناوری

– محدودیت در برقراری ارتباطات مناسب با مراکز علمی در جهان

– کاهش درآمدهای دولت و در نتیجه کاهش بودجه های پژوهشی و محدود شدن حمایتها

– بالا بودن نرخ بهره وامهای بانکی به دلیل تشدید تورم در شرایط تحریم

– رکود صنعت و کاهش رونق بازار داخل و در نتیجه مشکلات متعدد فروش و بازاریابی به خصوص برای شرکتهای دانش بنیان

– حادتر شدن معضل واسطه گری و دلالی به دلیل بی ثباتی اقتصادی و گرایش سرمایه ها از فن‌آفرینی به دلالی

– سلب انگیزه از فن‌آفرینان بدلیل تشدید مشکلات

البته در کنار این تهدیدها می‌توان از فرصتها نیز نام برد:

– افزایش موانع واردات تجهیزات و محصولات خارجی و ایجاد شرایط مناسب جهت بومی سازی تولید این محصولات در صنایع نیروگاهی و شرکتهای دانش بنیان

– افزایش میزان ابتکارات و نوآوریها به دلیل اجبارها و محدودیتهای ناشی از تحریمها

– ایجاد اعتبار و توجه بیشتر سیاستگذاران به توسعه فناوریهای ساخت داخل

- نوسانات نرخ ارز

یکی از مسائل مهم و تعیین کننده در هزینه تمام شده واحدهای صنعتی، نرخ ارز و نوسانات آن است .نوسانات گسترده و وسیع نرخ ارز اثرات بسیاری بر پیکره صنایع و تولیدات داخلی دارد که یکی از آنها بروز تورم های بسیار شدید است .تورم می تواند منجر به تغییر بافت های تولیدی و سرمایه گذاری، تغییر وضعیت بازارهای داخلی و خارجی گردد. نرخ ارز یکی از مهم ترین متغیرها در تعیین نسبت قیمت واردات و صادرات کسب وکارها و در نتیجه تعیین میزان رقابت پذیری آنهاست.

تولید تجهیزات و انجام تعمیرات مورد نیاز صنایع به شدت به واردات کالاهای سرمایه ای، واسطه ای و مواد اولیه وابسته است. با در نظر گرفتن چنین شرایطی، با تضعیف ارزش پول ملی شاهد افزایش هزینه های تولید، رکود و حتی عدم فعالیت موثر برخی سازندگان داخلی و شرکتهای دانش بنیان نوپا خواهیم بود.

افزایش نرخ ارز به شدت تولیدکنندگان را تحت فشار قرار می دهد، به ویژه اینکه تولیدکننده مجبور است مواد اولیه و ملزومات خود را با نرخ بالای ارز وارد کند و این قطعا هزینه تولید، تعمیر و قیمت تمام شده محصول را بالا می برد.

البته با بالا رفتن نرخ ارز، برخی از شرکت هایی که محصولات و فناوری خود را صادر می‌کنند، رشد خواهند کرد و صادرکنندگان به صادرات بیشتر تشویق می شوند که البته این امر مثبتی است و صادرات به نفع اقتصاد کشور است؛ اما به علت اینکه محصولات داخلی کشور تحت تاثیر افزایش قیمت های نسبی ناشی از تورم دلار هستند، مزیت رقابتی خود را از دست می دهند؛ بنابراین بنگاه های اقتصادی قادر به تولید با مقدار و کیفیت مناسب به همان قیمتی که قبل از صادرات داشتند، نیستند.

- تدوین استانداردهای ملی و ملزم کردن صنایع به رعایت آنها

جهت نظام‌مند کردن حوزه ساخت داخل تجهیزات نیروگاهی از قبیل درایو فشار متوسط، راه انداز استاتیک و سیستم تحریک نیاز به تدوین استانداردهای ملی مربوط به این حوزه می باشد. تقویت و توسعه نظام استاندارد ملی به استناد بند "و" ماده ۲۳۴ قانون برنامه پنجم توسعه و باتوجه به رویکردهای جدید کلان کشور، آسیب شناسی روند موجود و برمبنای ضرورت اتصال حوزه تدوین استانداردهای ملی به جریان علمی کشور، بازنگری و بروزرسانی و پایش همیشگی استانداردهای ملی مطابق با پیشرفتهای علمی و تکنولوژیکی این تجهیزات و نیازهای صنایع کشور، افزایش مشارکت کشور در عرصه فعالیتهای بین‌المللی استانداردسازی و همچنین آموزش و ترویج این استانداردها در همه سطوح خانواده صنایع نیروگاهی کشور، می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. لذا لازم است که استانداردهای ملی را با نگاه به استانداردهای بین‌المللی، شرایط بومی و نیازهای داخلی کشور تدوین نموده و بستر بکارگیری آنها را در داخل فراهم نماید. این مهم نیازمند مشارکت همگانی و استفاده از ظرفیت تخصصی و فنی و اجرایی همه بخش‌ها می‌باشد. از منظر دیگر، گسترش استانداردهای ملی در جهت توسعه قابلیت‌های صنایع داخلی و پیشرفت اقتصادی هر کشور، جز با توجه جدی به امر استاندارد امکان پذیر نخواهد بود.

- راه‌اندازی آزمایشگاه‌های مرجع در حوزه تجهیزات نیروگاه‌های حرارتی در کشور

در بسیاری از کشورها به منظور کمک به مراجع صنعتی، تجاری و قانونی، در جهت حصول اطمینان و حفظ کیفیت مناسب محصولات در عرصه ملی و اجرای عملیات مناسب در جهت حمایت از مصرف کنندگان و کاربران، همگام با حفظ محیط زیست و منابع تجدید ناپذیر اقدام به احداث آزمایشگاه های مرجع نموده اند. در حوزه تجهیزات نیروگاهی نیز راه اندازی آزمایشگاه‌های مرجع جهت نیاز روزافزون صنایع داخلی، بسیار ضروری می باشد.

این آزمایشگاه ها که با تاییدیه نهادهای صاحب صلاحیت همچون سازمان ملی استاندارد ایران و یا وزارت نیرو راه اندازی می شوند، در زمینه حمایت از طرح های گواهی محصول، خرید و فراهم آوردن محصولات، در جهت رفع نیازهای صنایع و یا برآورده نمودن مقاصد دولتی و سیاستهای کلان نقش مهمی را ایفا می کنند.

از آنجایی که آزمایشگاه های مرجع، به لحاظ کیفیت نقش بسیار حیاتی در پایش محصولات ایفا می کنند، پیشگیری از خطا در آزمون های انجام شده به دقت و حساسیت هر چه بیشتر دراین مراکز بستگی دارد.

هدف از تاسیس آزمایشگاه های مرجع تجهیزات نیروگاهی کمک به فعالیت تولید، ازطریق تصدیق انطباق پارامترهای گوناگون برای محصولات مطابق با استانداردهای مربوطه است. البته در جریان این اندازه گیری ها، لزوم کالیبراسیون وسایل اندازه گیری به میان می آید که این مهم جز با تکیه بر آزمایشگاه های کالیبراسیون محقق نمی شود.

همچنین مشارکت در برنامه های بهبود کیفیت کالاهای صادراتی و افزایش توانمندی صنایع در رقابت پذیری با محصولات مشابه در بازارهای داخل و خارج کشور، از دیگر اهداف قابل بررسی احداث آزمایشگاه های مرجع است. امروزه نیاز به داشتن یک حسن شهرت در مورد کیفیت محصول و حفظ آن تنها راه بقاء در عرصه بازارهای داخلی و راهیابی به بازارهای خارجی است. بنابراین همواره صنایع ساخت داخل تجهیزات نیروگاهی نیازمند پایش کیفی محصولات تولیدی از طریق یک مرجع آزمایشگاهی بی طرف هستند. برای رسیدن به این مهم، نیاز به پایش مستمر و کنترل کالاهای وارداتی و

تولید داخل از جوانب مختلف است تا تضمین لازم برای قابلیت ردیابی اقدامات صنعتی مطابق با استانداردهای ملی و بین المللی مربوط به محصول مورد نظر را فراهم آید.

همچنین داده های حاصل از نتایج آزمون کیفی و کمی به عنوان داده های خام برای اجرای طرح های تحقیقاتی و مطالعاتی حائز ارزش و اعتبار است. بنابراین از جمله رسالت های آزمایشگاه های مرجع متعهد و مسئولیت پذیر، ارائه داده های خام به پژوهشگاه‌ها و مراکز علمی به منظور کمک به رفع چالش های صنعتی و توسعه ساخت داخل، همراه با بهینه سازی مصرف انرژی و ارزیابی محصولات در جهت رشد و ارتقاء کیفی است.

متاسفانه در داخل کشور آزمایشگاه‌های مرجع در این زمینه علیرغم نیازهای صنایع داخلی راه اندازی نگردیده است. اگرچه برخی از شرکتهای سازنده داخلی دارای امکانات مناسبی در حوزه آزمایشگاه‌های مربوطه می باشند، اما جهت نظام-مندی لازم است از سوی نهادهای ذیصلاح حمایت و راهبری لازم در این زمینه صورت پذیرد.

- عوامل موثر در حوزه صادرات و واردات

همانگونه که می دانیم وقتی صحبت از تجارت و خرید و فروش این تجهیزات نیروگاهی به میان می آید، عواملی به عنوان فرصت و یا تهدید بر انجام موفقیت آمیز این پروسه تاثیرگذار است. در این بخش به اثرات پارامترهای مختلف بر واردات و صادرات تجهیزات نیروگاهی خواهیم پرداخت.

- بازاریابی موثر

اولین و مهمترین عامل در صادرات تجهیزات و فناوری تولید داخل که توسط صنایع نیروگاهی و شرکتهای دانش بنیان تولید شده‌اند، بازاریابی این محصولات می باشد. در این خصوص لازم است که با همکاری دولت و به خصوص کارشناسان زبده وزارت صنعت، معدن و تجارت از طریق کارگروهی متخصص در راستای تسهیل فرآیند بازاریابی تجهیزات و فناوری به حمایت و ارائه مشاوره به شرکتها جهت حضور در بازارهای منطقه‌ای و جهانی پرداخته شود.

برای نیل به این مقصود، فراهم آوردن سیستمی جهت ارائه اطلاعات پایه و طبقه‌بندی شده و گزارشات تحلیلی در خصوص بازارهای بیرون کشور و در نهایت ایجاد بسترهای لازم در جهت توسعه صادرات بسیار مفید فایده خواهد بود. توسعه صادرات معرف گرایش به آزادی در تجارت بین الملل بوده و مورد حمایت دولت نیز می باشد. استراتژی توسعه صادرات باعث افزایش کارایی در تولید، دسترسی به بازارهای انبوه بین المللی، رقابت بین تولیدکنندگان داخلی، حمایت از حقوق مصرف کننده و بهبود ترازهای خارجی شده می‌گردد.

با توجه به ظرفیتهای علمی و صنعتی موجود در کشور در صورت تاکید بر بازاریابی علمی و اصولی در این حوزه میتوان گام موثری در زمینه شناخت بازارهای هدف، توسعه اقتصادی، حمایت از تولیدکنندگان داخلی، گرفتن بازار منطقه و نیز تسهیل فرآیند بازاریابی و در نهایت تبدیل ایران به قطب تولید تجهیزات نیروگاهی منطقه و استقلال هر چه بیشتر کشور ایران برداشت. بر این اساس به نظر می‌رسد توجه به عوامل بازاریابی از جمله اقدامات ضروری برای توسعه صادرات است و شرکتهای فعال در این حوزه بایستی توجهی اساسی به بحث بازاریابی و عوامل شناسایی شده در این حوزه داشته باشند. لازم به ذکر است که پیش نیاز موفقیت در بازاریابی تولید محصولات با فناوری بروز، همراه با ثبات کیفی، خدمات پس از فروش مسئولانه، کیفیت قابل رقابت با نمونه‌های معتبر خارجی و قیمت رقابتی خواهد بود.

- تحریم‌های بین‌المللی

از نظر نوع تحریمها که می تواند در این حوزه تاثیرگذار باشد، میتوان به موارد ذیل اشاره نمود:

- توقیف اموال و داراییهای افراد، شرکتها و سازمانهای ایرانی در خارج
- تحریم تجاری(صادرات و واردات) و سرمایه‌گذاری
- تحریم دانش و تکنولوژی

- تحریم مالی و بانکهای تجاری و بانک مرکزی
- تحریم تعامل و داد و ستد با افراد، شرکتها و سازما نهای ایرانی(اموال، تجارت، ویزا و رفت وآمد و غیره)

همانگونه که ملاحظه می گردد هر کدام از این تحریمها می تواند تاثیرات شگرفی در حوزه تجارت بین الملل کشورمان بگذارد. تحریمهای تجاری صادرات و واردات تجهیزات و کالاها سبب این می شود که کشورهایی که با آنها مراودات تکنولوژی داریم نتوانند این تجهیزات را در اختیار کشور ما قرار دهند. لذا واردات به شدت آسیب می‌بیند. همچنین صنایع و شرکتهای دانش بنیان نمی‌توانند محصولات فناورانه خود را به کشورهای دیگر به خصوص همسایگان و کشورهای منطقه صادر نمایند. تحریمهای مالی و بانکی نیز هر دو سمت مراودات تجاری تحت تاثیر قرار می دهد. چراکه نه میتوان از صادرات ارز دریافتی را وارد کشور نمود و نه میتوان بابت خرید تجهیزات و تکنولوژی حواله ارزی انجام داد. لذا یکی از مهمترین اهداف تجارت که دریافت ثمن کالا و خدمات می باشد، ابتر باقی می ماند. البته شاید بتوان با تهاتر به صورت غیر مستقیم این مراودات را سامان داد که این موضوع چندان جذاب نیست. چراکه اولا عملا شرکتها نمی توانند مستقیما این امور را بر عهده گیرند و به کمک دولت و سایر نهادهای ذیربط نیاز است. ثانیا کشورهای محدودی حاضر به انجام این امور هستند و صدالبته در دایره محدود کالاهای طرفین که قدرت انتخاب را بسیار محدود نموده و نیازهای سرمایه گذاری حاصل از انتفاع تجارت را از بین می برد. در خصوص تحریم دانش فنی که عمدتا در بحث واردات مطرح می شود، شاید اینگونه به نظر برسد که این نوع تحریم به ساخت داخل تجهیزات کمک می نماید. البته که تاثیرات مثبتی در این زمینه دارد، اما میبایست خاطر نشان نمود که ارتقای پایدار دانش و فناوری داخلی در سایه مراودات تکنولوژی و تبادل دانش و هم افزایی با دیگر شرکتها و صنایع بین المللی حاصل می گردد. از سوی دیگر چه بسیار فناوریهای داخلی در همین حوزه تجهیزات نیروگاهی وجود دارد که که پایه آن مراودات تکنولوژی و مهندسی معکوس بوده است.

لذا میتوان نتیجه‌گیری نمود که تحریمها برای حوزه صادرات و واردات در این صنعت بسیار تاثیرگذار بوده و سبب معضلات فراوانی در حوزه ساخت داخل تجهیزات نیروگاهی می گردد.

- نرخ ارز

نرخ ارز از مهم ترین مولفه های تعیین کننده ظرفیت اقتصادی کشور و مهم ترین عامل در تجارت خارجی است که نوسانات آن تاثیرات خیلی سریعی بر تولید داخلی کشور می گذارد. نرخ واقعی ارز در واقع همان عرضه و تقاضای موثری است که در بازار وجود دارد و قیمت روز براساس آن تعیین می شود.

در اثر تنزل ارزش پول داخلی (افزایش نرخ ارز)، خالص صادرات افزایش می یابد، ولی بر شدت هزینه های تولید نیز افزوده می شود. از طرفی با بهبود ارزش پول داخلی (کاهش نرخ ارز) از خالص صادرات کاسته می شود و هزینه های تولید کاهش می یابد.

کاهش نرخ واقعی ارز از یکسو قیمت کالاهای صادراتی در بازارهای خارجی را افزایش و از سوی دیگر قیمت کالاهای وارداتی در بازارهای داخلی را کاهش می دهد که ماحصل آن انتقال تقاضای کل به سمت تقاضای کالاها و خدمات خارجی و عدم استفاده کامل از تمام ظرفیت های موجود در اقتصاد است.

امروز به رغم پیشرفت های بسیاری که در صنعت و تکنولوژی کشور و رشد و خودکفایی تولیدات صورت گرفته، هنوز ما ناچار به واردات بسیاری از ماشین آلات و دستگاه ها از سایر کشورها هستیم. این موارد قطعا متاثر از نوسانات نرخ ارزخواهد بود و افزایش نرخ ارز به شدت تولیدکنندگان و صاحبان تکنولوژی را تحت فشار قرار می دهد، به ویژه اینکه تولیدکننده مجبور است مواد اولیه و ملزومات خود را با نرخ بالای ارز وارد کند و این قطعا هزینه تولید و قیمت تمام شده محصول را بالا می برد.

واردات نقش مهمی در اقتصاد ایران دارد .با توجه به اینکه کالاهای نیمه ساخته، مواد اولیه خام و حتی خرید تکنولوژی برای تولید داخلی مبتنی بر واردات بوده و ارزبر هستند، اگر نرخ ارز افزایش پیدا کند قاعدتا قیمت تولیدات داخلی ما هم به دلیل افزایش واردات نهادهای تولید افزایش پیدا می کند.

٤-٢-٢- سیستم‌های راه‌انداز

در این بخش از گزارش به بررسی و مطالعه سیستم راه‌انداز توربین که یکی از مهمترین ادوات نیروگاه های حرارتی می باشند، خواهیم پرداخت. بدین منظور در بخش اول چگونگی کارکرد راه‌انداز در نیروگاه و ساختارهای آن مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. در بخش بعدی جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز استاتیک ارائه می گردد که در بخش‌های بعد مورد استفاده وافر قرار خواهد گرفت.

سپس در بخش‌های بعد به ترتیب محصولات تولید شده توسط تولیدکنندگان معتبر بین المللی و توان داخلی در این زمینه مورد بررسی و ارزیابی قرار خواهد گرفت.

در بخش بعد به بررسی سطح آمادگی تکنولوژی TRL سیستم راه انداز نیروگاهی در محصولات خارجی و حوزه ساخت داخل خواهیم پرداخت. در بخش بعد سهم بازار و میزان صادرات و واردات سیستمهای راه انداز استاتیک مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در بخش بعد عوامل موثر بر تولید داخل این تجهیزات و پارامترهای اثرگذار در تجارت بین الملل و صادرات و واردات این ادوات مورد بررسی و تدقیق قرار می گیرد. همچنین علاوه بر آنکه با تولیدکنندگان داخل این تجهیزات آشنا می شویم، به ارزیابی توانمندی این شرکتها در رشد و توسعه فناوری محصولات خود جهت تامین نیازهای صنعت نیروگاهی کشورمان خواهیم پرداخت.

۱-۴-۲-۲- تکنولوژی سیستم راه‌انداز نیروگاه حرارتی

در این بخش به مطالعه سیستم راه انداز استاتیک مورد کاربرد در نیروگاه های حرارتی خواهیم پرداخت. شایان ذکر است که ساختار و تکنولوژی مورد استفاده در سیستم درایو و راه انداز مشابه می باشد و تنها کاربری آنها با هم متفاوت است.

- ساختار نیروگاه‌های حرارتی

راه اندازهای نیروگاه های حراراتی را می توان به انواع مختلف تقسیم‌بندی نمود. در اینجا به تعدادی از راه اندازهای متداول اشاره می نماییم: [6]

- موتور دیزل

موتور دیزل یک نوع موتور احتراق داخلی می باشدکه در شرایط خاموشی نیز امکان راه اندازی را فراهم می کند. نیروگاههایی که به صورت جزیره ای هستند، یا پس از یک اغتشاش بزرگ یا خاموشی سراسری وارد مدار می شوند، بایستی مجهز به این نوع راه انداز باشند. بدلیل سرعت پایین موتور دیزل نسبت به توربین، اتصال راه انداز به محور توربوژنراتور از طریق جعبه دنده صورت می‌پذیرد. راه انداز دیزل بایستی با استفاده از کلاچ، پس از راه اندازی از توربین جدا شود. مکانیزم کلاچ مورد استفاده از نوع آرواره ای می باشد و شیب آن به صورتی است که تنها راه انداز قادر به گرداندن توربین بوده و عکس آن امکان پذیر نمی باشد. از مزایای این روش میتوان به قابلیت اطمینان بالا و ایجاد گشتاور بالا را نام برد .

- موتور القایی

جایی که توان الکتریکی سه فاز در دسترس باشد، موتورهای القایی گزینه مناسبی برای راه اندازی میباشند. در اکثر موارد موتورهای القایی به طور مستقیم، به محور کمپرسور متصل می شوند. با رسیدن سرعت توربین، به سرعت متکی به خود(سرعتی که پس از رسیدن به آن سرعت، توربین به تنهایی میتواند سرعت خود را تا سرعت سنکرون افزایش دهد)،

تغذیه موتور القایی بایستی قطع شده و از محور کمپرسور جدا شود. در صورتیکه مکانیزم کلاچ در اتصال راه انداز به محور به کار نرفته باشد، توربین تا انتهای عملکرد خود، بایستی بار موتور القایی را نیز تأمین کند.

در زمان راه اندازی با موتور القایی برای استفاده بهتر از موتور القایی از مبدل گشتاور بین محور کمپرسور و راه انداز استفاده می شود. . به این ترتیب دور موتور القایی به سرعت(در حدود چند ثانیه)تا مقدار نامی آن افزایش می یابد و موتور القایی در زمان راه اندازی(که چند دقیقه طول می کشد)در دور نامی خود با بازده بالا کار می کند. حال آنکه سرعت کمپرسور و توربین به آرامی افزایش می یابد.

- موتورهای جریان مستقیم

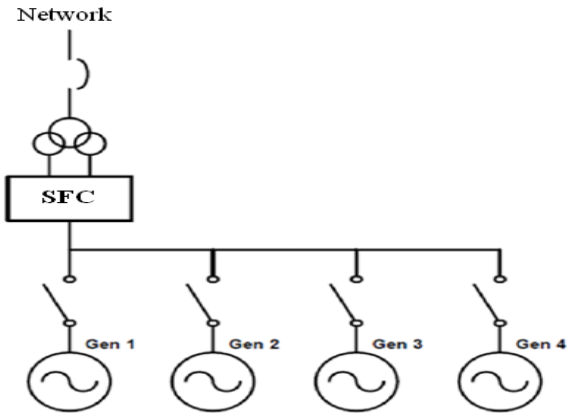
جایی که قدرت AC در دسترس نیست، موتور DC ، میتواند برای راه اندازی مورد استفاده قرار گیرد. موتور DC میتواند از طریق باتری خانه تغذیه شود و پس از آنکه موتور راه اندازی را انجام داد، در حالت کارکرد عادی، توربین موتور DC را بچرخاند. بنابراین در کارکرد عادی توربین، موتور در حالت کار ژنراتوری بوده و مجموعه باتریها را شارژ می کند .

در تمامی روشهایی که برای راه اندازی ارائه شد، بایستی تجهیزات مکانیکی اضافی روی محور هر ژنراتور قرار گرفته باشد. این تجهیزات بایستی پس از طی مراحل راه اندازی به وسیله کلاچ یا به طریق دیگری از محور توربوژنراتور جدا شوند. در غیر اینصورت در تمام مدت کار نیروگاه راه انداز به عنوان یک بار روی محور توربوژنراتور خواهد بود. همچنین در تمامی این روشها هر واحد به یک راه انداز مجزا نیاز خواهد داشت.

- مبدل فرکانس استاتیک (SFC)

یک روش راه اندازی آن است که از ژنراتور سنکرون نیروگاه، در حالت موتوری آن، استفاده شود. از طرفی ماشین های سنکرون گشتاور راه اندازی ندارند. بنابراین برای گردش موتور سنکرون نیز باید نوعی راه انداز الکتریکی، استفاده شود. این تجهیز میتواند، یک مبدل فرکانس باشد. به این صورت که در ابتدای راه اندازی که سرعت ماشین کم و یا صفر است، فرکانس تغذیه استاتور ماشین را با توجه به مشخصات ماشین و ممان اینرسی (لختی دورانی) محور روتور ماشین، در حدی کاهش دهد که روتور توانایی دنبال کردن میدان گردان ایجاد شده در فاصله هوایی را داشته باشد. به تدریج با شروع به چرخش کردن ماشین سنکرون، فرکانس تغذیه را برای افزایش بیشتر سرعت ماشین افزایش می دهند. نحوه تغییرات سرعت در این حالت نیز به مانند سایر روشهای راه اندازی می باشد. در موقعی که سرعت مجموعه ماشین سنکرون و توربین، به سرعت متکی به خود میرسد، تغذیه ماشین سنکرون از طریق مبدل فرکانس متوقف می شود و افزایش سرعت، تا سرعت کار دائمی توسط توربین به تنهایی صورت میپذیرد. در نهایت با رسیدن سرعت مجموعه به سرعت سنکرون، ماشین سنکرون بایستی به شبکه متصل شود. پس از فرایند اتصال به شبکه و سنکرون سازی، ماشین سنکرون در حالت ژنراتوری کار کرده و وظیفه اصلی خود(تبدیل انرژی مکانیکی به الکتریکی) را انجام خواهد داد. [7]

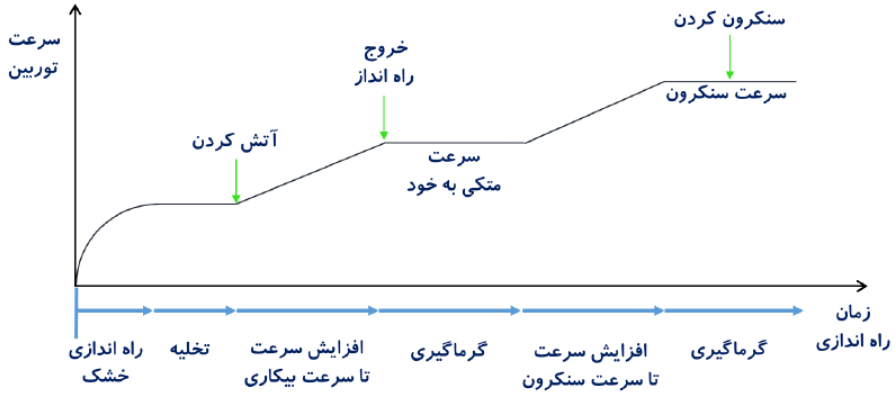
از مهمترین مزایای مبدل فرکانس استاتیک آنست که میتوان چند واحد از یک نیروگاه را به صورت ترتیبی و تنها با استفاده از یک مبدل فرکانس راه اندازی نمود [8]. این در حالی است که در سایر روشهای راه اندازی بایستی به تعداد واحدهای یک نیروگاه، راه انداز موجود باشد. اتصالات مبدل فرکانس به شبکه و ماشینهای سنکرون به منظور راه اندازی ترتیبی واحدها در شکل زیر نشان داده شده است. به علاوه در این روش از تجهیزات موجود حداکثر بهره‌برداری به عمل می‌آید. به این صورت که بدون نیاز به تجهیزات مکانیکی اضافی از ماشین سنکرون موجود در حالت موتوری استفاده می شود. از سایر مزیتهای استفاده از مبدل فرکانس استاتیک میتوان به قابلیت آن برای استفاده در زمان خاموش کردن نیروگاه نیز اشاره کرد. [9]



شکل ۳۴۸-۲ : نحوه اتصال مبدل فرکانس به شبکه و ماشینهای سنکرون

- مراحل راه‌اندازی نیروگاه‌های گازی

مراحل راه اندازی نیروگاههای گازی صرف نظر از نوع راه انداز در شکل زیر نشان داده شده است. در ادامه هر یک از این مراحل به صورت تفصیلی شرح داده شده اند. [3]



شکل ۳۴۹-۲ : توالی مراحل راه اندازی در نیروگاههای گازی

- راه‌اندازی خشک

هدف در این مرحله از راه اندازی افزایش فشار و فراهم کردن حجم هوای مورد نیاز برای روشن کردن مشعلها می باشد. این کار با گردش کمپرسور به وسیله راه انداز انجام می شود. در این حالت سرعت توربین از حالت سکون افزایش می یابد ولی دریچه های سوخت بسته هستند و تا انتهای این مرحله احتراق صورت نمیگیرد.

- تخلیه‌سازی

در این مرحله از راه اندازی با گردش کمپرسور محفظه احتراق از هرگونه سوخت و گازهای فعال و قابل اشتعال تخلیه می شود تا عملکرد ایمن توربین گازی پس از روشن شدن مشعلها در محفظه احتراق تضمین شود. در این مرحله سرعت توربین ثابت میماند و در انتهای این بازه نیز مشعلهای محفظه احتراق روشن می شوند.

- احتراق

در این مرحله جرقه زنها فعال می شود، شیرهای سوخت باز شده و سوخت وارد محفظه احتراق می شود. بنابراین در این مرحله مشعلها روشن می شوند و توربین گازی مقداری از گشتاور مورد نیاز برای راه اندازی را تأمین می کند. مرحله احتراق در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد سرعت نامی انجام می شود.

- افزایش سرعت تا سرعت متکی به خود (سرعت بیکاری)

پس از روشن شدن مشعلها در محفظه احتراق توربین گازی نیز سهمی از گشتاور راه اندازی را تأمین می کند. در این مرحله راه انداز و توربین گازی باعث افزایش سرعت توربین می شوند. در این حالت سهم توربین در تأمین گشتاور راه اندازی رفته رفته افزایش یافته و سهم راه انداز کاهش می یابد. در نهایت توربین در سرعت بیکاری تمام گشتاور مورد نیاز برای راه اندازی را تأمین می کند. در این سرعت بایستی راه انداز از محور توربین جدا شود.

- گرماگیری و افزایش سرعت تا سرعت سنکرون

پس از رسیدن سرعت توربین به سرعت متکی به خود و خروج راه انداز از مشارکت در راه اندازی، توربین گازی برای مدتی در این سرعت کار می کند تا شرایط دمایی جدید را تجربه کند. سپس توربین سرعت خود را تا رسیدن به سرعت سنکرون افزایش می دهد.

- خاموش‌کردن نیروگاههای گازی

در صورتی که توقف توربین گازی با قطع سوخت ورودی صورت پذیرد چنین توقف ناگهانی می تواند به انقباض ناگهانی تجهیزات توربین منجر شود. فرآیند عادی خاموش سازی به این صورت است که پس از قطع شدن ماشین سنکرون از شبکه، سرعت توربین تا حد سرعت بیکاری کاهش پیدا کند تا برای مدتی قبل از قطع سوخت و توقف توربین در مرحله خنک شدن باشد. مدت زمان لازم برای خنک شدن رابطه مستقیم با اندازه توربین گازی دارد. راه انداز توربین گازی نیز میتواند پس از خاموش سازی، به منظور تسریع در خنک کردن توربین را بچرخاند. [4]

- تکنولوژی سیستمهای راه انداز استاتیک

سیستمهای درایو و راه اندازی استاتیک مورد استفاده در نیروگاه های حرارتی دارای توپولوژی و ساختار مشابه هستند و تنها در نوع کاربری تفاوت دارند. لذا جهت پرهیز در تکرار مطالب جهت مطالعه تکنولوژی سیستمهای راه انداز به فصل اول گزارش حوزه درایوهای نیروگاه حرارتی مراجعه فرمایید.

البته شایان ذکر است که در ساختار راه اندازها تنها از اینورترهای منبع جریانی استفاده می گردد و عموما در این حوزه اینورترهای منبع ولتاژ مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. همچنین در توپولوژی های مربوط به این تجهیزات غالبا از سوئیچهای تریستوری استفاده می گردد.

۲-۴-۲-۲- مشخصات فنی

در این بخش به مشخصات فنی سیستم راه انداز استاتیک می پردازیم. لذا برخی پارامترهایی که در جداول مشخصات فنی تولیدکنندگان سیستم راه انداز ارائه می گردد معرفی می شود. راه اندازها معمولا از ساختاری شامل یکسوکننده، اینورتر، راکتور لینک DC و دیگر اجزا تشکیل می شوند. ولتاژ منبع به ورودی رکتیفایر داده شده و پس از یکسو شدن جهت اعمال ولتاژ AC با فرکانس مد نظر به ورودی اینورتر داده می شود. سپس اینوتر با سوئیچینگ کلیدهای خود ولتاژ مطلوب را در خروجی تحویل می دهد. در مشخصات فنی این تجهیزات مطابق جدول ذیل کمیات ورودی و خروجی شامل ولتاژ، توان و فرکانس در اختیار کاربر قرار داده می شود.

جدول ۱۰۴-۲ : جدول مشخصات فنی پارامترها

پارامتر	توضیحات
Structure	ساختار مبدل
V_{in}	ولتاژ ورودی سه فاز نامی که می بایست به ورودی یکسوساز متصل گردد.
$V_{in\sim}$	دامنه تغییرات مجاز ولتاژ ورودی
f_{in}	فرکانس نامی ولتاژ ورودی
$f_{in\sim}$	دامنه تغییرات مجاز فرکانس ورودی
pf	ضریب توان ورودی در شرایط بار نامی
V_{ctrl}	ولتاژ مورد نیاز برای سیستم کنترل و بخشهای الکترونیکی
V_{out}	ولتاژ نامی خروجی
I_{out}	جریان نامی خروجی
P_{out}	توان نامی خروجی
f_{out}	فرکانس خروجی
Eff	بازده مبدل
IP	درجه حفاظت محفظه مبدل
Cooling	نوع سیستم خنک سازی مبدل
dB	میزان نویز تولیدی سیستم درایو بر حسب دسیبل در بار کامل
STD	استاندارد مورد استفاده در ساخت درایو
ENV	محدوده مجاز شرایط محیطی محل کاربری
THD	اعوجاج هارمونیکی کل
DC-LINK	مشخصات نامی لینک DC
Reactor	مشخصات راکتور لینک DC
Loss	تلفات در بار نامی
DIM	مشخصات فیزیکی مانند وزن، حجم و ..

لازم به ذکر است که سازندگان حسب مورد ممکن است تنها بخشی از اطلاعات فوق را در اختیار کاربران قرار دهند.

۳-۴-۲-۲- شرکت‌های سازنده خارجی و محصولات آن‌ها

در این بخش به بررسی شرکتهای سازنده خارجی تجهیزات راه انداز استاتیک که در حوزه بین المللی مطرح هستند، خواهیم پرداخت. همچنین در خصوص مشخصات فنی محصولات آنها، پروژه های انجام شده توسط ایشان در نقاط مختلف جهان و عواملی که سبب ارتقای تکنولوژی در این محصولات گردیده نیز مطالب مربوطه ارائه خواهد گردید.

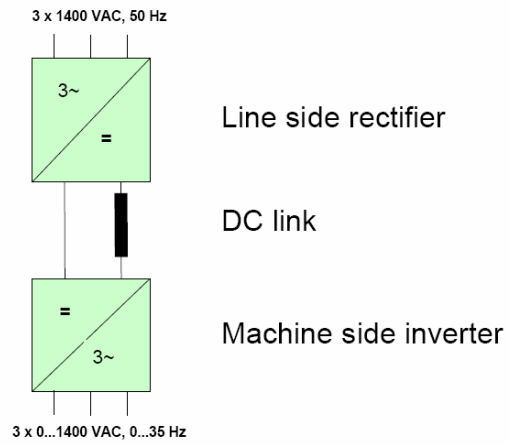
- شرکت زیمنس (Siemens)

در سیستم زیمنس راه انداز به صورت یک مجموعه با سیستم تحریک و به صورت فشرده است و تجهیزات کنترل راه انداز در داخل تابلوی کنترل تحریک قرار دارند[10].

اساس کار سیستم راه انداز کانورتری بر پایهٔ استفاده از پلهای یکسوساز است . سیستم راه انداز کانورتری و یا به عبارتی SFC به طور کلی از دو پل تایریستوری تشکیل شده که یک راکتور تک فاز با نام راکتور DC ، و به منظور فیلتر کردن خروجی پل رکتیفایری در بین آنها قرار دارد . برای تغذیهٔ این پلهای رکتیفایری از یک ترانس سه فاز استفاده می شود . سیستم راه انداز همچنین دارای یک سیستم کنترل است که وظیفهٔ آن کنترل خروجی SFC برای حالتهای مختلف است .

وظیفهٔ اصلی این سیستم کنترل تهیهٔ پالسهای آتش مناسب برای تایریستورها است. در سیستمهای راه انداز و تحریک زیمنس که به اسم Compact System شناخته می شوند، از یک تابلوی کنترل برای هر دو سیستم استفاده می شود و در حقیقت ماژولهای کنترلی سیستم راه انداز در داخل تابلوی کنترل تحریک قرار دارند.

شکل ۳۵۰-۲ : نمایی از سیستم راه انداز و تحریک زیمنس



شکل ۳۵۱-۲ : شماتیک مداری سیستم راه انداز زیمنس

پل تایریستوری سمت تغذیهٔ ورودی که به اختصار به آنLSR (Line Side Rectifier) می گویند. این تجهیز یک پل تایریستوری است که به صورت یک رکتیفایر عمل کرده و ولتاژ ورودی AC را به ولتاژ DC تبدیل می‌کند.

این پل تایریستوری از شش عدد تایریستور تشکیل شده که بر روی یک سازهٔ فلزی سوار شده است. هر کدام از این تایریستورها دارای مدار حفاظت اضافه ولتاژ (Snubber) مخصوص خود است . کل این مجموعه در داخل یک تابلوی فلزی قرار دارد و بر روی تابلو یک عدد فن برای خنک کردن تایریستورها به هنگام کار تعبیه شده است[11].

پل تایریستوری سمت ژنراتورکه اختصاراً به آن MSR (Machine Side Rectifier) گفته می شود نیز مشابه پل تایریستوری سمت تغذیه است فقط با این تفاوت که مدار Snubber آن دارای توان بیشتری است و این هم به دلیل این است که در سمت ماشین تلفات توان در این مدار بیشتر است. این پل تایریستوری به عنوان یک اینورتر عمل می کند و ولتاژ DC را به ولتاژ AC تبدیل می کند. این مجموعه هم مانندLSR در داخل یک تابلو قرار دارد و به وسیلهٔ یک عدد فن خنک می شود.

یکی دیگر از تجهیزات اساسی سیستم راه انداز، راکتور تک فازی است که بین دو پل تایریستوری تعبیه شده و وظیفهٔ اصلی آن صاف و یکنواخت کردن ولتاژ DC خروجی از LSR است. این راکتور نقش فیلتر را در سیستم SFC بازی می کند و در داخل یک تابلوی فلزی در کنار بقیهٔ تابلوهای سیستم راه انداز قرار دارد. این راکتور به صورت طبیعی خنک می شود ولی بسته به توان استفاده شده در هنگام راه اندازی و تعدادراه اندازی های مکرر مورد نیاز ممکن است که برای خنک کاری آن از فن استفاده گردد.

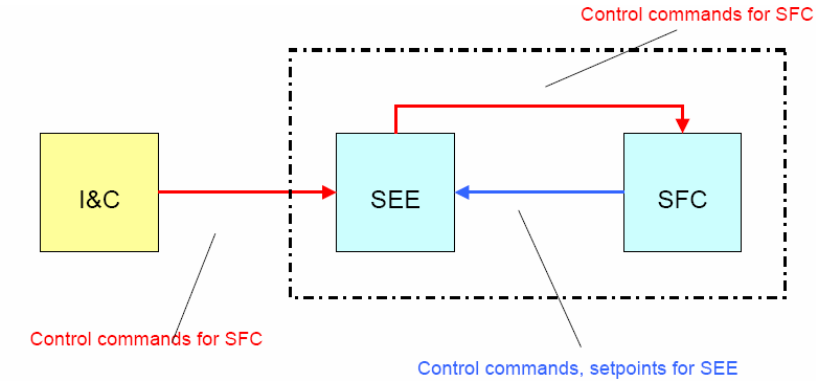
شکل ۳۵۲-۲ : نمایی از ترانس سیستم راه انداز زیمنس

ترانس SFC از دیگر تجهیزات اصلی سیستم راه انداز است که از نوع ترانسهای خشک رزینی است و از آن به عنوان ترانسهای کانورتری نام برده می شود. تکنولوژی ساخت این ترانس همانند ترانس SEE است و به دلیل تولید هارمونیکهای ولتاژ و جریان توسط سیستم راه انداز در هنگام کار، باید این موارد نیز در هنگام ساخت ترانس رعایت شود.

به دلیل اینکه از سیستم SFC فقط در یک دورهٔ کوتاه زمانی و فقط برای راه اندازی سیستم استفاده می شود که زمانی حدود چهار دقیقه است، همچنین با توجه به این که ترانسهای خشک قادر به تحمل توانی بالاتر از توان نامی و برای مدت کوتاه هستند، توان ترانس SFC را پائین تر از توان نامی مورد نیاز برای راه اندازی سیستم در نظر می گیرند.

در حقیقت با توجه به این نکته که ترانسهای خشک معمولا و برای یک مدت کوتاه قادر به تحمل اضافه بار تا حدود ۵۰ ٪ بیشتر نسبت به بار نامی می باشند و با در نظر گرفتن این واقعیت که سیستم راه انداز برای یک دورهٔ کوتاه (حدوداً ۱۸۰ ثانیه برای هر استارت) در مدار می باشد، می توان از ترانسهای با توان کمتر استفاده کرد.

در سیستم زیمنس اجزاء کنترلی سیستم راه انداز در داخل تابلوی کنترل سیستم تحریک قرار دارد به همین دلیل تمام سیگنا لهایی که بین سیستم راه انداز و سیستم کنترل نیروگاه (DCS) انتقال می یابند از طریق سیستم تحریک است . اما هنگام راه اندازی ژنراتور سیستم SEE توسط SFC کنترل می شود و SFC با توجه به سرعت ژنراتور نقاط کنترلی برای سیستم تحریک تعریف می‌کند. سیستم راه انداز فقط به صورت کنترل از راه دور (Remote) توسط DCS کنترل می شود. ارتباط سیگنالی بین سیستم های تحریک و راه انداز با استفاده از پروتکل PROFIBUS و بین این دو سیستم و I&C با استفاده از سیم (Wire) است.



شکل ۳۵۳-۲ : شماتیک سیستم کنترلی راه انداز و تحریک زیمنس

- مدهای کاری سیستم راه انداز زیمنس

مد کاری نرمال برای سیستم راه انداز به عنوان مد استاندارد شناخته می شود به گونه ای که در این مد SFC مجموعهٔ توربین و ژنر اتور را از حالت سکون و یا turning gear به حرکت در آورده و تا سرعت مورد نظر می رساند و سپس از مدار خارج می شود.

سیستم راه انداز مجموعه را تا حدود سرعت ۲۱۰۰ دور در دقیقه که تقریباً معادل فرکانس ۳۵ هرتز است می رساند و بعد از آن از سیستم جدا می شود و بقیهٔ کار افزایش سرعت را توربین به تنهائی انجام می دهد . مشعلهای توربین در این مد عملاً در فرکانس ۱۰ هرتز که معادل ۲۰ درصد سرعت نامی است روشن می شوند و SFC را در افزایش شتاب مجموعه یاری می دهد .

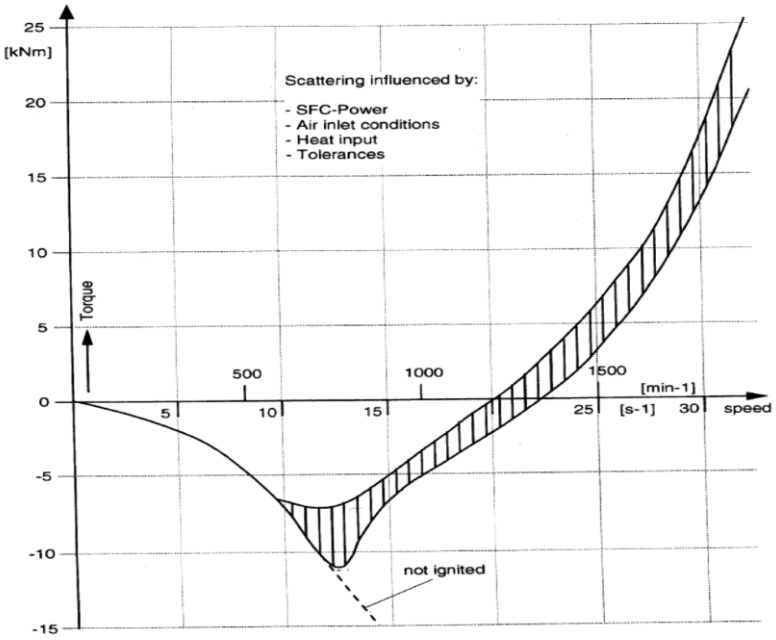
کل پروسهٔ استارت توربین در مدت تقریبی چهار دقیقه انجام می گیرد و در این مدت SFC باید توربین و ژنراتور را به سرعت مورد نظر برساند و این به دلیل این است که توربین دارای فرکانس های بحرانی است که در طی انجام پروسهٔ راه اندازی باید به سرعت از این نقاط گذر کند . نمودار زیر گشتاور توربین گاز و سیستم کمپرسور آن را هنگام استارت نسبت به محور فرکانس نشان می دهد . همانطور که از نمودار مشخص است مشعلهای توربین در فرکانس تقریبی ۱۰ هرتز روشن می شوند و به SFC در راه اندازی مجموعه کمک می کند .

همچنین در فرکانس تقریبی ۲۳ هرتز مشاهده می شود که گشتاور توربین به حدی رسیده است که به تنهائی بتواند ژنراتور را راه اندازی کند اما با توجه به اینکه توربین باید نقاط بحرانی را سریع پشت سر گذارد، همچنان به کمک SFC احتیاج دارد .

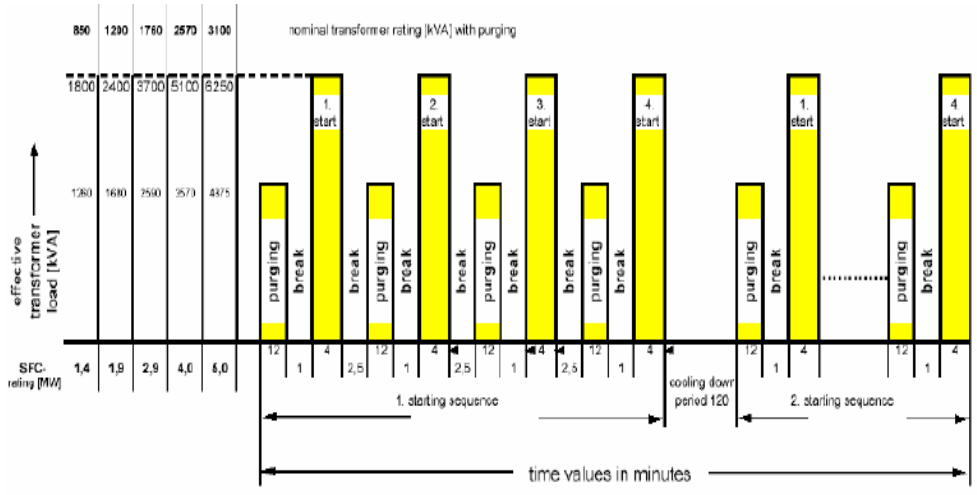
در نیروگاه های سیکل ترکیبی که شامل بویلر نیز هست اگر در طی مرحله استارت به هر دلیلی پروسه استارت با موفقیت انجام نشود و سیستم متوقف شود، گازهای حاصل از احتراق در بویلر جمع می شوند . این گازها قبل از شروع استارت بعدی باید از مسیر خارج شوند به همین دلیل در این قبیل نیروگاه ها، سیستم SFC دارای یک مد کاری اضافه نسبت به استارت نرمال است.

در این مد مشعل های توربین گاز روشن نمی شوند و توربین همانند یک فن عمل می کند و با دمیدن هوا در داخل بویلر گازهای اضافی را خارج می کند . برای این کار سیستم SFC را با ۱۰ هرتز که معادل ۲۰ درصد سرعت نامی است برای مدت ۸ تا ۱۲ دقیقه می چرخاند و بعد از سپری شدن این مدت به صورت اتوماتیک از مدار خارج می شود. سیستم راه انداز توانایی انجام چهار استارت پیاپی را دارد و بعد از چهار استارت باید به مدت دو ساعت خاموش باشد تا بتواند چهار استارت

بعدی انجام بدهد . لازم به ذکر است که اگر زمان خنک کاری کمتر از دو ساعت باشد سیستم راه انداز تعداد استارت کمتر از چهار بار را می تواند انجام بدهد.



شکل ۳۵۴-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین زیمنس



شکل ۳۵۵-۲ : شماتیک توالی عملکرد راه اندازی توربین

هر از چندگاهی و به علت جمع شدن مواد حاصل از سوختن بر روی پره های توربین لازم می شود که این پره ها تمیز و پاک شوند . برای این منظور از مد washing سیستم راه انداز استفاده می شود. به این ترتیب که بدون روشن کردن مشعلهای توربین، مجموعهٔ توربین و ژنراتور توسطSFC تا سرعتی معادل ۲۰ در صد سرعت نامی یعنی تا حدود فرکانس ۱۰ هرتز چرخانده شده و و سپس مواد تمیز کننده مانند شوینده های قوی (Detergent) که با آب مخلوط شده را وار د توربین می کنیم تا پره های توربین تمیز شوند .این پروسه تقریباً به مدت ۱/۵ دقیقه طول خواهد کشید و بعد از تمیز شدن پره ها برای خاموش کردن SFC باید فرمان لازم به سیستم کنترل آن ارسال شود.

خاصیت Black start که از مدهای استارت سیستم راه انداز است، در مواقعی استفاده می شود که شبکه دچار قطعی و یا به قولی Black شده باشد. برای این منظور معمولا در بعضی از نیروگاهها و با توجه به بعضی شرایط خاص امکان Black start را برای سیستم راه انداز در نظر می گیرند. لذا از یک دیزل ژنراتور که قادر به تامین توان مورد نیاز SFC باشد، در نیروگاه استفاده می کنند که در موقع لزوم تأمین کننده تغذیه SFC باشد.

در هنگام انتخاب مد Black start در سیستم راه انداز SFC با توجه به توانی که دیزل ژنراتور می تواند بدهد از توان پائین تری نسبت به توان نامی شروع به انجام پروسه استارت ژنراتور می کند.

معمولاً ژنراتور دیزل باید قادر باشد که حدود ۷۰ درصد از توان نامی سیستم راه انداز را برای مد کاری Black start تأمین کند .در این مد توربین در ۲۰ درصد سرعت نامی ژنراتور استارت می شود . پروسه استارت ژنراتور در این مد مدت زمان بیشتری طول می کشد.

در بعضی مواقع و برای اصلاح ضریب قدرت شبکه، از ژنراتور به عنوان یک خازن و یا یک سلف استفاده می شود. برای این منظور ژنراتور را از توربین و شبکه جدا شده و سپس با استفاده از سیستم راه انداز، ژنراتور تا فرکانس۵۲/۵ هرتز یعنی سرعتی معادل ۱۰۵ درصد سرعت نامی چرخانده شده بعد از آن SFC از ژنراتور جدا می گردد و همزمان سیستم تحریک در حالت عملکرد نرمال روشن می شود. هنگامی که سرعت به حد نامی پایین رسید ژنراتور با شبکه سنکرون می گردد.

بعد از استفاده از مد کاری Phase shift به دلیل این که توربین به ژنراتور وصل نیست زمان لازم برای کاهش سرعت ژنراتور بسیار زیاد می شود . برای کاهش این زمان از یکی دیگر از خواص استارت ژنراتور توسطSFC استفاده می گردد که به آن Braking mode می گویند. برای این منظور بعد از جداکردن ژنراتور از شبکه، ولتاژ ژنراتور تا حد ولتاژ استارت SFC پایین می آید. سپس SFC دوباره به ژنراتور وصل می شود و سرعت آنرا تا حد سرعت از قبل تنظیم شده پایین می آورد. درخلال این عملیات انرژی تولید شده، به شبکه تزریق می شود.

- مشخصات فنی

مشخصات فنی سیستم‌های راه‌انداز شرکت زیمنس به قرار زیر است:

جدول ۱۰۵-۲ : مشخصات فنی سیستم راه انداز زیمنس

پارامتر	توضیحات
Structure	Thyristor Bridge Rectifier Current Source Thyristor Bridge Inverter
V_{in}	1.4KV
f_{in}	50/60
V_{out}	1400V
P_{out}	3.7MVA
IP	IP42
Cooling	Air Forced 7,200 m^3/h
dB	85dB
DC-LINK	2.9MW,1560V,1850A
Reactor	1,120 A 1,850 A 2.0 mH 2.5 kV
Loss	36KW
DIM	2400Kg

برخی پروژه‌های انجام‌شده شرکت زیمنس در این حوزه به قرار زیر هستند:

- بزرگترین نیروگاه سیکل ترکیبی جهان در جزیره انرژی بنی سوف مصر شامل ۴ توربین بخاری، ۸ توربین گازی و ۱۲ ژنراتور سنکرون مجموعا با توان تولیدی ۱۴۴۰۰ مگاوات که پس از تکمیل بیش از ۴۰ درصد به تولید برق مصر اضافه می نماید.
- نیروگاه سیکل ترکیبی کالیفرنیای ایالات متحده با ظرفیت توان تولیدی ۳۰۰مگاوات در بازده ۵۷٪ در سال ۲۰۱۲
- دو جزیره انرژی در کوئینزلند استرالیا هر کدام شامل یک توربین بخار و دو توربین گاز و ظرفیت تولیدی ۱۲۱ مگاوات
- ۴ نیروگاه سیکل ترکیبی در جزیره انرژی مالزی با ظرفیت کلی ۱۲۲۰ مگاوات
- سه نیروگاه حرارتی در دلسور، وارناس و انتررویوس کشور بولیوی با ظرفیت کل بیش از ۱۰۰۰ مگاوات شامل مجموعا ۱۱ توربین بخار، ۲۳ توربین گازی، ۲۵ ژنراتور که در حال تکمیل می باشد.
- نیروگاه گازی آزورا ادو در نیجریه با ظرفیت ۴۵۹ مگاوات که در فاز پایانی یک نیروگاه سیکل ترکیبی با ظرفیت ۱۵۰۰ مگاوات و شامل سه واحد گازی و یک واحد بخار و سه ژنراتور خواهد بود.

پارامترهای ارتقای تکنولوژی درایو و راه انداز نیز به قرار زیر هستند:

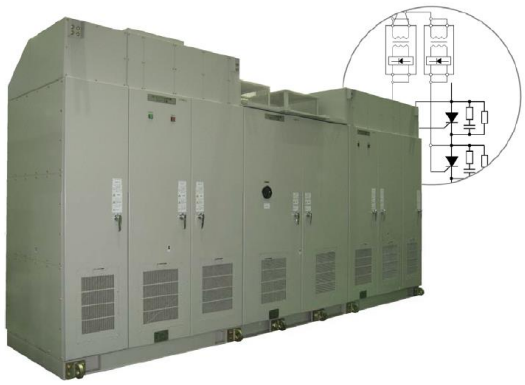
- بهینه سازی کنترل سرعت الکترونیکی
- مدرنسازی مبدلهای توان بکاررفته
- بازیابی انرژی کاهش دهنده سرعت در هنگام مد ترمزی
- حداکثر قابلیت اطمینان به لطف طراحی قوی مناسب برای نیروگاه
- هزینه های نگهداری کم به دلیل استفاده از قطعات صنعتی اثبات شده
- کاهش حجم سیستم

- شرکت Toshiba Mitsubishi- Electric Industrial System Co. ژاپن

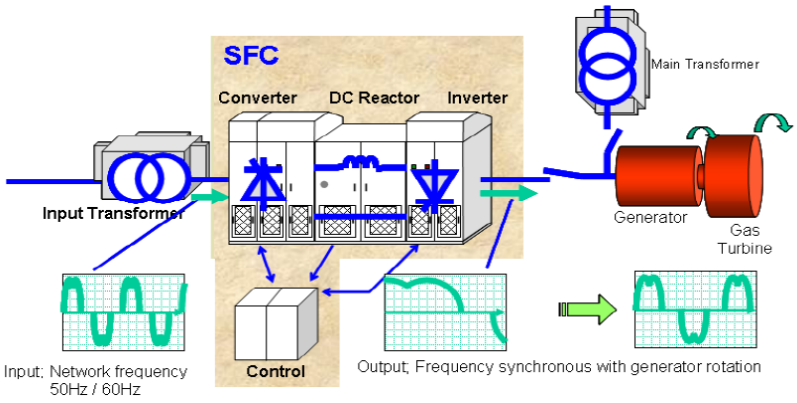
شرکت توشیبا- میتسوبیشی یکی از شرکتهای پیشرو آسیایی در زمینه ساخت سیستم راه انداز استاتیک ژنراتور نیروگاه-های گازی می باشد. محصول این شرکت دارای توان خروجی تا ۷ مگاوات و ولتاژ ۳/۵ کیلوولت و جریاندهی بیش از ۱۴۰۰ آمپرمی باشد.[12]

برخی ویژگی‌های این سیستم‌ها عبارتند از:

- کاهش حجم سیستم تا ۴۲٪ سیستمهای هم ظرفیت متداول با اعمال:
  - ساختار خنک سازی بهینه شده
  - استفاده از المانهای کم تلفات نوین
  - بهبود اندوکتانس راکتور DC
- کنترل بدون سنسور موقعیت: سیستم کنترل ولتاژ و جریان خروجی اینورتر به صورت استراتژی بدون سنسور عمل می نماید به صورتی که از لحاظ کیفیت عملکرد معادل با سنسور موقعیت می باشد. حذف وابستگی به این سنسور سبب رفع مشکلات نصب و نگهداری آن می گردد که همواره برای بهره برداری از سیستم لازم بوده است.
- خاصیت ریداندانت بودن فن ها: بهره برداری پیوسته می تواند با وجود خرابی یک فن در هر کابینت ادامه یابد.



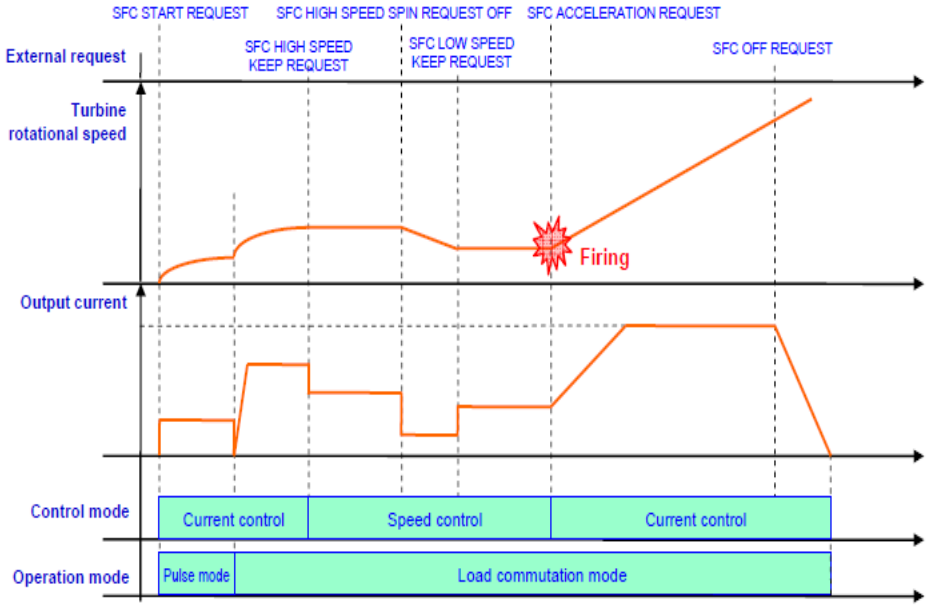
شکل ۳۵۶-۲ : نمایی از سیستم راه انداز شرکت توشیبا



شکل ۳۵۷-۲ : شماتیک مداری سیستم راه انداز شرکت توشیبا

مراحل راه اندازی توربین گازی نیروگاه حرارتی توسط راه انداز این شرکت به صورت زیر می باشد. همچنین نمودار عملکرد سیستم در زمان راه اندازی در شکل ۳۵۸-۲ نشان داده شده است.

- GT/SFC SELECTED REQUEST: برای استارت فن خنک کننده را در حالت استند بای قرار می دهد.
- SFC START REQUEST: با مد کنترلی پالس چریان ثابت شروع به کار می نماید. هنگامی که سرعت و ولتاژ ژنراتور به اندازه کافی افزایش یافت، به مد کموتاسیون بار تغییر وضعیت می دهد.
- SFC HIGH SPEED KEEP REQUEST: به مد کنترل سرعت تغییر وضعیت می دهد و سرعت ثابتی برای ژنراتور فراهم می نماید.
- SFC HIGH SPEED SPIN REQUEST OFF: به تدریج سرعت ژنراتور را کاهش می دهد.
- SFC LOW SPEED KEEP REQUEST: سرعت چرخش ثابتی برای ژنراتور (در سرعت آتش) فراهم می نماید.
- SFC ACCELERATION REQUEST: هنگامی که فرمان آتش کامل شود دوباره توربین را شتاب می دهد. جریان خروجی را به جریان ستینگ افزایش می دهد.
- SFC OFF REQUEST: تدریجا جریان خروجی را به صفر کاهش می دهد. هنگامی که جریان خروجی به صفر رسید، فعالیت SFC متوقف می شود.

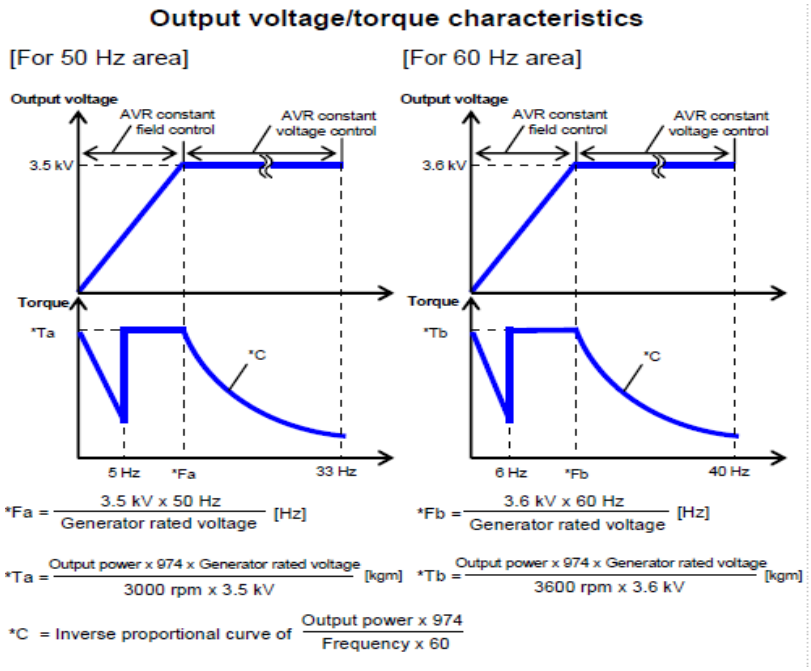


شکل ۳۵۸-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین شرکت توشیبا

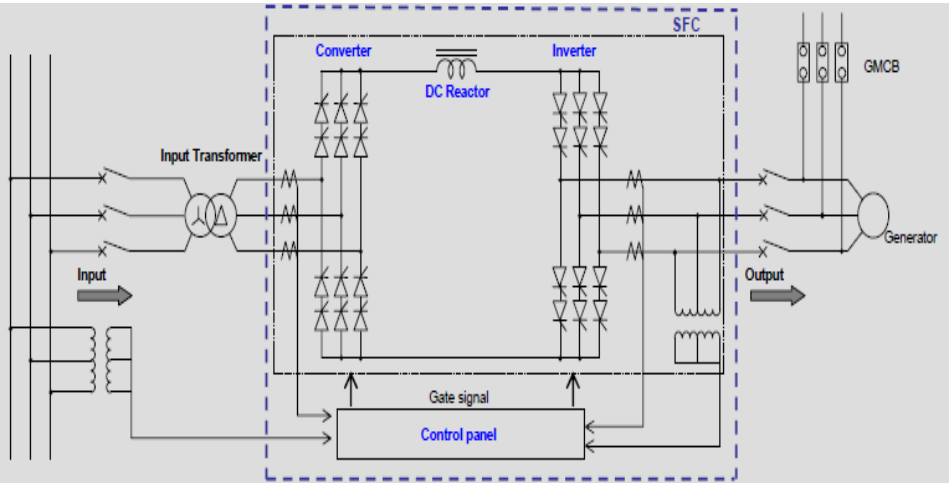
مشخصات فنی این سیستم‌ها به قرار زیر است:

جدول ۱۰۶-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت توشیبا

پارامتر	توضیحات
Structure	6Pulse Thyristor Converter Technology in Rectifier and Current Source Inverter (series thyristor in each leg)
V_{in}	3.9KV
$V_{in\sim}$	+/-10%
f_{in}	50/60
V_{out}	3.5KV (+/-2%)
I_{out}	1429A
P_{out}	7MW
f_{out}	0.05~33Hz
Eff	98.9
IP	IP41
Cooling	Air Forced
STD	IEC 60146-1-1
ENV	0~40℃- 1000 m
DC-LINK	4KV-1750A
Reactor	6mH, Dry, Class H
Loss	180KW



شکل ۳۵۹-۲ : نمودار ولتاژ و گشتاور خروجی سیستم راه انداز توربین در فرکانسهای ۵۰ و ۶۰ هرتز



شکل ۳۶۰-۲ : مدار تفصیلی سیستم راه انداز شرکت توشیبا

این شرکت در سال ۲۰۱۹ با فروش خالص ۲۵۴ میلیارد ین (حدود ۲/۵ میلیارد دلار) بسیار موفق عمل نموده است.

- توکیو ژاپن
- تگزاس و هیوستون ایالات متحده
- سائوپائولو برزیل
- میدلسکس انگلستان
- بنگلور و مومبایی هندوستان
- مورنینگتون استرالیا
- پکن، گوانگجو، شانگهای و جیانگزی چین
- جاکارتا اندونزی

- هنگ کنگ و تایوان
- سنگاپور

پارامترهای ارتقای تکنولوژی درایو و راه انداز این شرکت به قرار زیر هستند:

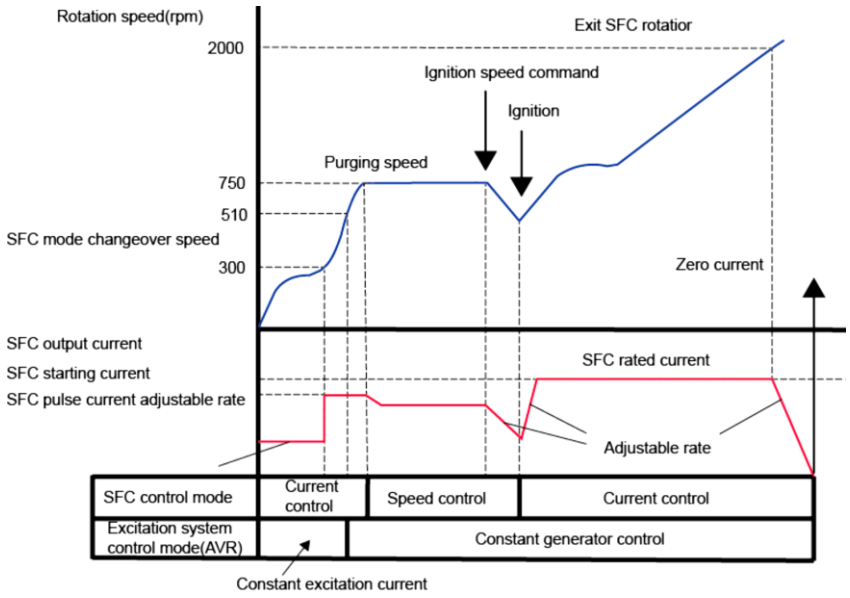
- بازیابی توان
- کاهش حجم سیستم
- جبرانسازی دینامیکی توان راکتیو
- ضریب قدرت واحد در سمت خط
- کاهش تعداد اجزای سیستم
- در دسترس بودن بالای بخشهای مختلف
- طراحی الکترونیکی و خازن های نوع فیلم خشک با قابلیت اطمینان بالا (با مدت زمان متوسط خرابی ۱۶ سال و بیشتر)

- شرکت NR Electric Co. Ltd. چین

مبدل فرکانس استاتیک PCS-9575 امکان راه اندازی و کنترل سرعت چرخش موتورهای سنکرون و ژنراتورهای نیروگاهی بزرگ را در هنگام راه اندازی فراهم می کند. با توجه به نیاز سیستم کنترل، این سیستم قابلیت دارد تا سریعا ماشین را به سمت سرعت چرخش مطلوب هدایت نماید. در همین حال ، PCS-9575 همچنین می تواند به عنوان تجهیز کنترل سرعت برای کنترل ماشین در سرعت مورد نیاز استفاده شود.[13]

از این تجهیز برای راه اندازی نیروگاه های گازی، تلمبه ذخیره ای، موتورهای بزرگ در صنایع و ... استفاده می گردد. برای را اندازی نیروگاه گازی، نیروی گشتاور خارجی می بایست برای چرخاندن روتور در مراحل سرعتهای مختلف از قبیل سکون، دمش سبک، لغزش، فرمان آتش، دوره پیش گرمایی، دوره شتاب گیری و ... به کار گرفته شود. هنگامی که سیستم به سرعت پایدار رسید، توان توسط توربین فراهم می گردد.

شکل ۳۶۱-۲ : نمایی از سیستم راه انداز توربین شرکت ان آر الکتریک



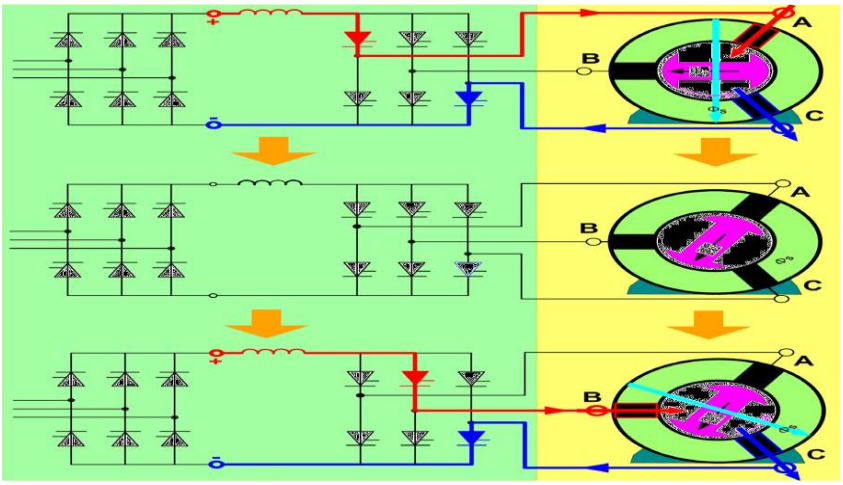
شکل ۳۶۲-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین شرکت ان آر الکتریک

از سیستم SFC به عنوان یک موتور سنکرون خود کنترل شده یاد می شود. مبدل تریستوری برای تبدیل فرکانس متغیر توان DC به AC استفاده می گردد تا بتواند فرکانسهای متغیر هدایت موتور سنکرون را فراهم نماید.این کار با کنترل موقعیت موتور سنکرون صورت می پذیرد. هر بار که چرخش موتور از یک زوج قطب مغناطیسی عبور می نماید، خروجی AC مبدل تغییر می نماید که تضمیم کننده سنکرونیزاسیون میان فرکانس خروجی مبدل و سرعت چرخش موتور در کل دوره عملکرد می باشد.

سیستم SFC از یکسوساز تریستوری، راکتور، اینورتر تریستوری و کنترل کننده تشکیل می گردد. کنترل کننده ولتاژ DC خروجی را با توجه به شرایط کارکرد تنظیم نموده، اینورتر را جهت تامین جریان AC با فرکانس متغیر برای استاتور موتور سنکرون با توجه به موقعیت روتور کنترل نموده، سیستم تحریک را جهت اعمال جریان میدان در روتور موتور سنکرون تنظیم نموده و سرعت چرخش موتور را به میزان مورد نیاز کنترل می نماید.با توجه به مدهای مختلف منترلی اینورتر، مراحل کارکرد SFC به دوره های کموتاسیون پالس و کموتاسیون بار تقسیم می گردد.

فرکانس پایین چرخش موتور (کمتر از ۵ هرتز) به ولتاژ ACخروجی پایین اینورتر منجر می شود. بنابراین اینورتر قادر به تحقق کموتاسیون ولتاژ پیوسته در سمت AC نمی باشد. برای این منظور، روشن و خاموش کردن اینورتر می بایست در مد کموتاسیون پالس کنترل گردد.

سرعت بالای موتور سبب تولید ولتاژ AC بالای اینورتر شده و تحقق کموتاسیون ولتاژ را تضمین می نماید. در این مرحله سرعت موتور به صورت خطی با توان خروجی یکسوساز متناسب بوده و بنابراین با گشتاور محرک مداوم موتور را فراهم نموده و سرعت چرخش موتور را کنترل می کند.

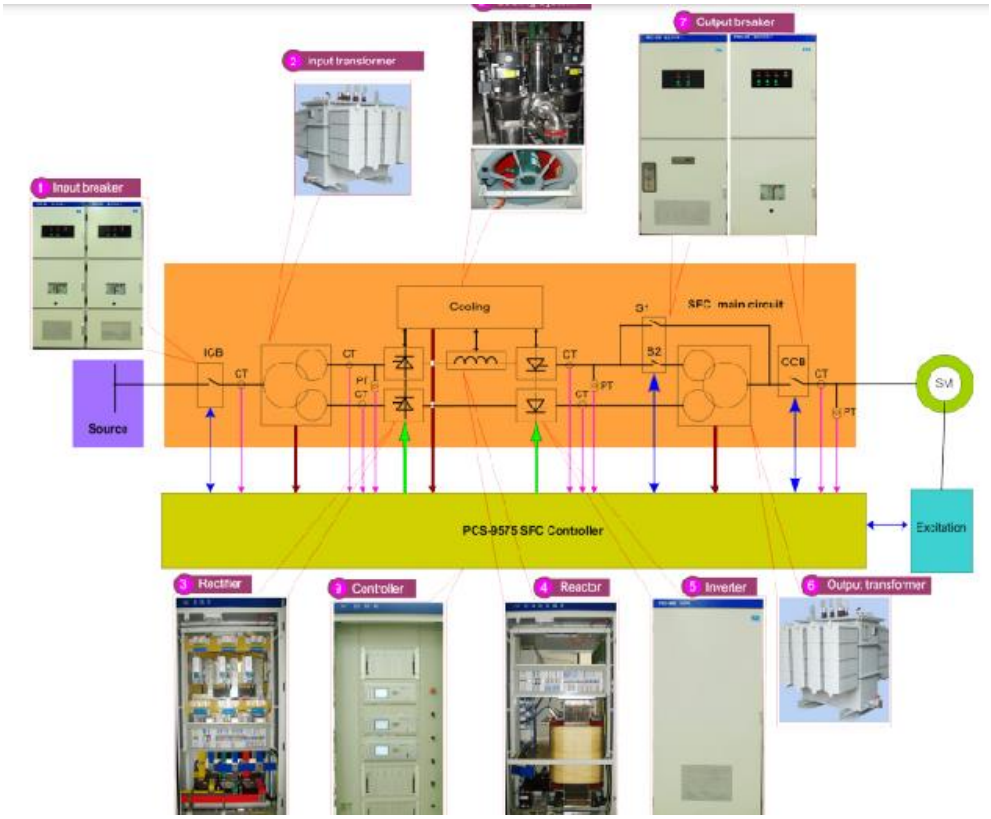


شکل ۳۶۳-۲ : شماتیک مداری کموتاسیون سیستم راه انداز شرکت ان آر چین

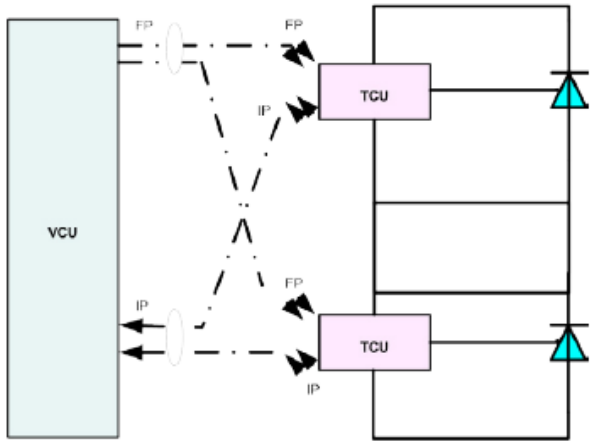
مبدل فرکانس استاتیک PCS-9575 شامل تجهیزات اولیه قدرت و تجهیزات ثانویه کنترل و حفاظت است. تجهیزات اصلی شامل کابینت سوئیچ ورودی ، ترانسفورماتور ورودی، یکسو کننده، راکتور DC، اینورتر، ترانسفورماتور خروجی ، سوئیچ خروجی ، سوئیچ خروجیSFC و تجهیزات خنک کننده برای مبدل می باشد.

یکسوساز و اینورتر: دارای ساختار پل سه فاز کامل تریستوری ۱۲ پالسه یا ۶ پالسه می باشد. درایو تریستورها توسط واحد کنترل تریستوری با استفاده از تحریک فتوالکتریک صورت می پذیرد. خنکسازی موثر با آب و یا هوا نیز برای آن در نظر گرفته شده است.

سیستم تریگر از دو بخش تشکیل می گردد: واحد VCU در کابینت کنترل جهت تبدیل پالسهای کنترلی کنترل کننده به سیگنالهای نوری مورد استفاده قرار می گیرد. واحد TCU که در مجاورت سوئیچها در کابینتهای یکسوساز یا اینورتر می باشد وظیفه تبدیل این سیگنالهای نوری به پالسهای الکتریکی آتش تریستورها را بر عهده دارد. همچنین وضعیت تریستور را نیز با پالس نوری وضعیت به واحد VCU ارسال می نماید. در اصل واحد VCU پس از اخذ سیگنال وضعیت و سیگنال سیستم کنترل اصلی اقدام به صدور پالس آتش به TCU می نماید.



شکل ۳۶۴-۲ : شماتیک مداری و تابلویی زیرسیستمهای سیستم راه انداز شرکت ان آر چین



شکل ۳۶۵-۲ : سیستم تریگر فتوالکتریک استفاده شده در سیستم راه انداز شرکت ان آر چین

برخی پروژه‌های انجام‌شده توسط این شرکت عبارتند از:

- نیروگاه ۱۳۰ مگاواتی مالاوی افریقا
- نیروگاه ۷۵ مگاوات در تبت چین
- نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی یانجیانگ چین

همچنین پارامترهای ارتقای تکنولوژی درایو و راه انداز به قرار زیر هستند:

- قابلیت اطمینان و قابلیت انعطاف پذیری بالا در سخت افزار چند پردازنده توزیع شده

- سیستم.
- مقاومت بالا در برابر تداخل EM.
- برنامه نویسی مدولار بصری پیشرفته
- کنترل پایدار و قابل اعتماد تغییر فرکانس.
- توابع محافظت کامل از کل سیستم.
- ضبط و تحلیل کامل خطا / ارتباطات خارجی
- توابع و اینترفیس مناسب انسان و ماشین.
- سیستم کنترل بسیار یکپارچه.
- طراحی بسیار جمع و جور و قابل اعتماد مبدلهای قدرت.
- انواع حفاظتها از قبیل حفاظت دیفرانسیل ، حفاظت از جریان بیش از حد و حفاظت فوری (di / dt)
- خنک کننده هوای اجباری برای سیستم با ظرفیت کم یا متوسط و خنک کننده حلقه بسته آب در گردش (فناوری ثبت اختراع) برای سیستم های با ظرفیت بزرگ.
- طراحی ساده و قابل اعتماد سیستم اتلاف گرما.

- شرکت ABB سوئیس

محصول MEGADRIVE شرکت ABB یک محصول پرفروش جهت سیستم درایو و راه اندازی در نیروگاه های حرارتی می باشد.[14]

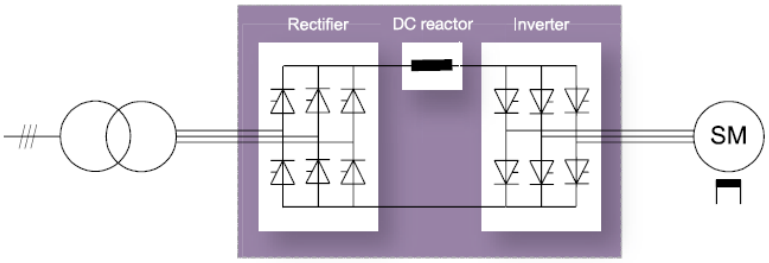
برخی از مزایای این سیستم عبارتند از:

- بیش از ۳۰ سال تجربه عملیاتی در کاربردهای مختلف
- پیکربندی درایوهای با سرعت متغیر و شروع کننده های نرم
- بالاترین بازده
- بالاترین قابلیت اطمینان و در دسترس بودن
- کمترین نیازهای نگهداری
- طرح های استاندارد برای قدرت تا ۷۲ مگاوات و ولتاژ تا ۱۰ کیلوولت در دسترس هستند. طراحی مهندسی تا ۱۰۰ مگاوات و بیشتر میسر است.
- مرجعیت جهانی: ABB بیش از ۷۵۰ واحد MEGADRIVE-LCI نصب شده با قدرت کل ۴۳۰۰ مگاوات برای برنامه های کاربردی در نیروگاه ها ، نفت ، گاز و صنایع شیمیایی ، ایستگاه های پمپاژ آب ، سیستم های پیشرانه دریایی و در غرفه های آزمایش دارد.

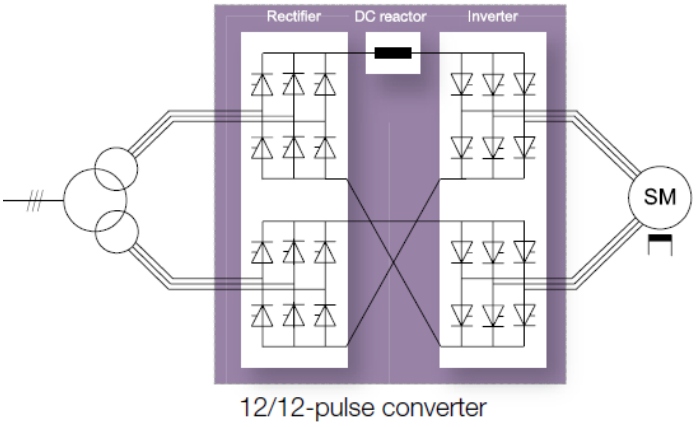
اجزای اصلی این سیستم به قرار زیر هستند:

- تریستور: نیمه هادی های قدرت تریستور برای توانهای بالا ، بالاترین قابلیت اطمینان و تلفات کم تولید شده اند. آنها دارای تلفات کم در حالت عادی و سوئیچینگ هستند، که منجر به بازده ۹۹٪ مبدل می شود.
- یکسو کننده: یکسو کننده به صورت کموتاسیون خط بوده و یک منبع جریان مستقیم DC قابل کنترل در اتصال با راکتور در پیوند DC را تشکیل می دهد. پیکربندی های یکسو کننده به صورت ۶ ، ۱۲ یا ۲۴ پالسی هستند برای کاهش تأثیرات هارمونیکی مبدل موجود در سیستم.

- MEGADRIVE-LCI دقیق ترین الزامات اعوجاجات هارمونیکی جریان و ولتاژ را طبق استانداردهای IEEE، IEC و EN رعایت می نماید.
- راکتور لینک DC: این تجهیز برای هموار نمودن شکل موج جریان DC و محدودسازی نرخ تغییرات آن در هنگام بروز خطا مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- اینورتر: تریستورها در اینورتر به صورت الکترونیکی جریان را سوئیچ می نمایند تا یک سیستم سه فاز AC فرکانس متغیر تولید نماید. ولتاژ ماشین کموتاسیون جریان فازهای اینورتر را انجام می دهد. در سرعتهای بسیار پایین (۰ تا ۱۰٪ سرعت نامی) وقتی که ولتاژ ماشین سنکرون برای انجام کموتاسیون بسیار کم باشد از کموتاسیون اجباری استفاده می گردد. اینورترهای ۶ و یا ۱۲ تریستوری جهت کاهش تاثیرات مبدل بر گشتاور ماشین مورد استفاده قرار می گیرد.
- سیستم کنترل گشتاور و سرعت ماشین را مطابق مقدار مرجع تنظیم می نماید. پالسهای آتش تریستورهای یکسو کننده، اینورتر و سیستم تحریک را تولید می نماید تا ولتاژ، ضریب توان و یا جریان را در مقدار مطلوب حفظ نماید.



شکل ۳۶۶-۲ : شماتیک مداری مگادرایو با رکتیفایر و اینورتر ۶ پالسه شرکت **ABB**



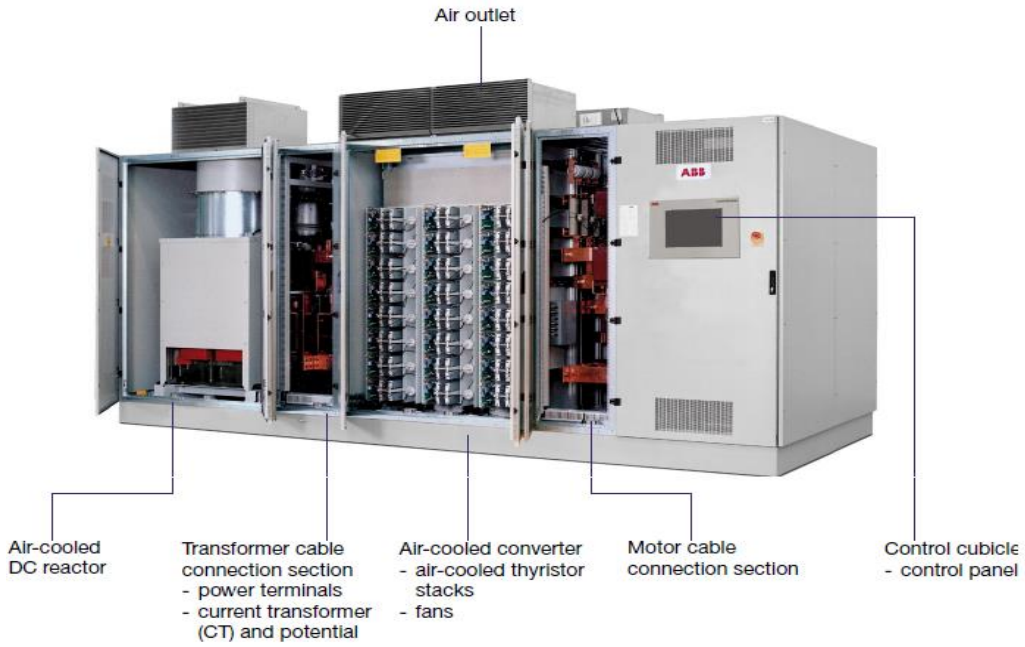
شکل ۳۶۷-۲ : شماتیک مداری مگادرایو با رکتیفایر و اینورتر ۱۲ پالسه شرکت **ABB**

ویژگی‌های اصلی این محصول عبارتند از:

- اتصال سری تریستورها برای افزونگی ولتاژ و قدرت و همچنین برای اجرای ریداندانسی n+1 تریستور
- طراحی بدون فیوز برای قابلیت اطمینان بالا

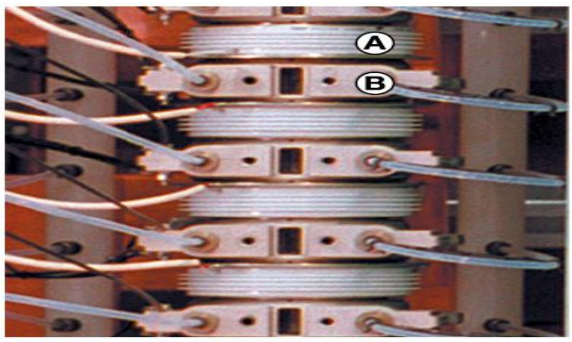
- عملکرد برای موتور و ژنراتور برای انعطاف پذیری عملیاتی بیشتر
- کنترل بدون انکودر برای در دسترس بودن بیشتر و کاهش هزینه های نگهداری
- در هنگام افت ولتاژ کوتاه مدت به عملکرد سیستم ادامه می دهد.
- مبدلها با هوا و آب خنک می شود برای مصارف نیروگاهی
- طراحی مدولار برای پیکربندی بهینه و بالاترین قابلیت اطمینان

خنک کننده هوا عمدتا برای راه اندازهای نرم و برنامه هایی در محدوده قدرت پایین استفاده می شود. قابلیت اضافه بار کوتاه مدت را فراهم می کند ، اما به هوای تمیز نیاز دارد و تلفات را به اتاق مبدل می رساند.



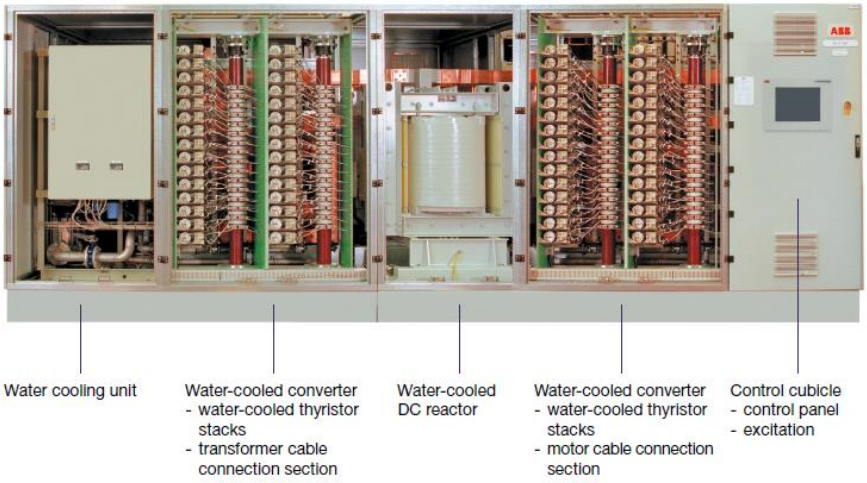
شکل ۳۶۸-۲ : نمایی از مگادرایو شرکت **ABB** با سیستم خنک شونده با هوا

خنک کننده با آب راه حل ارجح برای درایوهای پرقدرت است. این بسیار کارآمد است زیرا تقریباً تمام تلفات مبدل از طریق مبدل حرارتی به آب پراکنده می شود. این منجر به یک طرح فشرده می شود و حساسیت کمتری نسبت به جوهای غبارآلود دارد.



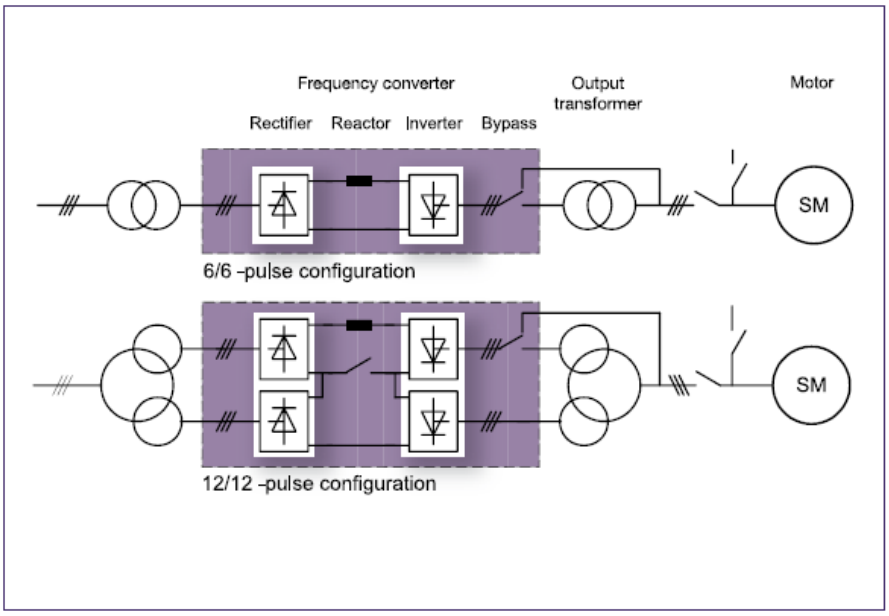
Series connection of thyristors in a water-cooled MEGADRIVE-LCI for higher voltage and redundancy.
A Thyristor
B Heat sink

شکل ۳۶۹-۲ : نمایی از اتصالات سری تریستورهای مگادرایو با سیستم خنک شونده با آب



شکل ۳۷۰-۲ : نمایی از مگادرایو شرکت **ABB** با سیستم خنک شونده با آب

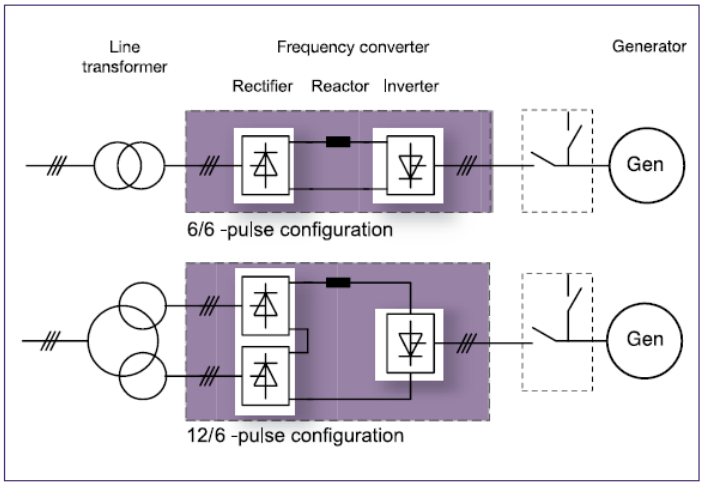
راه اندازی مستقیم آنلاین ماشینهای سنکرون بزرگ باعث به وجود آمدن جریانهای راه اندازی تا شش برابر جریان اسمی ماشین می شود و تنش الکتریکی زیادی به شبکه، استرس حرارتی بر روی ماشین و تنش مکانیکی در شافت را تحمیل می کند. با استفاده از سافت استارتر MEGADRIVE-LCI این مشکلات می توان برطرف کرد. با استفاده از آن به ماشین از صفر تا سرعت نامی شتاب می دهد، هنگامی که ماشین به طور خودکار با شبکه سنکرون بوده و قطع کننده مدار برای کارکرد سرعت ثابت بسته شده است. پیکربندیهای مختلفی از راه اندازها وجود دارد که می توانند اثرات راه اندازی را بر روی ماشین و یا شبکه کاهش داده و به طول عمر تجهیزات بیفزایند. با یک راه انداز MEGADRIVE-LCI منفرد راه اندازی متوالی چندین ماشین حتی با محدوده توانی متفاوت باهم نیز امکانپذیر می باشد تا سبب کاهش هزینه های سرمایه گذاری گردد.



Examples of MEGADRIVE-LCI soft starter configurations

شکل ۳۷۱-۲ : شماتیک مداری سافت استارترهای مگادرایو شرکت **ABB** با سیستم ۶ پالسه و ۱۲ پالسه

توربین های گازی اغلب باید با یک اعلان راه اندازی سریع شده و شروع به کار نمایند. استاترهای توربین گازی MEGADRIVE-LCI از ژنراتور به عنوان موتور استفاده می کنند و آن را تا سرعتی بالاتر از سرعت اشتعال توربین گاز می چرخانند. توربین گازی سپس می تواند ژنراتور را به طور مستقل تا سرعت مورد نیاز شتاب داده و با سیستم قدرت سنکرون نماید.



Examples of MEGADRIVE-LCI gas turbine starter configurations

شکل ۳۷۲-۲ : شماتیک مداری راه انداز مگادرایو توربین گازی شرکت **ABB** با رکتیفایرهای ۶ و ۱۲ پالسه

این استراتژی نصب شده در MEGADRIVE-LCI از یک الگوریتم کنترلی بر پایه کنترل مبتنی بر پیش بینی مدل استفاده می نماید. این استراتژی سبب تضمین ادامه درایو مناسب حتی در هنگام اغتشاشات توان و یا شبکه می باشد. به کارگیری این روش می تواند سبب ارائه متدهای پیشرفته ای همچون روش کنترل ضریب توان و یا دیگر متدهای کنترلی و حفاظتی گردد.

قابلیت تریستورهای امروزی در مقابله با جریانهای سرج اجازه طراحی مبدلهای بدون فیوز را فراهم می سازد که نتیجه آن کاهش قطعات یدکی و قابلیت اطمینان بالاتر می باشد. در هنگام خطا، یک سیستم حفاظت در برابر اضافه جریان سریع، بلافاصله از تریگر کردن تریستورها جلوگیری نموده و شروع به باز نمودن بریکر اصلی می نماید.

جدول ۱۰۷-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم مگادرایو شرکت **ABB**

پارامتر	توضیحات
Structure	6,12 OR 24-PULSE THYRISTOR RECTIFIER 6/12 Pulse THYRISTOR BRIDGE Current Source INVERTER
V_{in}	25KV
$V_{in\sim}$	+/-10%
f_{in}	50/60 Hz
$f_{in\sim}$	+/-5%
pf	0.85LAG
V_{ctrl}	90-300V

V_{out}	25KV
P_{out}	2MW~150MW
f_{out}	0-120Hz
Eff	>99%
IP	AIR COOLED IP31,IP41 LIQUID COOLED IP31,IP41,IP54
Cooling	AIR, LIQUID
dB	85dB
STD	EN, IEC, CE
ENV	1000m, +5~40℃
THD	COMPATIBLE WITH IEC 61000-2-4

برخی پروژه‌های انجام‌شده توسط این شرکت عبارتند از:

- نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۴۰۷ مگاواتی در لاکازلا ایتالیا
- چهار واحد نیروگاه گازی هرکدام به ظرفیت ۱۵/۵ مگاوات در راگ اتریش
- نیروگاه سیکل ترکیبی در بنگلادش به ظرفیت ۱۰۰ مگاوات
- نیروگاه سیکل ترکیبی ۲۰۰۰ مگاواتی ریاض عربستان

پارامترهای ارتقای تکنولوژی درایو و راه انداز نیز به قرار زیر هستند:

- قابلیت اطمینان و در دسترس بودن بالا
- بدون قطعات متحرک که به تعمیر و نگهداری نیاز دارند
- عدم اضافه بار گرداننده اولیه و یا مبدل قدرت
- صرفه جویی در هزینه با استفاده از یک مبدل برای چندین مجموعه توربین گاز
- عیب یابی ساده
- طول عمر بیشتر تجهیزات
- راه اندازی سریع و نامحدود
- طراحی بدون فیوز و تعداد قطعات یدکی کمتر
- ترمینال کنترلی کاربرپسند

- شرکت AEG آلمان

اساس کار مبدل فرکانسی استاتیک را می‌توان بر اساس کار یک ماشین سنکرون تغذیه‌شونده از یک مبدل قدرت توضیح داد. شکل زیر مدار قدرت مبدل را نشان می‌دهد. این اینورتر بطور کلی از دو پل سه‌فازه تشکیل شده که ولتاژ AC ورودی آن به شبکه و ولتاژ AC خروجی آن به ماشین سنکرون متصل است. اتصالات DC این دو پل سه‌فاز نیز از طریق یک لینک DC به هم متصل هستند.[15]

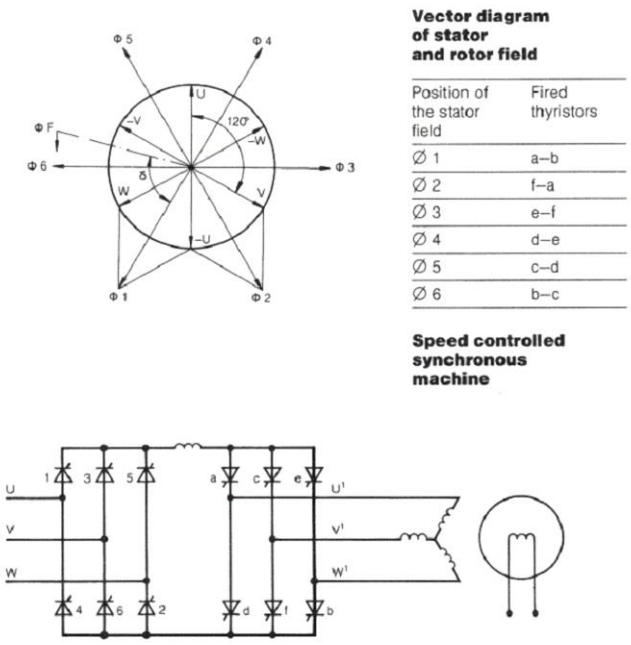
در این شکل تریستورها در سمت شبکه به ترتیب کلیدزنی با شماره و در سمت ماشین با حروف مشخص شده‌اند. پس از کلیدزنی تریستورهای شماره ۱ و ۲ در مبدل سمت شبکه و تریستورهای a و b در مبدل سمت ماشین، جریانی از فاز U از طریق تریستور۱، راکتور لینک DC و تریستور a به فاز U1 ماشین جاری می‌شود و از طریق فاز W1، تریستورهای b و ۲ به فاز تغذیه W برمی‌گردد.

در نتیجه یک میدان مغناطیسی Ø1 در ماشین ایجاد می‌شود. اگر بطور همزمان جریان تحریک نیز در سیم‌پیچی تحریک جاری شود، میدان مغناطیسی دیگری ØF نیز در روتور ایجاد می‌شود. موقعیت این میدان با موقعیت واقعی محور سیم‌پیچی تحریک مشخص می‌شود. برآیند این دو میدان مغناطیسی، گشتاوری به اندازه زیر در ماشین ایجاد می‌کند:

$$M \sim Ø1 \times ØF = Ø1 \cdot ØF \cdot \sin \delta$$

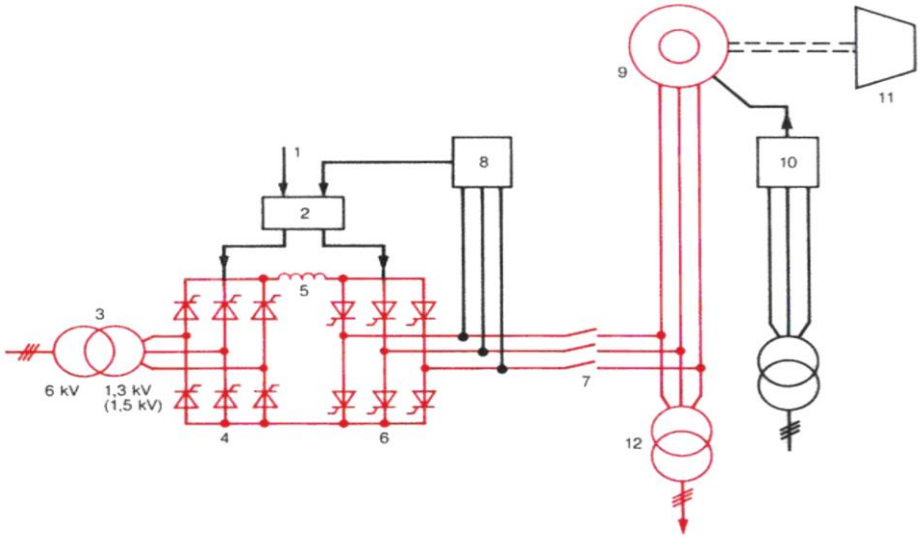
که δ در آن، زاویه بین Ø1 و ØF است.

بدین ترتیب روتور شروع به حرکت می‌کند و زمانی می‌ایستد که ØF = Ø1 باشد. بمنظور جلوگیری از این اتفاق، زمانی که میدان روتور به موقعیت مشخصی برسد، وضعیت تریستورهای مبدل سمت ماشین، بگونه‌ای تغییر می‌یابد که تریستور f جریان را عبور می‌دهد و تریستور b خاموش می‌شود. در نتیجه جریانی در طول فازهای U1 و V1 جاری می‌شود. میدان منتجه استاتور به موقعیت بردار Ø2 جابجا می‌شود. دوباره گشتاوری ($M \sim Ø2 \times ØF$) ایجاد شده و منجر به چرخش روتور می‌شود. حرکت چرخشی روتور در طول کلیدزنی متوالی تریستورها حفظ می‌شود. ترتیب این کلیدزنی بر اساس ولتاژ اندازه‌گیری‌شده ماشین تعیین می‌شود.



شکل ۳۷۳-۲ : شماتیک مداری و عملکردی مبدل فرکانس استاتیکی شرکت **AEG**

در شکل زیر دیاگرام یک توربین گاز به همراه مبدل فرکانس استاتیکی نشان داده شده است.



شکل ۳۷۴-۲ : دیاگرام توربین گاز و مبدل فرکانس استاتیکی

۱ سیگنال‌های کنترلی
۲ رگولاتور
۳ ترانسفورماتور تغذیه
۴ مبدل شبکه
۵ راکتور لینک DC
۶ مبدل ماشین
۷ کلید جداکننده
۸ ترانسدیوسر ولتاژ
۹ ماشین سنکرون
۱۰ تحریک
۱۱ توربین گاز
۱۲ ترانسفورماتور

توان یک مبدل فرکانس استاتیکی در وهله اول عبارت از توانی است که یک مجموعه توربین گاز در طول مدت راه اندازی از حالت سکون تا رسیدن به سرعت سنکرون ۳۰۰۰ دور در دقیقه نیاز دارد. زمان راه‌اندازی توربین‌های گاز عموما حدود چند دقیقه است. از آنجا که SFC فقط باید تا رسیدن به سرعت حدود ۲۱۰۰ دور در دقیقه در مدار باشد، لذا زمان مزبور کمتر خواهد بود.

انتخاب ظرفیت توانی در دو گام صورت می‌گیرد. گام اول محاسبه انرژی جنبشی مجموعه ژنراتور، توربین و کلاچ در سرعت ۲۱۰۰ دور در دقیقه و تقسیم آن بر زمان راه‌اندازی است. حاصل این تقسیم، نشان‌دهنده توان متوسط است که بدون در نظر گرفتن منحنی گشتاور متقابل بار، نسبت به زمان ثابت است. در گام دوم این توان با در نظر گرفتن تاثیر گشتاور بار اصلاح می‌شود. حداقل توان اینورتر با حداکثر گشتاور بار مشخص می‌شود.

فرآیند راه‌اندازی به چند مرحله تقسیم می‌شود. بنابراین نیازی نیست که توان انتخاب شده برای اینورتر به میزان زیادی بیشتر از توان راه اندازی متوسط باشد.

از حالت سکون تا سرعت پایه (بین۰/۱ تا ۰/۲سرعت نامی) شتابگیری در گشتاور ثابت اتفاق می‌افتد، زیرا ولتاژ ترمینال ماشین متناسب با سرعت (در تحریک ثابت) افزایش می‌یابد تا ولتاژ ترمینال به مقدار نامی اینورتر برسد. مقدار جریان نیز توسط مبدل شبکه در سطح ثابتی کنترل می‌شود.

از سرعت پایه تا سرعت ۲۱۰۰ دور، شتابگیری طبق منحنی سازنده ژنراتور صورت می‌گیرد.

مدهای عملکرد مجموعه توربین گاز از اتاق فرمان نیروگاه یا از پانل کنترل واحد و براساس دستورالعمل های سازنده ژنراتور انتخاب می شود. فرامینی که از سیستمهای کنترل بالادست دریافت می‌گردد، در بخش کنترل SFC با هم ترکیب و و به سیستم اعمال می شود.

تغییر مدهای عملکردی فقط در حالتی که SFC در مدار نباشد امکانپذیر است. فرمان‌های کنترل مجزا در حالت بدون ولتاژ، ابتدا از جهت مجاز بودن توسط یک واحد مانیتورینگ که تمام پیام‌های وضعیت مبدل و نیروگاه را نیز دریافت می‌کند، چک می‌شود. سپس اینورتر در مدار آمده و توان توسط سیستم کنترل جاری می شود. بمنظور ماندن در محدوده مجاز، تمامی مقادیر عملکردی مهم بطور مداوم چک می‌شوند. در صورت وقوع هرگونه تخطی از محدوده‌های مجاز، شارش توان متوقف شده و SFC از ژنراتور جدا و خاموش می‌گردد. مدهای مختلف عملکردی که باید توسط SFC تحقق پیدا کند شامل موارد زیر هستند:

- مد راه‌اندازی عادی

در این مد SFC طبق منحنی راه اندازی ژنراتور به شفت توربین گاز شتاب می‌دهد. زمانی که سرعت ۲۱۰۰ دور در دقیقه اتفاق افتد، اینورتر بصورت اتوماتیک قطع شده و مجددا برای یک راه‌اندازی دیگر (در صورت نیاز برای یک توربین گاز دیگر) آماده خواهد بود. توربین گاز بطور اتوماتیک شتاب می‌گیرد تا به سرعت نامی ۳۰۰۰ دور در دقیقه برسد.

- مد راه‌اندازی مستقل یا Black start

در این مد SFC با حداقل توانی که برای شتاب دادن توربین گاز لازم است کار می‌کند. زمانی که سرعت به ۲۱۰۰ دور برسد اینورتر قطع می‌گردد. در این مد کاری چون شبکه بی برق می باشد، اینورتر از شبکه نمی تواند تغذیه شود و توسط یک دیزل‌ژنراتور تغذیه می گردد.

- مد ترمز

در زمان ترمزگیری، فقط واحد تحریک روشن می‌شود. بسته به زمان ترمزگیری مورد نیاز، کاهش سرعت یا از طریق اتلاف انرژی ژنراتور فقط با جریان تحریک بی‌باری و یا از طریق یک مقاومت ترمزی اضافی اتفاق می‌افتد. سیستم تحریک زمانی که سرعت به مقدار ۲۰۰ دور در دقیقه رسید، خاموش می‌شود و در زمان خلاصی ژنراتور، ژنراتور دوباره به توربین چرخان متصل می‌شود.

- مد عملکرد به عنوان واحد گرداننده شفت

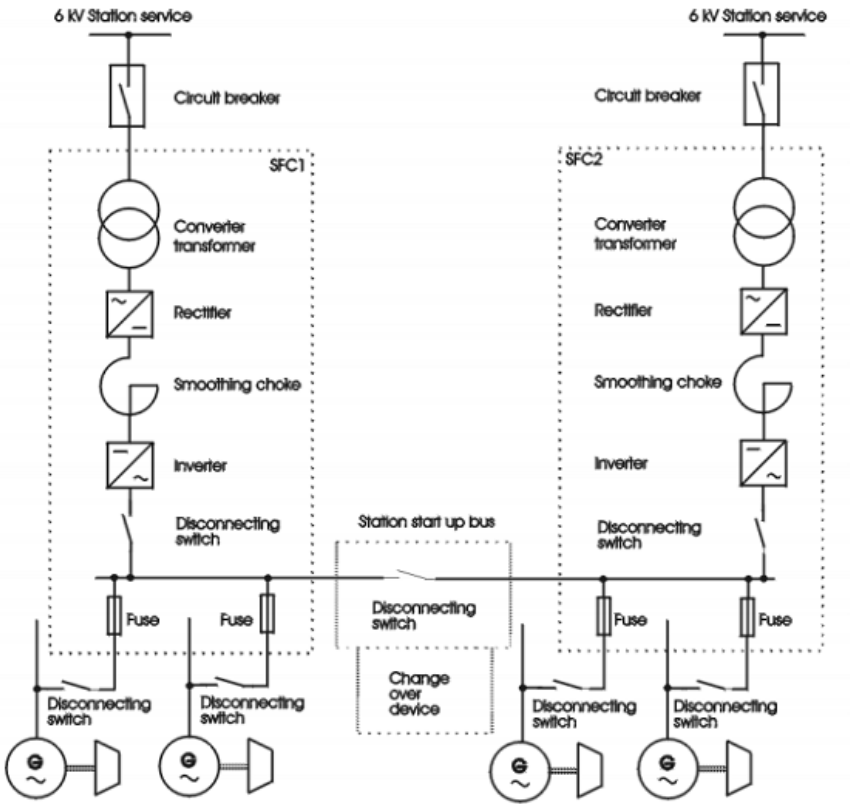
واحد گرداننده شفت[1] واحدی است که برای چرخاندن توربین از حالت سکون تا دورهای بسیار کم (حدود ۱۰۰ دور در دقیقه) مورد استفاده قرار می گیرد.

در این مد عملکردی، به واحد گرداننده شفت نیاز نبوده و SFC قادر است که راسا توربین را از حالت سکون تا سرعتهای حدود ۱۰۰ دور به چرخش درآورد.

- مد شستشوی توربین

[1] –Shaft turning unit

بمنظور شستن توربین با آب یا مواد دیگر، مجموعه ماشین تا سرعت حدود ۶۰۰ دور در دقیقه با SFC شتاب داده می‌شود. این سرعت مجموعه حفظ می‌شود تا زمانی که فرمان خاموش شدن صادر شود.



شکل ۳۷۵-۲ : دیاگرام نحوه راه اندازی چند سیستم توربوژنراتور با استفاده از دو راه انداز استاتیکی

جدول ۱۰۸-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم مبدل فرکانسی شرکت **AEG**

پارامتر	توضیحات
Structure	Thyristor Bridge for both Rectifier and Inverter
V_{in}	1500V
f_{in}	50/60
V_{out}	1400V
P_{out}	5000KW
f_{out}	0~60Hz
Cooling	Aired
DIM	3300 x 1000 x 2500 mm

برخی از پروژه‌های انجام‌شده توسط این شرکت عبارتند از:

- نیروگاه گازی ۱۰۵ مگاواتی جورونگ سنگاپور
- نیروگاه گازی ۸۵ مگاواتی وین اتریش
- نیروگاه گازی ۷۵ مگاواتی ایجورا نیجریه
- نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۰۰ مگاواتی در ایبردرولا مکزیک

همچنین پارامترهای ارتقای تکنولوژی درایو و راه انداز به قرار زیر هستند:

- دسترسی بالا
- کمترین تعمیر و نگهداری
- طراحی کم حجم
- کاهش هزینه برای مشتری
- اینترفیس کاربرپسند

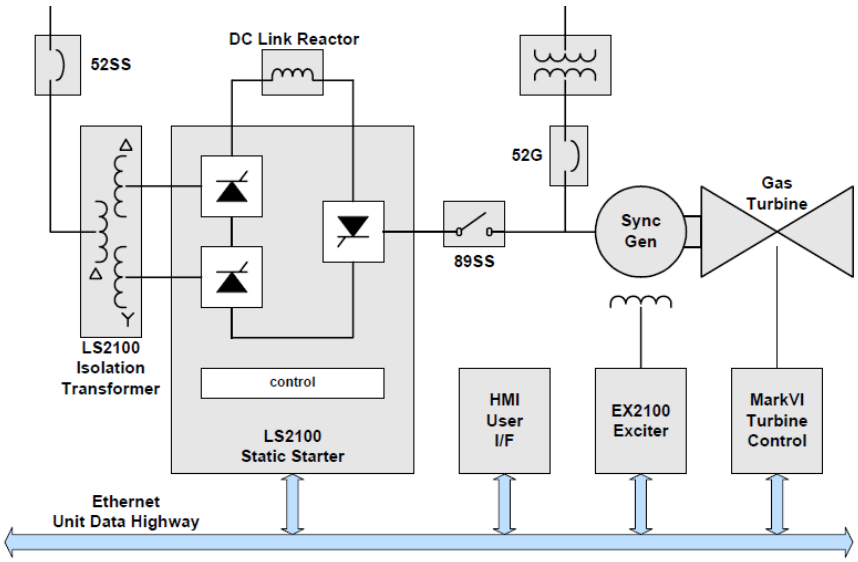
- شرکت General Electric آمریکا

LS2100 Static Starter یک سیستم درایو AC با سرعت قابل تنظیم است که علاوه بر کاربرد به صورت درایو به طور خاص برای راه اندازی یک مجموعه ژنراتور توربین گاز طراحی شده است. با استفاده از ژنراتور به عنوان یک موتور سنکرون ، راه انداز استاتیکی مجموعه توربین را مطابق با یک مشخصات سرعت خاص که شرایط شروع بهینه توربین گاز را فراهم می کند ، شتاب می دهد. LS2100 نیازی به سخت افزار استارت جداگانه مانند موتور الکتریکی یا موتور دیزلی ، مبدل های گشتاور و تجهیزات کمکی همراه را رفع می نماید.[16]

LS2100 دارای یک سیستم کنترل دیجیتالی است که به طور یکپارچه با کنترل توربین گازی Mark VI ، کنترل تحریک EX2100 ، رابط انسان و ماشین (HMI) و PI Historian ارتباط برقرار می کند. این دستگاه ها از طریق بزرگراه داده مبتنی بر Ethernet با یکدیگر ارتباط برقرار می کنند تا یک سیستم کنترل کاملاً یکپارچه ایجاد کنند. جعبه ابزار GE Control Systems برای پیکربندی کنترل LS2100 استفاده می شود. این همان جعبه ابزار مورد استفاده برای پیکربندی کنترل توربین گاز Mark VI و کنترل تحریک EX2100 است.

دیاگرام ساده تک خطی برای سیستم راه انداز استاتیکی در شکل زیر نشان داده شده است. از تجهیزات قدرت مغناطیسی در سیستم برای ایجاد ایزولاسیون ، تبدیل ولتاژ و امپدانس استفاده می شود. این شامل:

- ترانسفورماتور ایزولاسیون توان ورودی سه فاز ac را به مبدل های قدرت راه انداز استاتیکی تغذیه می کند. ترانسفورماتور، جداسازی از باس سیستم ac را فراهم می کند و ولتاژ و فاز صحیح مبدلهای استاتیک را فراهم می کند.
- راکتور لینک dc یک سلف هسته هوا است که اندوکتانس لازم را برای هموار کردن جریان تحویل شده توسط مبدل های استاتیک قدرت فراهم می کند.
- از قطع کننده های مدار مختلف و کلیدهای قطع موتوری در سیستم برای ایجاد اتصالات الکتریکی مناسب مورد نیاز برای کار راه انداز استاتیک استفاده می شود. 52SS یک قطع کننده مدار است که برای اتصال سمت اولیه ترانس جدا کننده LS2100 به باس کمکی سیستم استفاده می شود. بسته به کاربرد، مد راه انداز استاتیک یا کاربری DCS این بریکر را کنترل می کنند و باید هنگام شروع کار بسته شود. پس از اتمام راه اندازی، ممکن است به صورت اختیاری بسته بماند.



شکل ۳۷۶-۲ : دیاگرام سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک

- 89SS یک سوئیچ قطع موتوری است که برای اتصال شینه خروجی اینورتر سمت بار راه انداز به استاتور ژنراتور استفاده می شود. سیستم کنترل توربین MarkVI این سوئیچ را کنترل می کند و باید هنگام راه اندازی بسته شود و پس از اتمام کار باز شود.
- 52G یک بریکراختیاری است که برای اتصال استاتور ژنراتور به باس سیستم استفاده می شود. کنترل کننده توربین Mark VI این بریکر را کنترل می کند و باید هنگام راه اندازی باز باشد.

شکل ۳۷۷-۲ : نمای تابلویی سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک

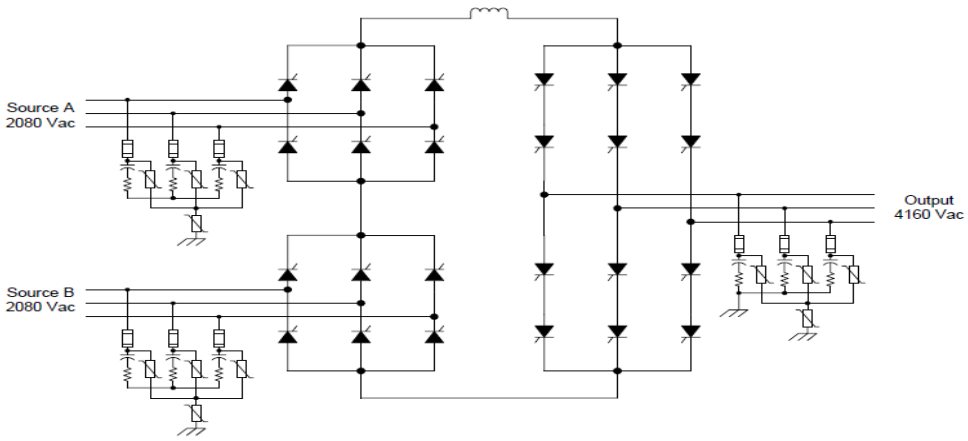
راه انداز استاتیک در کارخانه مونتاژ و تست شده و با محفظه مستقل عرضه می شود. ترانسفورماتور جداسازی، راکتور لینک DC و تهویه حرارتی جدا از محفظه درایو قرار دارند. راه انداز در محفظه تهویه NEMA نوع ۱ برای نصب در فضای داخلی عرضه می شود. این محفظه دارای یک قاب فولادی سخت و محکم است که توسط ورق استیل با حداقل ضخامت ۱۲ گیج معادل ۲/۶ میلیمتر ساخته شده است.

مبدل قدرت راه انداز استاتیکی از دو مبدل سری تریستوری فاز کنترل شده تشکیل شده است که اینورتر تریستوری سمت بار را با استفاده از یک راکتور لینک dc تغذیه می کنند.

تغذیه گیت مبدل سمت منبع به صورت دیجیتالی کنترل می شود تا جریان مورد نیاز بار را از طریق لینک dc تولید کند. اندازه راکتور لینک dc با توجه به حفظ پیوستگی جریان لینک dc در محدوده عملکرد سیستم تعیین می گردد. تغذیه گیت اینورتر بار نیز به صورت دیجیتالی کنترل می شود تا جریان خروجی AC با فرکانس متغیر به پایانه های استاتور ژنراتور ارائه گردد.

توان ورودی به مبدل های منبع از طریق ترانس ایزوله راه انداز استاتیک تأمین می شود. ترانسفورماتور ایزولاسیون برای سرویسدهی به یکسوساز طراحی شده و طبق نیاز مشتری از نوع روغنی و یا خشک است.

ترانسفورماتور دارای دو مجموعه سیم پیچ ثانویه سه فاز است که هر کدام دارای ولتاژ ۲۰۸۰ ولت متناوب (نیمی از ولتاژ نامی اینورتر بار) می باشد. یکی از مبدلهای سمت منبع از ثانویه مثلث ترانسفورماتور تغذیه می شود. مبدل منبع دیگر از ثانویه ستاره ترانسفورماتور تغذیه می شود. این آرایش سبب اختلاف فاز ۳۰ درجه ای در ولتاژهای ورودی سه فاز ورودی یک مبدل نسبت به ولتاژهای ورودی سه فاز ورودی مبدل دیگر می گردد. این پیکربندی منجر به حذف تقریبا نیمی از جریان هارمونیک تولید شده توسط درایو، به ویژه هارمونیک های پنجم و هفتم می شود.



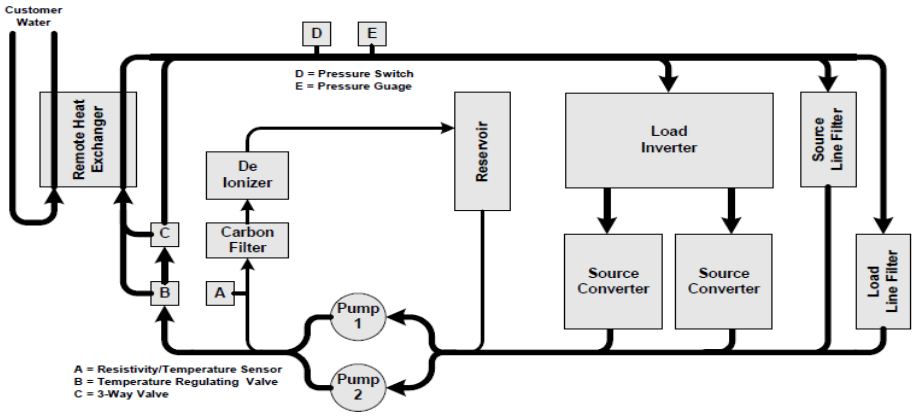
شکل ۳۷۸-۲ : شماتیک مداری سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک

با توجه به ظرفیت بالای جریان خطای ژنراتور، خروجی اینورتر بار راه انداز استاتیک از طریق فیوزهای محدود کننده جریان به باس راه اندازی متصل می شود. این فیوزها برای محافظت از مبدل توان و کابلهای ارتباطی در صورت بروز خطای اینورتر در هنگام عملیات راه اندازی لازم است.

یک راکتور ac گاهی اوقات بین فیوزهای محدود کننده جریان و باس راه اندازی متصل می شود تا بتواند راکتانس کموتاسیون را برای عملکرد مناسب اینورتر افزایش دهد. راکتورهای ac هنگامی استفاده می شوند که ظرفیت خازنی فاز به زمین در باس از ۰/۱۲۵ میلی فاراد فراتر رود.

باس خروجی راه انداز توسط سوئیچ قطع موتوردار (89SS) به استاتور ژنراتور متصل می شود. سوئیچ براساس ولتاژ ترمینال ژنراتور و جریان بار کامل راه انداز استاتیک انتخاب می شود. سوئیچ به طور الکتریکی با قطع کننده اصلی ژنراتور (52G) دارای اینترلاک است تا از اتصال سوئیچ هنگام اتصال ژنراتور به باس سیستم جلوگیری کند.

مبدل قدرت راه انداز استاتیک از سیستم خنک کننده مایع برای انتقال گرما از دستگاه های تولید کننده گرما (مانند SCR ها و مقاومت های با توان بالا) به یک مبدل حرارتی دور از محل استفاده می کند. سیستم خنک کننده دارای حلقه بسته با مخزن سرپوشیده برای خنک کننده است. مایع خنک کننده از پمپ تخلیه به مبدل حرارتی و به سمت پل های تبدیل توان گردش کرده و به پمپ برمی گردد. بخشی از مایع خنک کننده برای حفظ مقاومت خنک کننده ، به یک سیستم یونیزه زدا وارد می شود. این سیستم خنک کننده در شکل زیر نشان داده شده است.



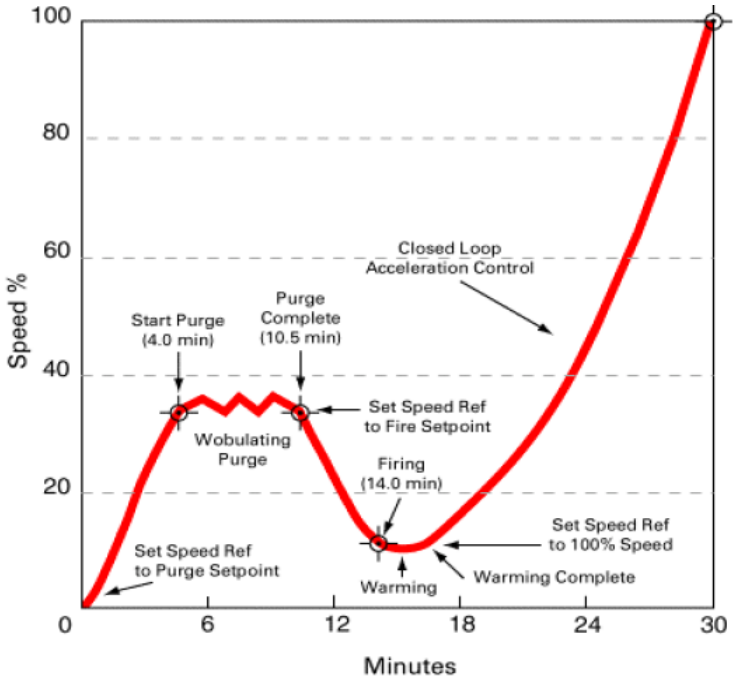
شکل ۳۷۹-۲ : دیاگرام سیستم خنک کننده راه انداز شرکت جنرال الکتریک

راه انداز استاتیک دارای حفاظت داخلی است که با فلسفه محافظت از سیستم کنترل یکپارچه (ICS) با تکیه بر محافظت از سیستم اضطراری خارجی تنها در صورت خرابی سیستم حفاظت داخلی اصلی مطابقت دارد. این امر به کنترل کننده استاتیک اجازه می دهد تا اقدامات اصلاحی را در مورد خطاهای جزئی انجام دهد که منجر به کنترل بهتر شرایط خطا می شود ، مانند خاموش کردن کنترل شده هنگام از دست دادن فیدبک به جای اینکه اجازه دهد حافظت اضطراری اضافه جریان خارجی فعال شود. برخی از محافظت های ارائه شده توسط سیستم کنترل راه انداز استاتیک شامل موارد زیر است:

- اضافه جریان لحظه ای
- جریان دیفرانسیل پل
- اضافه ولتاژ ژنراتور
- اضافه ولتاژ/ افت ولتاژ پل
- خطای زمین
- اضافه دما ، مقاومت کم ، فشار کم ، سطح کم / زیاد مایع خنک کننده پل
- اتصال کوتاه تریستور
- عدم فعال بودن سیستم میدان در راه اندازی

توالی راه‌اندازی توربین گازی به این صورت است که در ابتدا ، مجموعه توربوژنراتور با سرعت چرخش معمولاً ۳ تا ۶ دور در دقیقه می چرخد. در هنگام راه اندازی ، را انداز استاتیک به استاتور ژنراتور متصل می شود و کنترل ولتاژ مرجع میدان تحریک را بر عهده می گیرد. سپس راه انداز توربین را به نقطه تنظیم سرعت تخلیه (معمولاً ۲۵٪ سرعت سنکرون) می رساند. توربین در سرعت تخلیه تقریباً به مدت شش دقیقه نگه داشته می شود. پس از کامل شدن این مرحله، خروجی راه

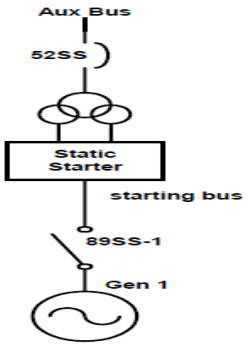
انداز خاموش شده و توربین مجاز است تا سرعت آتش به میزان ۱۵٪ سرعت سنکرون تغییر نماید. در این هنگام، خروجی دوباره روشن شده و توربین راه اندازی می شود. توربین برای مدت کوتاهی با سرعت ثابت نگه داشته می شود تا گرم شود. پس از اتمام دوره گرم شدن ، راه انداز استاتیک توربین را به سرعت خود نگهدارنده شتاب می دهد، در آن زمان راه انداز استاتیک خاموش شده و از ژنراتور جدا می شود.



شکل ۳۸۰-۲ : نمودار عملکرد سیستم راه انداز توربین شرکت جنرال الکتریک

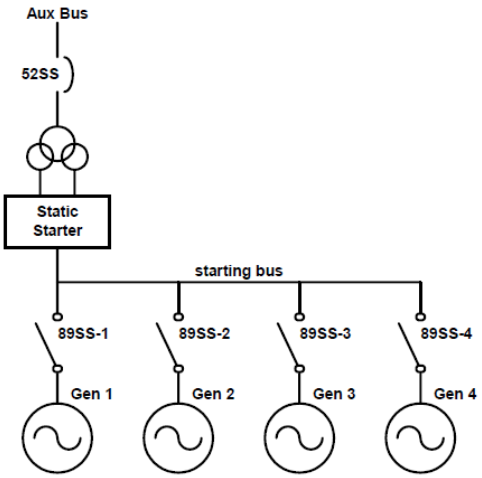
پیکربندی سیستم راه انداز باید برای بهترین بهینه سازی هزینه و در دسترس بودن انتخاب شود. بخشهای زیر پیکربندیهای مختلف سیستم راه انداز در دسترس را با توجه به پروژه نشان می دهد.

- یک راه انداز برای یک توربین



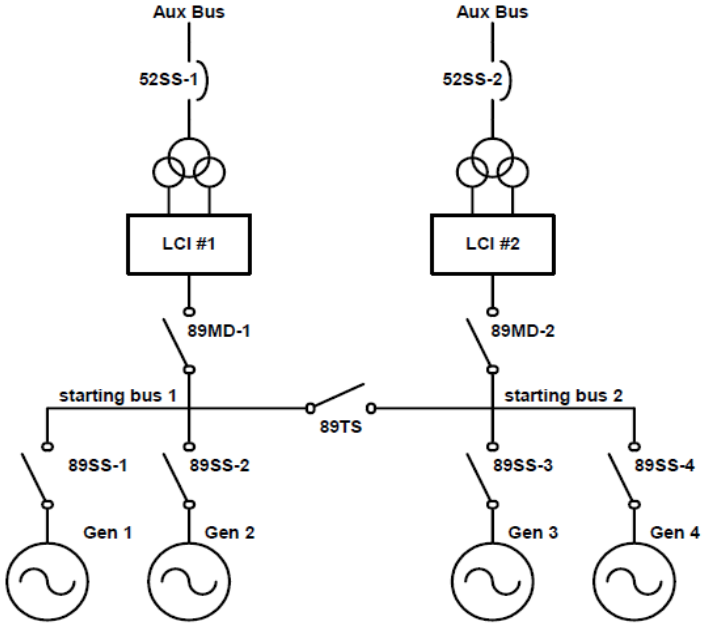
شکل ۳۸۱-۲ : شماتیک راه اندازی یک توربین با یک سیستم راه انداز

- یک راه انداز برای چند توربین



شکل ۳۸۲-۲ : شماتیک راه اندازی چند توربین با یک سیستم راه انداز

- دو راه انداز برای چند توربین



شکل ۳۸۳-۲ : شماتیک راه اندازی چند توربین با دو سیستم راه انداز

جدول ۱۰۹-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت جنرال الکتریک

پارامتر	توضیحات
Structure	12-pulse Thyristor Rectifier, 6-pulse Thyristor Inverter
V_{in}	2*2080V
$V_{in\sim}$	+/-10%
f_{in}	50/60Hz
$f_{in\sim}$	+/-5%
V_{ctrl}	415V
V_{out}	4160V

P_{out}	14MVA
f_{out}	0~60Hz
Cooling	Liquid Forced, Water / propylene glycol mixture
STD	UL508C, UL347A, IEC 146-1-2, EN50178,NEMA ICS 7-1993 CSA C22.2, #14
ENV	0~40℃- 95% humidity
Reactor	Air Core, 5KV, Class H
DIM	4400mm x 1400 mm x 2345 mm- 4082Kg

برخی پروژه‌های انجام‌شده توسط این شرکت عبارتند از:

- نیروگاه سیکل ترکیبی ۶۰۵ مگاواتی بوچین فرانسه
- نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۰۰۰ مگاواتی تگزاس ایالات متحده
- ۶ واحد نیروگاه سیکل ترکیبی هر کدام به ظرفیت ۸۰۰ مگاوات در افریقای جنوبی
- ۸ واحد سیکل ترکیبی جمعا به ظرفیت ۲۰۰۰ مگاوات در عربستان سعودی

همچنین پارامترهای ارتقای تکنولوژی درایو و راه انداز به قرار زیر هستند:

- طراحی مدرن جهت کاهش هزینه
- بهینه سازی سیستم کنترلی جهت راه اندازی چند مجموعه
- افزودن حفاظتهای تکمیلی
- کاهش حجم
- سیستم خنک کننده مدرن

- جمع‌بندی تولیدکنندگان معتبر خارجی

در این بخش به مطالعه و بررسی محصولات راه انداز استاتیک نیروگاهی شرکتهای معتبر بین المللی پرداخته شد. همانگونه که ملاحظه گردید هر شرکتی تکنولوژی مختص خود را در ساخت این مبدلها با توجه به ساختارهای یکسوکننده و اینورتر به کار می گیرد. البته تنوع فناوریهای استفاده شده محدودتر از سیستمهای درایو ولتاژ متوسط است.

در قسمت یکسوساز عمدتا از رکتیفایرهای ۶، ۱۲ و یا ۲۴ پالسه استفاده می گردد. اگرچه با افزایش تعداد پالسها کیفیت یکسوسازی بهبود یافته و ریپل خروجی یکسوساز کاهش می یابد، اما تعداد سوئیچها افزایش یافته و حجم و قیمت محصول را افزایش می دهد.

در خصوص اینورترها ملاحظه می‌گردد که تنها از اینورترهای منبع جریان در ساختار سیستم راه انداز استفاده می گردد. همچنین در اغلب موارد از سوئیچهای تریستوری در ساختار مبدلها استفاده گردیده است. این موضوع تنوع محدودتر ساختار سیستم راه انداز را در مقایسه با درایوها نشان می دهد.

رنج ولتاژ و توان این محصولات بسیار گسترده است و همانگونه که ملاحظه می گردد ولتاژ سیستم از کمتر از ۲ کیلوولت تا ۲۵ کیلوولت را شامل می‌شود. همچنین توان خروجی سیستمها نیز از گستره ۲ مگاوات تا ۱۵۰ مگاوات در دسترس است.

۴-۴-۲-۲- شرکت‌های سازنده داخلی و محصولات آنها و توانایی و ظرفیت‌های بالقوه

در این بخش به معرفی شرکتهای داخلی تولیدکننده و تامین کننده سیستم راه انداز در حوزه نیروگاهی خواهیم پرداخت و توانایی های آنها را در حوزه ساخت و تامین و مشخصات محصولات ارائه شده را مرور خواهیم نمود.

- شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو)

MECO اولین شرکت پیشرو در زمینه سیستم‌های برق و کنترل توربین‌های بخار و گاز در ایران است. این شرکت در ماه تیر سال ۱۳۸۳ تنها با ۱۲ کارشناس کار خود را آغاز کرد. اما هم اکنون بیش از ۴۰۰ نفر با این شرکت همکاری دارند. در ماه اردیبهشت سال ۱۳۸۴، مکو لیسانس شرکت زیمنس AG را برای تولید سیستم برق و کنترل توربین‌ها و ژنراتورها کسب کرد. در ماه آذر ۱۳۸۴ نیز، مکو قرارداد لیسانس دیگری با شرکت سوییسی ABB برای تولید SEE, SFC و سیستم حفاظت ژنراتور امضا کرد.

این مجموعه در راستای نیاز گروه مپنا به صنایع تولید برق، نفت، گاز، پتروشیمی، پالایشگاه و راه آهن در زمینه های کنترل صنعتی و برق ایجاد شد. شرکت الکتریکی و کنترل مپنا اولین شرکت تولید کننده اتوماسیون و سیستم های کنترل فرآیند (DCS\FCS) در ایران است. این مجموعه با بسیاری از شرکت های شناخته شده بین المللی همکاری قدرتمندی در زمینه های کنترل/ حفاظت، سیستم های انفعالی گاز و توربین های بخار دارد.

- سیستم کنترل فرکانس (VFD) تا ۲۵ مگاوات

موتورهای سنکرون به دلیل خصوصیاتی همچون قابلیت اطمینان بالا، گشتاور مناسب، قدرت زیاد، حجم کم و کنترل دقیق سرعت مورد توجه می باشند و درصنایع نیروگاهی، صنایع شیمیایی، کارخانه های بافندگی، صنایع شیشه، سیستم حمل و جابجایی، وسایل الکتریکی خانگی، صنایع نفت وگاز و پله برقی استفاده شده اند. روش های کنترلی مورد استفاده موتورهای سنکرون عبارتند از: کنترل V/f ، وکنترل مستقیم گشتاور کنترل برداری میدان .

- سیستم راه‌انداز ژنراتورهای مقیاس بزرگ ۲۰۰ مگاولت آمپر تکنولوژی ABB

نیروگاه گازی به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تامین انرژی سال‌هاست که مورد توجه مصرف کنندگان قرار دارد. در این نیروگاه‌ها توربین به کمک انرژی حاصل از فشار گاز داغ ایجاد شده در اثر احتراق سوخت (گازوییل یا گاز) با هوا در یک محیط بسته شروع به گردش می‌کند. پس از به گردش درآمدن توربین، ژنراتور شروع به حرکت کرده و در نتیجه انرژی الکتریکی تولید می‌شود.

شکل ۳۸۴-۲ : نمایی از سیستم درایو و راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس **ABB**

هوای مورد نیاز برای ایجاد احتراق توسط کمپرسور که با شفت توربین و ژنراتور کوپل شده و به کمک توربین حرکت می‌کند، تامین می‌شود. در لحظات اولیه راه‌اندازی، دور کمپرسور به اندازه‌ای نیست که بتواند هوای مورد نیاز برای احتراق را تامین کند. به همین منظور برای راه‌اندازی اولیه توربین واحدهای گازی، از تجهیزاتی به نام سیستم‌های راه‌انداز استفاده می‌شود. ابتدا توربین به کمک فشار حاصل از پمپ‌های روغن به دور 100rpm می‌رسد سپس با کمک سیستم‌های راه‌انداز تا دور 600 rpm افزایش دور پیدا می‌کند. در دور احتراق (600 rpm) با باز شدن شیرهای سوخت و ترکیب شدن آن با هوای تولید شده توسط کمپرسور احتراق آغاز شده و انرژی حاصل از آن باعث افزایش دور توربین می‌شود. پس از رسیدن توربین به دور خود اتکایی (2100 rpm) سیستم‌های راه‌انداز از پروسه راه‌اندازی خارج شده و توربین به صورت مستقل به حرکت خود ادامه می‌دهد.

جدول ۱۱۰-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم درایو و راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس **ABB**

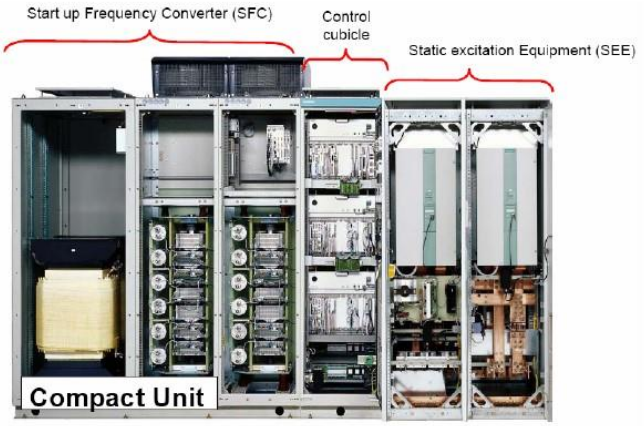
پارامتر	توضیحات
V_{in}	2090V
f_{in}	50Hz
V_{out}	1850V
I_{out}	1338A
f_{out}	50Hz

برخی ویژگی‌های محصولات این شرکت عبارتند از:

- به منظور بهینه‌سازی عملکرد سیستم از لحاظ ایمنی و نویزپذیری تمامی تجهیزات به کار گرفته‌شده در این سیستم از جمله قسمتهای ورودی و خروجی قدرت، راکتور سلفی حذف‌کننده اعوجاجات خروجی و کارتهای کنترلی سیستم در کابینتهای مستقل از یکدیگر قرارگرفته‌شده‌است
- با توجه به عملکرد مناسب لوپ‌های کنترلی و حفاظتی سیستم راه‌انداز نوسانات جریانی در سمت خط در حین راه‌اندازی بسیار ناچیز بوده و اثرگذاری سوئی بر روی سطح اتصال کوتاه فیدر تغذیه‌کننده مربوطه ندارد.
- قابلیت استارت واحدهای مختلف گازی با کمک یک سیستم راه‌انداز از طریق سیستم کراس استارت وجود دارد که در این شیوه سیستم راه‌انداز از طریق پروتکل MMS با سیستم تحریک در ارتباط کامل است.
- در این تکنولوژی سرعت روتور ژنراتور بوسیله لوپ‌های کنترلی برگرفته از ولتاژ ماشین محاسبه می‌شود و نیاز به سنسورهای محلی برای محاسبه سرعت نیست.
- در زمان راه‌اندازی کموتاسیون تریستورها در رکهای یکسوساز به صورت کموتاسیون بار بوده و در نتیجه این قابلیت برای سیستم فراهم است تا با توجه به مقدار مورد نیاز بارمناسب‌ترین توان خروجی را تامین کند.
- با توجه به سرعت پایین توربین در لحظات ابتدایی راه‌اندازی و کم بودن ولتاژ ورودی امکان کموتاسیون بار در ابتدای پروسه راه‌اندازی وجود ندارد که برای رفع این مشکل سیستم از مکانیزم دی سی لینک پالسینگ (کموتاسیون اجباری) برای رفع این مورد بهره می‌برد.

- قابلیت کار به صورت دائم

در نیروگاه‌های گازی در لحظات اولیه راه‌اندازی، دور کمپرسور به اندازه‌ای نیست که بتواند هوای مورد نیاز برای احتراق را تامین کند. به همین منظور برای راه‌اندازی اولیه توربین واحدهای گازی، از تجهیزاتی به نام سیستم‌های راه‌انداز استفاده می‌شود. سیستم راه‌انداز، مبدل فرکانسی پیشرفته‌ای است که با تبدیل ژنراتور سنکرون به موتور سنکرون در لحظات اولیه دورگیری مجموعه توربین و ژنراتور، تامین نیروی اولیه راه‌اندازی ژنراتور گاز را برعهده دارد. این سیستم به‌منظور راه‌اندازی توربین گاز V94.2با استفاده از سامانه کنترل پیشرفته SFC تحت لیسانس زیمنس در شرکت مکو طراحی و ساخته می‌شود. بدین‌ترتیب‌که در ابتدا با دریافت انرژی الکتریکی از شبکه، ژنراتور به عنوان یک موتور الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد و توربین گاز راه‌اندازی می‌شود. SFC برق متناوب ورودی را به برق DC تبدیل کرده و به منظور تطبیق فرکانس برق ورودی به ژنراتور به عنوان راه‌انداز آن را مجدداً به جریان متناوب با فرکانس مورد نیاز دور توربین در مراحل راه‌اندازی تبدیل می‌کند در حقیقت SFC یک مبدل AC/DC/AC است که فرکانس ورودی آن ۵۰ HZ و فرکانس خروجی آن از صفر تا ۳۵ HZ متغیر است. عملیات راه‌اندازی از دور صفر با SFC آغاز شده و تا دور 600rpm با پاشش سوخت و برقراری شعله و افزایش شتاب‌گیری همزمان با تولید انرژی مکانیکی در توربین ادامه پیدا می‌کند و نهایتا تا رسیدن به دور 2100rpm توربین را همراهی می‌کند و سپس از مدار خارج می‌شود. پس از رسیدن توربین به دور نامی، ژنراتور به عنوان تولیدکننده انرژی الکتریکی، در مدار قرار می‌گیرد و وظیفه اصلی خود را که تولید انرژی الکتریکی است به عهده می‌گیرد.



شکل ۳۸۵-۲ : نمایی از سیستم تحریک و راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس زیمنس

جدول ۱۱۱-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت مپنا(مکو) تحت لیسانس زیمنس

پارامتر	توضیحات
Structure	Thyristor Bridge in RECTIFIER AND INVERTER
V_{in}	1560V
f_{in}	50/60Hz
V_{out}	1400V
I_{out}	1850A
P_{out}	3.7MVA
f_{out}	0~60Hz
Cooling	AIR FORCED
dB	83dB

Reactor	2mH-1120A
Loss	36KW
DIM	2400Kg

برخی از ویژگی‌های این نوع محصولات عبارتند از:

- تعبیه اجزا سیستم راه‌انداز از جمله رک‌های تریستوری، رکتور سلفی حذف‌کننده اعوجاجات خروجی وتجهیزات کنترلی در تابلوهای مجزا در جهت بهینه‌سازی عملکرد سیستم از لحاظ ایمنی و نویزپذیری،
- استفاده از فیبر نوری برای ایزولاسیون هر چه بهتر و جداسازی فیلد کنترلی از فیلد قدرت.
- استفاده از تجهیزات کنترلی مانند درایو موتور AC ، SINAMICS GL150 برای تحقق هدف این سیستم به منظور تولید پالسهای آتش مناسب پلهای تریستوری با استفاده از پردازشگر.CU320
- عملکرد مناسب لوپ‌های کنترلی و حفاظتی سیستم راه‌انداز برای کاهش نوسانات جریانی در حین راه-اندازی در سمت خط وعدم تاثیرگذاری سوء بر روی سطح اتصال کوتاه فیدر تغذیه‌کننده مربوطه.
- برقراری ارتباط سیگنالی بین سیستم راه‌انداز و تحریک از طریق پروتکل پروفی‌باس،
- ایجاد صرفه اقتصادی قابل توجه برای امکان راه‌اندازی و سوئیچینگ بین چندین ژنراتور از طریق یک SFCواحد با استفاده از اتصال به سیستم کراسینگ‌برد،
- عدم نیازمندی به نصب ملحقات مکانیکی بر روی روتور به منظور ایجاد مانیتورینگ و اعمال کنترل-کننده‌های حلقه باز و بسته بر روی SFC برای افزایش قابلیت تعمیرپذیری آن،
- قابلیت دورگیری مجموعه توربین و ژنراتور از سرعت‌های پایین با بهره‌گیری از روش DC-link. pulsing

برخی پروژه‌های مهم انجام‌شده توسط این شرکت به قرار زیر هستند:

- قرارداد EPC نیروگاه گازی حیدریه نجف اشرف شامل یک واحد گازی به ظرفیت ۱۶۲ مگاوات
- قرارداد EPC نیروگاه گازی شرکت نیروگاه جنوب اصفهان شامل ۶ واحد گازی به ظرفیت مجموع ۹۵۴ مگاوات
- قرارداد EPC نیروگاه گازی شرکت نیروگاه زاگرس کرمانشاه شامل ۴ واحد گازی به ظرفیت مجموع ۶۴۸ مگاوات
- قرارداد EPC نیروگاه سیکل ترکیبی اردستان شامل دو واحد گازی هر یک به ظرفیت ۱۶۲ مگاوات و یک واحد توربین بخار به ظرفیت ۱۶۰ مگاوات (مجموعاً به ظرفیت ۴۸۴ مگاوات)
- قرارداد EPC نیروگاه سیکل ترکیبی جهرم شامل ۶ واحد گازی هر یک به ظرفیت ۱۵۹ مگاوات و ۳ واحد توربین بخار به ظرفیت ۱۶۰ مگاوات (مجموعاً به ظرفیت ۹۵۴ مگاوات)
- قرارداد EPC نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند شامل ۱۲ واحد گازی هر یک به ظرفیت ۹/۱۵۹ مگاوات و ۶ واحد بخار هریک به ظرفیت ۱۶۰ مگاوات (مجموعاً به ظرفیت ۲۸۷۸ مگاوات)
- قرارداد EPC نیروگاه گازی الصدر عراق شامل دو واحد گازی به ظرفیت ۱۶۲ مگاوات (مجموعاً ۳۲۴ مگاوات)

اطلاعات تماس این شرکت نیز به قرار زیر است:
کارخانه: کرج، کیلومتر ۶ جاده ملارد، بلوار مپنا
صندوق پستی: ۳۱۵۸۵۱۵۵۱

تلفن: ۱۰-۲۶۳۶۶۳۸۰۰۱
فکس: ۲۶۳۶۶۳۸۰۲۰
دفتر مرکزی: تهران، بلوار میرداماد، شماره ۲۳۱
صندوق پستی: ۱۹۳۹۵۶۴۴۸
تلفن: ۸۱۹۸۱۸۹۰
فکس: ۲۲۹۰۸۶۵۷
ایمیل: info@mapnaec.com

- شرکت خدمات نیروگاهی آهار شرق

شرکت آهار از سال ۷۹ فعالیت خود را در زمینه اتوماسیون صنعتی و ساخت کارت های الکترونیکی آغاز نموده است. از همان ابتدا بخش عمده ای از فعالیت های شرکت در بخش انرژی معطوف بود. از سال ۸۵ شرکت سیاست تخصص گرایی را اتخاذ نموده و با تشخیص نیازهای عمده کشور در صنایع بالادستی، فعالیت های خود را در سایر صنایع متوقف و با سرمایه گزاری در حوزه تولید دانش دارای تکنولوژی های بالا و بومی سازی این بخش در صنایع انرژی ماموریت خود را تعریف نمود.

اهداف میان مدت انتخاب شده در این مسیر، بومی سازی کامل سیستم های کنترل مورد نیاز صنایع انرژی محور شامل نیروگاه ، پالایشگاه ، پتروشیمی و نفت و گاز می باشد. سیستم های کنترل انواع توربین های گازی و بخار، سیستم های تحریک ژنراتور و تجهیزات جنبی مربوطه از این دست بوده است.

همچنین دپارتمان الکترونیک شرکت که سابقه طراحی بیش از ۵۰۰ نوع کارت الکترونیکی نیروگاه و پالایشگاهی را در کارنامه دارد، توانسته است، بخش مهمی از سیستم DCS یوکوگاوا CENTUM 3000 را بومی سازی نماید و این پروژه در سایر بخش های این محصول ادامه دارد. ماموریت بعدی شرکت ارایه سیستم های کنترل ذکر شده با سخت افزار کاملا بومی می باشد که تاکنون بخش زیادی از این امر نیز محقق شده است.

هم اکنون ساختمان شرکت آهار با وسعت ۱۸۰۰ متر مربع در پارک علم و فناوری خراسان مستقر بوده و از شرکت های دانش بنیان پیش رو محسوب می گردد. بخش های تخصصی شرکت عبارتند از دپارتمان الکترونیک، دپارتمان توربین های گازی و بخار، دپارتمان سیستم های حفاظت و تحریک ژنراتور دفتر فنی و بخش تحقیق و توسعه. هم اکنون بیش از ۱۴۰۰ مگاوات از ظرفیت برق کشور با سیستم های تحریک ژنراتور و کنترل توربین بومی شرکت آهار، تولید می گردد.

- سیستم‌های کنترل توربین های نیروگاهی

سیستم کنترل رامیار برای نصب بر روی توربین های گازی طراحی شده است. در این سیستم سعی شده است تا از جدید ترین تکنولوژی کنترلرهای موجود استفاده گردد. در انتخاب سخت افزار، موجودی، استانداردهای انتخاب شده، مرسوم بودن در صنعت ایران و فراوانی خدمات مد نظر بوده است.

هدف اصلی طراحی این کنترلر به منظور جایگزینی با سیستم های قدیمی اسپیدترونیک مارک I و II بوده است. اما پر واضح می باشد که با توجه به ساختار یکسان توربین های گازی امکان سفارشی نمودن آن و جایگزینی سایر کنترلرها وجود دارد.

این سیستم توانایی کنترل توربین های دور ثابت (برای راه اندازی ژنراتورهای سنکرون) و همچنین دور متغیر (برای راه اندازی پمپ ها و غیره) را دارا می باشد. همچنین امکان بهره برداری در مدهای Isochronous و Droop برای این کنترلر پیش بینی شده است. بخش کنترل دما دارای مدهای Base ، Peakو Peak reserve می باشد.

تمامی سیستم کنترل به صورت کاملا افزونه شده (Redundant) و بخش های حفاظت به صورت Fail safe طراحی شده است. این سیستم دارای مانیتورینگ محلی و ریموت برای اتاق فرمان مرکزی می باشد. همچنین در آن سیستم های مهندسی و نگهداری نیز پیش بینی شده است. تمامی رویدادها در این سیستم برچسب زمانی خورده و امکان بازیابی آنها در صورت نیاز وجود دارد.

ساختار کلی کنترلر بر پایه خانواده PCS7 زیمنس (SIEMENS) استوار می باشد. از شاخص های این طراحی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از ساختار DCS
- کنترلر اصلی از خانواده ۴۰۰
- کنترلر کمکی بسیار سریع برای پردازش سیگنال های گاورنر
- ساختار کاملا افزونه (Redundant) خانواده H
- طراحی Fail safe برای بخش های حفاظت تا سطح SIL3 بر اساس استاندارد IEC61508
- بهره بردن از سیستم مانیتورینگ و پردازش اطلاعات بسیار قوی زیمنس(WinCC)

مهمترین ویژگی‌های این سیستم کنترل عبارتند از:

- ایجاد مد راه اندازی و خاموشی تمام اتومات توربین
- دارای سیستم عیب یاب هوشمند
- حذف تنش های حرارتی در راه اندازی اتومات
- افزایش سرعت پاسخ دهی سیستم
- افزودن سامانه حفاظت در برابر بیشینه سرعت با منطق ۲ از ۳ مستقل از سخت افزار
- امکان کارگزاری برای توربین های دور ثابت (توربوژنراتور) و دور متغیر (توربوکمپرسور)
- مدهای کنترل دمای Peak و Base و Peak reserve
- افزونگی (Redundancy)
- سطح SIL3 استاندارد IEC61508
- امکان بهره برداری در مدهای Droop و Isochronous
- قابلیت Fail safe
- سیستم مانیتورینگ و پردازش اطلاعات زیمنس WinCC
- پردازنده ی مجزا جهت سیگنال های گاورنر
- ذخیره ی رخدادها و خطاهای محلی بر روی compact flash
- مجهز به سیستم های حفاظت سرعت، شعله، لرزش و راه انداز سروو والوها
- برقراری ارتباط دیتا با سیستم کنترل بویلر
- امکان راه اندازی واحد در هر دو مد توربین پیرو ، بویلر پیرو
- افزایش بهره وری و آماده به کار بودن واحد

شکل ۳۸۶-۲ : نمایی از سیستم کنترل توربین رامیار شرکت آهار شرق

- الگوریتم کنترل

برای کارکرد صحیح و نرمال، در توربین های گاز از سیستم های کنترل و حفاظتی مختلفی استفاده می شود. بدون حضور یک سیستم کنترل مناسب در توربین های گاز، خطرات زیادی عملکرد مطمئن و امن سیستم را تهدید می کند و ممکن است در یک زمان کوتاه درقسمت کمپرسور واماندگی یا استال به وجود آید و یا دمای قسمتهایی از توربین از حد مجاز بیشتر شده و یا سرعت محور توربین از سرعت مجاز عبور کند که همه این ها به معنای وقوع یک حادثه خطرناک محسوب می گردد.

از این رو یک سیستم کنترل باید از طراحی مطمئن برخوردار بوده و قابلیت دسترسی و اطمینان بالایی نیز داشته باشد. ممکن است توربین های گازی در کاربردهای گوناگونی مانند توربوژنراتور، توربوپمپ، توربوکمپرسور و غیره به کار برده شوند. از این رو بسته به نوع کاربرد توربین گاز، سیستم های کنترل بایستی پارامترهای مختلف و گوناگونی را بررسی کرده و دستورات کنترلی خود را صادر نمایند. سیستم کنترل با تغییر دادن پارامترهایی نظیر میزان سوخت، سرعت دورانی شفت،

درجه حرارت هوای ورودی یاخروجی توربین و درجه حرارت هوای ورودی کمپرسور، میزان توان توربین را کنترل می کند و سعی در نگه داشتن توربین در محدوده ی ایمن و پر بازده میکند. علاوه بر بخش های کنترلی، بخش های حفاظتی نیز به صورت موازی و ناظر بر بخش های کنترلی عملیات مربوط به خود را انجام می دهند.

معمولا الگوریتم کنترل سه وظیفه عمده بر عهده دارد:

-کنترل راه اندازی و توقف

- کنترل های متداول در حین کار

-حفاظت پارامترهای حیاتی

- سیستم کنترل‌کننده

توربین های گاز غالباً دارای ۴ کنترلر ذیل می باشند:

- کنترلر شروع کار

-کنترلر سرعت

-کنترلر بار

-کنترلر بار توربین

سیستم های کنترل کننده، جریان سوخت ورودی به اتاق احتراق را جهت حصول موارد زیر، کنترل می کند:

۱-حفظ سرعت ثابت شفت در همه بارها

۲-کنترل شتابگیری شفت در حدود مجاز (در حین راه اندازی)

۳-کنترل دمای پره ها و پوسته داخلی توربین

۴- کنترل میزان بارگیری در حد نیاز واحدهای تولیدی

برای کنترل پارامترهای فوق توربین های گاز غالباً دارای ۵ کنترل کننده ذیل می باشند:

کنترل کننده راه اندازی، کنترل کننده سرعت، کنترل کننده شتابگیری، کنترل کننده بار، کنترل کننده دمای توربین.

این ۵ کنترل کننده به صورت موازی محاسبات مربوط به بخش خود را انجام می دهند، ولی همواره خروجی کنترل کننده ای که امن ترین مقدار سوخت را پیشنهاد می دهد به عنوان رفرنس کنترل سوخت اعمال می گردد. به همین دلیل به نوعی در سیستم کنترل نیز بحث های حفاظتی توربین لحاظ می گردد تا در صورت عملکرد نادرست یک کنترلر، بقیه کنترلر ها به صورت پشتیبان مقدار سوخت را در حد مجاز قرار دهند.

- سیستم حفاظت

در کنار کنترل کننده و ناظر بر آنها، واحد های حفاظتی قرار دارند که به طور معمول شامل: حفاظت دما، حفاظت لرزش، حفاظتOverspeed ، سیستم اعلام حریق. همانطور که قبلاً گفته شد، بخش های حفاظتی همواره در حال رصد پارامتر مورد حفاظت خود به صورت کاملاً مستقل از بخش کنترل می باشند و در صورت تجاوز از حد مجاز، ابتدا هشدار(آلارم) صادر کرده و اپراتور را از عملکرد نادرست سیستم آگاه می کند و در صورتی که نقص برطرف نگردد یا احتمال آسیب دیدن توربین و متعلقات آن وجود داشته باشد، امکان توقف اضطراری توربین توسط حفاظت مربوطه وجود دارد.

- ساخت سیستم راه انداز استاتیک

این شرکت پس از ساخت سیستمهای تحریک چند نیروگاه و ارائه سیستمهای کنترلهای توربین، برای اولین بار قرارداد ساخت سیستم راه انداز استاتیک نیروگاه سیکل ترکیبی یزد را در آذر ماه سال ۱۳۹۹ منعقد نموده است. این شرکت قرار است که دو واحد گازی ۶۸ مگاواتی این نیروگاه را با یک دستگاه راه انداز استاتیک راه اندازی نماید. این پروژه در دست انجام می باشد. مشخصات این سیستم مطابق جدول ذیل می باشد.

جدول ۱۱۲-۲ : جدول مشخصات فنی سیستم راه انداز شرکت آهار

پارامتر	توضیحات
Structure	Thyristor Bridge in RECTIFIER AND INVERTER
V_{in}	1700V
f_{in}	50/60Hz
V_{out}	1700V
P_{out}	1950KW
f_{out}	0~60Hz
Cooling	AIR FORCED
ENV	0~45℃
DIM	4 Cells each: 90*90*200Cm-600Kg

برخی پروژه‌های انجام‌شده توسط این شرکت به قرار زیر هستند:

- نیروگاه های مشهد، کنگان، کیش، خارک و سرخس سیستم کنترل واحد گازی ۲۵ مگاواتی آلستوم
- نیروگاه خارک، سرخس و پلی اکریل اصفهان سیستم کنترل واحد گازی ۲۵ مگاواتی جنرال الکتریک
- نیروگاه های ری، سیستم کنترل ۳ واحد گازی ۳۲ مگاواتی ACEC بلژیک
- نیروگاه رامین اهواز، سیستم کنترل ۲ واحد بخار ۳۲۰ مگاواتی LMZ روسیه

اطلاعات تماس این شرکت نیز مطابق زیر است:

دفتر مرکزی :مشهد- کیلومتر ۱۲ بزرگراه مشهد قوچان- پارک علم و فناوری خراسان- ساختمان آهار

شماره تماس:05135424100

شماره فکس:05135424161

ایمیل:info@aharco.com

واحد فروش:sale@aharco.com

دفتر امارات: UAE@aharco.com

- شرکت فناوران صنعت لوتوس (تعمیر کننده)

متخصصان این شرکت با در اختیار داشتن دانش طراحی و ساخت انواع اینورتر و باتری شارژر و آشنایی با برندهای مطرح در این حوزه، آماده ارائه خدمات فنی در زمینه مشاوره، تست و تعمیر این تجهیزات به صنایع کشور می باشد.

اطلاعات تماس این شرکت نیز به قرار زیر است:

آدرس: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار دادمان، پژوهشگاه نیرو، ساختمان رویش، واحد ۳۰۶

شماره تماس: 021-22342204 و 021-88581762

پست الکترونیک: info@Lotus-tech.com

۵-۴-۲-۲- قیمت محصولات

در خصوص قیمت سیستمهای راه انداز استاتیک نیروگاهی بر اساس محصولات و برند شرکتها قیمتهای متفاوتی وجود دارد. سیستمهای راه انداز برندهای معتبر اروپایی به ازای هر کیلووات توان خروجی به طور متوسط حدود ۲۰۰ تا ۲۵۰ دلار قیمت دارند. البته برای برندهای چینی و یا اروپای شرقی این اعداد به حدود نصف و یا حتی کمتر هم می‌رسد. در داخل کشور سیستم راه انداز شرکت آهار به ازای هر کیلووات توان خروجی حدود ۱۴۰ دلار و این قیمت برای سیستم تحت لیسانس زیمنس ارائه شده توسط شرکت مکو حدود ۲۰۰ دلار در هر کیلووات می باشد.

۶-۴-۲-۲- برآورد توانایی ساخت داخل و ارزیابی توانمندی شرکتهای داخلی

در بخش‌های قبل به بررسی شرکتهای داخلی فعال در زمینه سیستم راه انداز نیروگاه های حرارتی پرداخته شد. همانگونه که ملاحظه گردید در مقایسه با شرکتهای سازنده درایو، تعداد این شرکتها بسیار معدود است.

شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو) شرکتی بسیار توانمند است که محصولات آن تحت لیسانس زیمنس و ABB می باشد. فعالترین شرکت در زمینه تجهیزات نیروگاهی در ایران محسوب شده و بیشترین پروژه های نیروگاهی در کشور و برخی از کشورهای منطقه را به انجام رسانده است. به گونه ای که برند این شرکت در داخل کشور بسیار معتبر بوده و در زمینه حوزه فعالیت خود اعتماد صنایع و شرکتهای نیروگاهی را به خوبی جلب نموده است. این شرکت قابلیت ساخت درایو کنترل دور تا ۲۵ مگاولت آمپر را داراست که در حوزه داخل کشور یک رکورد محسوب می گردد. همچنین این شرکت سازنده راه اندازهای ژنراتورهای مقیاس بزرگ با توان ۲۰۰ مگاولت آمپر را تحت لیسانس ABB در اختیار دارد. این راه اندازها قابلیت ولتاژ و جریان خروجی تا مقادیر ۱۸۵۰ ولت و ۱۳۳۸ آمپر را دارا می باشند. از دیگر محصولات این شرکت سیستم راه انداز ژنراتورهای سنکرون نیروگاهی تحت لیسانس زیمنس آلمان است که تا توان ۳/۷ مگاولت آمپر و ولتاژ ۱۴۰۰ ولت با تکیه بر پلهای تریستوری توان بالا در ساختار رکتیفایر و اینورتر ارائه می گردد.

طبق اطلاعات اخذ شده از این شرکت و مصاحبه با جناب آقای مهندس رسولی مدنی مدیر مهندسی واحد مربوطه، راه اندازهای استاتیکی که توسط این شرکت ارائه می گردد کاملا از ماژولها و محصولات شرکتهای زیمنس و ABB می باشد و تنها توسط شرکت مکو اسمبل می گردد. این محصولات دارای تاییدیه های لازم از شرکتهای سازنده اصلی خود می باشد. البته در حال حاضر این شرکت در زمینه ساخت داخل راه انداز استاتیک اقدام نموده به نحوی که طراحی آن تقریبا به اتمام رسیده و مراحل ساخت آزمایشگاهی آن آغاز گردیده است.

این شرکت دارای امکانات تستهای الکتریکال و استقامت عایقی می باشد. همچنین امکان تستهای تحت بار تا توان ۸۰۰ کیلوولت آمپر نیز در محل کارخانه و در زمان محدود فراهم می باشد. این شرکت از طریق مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک تستهای EMC مورد نیاز خود را انجام می دهد.

شرکت خدمات نیروگاهی آهار نیز از شرکتهای فعال در این حوزه می باشد که تجربه خوبی در ارائه سیستمهای کنترل توربین نیروگاهی در اختیار دارد. خوشبختانه اخیرا وارد حوزه ساخت بومی سیستم راه انداز استاتیک با پروژه نیروگاه سیکل ترکیبی یزد گردیده است. در این پروژه شرکت در حال ساخت یک واحد راه انداز استاتیک برای دو واحد گازی هر کدام به ظرفیت ۶۸ مگاوات می باشد.

طبق اطلاعات کسب شده و مصاحبه با جناب آقای مهندس محمدی از مدیران و متخصصان فنی این شرکت، این شرکت قابلیت ساخت ماژولهای قدرت و بورد درایور و سیستم کنترل را دارد و در خصوص سیستم مانیتورینگ از سیستم زیمنس استفاده می نماید. در صورت نیاز به ترانس SFC خرید از ایران ترانسفو انجام می پذیرد. ضمنا محفظه تابلو نیز از شرکتهای داخلی تامین می گردد.

این شرکت توانایی انجام تستهای الکتریکال و استقامت عایقی و همینطور توانایی انجام تستهای تحت بار محدود (تا ۵۰ کیلوولت آمپر) را در داخل شرکت دارد. البته برای انجام تستهای فشار قوی از امکانات پژوهشگاه نیرو استفاده نموده و برای انجام تست سازگاری الکترومغناطیسی از امکانات EPIL بهره می برد.

این شرکتهای داخلی با توسعه تکنولوژی و دانش فنی خود و حمایتهای بیشتر می توانند زمینه رشد صنعت نیروگاهی در کشور را سبب شوند و در بسیاری موارد نیاز صنایع را در زمینه ساخت سیستمهای راه انداز نیروگاهی را برطرف نمایند. به نظر می رسد که با حمایتهای بیشتر از سازندگان سیستمهای درایو در داخل کشور و ارائه اطمینان در خصوص خرید محصولات

راه انداز استاتیک ایشان به جای نمونه‌های خارجی می‌توان به گسترش تولید این تجهیزات در داخل کشور و رفع نیاز به واردات این ادوات امیدوار بود.

۷-۴-۲-۲- برآورد TRL بین المللی و داخلی در حوزه سیستمهای راه انداز نیروگاه حراراتی

یکی از روش های ارزیابی فنی پروژه ها به کارگیری ابزار TRL یا «سطح آمادگی فناوری» است. با توجه به تجربیات کشورهای دیگر در زمینه ارزیابی سطح بلوغ فناوری ، TRL به عنوان ابزاری مفید برای ارزیابی سطوح آمادگی فناوری مطرح شده است و استقبال گسترده جهانی به ویژه در صنایع بزرگ نسبت به آن وجود دارد .TRL ابزاری تحلیلی و تفسیری برای ارزیابی و سنجش سطح آمادگی و بلوغ فناوری در توسعه محصول همراه با ریسک پذیری در فناوری توسعه محصولات جدید است. هدف از به کارگیری ابزار TRL ، کاهش ریسک هزینه های فناوری، تعدیل هزینه‌های آزمون و ارتقای فناوری است. مهم ترین مزایای ارزیابی سطح فناوری عبارت است از:

- سطح بندی و پیاده سازی آمادگی فناوری
- حمایت از سیستم پشتیبانی تصمیم گیری
- مدیریت ریسک
- کاهش هزینه ها
- مفید برای مدل های سرمایه گذاری
- تعیین زمان اجرا و انتقال فناوری در جامعه

ارزیابی سطح آمادگی هر تکنولوژی در قالب ۹ سطح تقسیم‌بندی شود که این سطوح در جدول ذیل تشریح گردیده است.

جدول ۱۱۳-۲ : سطوح ارزیابی سطح آمادگی تکنولوژی **TRL**

	سطوح آمادگی فناوری(TRL)	توصیف
۱	**مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آنها**	تحقیقات علمی در این مرحله به دانش کاربردی و دانش توسعه‌ای منتهی می‌گردد. مثال :مقالات علمی حوزه فناوری
۲	**مدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن**	در این مرحله اختراع انجام شده است. بهره‌برداری در این مرحله تقریبی و مفهومی است. مثال: دانش استخراج شده از یک مقاله علمی.
۳	**اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه**	این مرحله شامل مطالعات دقیق علمی و تحلیلی و بررسی‌های آزمایشگاهی است تا اعتبار سنجی لازم صورت پذیرد. مثال: اجزای غیر یکپارچه یک مطالعه تحقیقاتی در حوزه فناوری که هنوز رسمی و اعلام نشده‌اند.
۴	**دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی**	با کنار هم قرار گرفتن اجزای یک سیستم، فناوری آماده به کار شکل میگیرد. البته هنوز سطح اطمینان و عملکرد فناوری پائین است. مثال: تکمیل شدن یک جزء سخت افزاری برای آزمایش نهائی در سیستم فناوری.
۵	**دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد**	با انجام آزمایشات تکمیلی، سطح اطمینان بالاتری حاصل می‌آید. اجزای اولیه یک فناوری در ابعاد و دقت واقعی و غیرآزمایشگاهی تهیه شده و در کنار یکدیگر برای آزمون نهائی واقعی مهیا میشوند. مثال: آزمایش نهائی یک سیستم.
۶	**دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد**	مدل نمایشی که خروجی سطح TRL-5 به حساب می‌آید و البته در محیط واقعی با موفقیت آزمایش شده است.مثال: آزمایش یک محصول پروتوتایپ در یک آزمایشگاه که این محصول قابلیت بکارگیری مطمئن در محیط شبیه سازی شده را نیز داراست.

۷	**اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی**	محصول فناوری در یک محیط عملیاتی متفاوت با شرایط اولیه آزمون واقعی بکار گرفته می‌شود. این مرحله سطح بلوغ یافته TRL-6 به حساب می‌آید. نیازمند وجود یک محیط و فضای عملیاتی متفاوت برای بکارگیری سیستم کامل فناوری و اجزا در آن است.مثال: آزمایش سیستم در محیطی متفاوت و واقعی.
۸	**تکمیل سیستم نهایی و دستیابی به شرایط لازم برای کاربرد عملیاتی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولید پایلوت**	فناوری آماده بهره برداری تحت وضعیت‌های مختلف است. در این مرحله ارزیابی و تست‌های نهائی پایان یافته و سیستم بصورت یک پکیج قابل اجرا و انتقال مورد تصور است. مثال: سیستم مورد بهره‌برداری در شرایط مختلف.
۹	**راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید**	بکارگیری واقعی در وضعیت‌های شبیه بحران و عملیاتی کامل که باعث رفع مشکلات نهائی یک سیستم فناوری گردیده و اطمینان ۱۰۰ درصدی را در پی خواهد داشت. مثال: سیستم مورد بهره‌برداری تحت شرایط واقعی.

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در بخشهای قبلی، ملاحظه می گردد که شرکتهای معتبر بین المللی سازنده انواع سیستمهای راه انداز استاتیک نیروگاهی بوده و محصولات خود را به نیروگاه‌های حرارتی مختلف در سراسر دنیا ارسال می نمایند. البته در مقایسه با درایوها تکنولوژی‌های مورد استفاده در این تجهیزات از تنوع کمتری برخوردار می باشد. سوئیچهای مورد استفاده در این تجهیزات عمدتا از نوع تریستوری بوده و اینورتر و یکسوکننده به صورت پلهای تریستوری سه فاز می باشند. ضمنا از تکنولوژی ماژولار و چندسطحی در ساخت این تجهیزات کمتر استفاده گردیده است که احتمالا به دلیل عدم کارکرد دائم این تجهیزات می باشد. لذا با توجه به تولیدات تکامل یافته شرکتهای معتبر بین المللی میتوان TRL8-9 را برای این تجهیزات در نظر گرفت.

اما در زمینه تولید داخلی متاسفانه شرکتهای بسیار معدودی در این حیطه وارد شده اند. شرکت آهار شرق در حال اولین تجربه ساخت راه انداز خود برای نیروگاه سیکل ترکیبی یزد می باشد. شرکت مکو نیز که زیر مجموعه شرکت مپنا می باشد، فعالترین شرکت داخلی در این زمینه است. البته این شرکت عملا تحت لیسانس شرکتهای زیمنس و ABB عمل نموده و برخی اجزای سیستم نیز متعلق به تامین کننده اصلی می باشد. لذا تلاش زیادی می‌بایست در زمینه بومی سازی و فراگیر شدن تولیدات داخلی در این حوزه صورت پذیرد. بنابراین لازم است که این شرکتها و دیگر شرکتهای معتبر داخلی نسبت به توسعه جدی تحقیقات علمی و آزمایشگاهی جهت ساخت نمونه صنعتی بومی قابل اتکا همت گمارند. با توجه به جمیع جوانب سطح آمادگی داخلی برای این فناوری را می توان به صورت TRL5-7 دسته بندی نمود.

۸-۴-۲-۲- سهم بازار و میزان واردات و صادرات سیستم راه انداز نیروگاه حرارتی

در این بخش به سهم بازار و میزان صادرات شرکتهای داخلی در حوزه سیستم راه اندازها و استارترهای ژنراتور و میزان واردات این محصولات به داخل کشور جهت نیازهای صنایع می پردازیم.

- سهم بازار و میزان صادرات

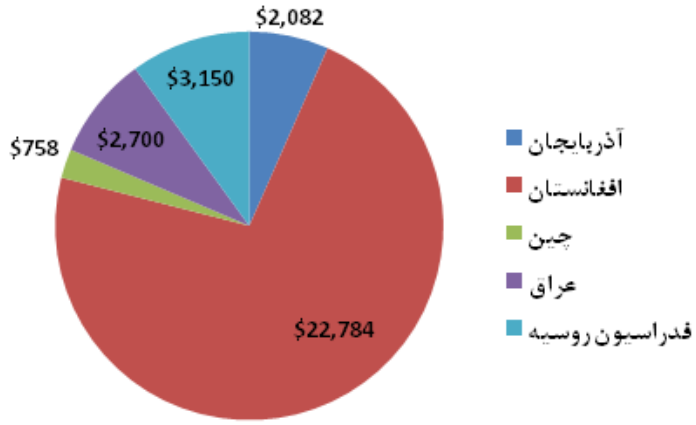
جدول زیر آمار صادرات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها را که از طریق گمرکات مختلف کشور در سال ۱۳۹۷ به خارج کشور ارسال گردیده‌اند، را نمایش می دهد. اطلاعات درج شده در این جدول شامل سال و ماه انجام صادرات هر ردیف، نام کمرگ ترخیصی، نام کشور مقصد، مشخصات و کد تعرفه محصول، وزن محموله، مبلغ ریالی و مبلغ دلاری صادرات صورت گرفته می باشد.

جدول ۱۱۴-۲ : اطلاعات صادرات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷

ردیف	ماه	سال	نام گمرک	نام کشور	شماره تعرفه	توضیحات تعرفه	وزن - کیلوگرم	ارزش - ریال	ارزش - دلار
1	۴	۱۳۹۷	مشهد	افغانستان	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۲,۲۰۰	758,560,000	17,600
2	۱۰	۱۳۹۷	آستارا	فدراسیون روسیه	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۵۲۵	308,577,150	3,150
3	۱۱	۱۳۹۷	باشماق	عراق	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۹۷۰	236,387,700	2,700
4	۵	۱۳۹۷	مشهد	افغانستان	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۴۴۸	150,528,000	3,584
5	۹	۱۳۹۷	آستارا	آذربایجان	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و	۴۴۰	123,679,046	1,432

			ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر						
6	1	0	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	۱۰۰	63,162,850	758
7	9		1397	مشهد	افغانستان	۸۵۱۱۴۰۹۰	۶۰	42,341,760	480
8	3		1397	مشهد	افغانستان	۸۵۱۱۴۰۹۰	۱۰۰	33,714,400	800
9	8		1397	مشهد	افغانستان	۸۵۱۱۴۰۹۰	۴۰	27,423,680	320

10		1397	بیله سوار	آذربایجان	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۵۰۰	19,740,000	470
11		1397	آستارا	آذربایجان	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱۲۵	5,220,000	120
12		1397	آستارا	آذربایجان	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۶۴	2,520,000	60
							مجموع کل 1,771,854,586 ریال	**مجموع کل 31,474 دلار**	



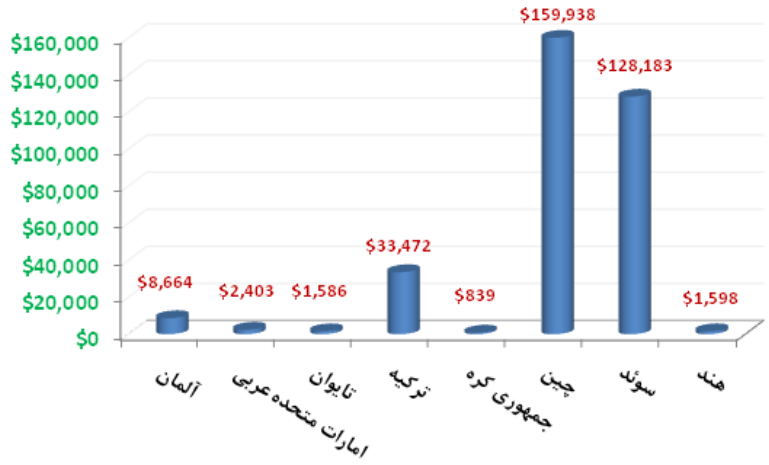
شکل ۳۸۷-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات صادرات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها در سال ۱۳۹۷

شکل ۳۸۷-۲ اطلاعات جدول فوق را به صورت گرافیکی و خلاصه نشان می دهد. همانگونه که ملاحظه می گردد، مجموع صادرات استارترهای موتور و ژنراتور در سال ۹۷ به میزان بیش از ۵/۵ تن و به ارزش ۳۱۴۷۴ دلار انجام شده است. مقصد صادرات نیز کشورهای آذربایجان، افغانستان، چین، عراق و روسیه بوده است. البته حدود ۷۰٪ ارزش صادرات به کشور افغانستان صورت گرفته است.

- سهم بازار و میزان واردات

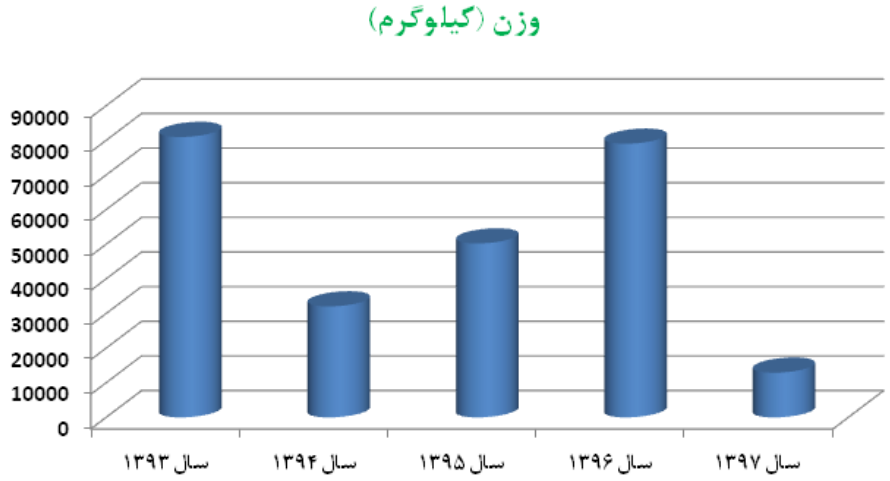
اگر بخواهیم از وضعیت وارادات همین اقلام در سال ۱۳۹۷ برآوردی داشته باشیم، جدول ۶-۲ آمار واردات راه اندازها از طریق گمرکات مختلف کشور در سال ۱۳۹۷ را نمایش می دهد. این جدول به دلیل طولانی بودن در ضمیمه الف آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود این اقلام به میزان وزنی حدود ۱۳ تن و به ارزش دلاری بیش از ۳۳۰.۰۰۰ دلار از مبدا کشورهای آلمان، سوئد، چین، هند، کره جنوبی، ترکیه، تایوان و امارات متحده عربی وارد کشور گردیده است.

شکل ۳۸۸-۲ نمودار گرافیکی اطلاعات واردات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها در سال ۱۳۹۷ را نشان می دهد. بیشترین واردات از کشورهای چین و سوئد به ترتیب حدود ۱۶۰.۰۰۰ دلار و ۱۲۸.۰۰۰ دلار انجام پذیرفته است. پس از این دو کشور که حدود ۸۵٪ واردات این تجهیزات از آنها صورت می‌پذیرد، کشور ترکیه نیز نقش پررنگی در صادرات این تجهیزات به کشورمان را دارد. همچنین کمترین میزان واردات سیستمهای راه انداز و استارتر مربوط به کشورهای جمهوری کره و تایوان می باشد.

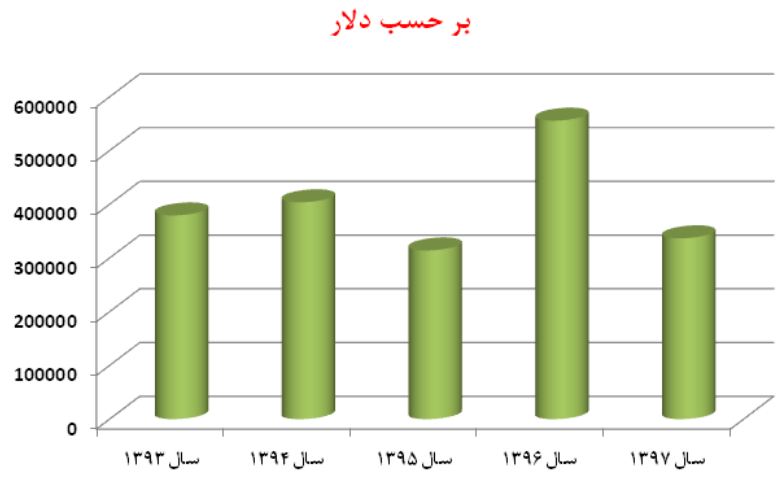


شکل ۳۸۸-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات استارتر و راه انداز موتورها و ژنراتورها در سال ۱۳۹۷

برای اینکه روند واردات را در سالهای اخیر رصد نماییم، اطلاعات واردات مربوط به سالهای ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ را مورد ارزیابی قرار می دهیم. در شکل ۳۸۹-۲ نمودار وزنی سیستمهای راه انداز وارداتی طی سالهای مذکور نشان داده شده است. همچنین نمودار ارزش دلاری واردات صورت گرفته نیز در شکل ۳۹۰-۲ نشان داده شده است.



شکل ۳۸۹-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات سیستمهای راه انداز طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص وزنی



شکل ۳۹۰-۲ : نمودار گرافیکی اطلاعات واردات سیستمهای راه انداز طی پنج سال منتهی به سال ۱۳۹۷ با شاخص هزینه

از نمودارها ملاحظه می گردد که پس از افتی که در میزان واردات در سال ۱۳۹۴ رخ داده، طی سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ واردات رشد قابل توجهی داشته است. البته در سال ۱۳۹۷ دوباره شاهد کاهش شدید واردات راه اندازها می باشیم. اما یکی از نکات جالب آن است که اگرچه میزان واردات در سال ۱۳۹۴ نسبت به سال ۱۳۹۳ کاهش محسوس حدود ۵۰ درصدی داشته است، اما هزینه واردات نسبت به سال ۱۳۹۳ حتی افزایش داشته است. این موضوع با مقایسه هزینه واردات در سالهای ۱۳۹۷ و ۱۳۹۵ نیز صدق می نماید. با آنکه میزان واردات در این سال نسبت به سال ۱۳۹۵ بیش از ۷۰ درصد کاهش داشته است، اما هزینه نسبت به سال ۱۳۹۵ کمی افزایش داشته است. حتی با مقایسه میزان و هزینه واردات طی سالهای متوالی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۶ نیز می توان به این عدم تناسب پی برد. به نظر می رسد که فشار تحریمهای تکنولوژی و مالی در افزایش هزینه واردات موثر بوده است.

۵-۲-۲- سیستم‌های تحریک

مساله حفظ پایداری، از مسائل مهم و عمده و از ضروریات سیستم‌های قدرت توسعه یافته است. معمولا مسأله پایداری به عنوان مسأله حفظ عملکرد سنکرون ژنراتورها شناخته می‌شود و یکی از اجزای شبکه که نقش بسیار مهمی در حفظ پایداری و تنظیم ولتاژ و توان تولیدی ژنراتورهای سنکرون دارد، سیستم تحریک ژنراتور است.

در این بخش به بررسی انواع و فن‌اوری‌های ساخت سیستم‌های تحریک ژنراتور سنکرون پرداخته شده است. در ابتدا، بیان تاریخچه ساخت، اجزا و مشخصات، درخت و چرخه عمر فن‌اوری‌های مرتبط انجام شده است. در بخش بعدی، انواع فن‌اوری‌های سیستم تحریک به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نیز شرکت‌های پیشرو داخلی و خارجی معرفی و محصولات متنوع آنها با یکدیگر مقایسه شده است. سپس به برآورد TRL بین‌المللی و داخلی در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاه حرارتی پرداخته شده است. بخش بعدی به بیان سهم بازار و میزان واردات و صادرات سیستم تحریک در حوزه نیروگاه حرارتی اختصاص دارد. شناسایی سیاست‌ها و متغیرهای ملی و بین المللی تاثیرگذار بر محیط ساخت داخل و تجارت سیستم تحریک در حوزه نیروگاه حرارتی در بخش پایانی حوزه درایو ارجاع داده شده است. در انتها لیست پروژه‌های پیشنهادی برای مطالعات آتی ارایه گردیده است.

وظیفه اصلی سیستم تحریک برای ژنراتورهای سنکرون، حفظ ولتاژ ترمینال ژنراتور در یک سطح ثابت یا کنترل آن با تأمین جریان مستقیم سیم پیچ میدان است. اگرچه یک ژنراتور سنکرون را می‌توان نوعی مدل ژنراتور دانست که انرژی جنبشی و جریان میدان را به عنوان ورودی و ولتاژ ژنراتور را به عنوان خروجی می‌گیرد، اما همچنین مدلی است که می‌تواند تحت تأثیر ویژگی بازخورد بار قرار گیرد [۱-۳].

یک سیستم تحریک را می‌توان به یک کنترل کننده ولتاژ خروجی و یک یکسوساز کنترل فاز – که پس از دریافت سیگنال‌های کنترل، جریان مستقیم را تامین می‌کند– تقسیم نمود [۵،۴]. قسمت کنترل کننده ولتاژ متشکل از یک تنظیم‌کننده ولتاژ خروجی ترمینال است که باید بتواند با تعیین بهترین حالت عملکرد در حد ظرفیت ژنراتور، از سیستم تحریک و ژنراتور محافظت کند. یکسوکننده کنترل فاز با تبدیل جریان متناوب ترانسفورماتور تحریک به جریان مستقیم، آن را به سیستم میدان ژنراتور می‌رساند. سیستم تحریک همچنین باید بتواند ولتاژ ترمینال خروجی ژنراتور را با کنترل خودکار جریان میدان مطابق با تغییرات ولتاژ ترمینال و توان راکتیو / فعال ژنراتور سنکرون در محدوده عملکرد مداوم آن پایدار نگه دارد [۷،۶].

در یک ژنراتور برای تولید ولتاژ می‌بایست حرکت نسبی بین میدان مغناطیسی و سیم پیچی وجود داشته باشد. میدان مغناطیسی یا توسط یک آهنربای دائمی تولید می‌شود و یا بوسیله عبور جریان از سیم پیچ که روی یک هسته مغناطیسی مناسب پیچیده شده است. در ژنراتورهای بزرگ برای تولید میدان مغناطیسی در ژنراتور اصلی، از ژنراتور کوچکی برای تأمین جریان الکتریکی سیم پیچ استفاده می شود تا استفاده از یک آهنربای دائمی. این ژنراتور کوچک ژنراتور تحریک نامیده می‌شود [۸].

جریان تحریک (و ولتاژی که باعث بوجود آمدن آن می‌شود) با اندازه‌گیری ولتاژ خروجی و توسط تنظیم کننده ولتاژ ژنراتور کنترل می‌شود. هنگامیکه ولتاژ خروجی تغییر می‌کند، تنظیم کننده ولتاژ (چه خودکار و یا دستی) ولتاژ سیم‌پیچ‌های میدان نصب شده در روتور را از طریق حلقه های لغزش تنظیم شده و یا تحریک کننده بدون جاروبک، افزایش (یا کاهش) می‌دهد. افزایش ولتاژ اعمال شده به سیم‌پیچ‌ها، جریان را در سیم‌پیچ‌های میدان افزایش می‌دهد و باعث قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی و به تبع آن افزایش ولتاژ خروجی ژنراتور می‌شود[۹،۱۰].

۱-۵-۲-۲- تاریخچه سیستم‌های تحریک

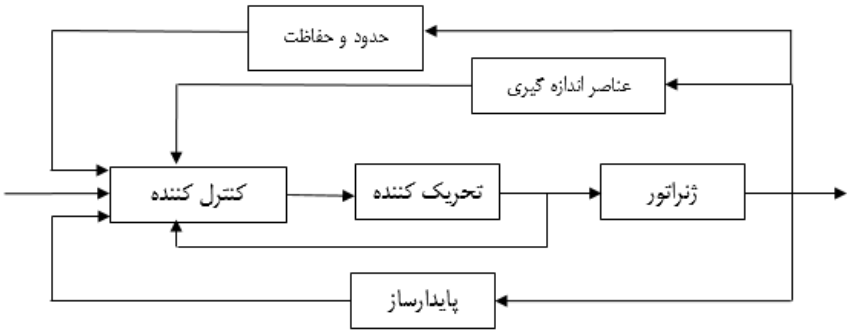
کارهای مطالعاتی برای ساخت ژنراتور از اوایل قرن ۱۸ به صورت جدی شروع شد و مدل‌های مختلفی از ژنراتورهای اولیه در این سال‌ها ساخته و ارائه شد. در سال ۱۸۳۲ میلادی اولین مدل از این نوع ژنراتورها به صورت آزمایشگاهی ساخته شد. با توجه به این که در آن زمان خطوط انتقال وجود نداشت از این ژنراتورها برای کارهای بسیار ساده مانند تغذیه لامپ‌ها استفاده می‌شد. تکنولوژی به کار رفته در این ژنراتورها بر پایه قانون القاء مغناطیسی و استفاده از مغناطیس دائم بود [۱۱]. هنر بکارگیری سیستم‌های تحریک برای ماشین های سنکرون یک رشته مهندسی قدیمی است [۱۲]. با پیشرفت علم و تکنولوژی ومدرن شدن ساخت انواع ژنراتورها، کارها و مطالعات انجام گرفته بر روی سیستم‌های تحریک ژنراتور نیز وارد مرحله جدیدی شد به گونه‌ای که در سال ۱۸۶۷ میلادی اولین سیستم تحریک ژنراتور از نوع خود تحریک (self excited) توسط زیمنس (Werner von Siemens) در نمایشگاه بین المللی پاریس ارائه شد [۱۳]. اساس کار سیستم تحریک ژنراتور بر پایه سیستم یکسوساز DC است که ولتاژ (Rectifier) را برای تزریق به روتور ژنراتور مهیا می‌کند[۱۴–۲۰].

۲-۵-۲-۲- اجزای سیستم تحریک

اجزای سیستم تحریک که در شکل ۳۹۱–۲ نشان داده شده اند را می‌توان به صورت زیر معرفی کرد:

- تحریک‌کننده (اکسایتر): این بلوک وظیفه تأمین جریان مستقیم مورد نیاز در سیم‌پیچ تحریک را بر عهده دارد.
- کنترل کننده (رگولاتور): این بلوک کنترلی، وظیفه تقویت و پردازش سیگنال‌های کنترل را (به سطح و شکلی که برای کنترل تحریک‌کننده، مناسب باشد) برعهده دارد.

- ادوات اندازه‌گیری: این بلوک، ولتاژ پایانه ژنراتور را اندازه‌گیری می‌کند و پس از یکسوسازی، آن را به یک ولتاژ جریان مستقیم تبدیل می‌کند. سپس این ولتاژ با یک ولتاژ مرجع (که بیانگر ولتاژ مطلوب پایانه از ژنراتور سنکرون است) مقایسه می‌شود.
- پایدارساز سیستم قدرت: این بلوک، به منظور میرا کردن نوسانات سیستم‌های قدرت، سیگنال ورودی اضافی و تنظیم‌کننده ولتاژ را ایجاد می‌کند.
- مدارهای محدودکننده و حفاظتی: این بلوک شامل مجموعه وسیعی از توابع کنترلی و حفاظتی است و برای اطمینان از این موضوع طراحی شده می‌شود که شرایط از حدود توانایی تحریک‌کننده و ژنراتور خارج نشود. بعضی از توابع مرسوم، شامل محدودکننده جریان تحریک و محدودکننده زیرتحریک است. معمولاً این توابع شامل مدارهای مشخصی هستند و سیگنال خروجی آن‌ها را می‌توان در محل‌های مختلف به صورت جمع‌کننده به سیستم تحریک اعمال کرد [۲۱].



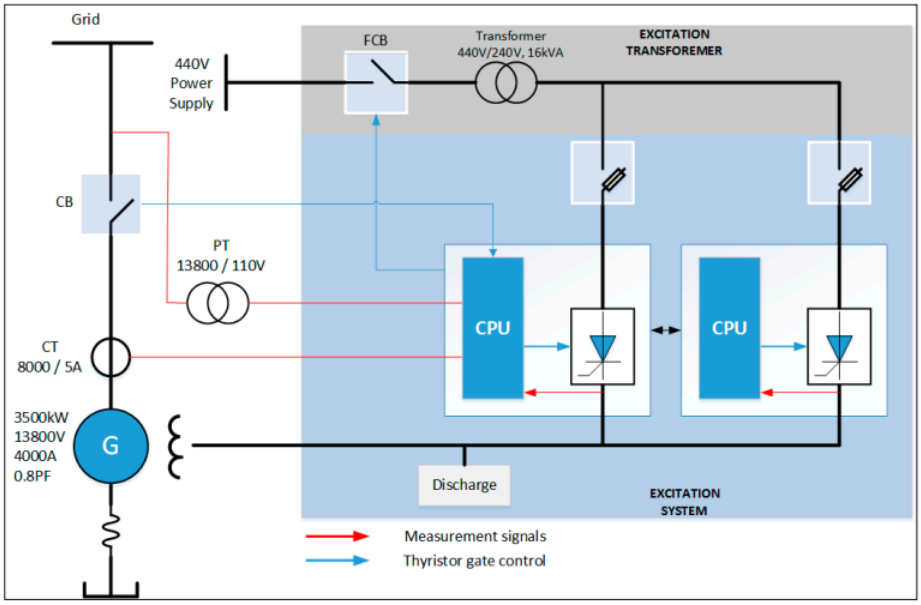
شکل ۳۹۱-۲ : سیستم تحریک ژنراتور سنکرون

۳-۵-۲-۲- کنترل دیجیتال سیستم‌های تحریک

تقاضای جهانی برق در سالهای اخیر به طور مداوم و سریع در حال افزایش است. ماشین‌های سنکرون برای توربین‌های برق، ژنراتورها، ترانسفورماتورها و مبدل‌های مورد استفاده در انواع مختلف نیروگاه‌ها استفاده می‌شوند [۲۳،۲۲]. شکل ۳۹۲-۲ معماری این دسته از سیستم‌های تحریک را نشان می‌دهد.

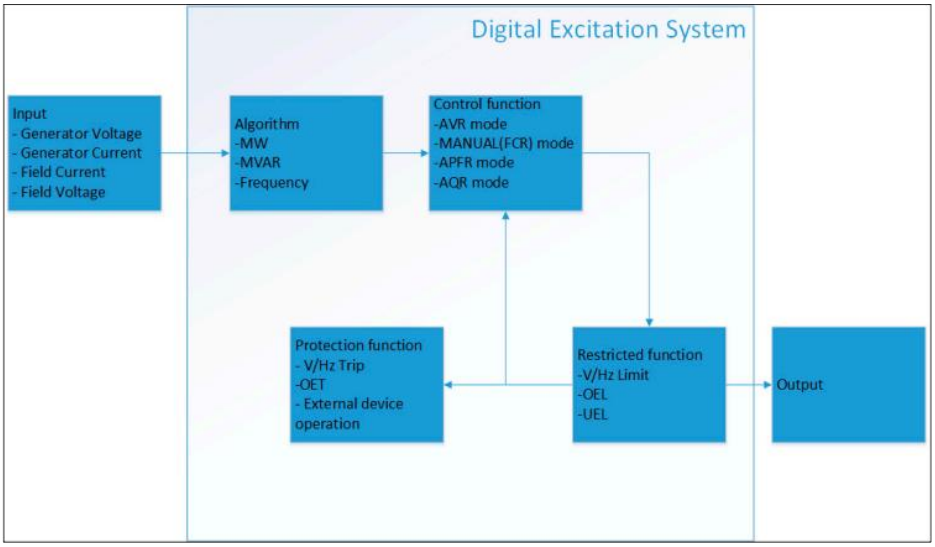
عملکرد سیستم تحریک دیجیتال را می‌توان تا حد زیادی به چهار قسمت تقسیم نمود: مقداردهی اولیه، کنترل، محافظت و ارتباطات. با محاسبه سطح ولتاژ و جریان موثر، فرکانس، توان فعال و توان راکتیو با نمونه‌برداری از داده‌های سیگنال ولتاژ و جریان ژنراتور همراه با ولتاژ و جریان میدان، می‌توان مقداردهی اولیه را انجام داد.

این روش کنترلی به طور عمده به کنترل خودکار و کنترل دستی تقسیم می‌شود. کار کنترل اتوماتیک، کنترل تنظیم کننده ولتاژ خودکار و محدود کننده تحریک کم است. اگر به دلیل ولتاژ بیش از حد، فرکانس غیر عادی یا سایر علل غیر منتظره، فرمان تریپ صادر شود، عملکرد کنترل توسط رله قفل به حالت تعلیق در می‌آید. با استفاده از رابط انسان و ماشین (HMI)که نظارت در زمان واقعی را تسهیل می‌کند، وضعیت جاری سیستم به راحتی قابل بررسی است.



شکل ۳۹۲-۲ : ساختمان سیستم تحریک

الگوریتم سیستم با استفاده از زبان‌های برنامه‌نوسی توسعه یافته و در شکل ۳۹۳-۲ شرح داده شده است. این سیگنال‌های کنترل را به کنترل کننده‌ها تحویل می‌دهد [۲۵،۲۴]. بر اساس سیگنال محاسبه شده، جریان مستقیم از طریق یکسوکننده به سیستم میدان ژنراتور اعمال می‌شود.



شکل ۳۹۳-۲ : الگوریتم کنترل دیجیتال سیستم تحریک

۴-۵-۲-۲- مشخصات انواع سیستم تحریک و مزایا و معایب و کاربردهای آنها

سیستم‌های تحریک برای ژنراتورهای سنکرون را می توان از لحاظ ساختمان به دو دسته طبقه بندی کرد: سیستم‌های تحریک استاتیک (static) و چرخشی (rotating) یا بدون جاروبک (brushless). سیستم‌های تحریک استاتیک از پل تریستور یا ترانزیستور و ترانسفورماتور تشکیل شده‌اند. انرژی مورد نیاز برای تحریک از طریق حلقه‌های لغزش با جاروبک‌های کربنی از دیود، تریستور یا پل ترانزیستور و ترانسفورماتور به سیم پیچ میدان ژنراتور منتقل می شود [۲۶ و ۲۷].

دسته‌بندی دیگر سیستم‌های تحریک توسط ***منبع انرژی تحریک*** انجام می شود. دو کلاس عمده این طبقه بندی عبارتند از: سیستم‌های تحریک جداگانه و سیستم‌های خودتحریک. سیستم‌های تحریک جداگانه ممکن است ساکن یا بدون جارویک باشد. این سیستم‌ها مستقل از خطاهای سیستم قدرت هستند و امکان تحریک اجباری را دارند. از سیستم‌های بدون جاروبک برای تحریک ژنراتورهای بزرگ (توان بیش از ۶۰۰MVA) و در محیط‌های قابل اشتعال و انفجار استفاده می‌شود. سیستم بدون جاروبک شامل تحریک کننده AC، پل دیود دوار و مولد AC کمکی است که با تحریک آهنربای دائمی کار می‌کند.

برای بررسی عملکرد ژنراتور سنکرون و سیستم تحریک آن و تعیین چگونگی تأثیر ژنراتور سنکرون بر پایداری سیستم قدرت مدل‌های ریاضی ژنراتور و سیستم تحریک ارائه شده‌اند. تغییرات مقادیر و اختلالات مرجع که برای سیستم‌های واقعی معمول است نیز مدلسازی شده است. از آنجا که در عمل تعداد زیادی سیستم تحریک وجود دارد، طبقه‌بندی مدل‌های سیستم تحریک انجام شده است [۲۸-۳۰].

IEEE سندی برای طبقه بندی سیستم‌های تحریک ژنراتورهای سنکرون صادر کرده است. در این سند ۲۵ مدل مختلف سیستم تحریک به سه گروه عمده تقسیم بندی می‌شوند:

۱) سیستم‌های تغذیه جریان مستقیم کموتاتور (سیستم تحریک ثابت – نوع DC)

۲) سیستم‌های تحریک متناوب (نوع AC)

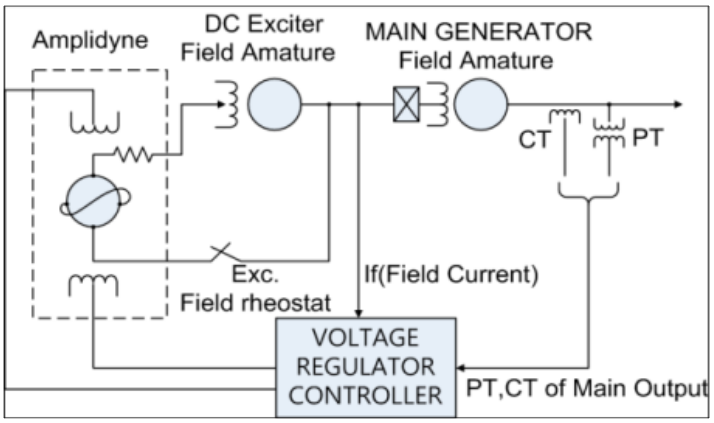
۳) سیستم‌های تحریک استاتیک (نوع ST) [۱۱].

- سیستم‌های تغذیه جریان مستقیم کموتاتور (سیستم تحریک ثابت DC)

در این نوع سیستم‌های تحریک، از ژنراتورهای جریان مستقیم بعنوان منبع توان تحریک استفاده می‌شود که از طریق جاروبک‌ها، جریان مورد نیاز تحریک را فراهم می‌کنند. تحریک کننده ممکن است به وسیله موتور و یا محور ژنراتور چرخانده شود و از نوع خودتحریک یا تحریک مستقل باشد. در حالت تحریک مستقل، تحریک آن از طریق یک تحریک کمکی که دارای میدان مغناطیسی دائم است، تأمین می‌شود. البته این نوع سیستم‌ها قدیمی هستند و اغلب جای خود را به سیستم‌های جریان متناوب و استاتیکی داده‌اند. بعضی از این نوع سیستم‌ها از تنظیم کننده ولتاژ آمپلی دین استفاده می‌کنند. آمپلی دین نوعی ماشین جریان مسستقیم است که دارای دو مجموعه ذغال می‌باشد که با یکدیگر ۹۰ الکتریکی اختلاف موقعیت دارند. یک مجموعه روی محور طولی ماشین و مجموعه دیگر روی محور عرضی قرار دارند. همچنین سیم‌پیچ‌های کنترل تحریک هم روی محور d واقع هستند. بعلاوه یک سیم پیچ جبرانگر شار مساوی و مخالف با شار جریان آرمیچر (شار محور طولی) ایجاد می‌کند تا به صورت یک فیدبک منفی، عکس العمل آرمیچر را خنثی نماید. زغال‌های موجود روی محور q اتصال کوتاه می‌شوند و طبعاً با تحریک بسیار اندک، جریان بسیار زیادی در آمیچر محور q ایجاد می‌شود.

میدان مغناطیسی اصلی به وسیله محور q ایجاد می‌گردد و توان مورد نیاز برای حفظ جریان محور q به طور مکانیکی از طریق موتوری که آن را می‌چرخاند، تأمین می‌شود. درنتیجه آمپلی دین، تقویت کننده‌ای با تقویت توان در حدود ۱۰۴ تا ۱۰۵ و ثابت زمانی در حدود ۰/۰۲ تا ۰/۲۵ ثانیه است. آمپلی دین در سیستم به صورت یک طرح تقویتی، وظیفه تامین تغیرات افزایشی تحریک کننده (اکسایتر) را بر عهده دار. بقیه تحریک مورد نیاز اکسایتر با استفاده از خروجی آن و به صورت خود تحریک تأمین می‌شود. با خارج شدن آمپلی دین از مدار، تحریک اکسایتر را می‌توان به صورت دستی انجام داد. برای کنترل توان خروجی ژنراتور DC و در نهایت کنترل توان میدان سیم پیچ ژنراتور تحریک کننده DC به وسیله یک ماشین آمپلی دین با ضریب تقویت (نسبت بین خروجی ژنراتور و تغذیه میدان) بالا انجام می‌شود. شکل ۳۹۴-۲ مدل مورد استفاده برای نشان دادن یک تحریک کننده چرخشی DC را ارائه می‌دهد که در همه مدل های سیستم تحریک نوع DC استفاده می

شود و تحریک آن ممکن است به صورت مستقل یا خود تحریک انجام شود. هنگامی که از یک میدان شنت خود تحریک استفاده می‌شود، مقدار بازده فیدبک K_E میزان تنظیم رئوستای میدان شنت را منعکس می‌کند [۳۲،۳۱].



شکل ۳۹۴-۲ : دیاگرام کلی سیستم تحریک **DC**

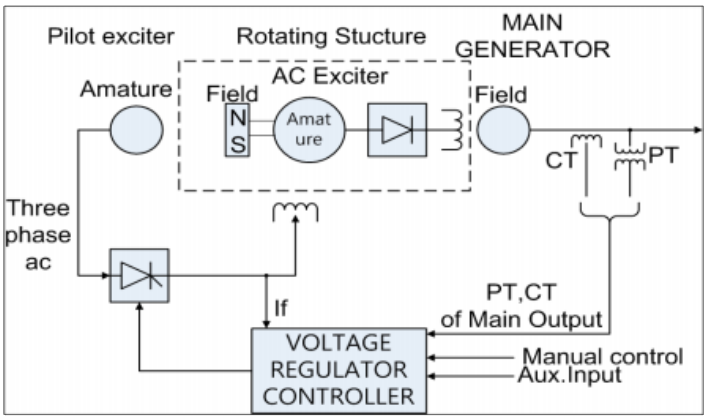
- سیستم تحریک متناوب (AC)

در این نوع سیستم‌های تحریک از ژنراتورهای جریان متناوب برای تامین جریان تحریک مورد نیاز در سیم‌پیچ تحریک ژنراتور اصلی استفاده می‌شود. معمولاً اکسایتر (تحریک‌کننده) روی همان محور اصلی توربوژنراتور قرار دارد. سپس خروجی جریان متناوب اکسایترها با کنترل و یا بدون کنترل، یکسوسازی می‌شوند تا جریان مستقیم تولید شده به سیم پیچ تحریک منتقل شود. سیستم یکسوکننده هم می‌تواند به دو صورت ساکن یا چرخان باشد. سیستم‌های اولیه تحریک جریان متناوب، ترکیبی از سیستم تقویت کننده‌های مغناطیسی و چرخان را به عنوان تنظیم کننده مورد استفاده قرار می‌دادند؛ اما اغلب سیستم‌های دیگر از تقویت کننده‌های الکترونیکی استفاده می‌کنند. پس مشاهده می‌شود که با توجه به ترکیب یکسو کننده‌ها و روش‌های کنترل خروجی اکسایتر و نیز منبع اکسایتر، سیستم‌های تحریک جریان متناوب حالت‌های مختلفی را به خود می‌گیرند که در اینجا بطور مختصر توضیح داده می‌شود.

اگر سیستم یکسوکننده ساکن باشد، خروجی جریان مستقیم آن‌ها باید از طریق جاروبک‌هایی به سیم پیچ تحریک ژنراتور اصلی تزریق گردد. در صورتی که از یکسوکننده‌های دیودی بدون کنترل استفاده شود، تنظیم کننده تحریک اکسایتر جریان متناوب را کنترل می‌کند که آن نیز به نوبه خود، وظیفه کنترل ولتاژ خروجی اکسایتر را بر عهده دارد. در این سیستم که معروف به تحریک آلترکس از شرکت جنرال الکتریک است اکسایتر به وسیله روتور محور اصلی چرخیده می‌شود. در اینجا اکسایتر به صورت خود تحریک عمل می‌کند و توان تحریک را از طریق یکسوسازهای تریستوری تامین می‌کند. همچنین تنظیم کننده ولتاژ، توان مورد نیاز خود را از طریق ولتاژ خروجی اکسایتر تامین می‌نماید. در نوع دیگری از این سیستم ها، از یک اکسایتر کمکی برای تامین توان اکسایتر اصلی استفاده می‌شود.

در صورتی که از یکسو کننده‌های قابل کنترل (تریستور) استفاده شود تنظیم کننده بطور مستقیم، کنترل ولتاژ خروجی اکسایتر را به عهده دارد. اکسایتر از نوع خودتحریک است که برای حفظ ولتاژ خروجی از یک تنظیم کننده استاتیکی و مستقل ولتاژ استفاده می‌کند. از آنجایی که تریستورها بطور مستقیم خروجی اکسایتر را کنترل می‌کنند، عملاً این سیستم، عکس العمل اولیه سریعی (پاسخ زمانی کوتاهی) دارد.

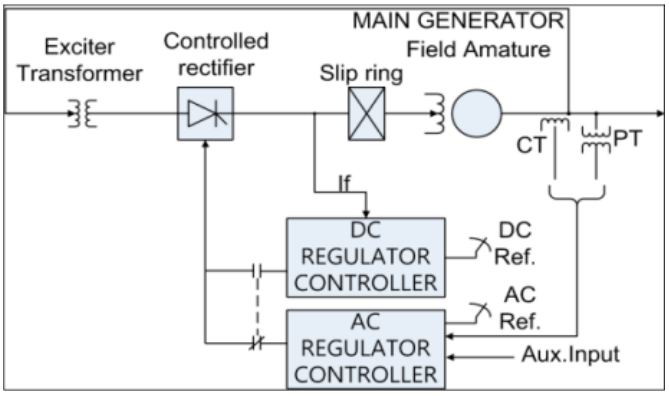
این سیستم‌های تحریک از ژنراتور AC و یکسوسازهای ثابت یا دوار برای تغذیه میدان ژنراتور DC استفاده می‌کنند. استفاده از جریان میدان ژنراتور به عنوان ورودی به مدل‌ها باعث بهبود پایداری و پاسخ سریعتر حلقه کنترل اصلی می‌گردد. شمای کلی سیستم تحریک متناوب در شکل ۳۹۵-۲ نشان داده شده است [۳۲،۳۱].



شکل ۳۹۵-۲ : دیاگرام کلی سیستم تحریک **AC**

- سیستم تحریک استاتیک (ST)

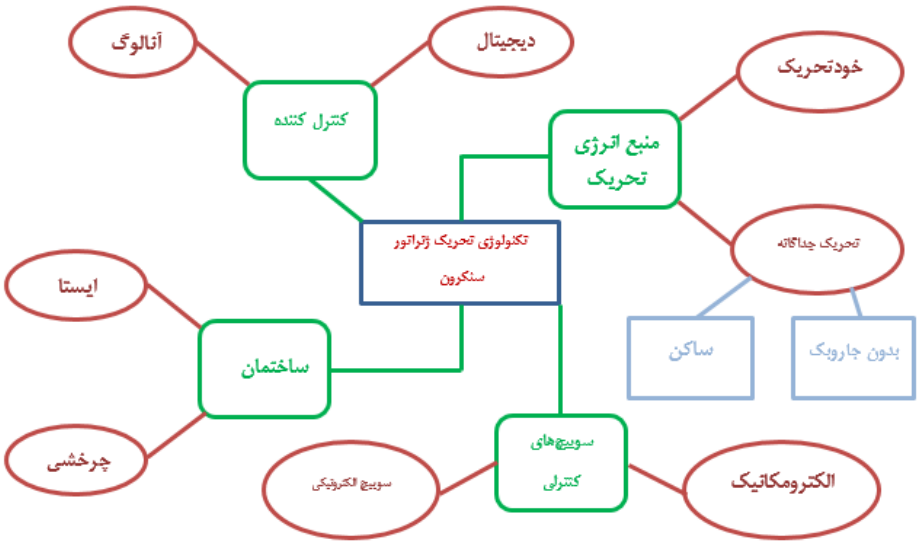
در این روش همه جریان تحریک درون یک محفظه ثابت که یکسوکننده‌ها در آن قرار دارند ساخته می‌شود و به همین دلیل آن‌را روش استاتیک گویند. برق AC مورد نیاز یکسوکننده معمولا از سه فاز خروجی ژنراتور گرفته می‌شود و از آنجا که ولتاژ خروجی ژنراتور تا قبل از تهیه جریان تحریک بسیار پائین است (به علت پسماند مغناطیسی ولتاژ کمی ایجاد می‌شود) و نمی‌تواند سیستم تحریک را تغذیه کند، پس لازم است در شروع تحریک از باطری‌خانه کمک بگیریم و با وصل آن به سیم پیچ توسط کلید B ولتاژ خروجی ژنراتور را به حدی برسانیم که بتواند سیستم تحریک را تغذیه کند و بعد باطری‌ها را قطع کنیم. در این سیستم‌های تحریک، ولتاژ (و همچنین جریان) به یک سطح مناسب تبدیل می‌شود. یکسوکننده‌ها، جریان مستقیم لازم را برای میدان ژنراتور تأمین می‌کنند [۳۲،۳۱].



شکل ۳۹۶-۲ : دیاگرام کلی سیستم تحریک استاتیک

۵-۵-۲-۲- درخت فناوری سیستم‌های تحریک ژنراتور

بنا به آنچه گفته شد، درخت فناوری سیستم‌های تحریک ژنراتور در شکل ۳۹۷-۲ رسم گردیده است.

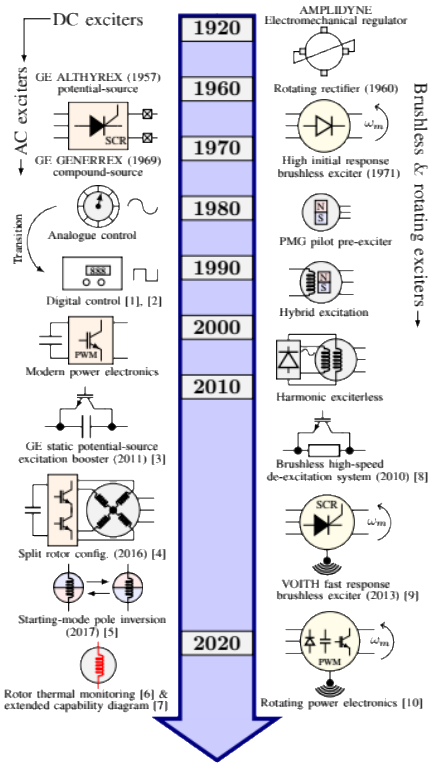


شکل ۳۹۷-۲ : درخت فناوری سیستم‌های تحریک

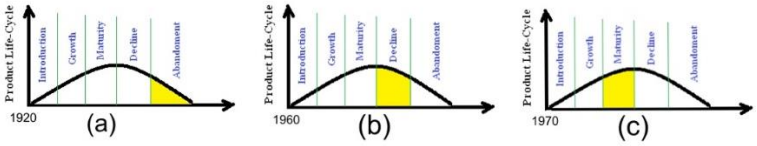
۶-۵-۲-۲- چرخه عمر فناوری سیستم‌های تحریک ژنراتور

هنر استفاده از سیستم‌های تحریک برای بکارگیری ماشین‌های سنکرون یک رشته مهندسی قدیمی است. اولین تغییر چشمگیر آن در دهه ۱۹۵۰ به دلیل پیشرفت در عناصر نیمه هادی با قدرت بالا اتفاق افتاد. این امر باعث جایگزینی تنظیم کننده‌های الکترومکانیکی ابتدایی، مبتنی بر سوئیچ‌های جریان مستقیم، با یکسوکننده‌های کنترل شده سیلیکون (SCR) و کنترل کننده‌های آنالوگ گردید [۱۵]. تغییر پارادایم دیگری در دهه ۱۹۸۰ اتفاق افتاد، زمانی که کنترل‌کننده‌ها از فناوری آنالوگ به دیجیتال مهاجرت کردند [۱۶]. در ۲۰ سال گذشته، تحولات در الکترونیک قدرت نوآوری‌ها و امکانات بیشتری را در این زمینه به ارمغان آورده است [۱۷-۲۰]. شکل ۳۹۸-۲ برخی از موفقیت‌های اساسی در تاریخ سیستم‌های تحریک برای ماشین‌های سنکرون را نمایش می‌دهد. در سمت چپ آن تاریخچه تحول سیستم‌های DC به AC و در سمت راست آن تاریخچه تحول سیستم‌های چرخشی به استاتیک نمایش داده شده است [۳۳]. در مورد چرخه عمر فناوری سیستم‌های تحریک DC می‌توان گفت امروزه مبدل‌های نوع DC توسط سیستم‌های AC و استاتیک جایگزین شده‌اند [۳۴].

اجزای الکتریکی مانند سیستم تحریک بدون جاروبک – سیستمی که در آن تحریک‌کننده بر روی شافت روتور می‌چرخد – دیر یا زود به پایان عمر خود می‌رسند، همچنین این تحریک‌کننده‌ها از لحاظ ساختمانی فاقد تنظیم شار سریع و دسترسی به روتور برای اندازه‌گیری و محافظت هستند. در حال حاضر، هر زمان که پاسخ اولیه زیادی لازم باشد، روش‌های تحریک استاتیک ترجیح داده می‌شوند و شرکت‌های مختلفی می‌کوشند سیستم‌های تحریک استاتیک را با کمترین هزینه فنی و اقتصادی جایگزین سیستم‌های قدیمی‌تر نمایند. چرخه عمر فناوری انواع سیستم‌های تحریک ژنراتور در شکل ۳۹۹-۲ نشان داده شده است [۳۵].



شکل ۳۹۸-۲ : سیر تکاملی سیستم‌های تحریک در گذر زمان



شکل ۳۹۹-۲ : چرخه عمر فناوری انواع سیستم‌های تحریک ژنراتور – (**a**): سیستم تحریک **DC** / (**b**): سیستم تحریک **AC** / (**c**): سیستم تحریک استاتیک

۷-۵-۲-۲- مشخصات فنی

همانطور که در بخش‌های قبل اشاره شد، IEEE سندی برای طبقه‌بندی سیستم‌های تحریک ژنراتورهای سنکرون صادر کرده است. در این سند ۲۵ مدل مختلف سیستم تحریک به سه گروه عمده تقسیم‌بندی شده‌اند:

۱) سیستم‌های تغذیه جریان مستقیم کموتاتور (سیستم تحریک ثابت – نوع DC)

۲) سیستم‌های تحریک با یکسوسازی منبع متناوب (نوع AC)

۳) سیستم‌های تحریک استاتیک (نوع ST).

که در ادامه به معرفی و بیان مشخصات فنی هر مدل پرداخته می‌شود [۱۱].

- سیستم تحریک DC

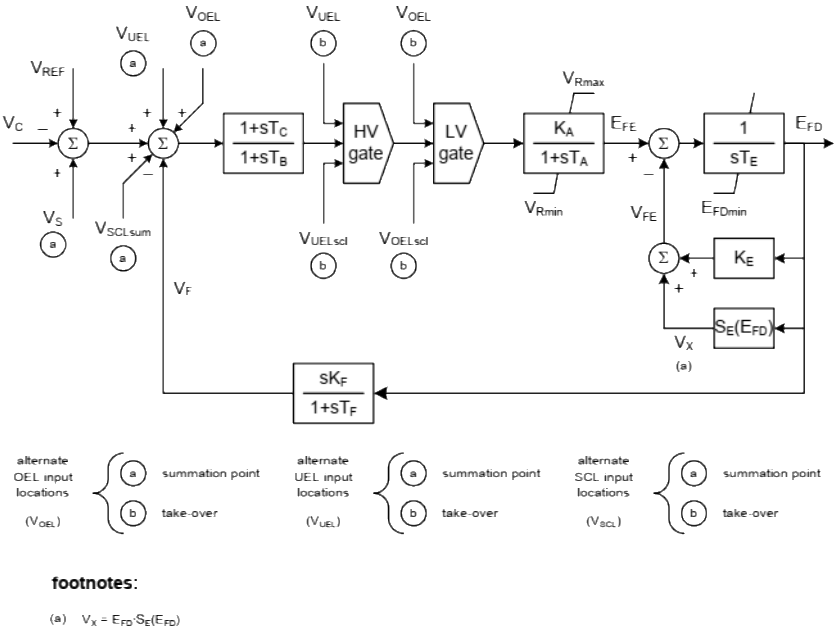
سیستم‌های تحریک DC به چهار مدل تقسیم می‌شوند. مدل DC1C شامل کنترل کننده Lead/Lag است و ولتاژ خروجی ژنراتور را به عنوان ورودی اصلی دریافت می‌کنند. مدل DC2C فقط در محدوده خروجی تنظیم کننده ولتاژ با DC1C متفاوت است. مدل DC3C در سیستم‌های قدیمی‌تر استفاده می‌شود. DC4C مدلی تازه اضافه شده است که از

نقطه نظر کنترل‌های اجرا شده با DC1C متفاوت است. در این گزارش DC1C و DC2C بصورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفته اند و از بقیه مدل‌ها بخاطر شباهت عملکرد صرف‌نظر می‌شود.

- مدل DC1C

این مدل که توسط نمودار بلوک شکل ۴۰۰-۲ توصیف شده است برای نشان دادن یک تحریک‌کننده dc که میدان آن بصورت پیوسته کنترل می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. ورودی اصلی این مدل، خروجی حسگر ولتاژ ترمینال و مدل جبران کننده جریان V_C است. سپس مقدار سیگنال این ورودی (V_C) از مرجع ولتاژ V_{REF} کم می شود. همچنین سیگنال فیدبک پایدارساز V_F نیز از آن کم شده و سیگنال خروجی پایدارساز سیستم قدرت V_S، در صورت وجود، برای تولید ولتاژ خطا اضافه می‌شود. به همین ترتیب، محدودکننده‌های V_{OEL}، V_{UEL} و / یا V_{SCLsum} نیز به محاسبه خطای ولتاژ اضافه می‌شوند. در حالت ماندگار، سیگنال‌های خطای نهایی صفر هستند و فقط سیگنال خطای ولتاژ ترمینال باقی می‌ماند.

خروجی تنظیم‌کننده ولتاژ (یا ولتاژ میدان تحریک کننده E_{FE})، برای کنترل سیستم تحریک DC استفاده می‌شود. سیگنالی که از ولتاژ میدان ژنراتور به دست می‌آید به طور معمول برای ایجاد ثبات در سیستم تحریک (V_F) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک DC1C در جدول ۱۱۵-۲ آمده است.



شکل ۴۰۰-۲ : سیستم تحریک مدل **DC1C**

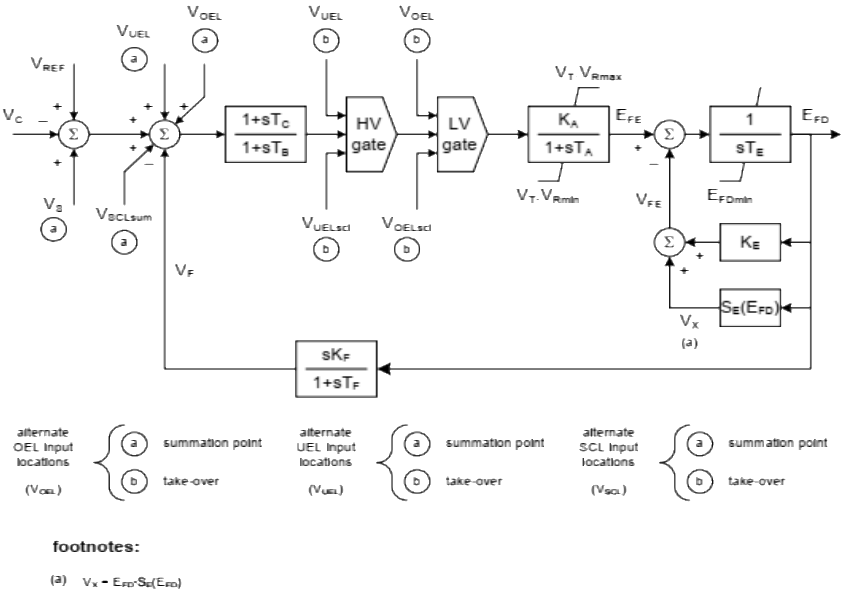
جدول ۱۱۵-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **DC1C**

Unit	Value	Type	Parameter	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	46	A	K_A	Regulator output gain

s	0.06	E	T_A	Regulator time constant
s	0	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	0	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
pu	0	E	K_E	Exciter field proportional constant
s	0.46	E	T_E	Exciter field time constant
pu	1	E	V_{RMAX}	Maximum controller output
pu	–0.9	E	V_{RMIN}	Minimum controller output
pu	0.1	A	K_F	Rate feedback gain
s	1	A	T_F	Rate feedback time constant
pu	3.1	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$
	0.33	E	S_{E1}	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	2.3	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.10	E	S_{E2}	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2

- مدل DC2C

مدلی که در شکل ۴۰۱-۲ نشان داده شده است برای نشان دادن تحریک کننده های مبدل DC با کنترل‌کننده ولتاژ است. در این مدل نیز شامل یک کنترل کننده پیش‌فاز-پسفاز است که فرایند کنترل حلقه فیدبک را برای محاسبه E_{FE} انجام می‌دهد. مشخصات فنی نوعی سیستم‌تحریک DC2C در جدول ۱۱۶-۲ آمده است.



شکل ۴۰۱-۲ : سیستم تحریک مدل **DC2C**

جدول ۱۱۶-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **DC2C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
p	0	A	R_C	Resistive component of load compensation

u				
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	300	A	K_A	Regulator output gain
s	0.01	E	T_A	Regulator time constant
s	0	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	0	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
pu	1	E	K_E	Exciter field proportional constant
s	1.33	E	T_E	Exciter field time constant
pu	4.95	E	V_{Rmax}	Maximum controller output
pu	–4.90	E	V_{Rmin}	Minimum controller output
pu	0.02	A	K_F	Rate feedback gain
s	0.675	A	T_F	Rate feedback time constant
pu	3.05	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$
	0.279	E	S_{E1}	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	2.29	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.117	E	S_{E2}	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2

- سیستم تحریک AC

نوع AC سیستم‌های تحریک شامل ژنراتور AC و یکسوساز ثابت یا چرخشی برای تولید جریان مستقیم مورد نیاز برای تحریک ژنراتور است. این بزرگترین گروه از مدل های تحریک و شامل یازده مدل است. خروجی مدل AC1C از طریق یکسوسازهای کنترل نشده و از منبعی گرفته می‌شود که تحت تأثیر اغتشاشات گذرای خارجی نیست (خودتحریک نیست). AC2C با AC1C در بهبود زمان پاسخ تحریک کننده و عناصر محدود کننده جریان میدان تحریک کننده متفاوت است. از مدل AC3C برای سیستم‌های خودتحریک استفاده می‌شود و میزان غیرخطی بودن مدل آن بیشتر است. مدل AC4C برای سیستم‌های دارای پل تریستور کامل در مدار خروجی تحریک کننده استفاده می‌شود. AC5C یک مدل ساده برای سیستم‌های تحریک بدون جاروبک با تحریک جداگانه است. AC6C سیستم تحریک یکسوشده با میدان تنظیم شده و تنظیم کننده‌های ولتاژ الکترونیکی است. مدل AC7C شامل کنترل کننده‌های جدیدتر و کنترل کننده PID است. مدل AC8C در فرم کنترل کننده PID متفاوت است. مدل‌های AC9C، AC10C و AC11C اخیرا معرفی شده‌اند. در این گزارش ۷ مدل اول مورد بررسی قرار می‌گیرد و از بقیه مدل‌ها بخاطر شباهت عملکرد صرف‌نظر می‌شود.

  - مدل AC1C

مدل شکل ۴۰۲-۲ نشان دهنده سیستم تحریک نوع AC1C است. این سیستم تحریک متشکل از یک ژنراتور تحریک کننده است که خروجی خود را به یکسوسازهای کنترل‌نشده می‌دهد و سیم‌پیچ تحریک ژنراتور را تغذیه می‌کند. این سیستم تحریک از تحریک خودی استفاده نمی‌کند و توان تنظیم کننده ولتاژ از منبعی گرفته می شود که تحت تأثیر اغتشاشات گذرای خارجی نیست. برای انجام مطالعات پایداری در سیستم‌های قدرت بزرگ، این سیستم تحریک را می‌توان با مدل ساده‌تری نیز جایگزین کرد. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک AC1C در جدول ۱۱۷-۲ آمده است.

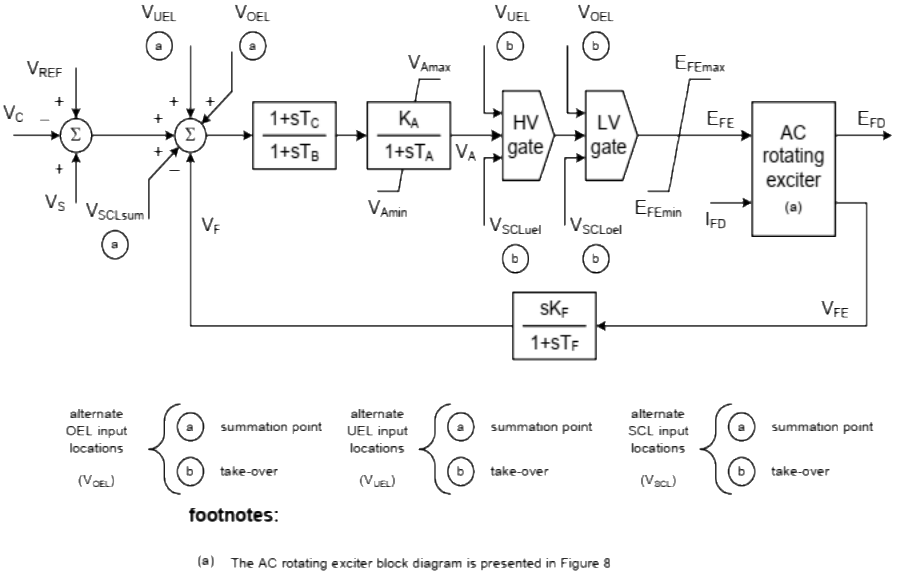


Figure 9—Type AC1C alternator-rectifier excitation system with non-controlled rectifiers and feedback from exciter field current

شکل ۴۰۲-۲ : سیستم تحریک مدل **AC1C**

جدول ۱۱۷-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **AC1C**

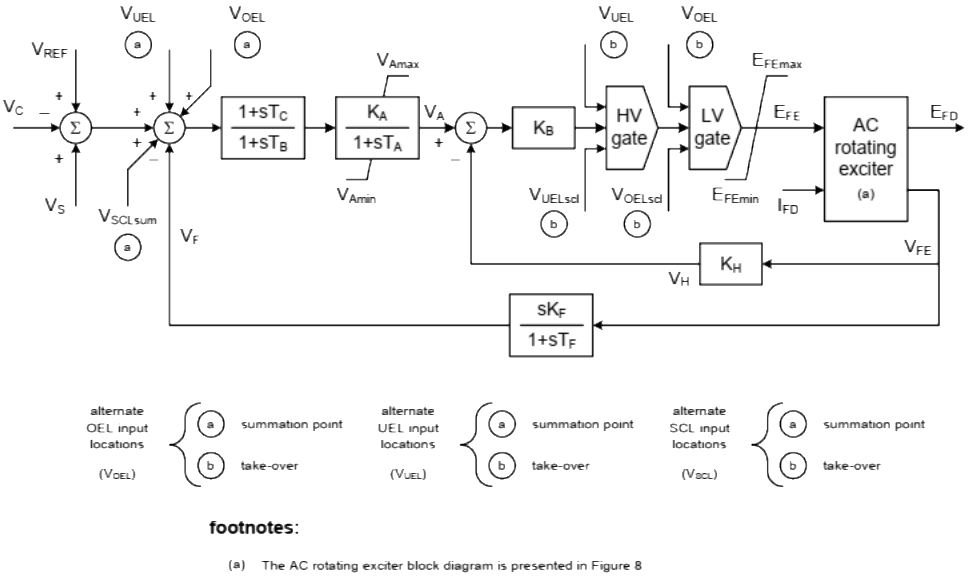
Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	400	A	K_A	Regulator output gain
s	0.02	E	T_A	Regulator output time constant
s	0	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	0	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
pu	0.03	A	K_F	Rate feedback excitation system stabilizer gain
s	1	A	T_F	Rate feedback time constant
pu	14.5	E	V_{Amax}	Maximum regulator output
pu	–14.5	E	V_{Amin}	Minimum regulator output
pu	6.03	E	E_{FEmax}	Maximum exciter field voltage
pu	–5.43	E	E_{FEmin}	Minimum exciter field voltage
pu	1.0	E	K_E	Exciter field proportional constant
s	0.8	E	T_E	Exciter field time constant
pu	0.2	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	0.38	E	K_D	Demagnetizing factor, function of exciter alternator reactances
pu	4.18	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$

	0.10	E	$S_E(E_1)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	3.14	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.03	E	$S_E(E_2)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2

- مدل AC2C

مدل سیستم تحریک AC2C در شکل ۴۰۳-۲ نشان داده شده است. این مدل نیز همانند مدل AC1C نشان دهنده یک سیستم تحریک متناوب یکسوشده است که خروجی خود را به یکسوسازهای کنترل‌نشده می‌دهد و سیم‌پیچ تحریک ژنراتور را تغذیه می‌کند. همانطور که اشاره شد، تفاوت سیستم‌های AC1C و AC2C در بهبود ثابت زمان پاسخ تحریک کننده و عناصر محدود کننده جریان میدان تحریک است.

بهبود ثابت زمانی پاسخ این سیستم تحریک اساساً با فیدبک منفی V_H بر V_A است و در نتیجه پهنای باند پاسخ سیگنال کوچک سیستم تحریک را افزایش می‌دهد. ثابت زمانی با عاملی متناسب با حاصلضرب پارامترهای K_B و K_H در حلقه جبران کاهش می‌یابد و به طور معمول کمتر از نصف ثابت زمان بدون جبران است. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک AC2C در جدول ۱۱۸-۲ آمده است.



footnotes:

(a) The AC rotating exciter block diagram is presented in Figure 8

Figure 10—Type AC2C high initial response alternator-rectifier excitation system with non-controlled rectifiers and feedback from exciter field current

شکل ۴۰۳-۲ : سیستم تحریک مدل **AC2C**

جدول ۱۱۸-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **AC2C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant

pu	400	A	K_A	Regulator output gain
s	0.01	E	T_A	Regulator output time constant
s	0	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	0	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
pu	25	A	K_B	Second stage regulator gain
pu	1	A	K_H	Exciter field current regulator feedback gain
pu	0.03	A	K_F	Rate feedback excitation system stabilizer gain
s	1	A	T_F	Rate feedback time constant
pu	1.0	E	K_E	Exciter field proportional constant
s	0.6	E	T_E	Exciter field time constant
pu	0.35	E	K_D	Demagnetizing factor, function of exciter alternator reactances
pu	0.28	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	8.0	E	V_{Amax}	Maximum regulator output
pu	–8.0	E	V_{Amin}	Minimum regulator output
pu	105	E	E_{FEmax}	Maximum exciter field voltage
pu	–95	E	E_{FEmin}	Minimum exciter field voltage
pu	4.4	E	V_{FEmax}	Maximum exciter field current limit reference
pu	0	E	V_{Emin}	Minimum exciter voltage output
pu	4.4	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$
	0.037	E	$S_E(E_1)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	3.3	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.012	E	$S_E(E_2)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2

- مدل AC3C

مدل سیستم تحریک AC3C در شکل ۴۰۴–۲ نشان داده شده است. این مدل نیز همانند دو مدل پیشین دارای سیستم تحریک متناوب یکسوشده است که خروجی خود را به یکسوسازهای کنترل‌نشده می‌دهد. اما بر خلاف آنها از خودتحریک استفاده می‌کند و تنظیم ولتاژ بر خروجی این سیستم تحریک اعمال می‌شود. بنابراین، رفتار غیر خطی این سیستم بیشتر است. برای انجام مطالعات پایداری در سیستم‌های قدرت بزرگ، این سیستم تحریک را می‌توان با مدل ساده‌تری نیز جایگزین نمود. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک AC3C در جدول ۱۱۹–۲ آمده است.

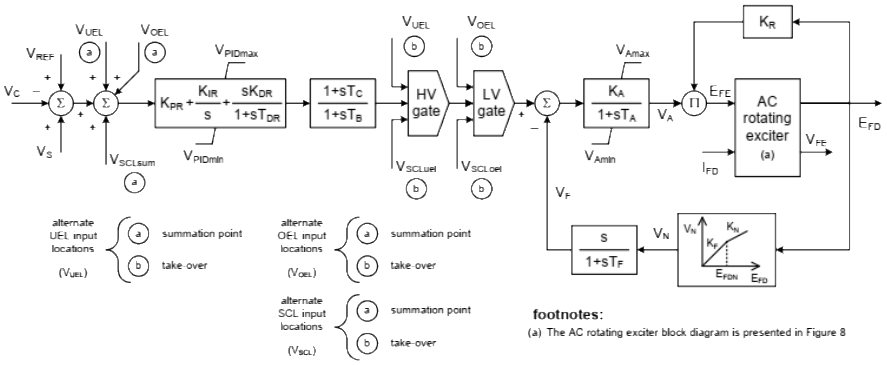


Figure 11—Type AC3C alternator-rectifier exciter with alternator field current limiter

شکل ۴۰۴-۲ : سیستم تحریک مدل **AC3C**

جدول ۱۱۹-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **AC3C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	1	A	K_{PR}	Voltage regulator proportional gain
pu/s	0	A	K_{IR}	Voltage regulator integral gain
pu.s	0	A	K_{DR}	Voltage regulator derivative gain
s	1	A/E	T_{DR}	Lag time constant for derivative channel of PID controller
pu	3.2	A/E	$V_{PID\,max}$	Maximum PID regulator output
pu	–3.2	A/E	$V_{PID\,min}$	Minimum PID regulator output
s	0	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
s	0	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
pu	45.62	A	K_A	Regulator output gain
s	0.013	E	T_A	Regulator output time constant
pu	1	E	V_{Amax}	Maximum regulator output
pu	–0.95	E	V_{Amin}	Minimum regulator output
s	1.17	E	T_E	Exciter field time constant
s	1	A	T_F	Rate feedback time constant
pu	2.36	A	E_{FDN}	Value of E_{FD} at which feedback gain changes
pu	0.1	E	V_{Emin}	Minimum exciter voltage output
pu	6.24	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$
	1.143	E	$S_E(E_1)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	4.68	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.1	E	$S_E(E$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2

			2)	
pu	3.77	A/E	K_R	Gain associated with regulator and alternator field power supply
pu	0.104	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	0.499	E	K_D	Demagnetizing factor, function of exciter alternator reactances
pu	1.0	E	K_E	Exciter field proportional constant
pu	0.143	A	K_F	Rate feedback excitation system stabilizer gain
pu	0.05	A	K_N	Rate feedback excitation system stabilizer gain
pu	16	E	V_{FEmax}	Exciter field current limit

- مدل AC4C

سیستم تحریک یکسوساز کنترل شده AC4C نشان داده شده در شکل ۴۰۵-۲ کاملاً متفاوت از دیگر سیستم‌های نوع ACاست. این سیستم تحریک با پاسخ اولیه مناسب از یک پل تریستور کامل در مدار خروجی تحریک کننده استفاده می‌کند. تنظیم کننده ولتاژ، پل‌های تریستور را کنترل می‌کند. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک AC4C در جدول ۱۲۰-۲ آمده است.

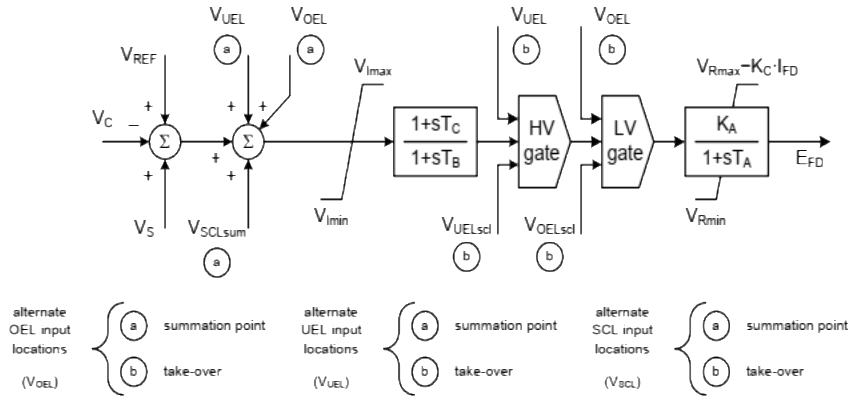


Figure 12—Type AC4C alternator-supplied controlled rectifier exciter

شکل ۴۰۵-۲ : سیستم تحریک مدل **AC4C**

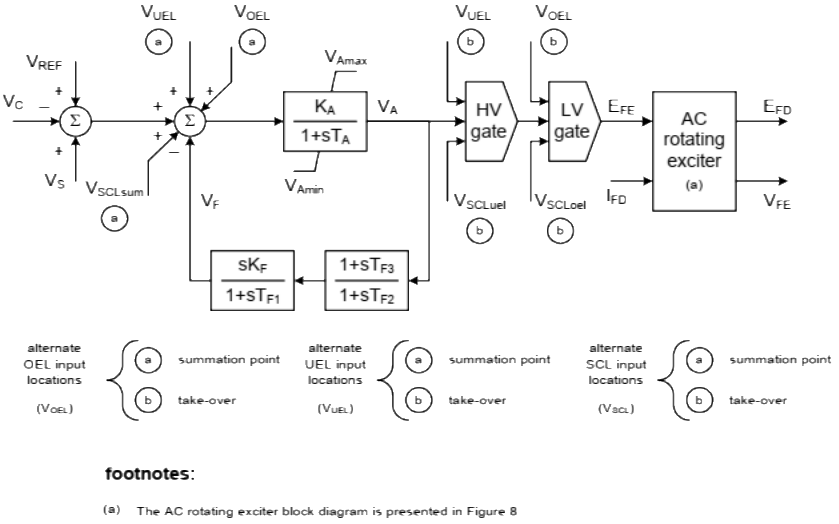
جدول ۱۲۰-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **AC4C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
s	10	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	1	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
s	0.015	E	T_A	Regulator output time constant
p	10	E	V_{Ima}	Voltage regulator input (voltage error) maximum limit

u			x	
pu	–10	E	V_{Imin}	Voltage regulator input (voltage error) minimum limit
pu	5.64	E	V_{Rmax}	Maximum regulator output
pu	–4.53	E	V_{Rmin}	Minimum regulator output
pu	200	A	K_A	Regulator output gain
pu	0	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance

- مدل AC5C

مدل نشان داده شده در شکل ۴۰۶-۲ که به عنوان AC5C شناخته می‌شود، یک مدل ساده شده برای سیستم‌های تحریک بدون جاروبک است. این سیستم تحریک از منبعی مانند یک ژنراتور مغناطیس دائم تغذیه می‌شود که تحت تاثیر اغتشاشات سیستم قرار نمی‌گیرد. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک AC5C در جدول ۱۲۱-۲ آمده است.



footnotes:

(a) The AC rotating exciter block diagram is presented in Figure 8

Figure 13—Type AC5C simplified rotating rectifier excitation system

شکل ۴۰۶-۲ : سیستم تحریک مدل **AC5C**

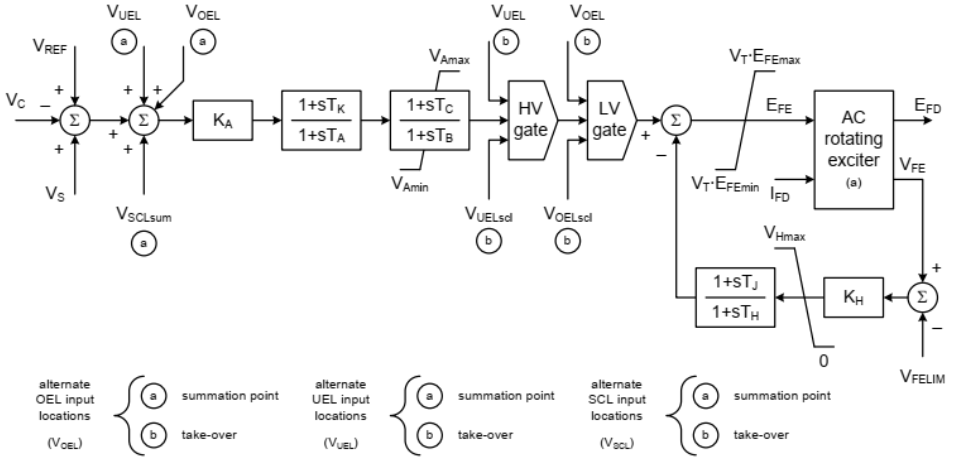
جدول ۱۲۱-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **AC5C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation

s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	400	A	K_A	Regulator output gain
s	0.02	E	T_A	Regulator output time constant
pu	7.3	E	V_{Amax}	Maximum regulator output
pu	–7.3	E	V_{Amin}	Minimum regulator output
s	0.8	E	T_E	Exciter field time constant
pu	1.0	E	K_E	Exciter field proportional constant
pu	5.6	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$
	0.86	E	$S_E(E_1)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	4.2	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.5	E	$S_E(E_2)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2
pu	0.03	A	K_F	Rate feedback excitation system stabilizer gain
s	1	A	T_{F1}	Rate feedback excitation system stabilizer time constant
s	0	A	T_{F2}	Rate feedback excitation system stabilizer time constant
s	0	A	T_{F3}	Rate feedback excitation system stabilizer time constant

- مدل AC6C

مدل سیستم تحریک AC6C در شکل ۴۰۷-۲ نشان داده شده است. در این سیستم تحریک از تنظیم‌کننده‌های ولتاژ الکترونیکی استفاده می‌شود. حداکثر خروجی تنظیم کننده (E_{FE}) تابعی از اندازه ولتاژ ترمینال V_T است. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک AC6C در جدول ۱۲۲-۲ آمده است.



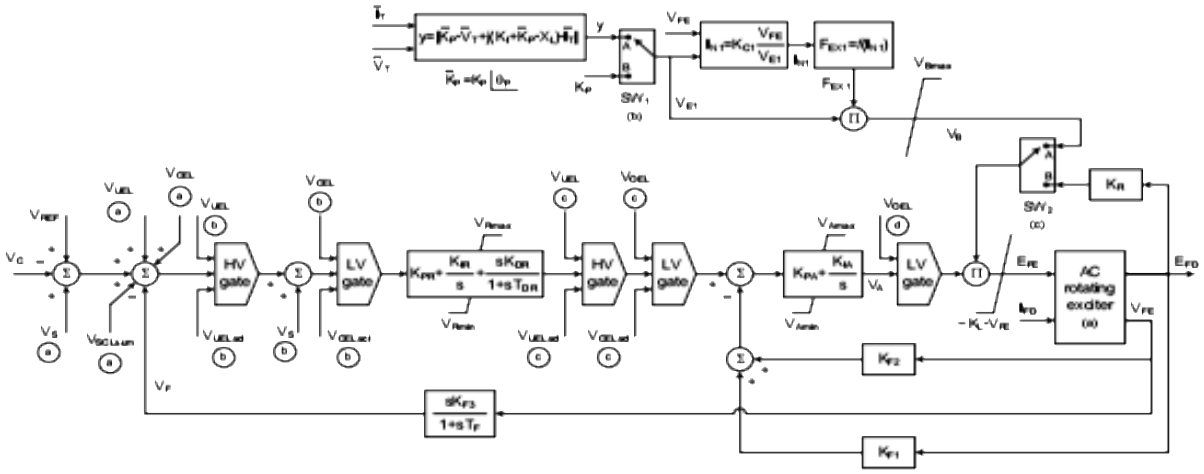
شکل ۴۰۷-۲ : سیستم تحریک مدل **AC6C**

جدول ۱۲۲-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **AC6C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0.02	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	536	A	K_A	Regulator output gain
s	0.086	E	T_A	Regulator output time constant
s	3	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
s	9	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	0.18	A	T_K	Regulator numerator (lead) time constant
pu	92	A	K_H	Exciter field current limiter gain
s	1	E	T_E	Exciter field time constant
s	0.08	A	T_H	Exciter field current limiter denominator (lag) time constant
s	0.02	A	T_J	Exciter field current limiter numerator (lead) time constant
pu	0.173	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	1.91	E	K_D	Demagnetizing factor, function of exciter alternator reactances
pu	1.6	E	K_E	Exciter field proportional constant
pu	75	E	V_{Amax}	Maximum voltage regulator outputs
pu	–75	E	V_{Amin}	Minimum voltage regulator outputs
pu	44	E	$E_{FE\,max}$	Maximum exciter field voltage
pu	–36	E	$E_{FE\,min}$	Minimum exciter field voltage
pu	75	E/A	V_{Hmax}	Exciter field current limiter maximum output
pu	19	E/A	V_{FELIM}	Exciter field current limiter reference
pu	999	E/A	$V_{FE\,max}$	Maximum exciter field current
pu	7.4	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$
	0.214	E	$S_E(E_1)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	5.55	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.044	E	$S_E(E_2)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2

- مدل AC7C

همانطور که در شکل ۴۰۸-۲ نشان داده شده است، سیستم تحریک AC7C متشکل از یک ژنراتور متناوب با یکسوسازهای ثابت یا دوار برای تغذیه DC سیم‌پیچ میدان است. ارتقا سیستم‌های تحریک AC قبلی به ساخت این مدل جدید منجر شده است. برخی از ویژگی‌های این مدل شامل افزایش پهنای باند حلقه داخلی است که باعث تنظیم بهتر ولتاژ میدان یا جریان تحریک می‌شود. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک AC7C در دول ۱۲۳-۲ آمده است.



شکل ۴۰۸-۲ : سیستم تحریک مدل **AC7C**

دول ۱۲۳-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **AC7C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	40	A	K_{PR}	Voltage regulator proportional gain
pu/s	5.6	A	K_{IR}	Voltage regulator integral gain
pu.s	0	A	K_{DR}	Voltage regulator derivative gain
s	1	A/E	T_{DR}	Lag time constant for derivative channel of PID controller
pu	3.2	A/E	V_{Rmax}	Maximum regulator output
pu	–3.2	A/E	V_{Rmin}	Minimum regulator output
pu	112	A/E	K_{PA}	Field current regulator proportional gain
pu/s	0	A/E	K_{IA}	Field current regulator integral gain
pu	65.2	E	V_{Amax}	Maximum field current regulator output
pu	–54	E	V_{Amin}	Minimum field current regulator output
pu	1	E	K_P	Potential circuit gain coefficient
pu	0	E	θ_P	Potential circuit phase angle (degrees)
pu	0	E	K_I	Potential circuit (current) gain coefficient
pu	0	E	X_L	Reactance associated with potential source
pu	0	E	K_{C1}	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	999	E	V_{Bmax}	Maximum available exciter field voltage

	pos. B	E	SW_1	Power source selector
	pos. A	E	SW_2	Power source selector
pu	0	E	K_R	Gain related to regulator and alternator field power supply
pu	0	E	K_L	Gain related to negative exciter field current capability
pu	0	A/E	K_{F1}	Generator field voltage feedback gain
pu	0.08	A/E	K_{F2}	Exciter field current feedback gain
pu	0.01	A/E	K_{F3}	Rate feedback gain
s	1	A/E	T_F	Rate feedback time constant
pu	0.12	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	3.3	E	K_D	Demagnetizing factor, function of exciter alternator reactances
pu	1	E	K_E	Exciter field proportional constant
s	1.2	E	T_E	Exciter field time constant
pu	23.2	E/A	V_{FEmax}	Maximum exciter field current
pu	0	E	V_{Emin}	Minimum exciter voltage output
pu	13.6	E	E_1	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_1)$
	3.74	E	$S_E(E_1)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_1
pu	10.2	E	E_2	Exciter output voltage for saturation factor $S_E(E_2)$
	0.32	E	$S_E(E_2)$	Exciter saturation factor at exciter output voltage E_2
NOTE—there are two rectifiers represented in this model, the diode bridge at the output of the rotating ac exciter and the controlled rectifier that provides the exciter field voltage and current. The parameter K_C is associated with the former, while the parameter K_{C1} is associated with the latter.				

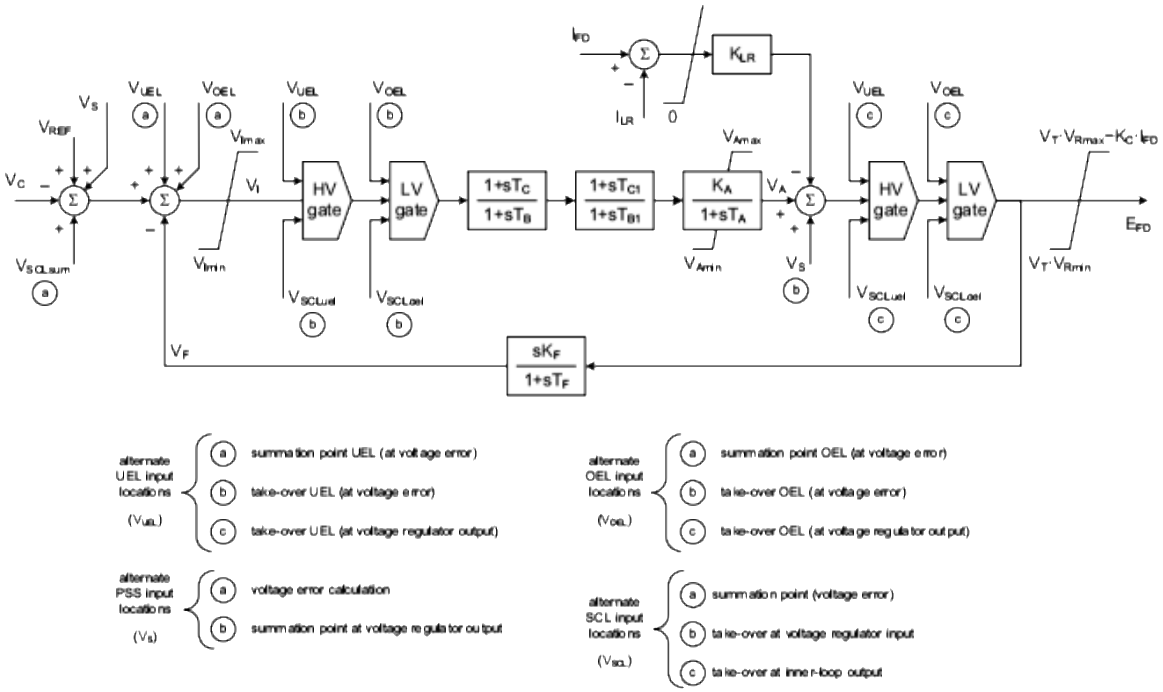
- سیستم تحریک استاتیک (ST)

گروه سیستم‌های تحریک استاتیک (ST) شامل ۱۰ مدل می‌باشد. سیم‌پیچ میدان توسط یکسوکننده‌های قابل کنترل یا غیر قابل کنترل تغذیه می‌شود. مدل ST1C شامل سیستم‌هایی است که در آنها تحریک از طریق ترانسفورماتور و از پایانه‌های ژنراتور اصلی یا باس جداگانه انجام می‌شود. این مدل شامل یکسوساز کنترل شده است. مدل ST2C از هر دو ژنراتور جریان و ولتاژ برای تغذیه استفاده می‌کنند. مدل ST3C از یک حلقه کنترل ولتاژ برای خطی کردن مشخصه کنترلی تحریک‌کننده استفاده می‌کند و در طراحی‌های مختلفی ارایه شده است: پل تریستوری کامل یا ترکیبی در هر دو پیکربندی سری یا شنت. ST4C تغییریافته مدل ST3A با کنترل‌کننده PI به جای پیش‌فاز–پس‌فاز است. کنترل کننده‌های بیشینه و کمینه تحریک در مدل ST5C نسبت به مدل ST3A تغییر کرده‌اند. تنظیم کننده ولتاژ مدل ST6C متشکل از یک تنظیم‌کننده ولتاژ PI با یک حلقه داخلی تنظیم ولتاژ میدان و پیش‌کنترل است. مدل ST7C نشان دهنده سیستم‌های تحریک با منبع ولتاژ و کنترل‌کننده PI است که در صورت استفاده از فیلتر پیش‌فاز–پس‌فاز بصورت سری، می‌تواند به کنترل‌کننده PID تبدیل شود و این موردِ معمول برای سیستم‌های تحریک بدون جارویک است. مدل ST8C از دو کنترل‌کننده PI ولتاژ و جریان که به صورت آبشاری قرار گرفته‌اند استفاده می‌کند. ST9C نیز از کنترل‌کننده PI استفاده می‌کند و پاسخ آن به تغییرات زیاد ولتاژ بهتر است. ST10C با اعمال تغییراتی بر مدل ST1C و ST5C بوجود آمده است

و خروجی PSS را به کنترل‌کننده جداگانه‌ای اعمال می‌کند. در این گزارش ۴ مدل نخست مورد بررسی قرار می‌گیرد و از بقیه مدل‌ها بخاطر شباهت عملکرد صرف‌نظر می‌شود.

- مدل ST1C

بلوک دیاگرام سیستم تحریک یکسوساز با منبع ولتاژ کنترل شده نوع ST1C که در شکل ۴۰۹-۲ نشان داده شده، برای نمایش سیستم‌هایی است که در آنها تحریک سیم‌پیچ میدان از طریق ترانسفورماتور از ترمینال‌های ژنراتور یا باس کمکی واحد انجام می‌شود و توسط یکسوساز کنترل شده تنظیم می‌گردد. حداکثر ولتاژ تحریک کننده موجود در چنین سیستم‌هایی با ولتاژ ترمینال ژنراتور متناسب است. در این نوع سیستم تحریک، ثابت‌های زمانی سیستم بسیار کوچک هستند و ممکن است نیازی به استفاده از تثبیت‌کننده نباشد. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک ST1C در جدول ۱۲۴-۲ آمده است.



شکل ۴۰۹-۲ : سیستم تحریک مدل **ST1C**

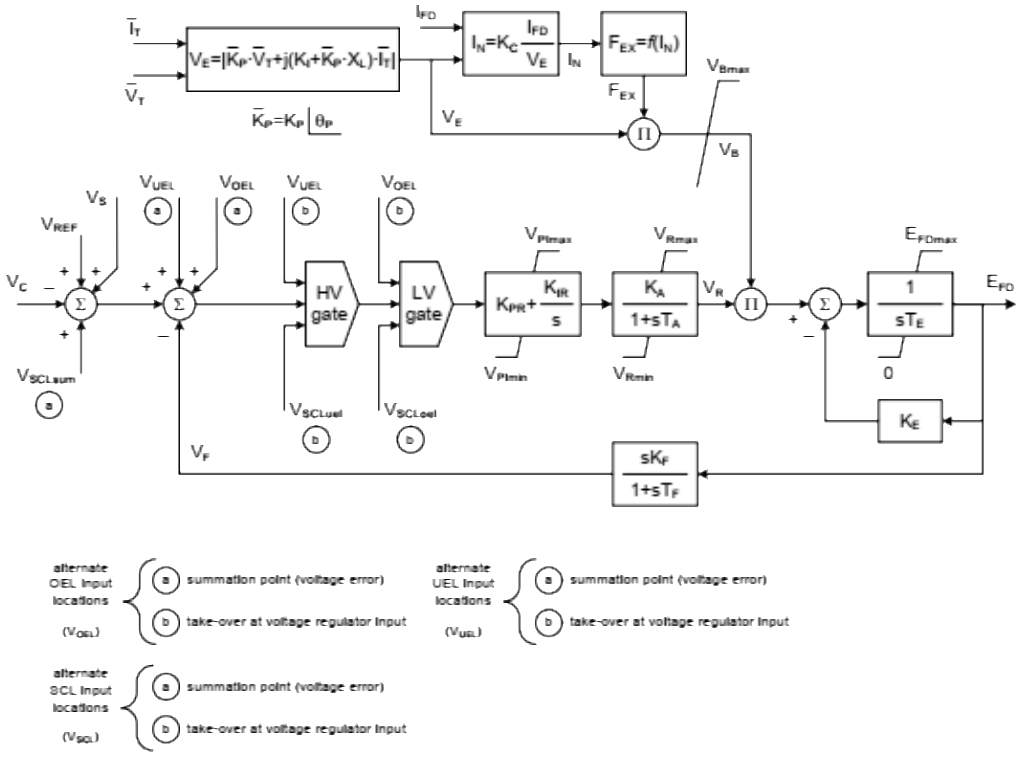
جدول ۱۲۴-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **ST1C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
p	0	A	R_C	Resistive component of load compensation

u				
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0.04	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	190	A/E	K_A	Voltage regulator gain
s	0	E	T_A	Voltage regulator time constant
s	10	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	1	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
s	0	A	T_{B1}	Regulator denominator (lag) time constant
s	0	A	T_{C1}	Regulator numerator (lead) time constant
pu	7.8	A/E	V_{Rmax}	Maximum exciter output
pu	–6.7	A/E	V_{Rmin}	Minimum exciter output
pu	7.8	A/E	V_{Amax}	Maximum regulator output
pu	–6.7	A/E	V_{Amin}	Minimum regulator output
pu	99	A/E	V_{Imax}	Maximum voltage error (regulator input)
pu	–99	A/E	V_{Imin}	Minimum voltage error (regulator input)
pu	0	A	K_F	Rate feedback gain
s	1	A	T_F	Rate feedback time constant
pu	0.08	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	0	A	K_{LR}	Exciter output current limiter gain
pu	0	A	I_{LR}	Exciter output current limit reference

- مدل ST2C

برخی از سیستم‌های تحریک استاتیک از هر دو منبع جریان و ولتاژ برای تحریک سیم‌پیچ میدان استفاده می‌کنند، همانند مدل ST2C که در شکل ۴۱۰-۲ نشان داده شده است. در این مدل، لازم است با استفاده از ترکیب فازور ولتاژ ترمینال و فازور جریان ترمینال مدلی از منبع تحریک‌کننده تشکیل شود. پارامتر E_{FDmax} نشان دهنده محدودیت ولتاژ تحریک کننده به دلیل اشباع مغناطیسی سیستم است. تنظیم کننده، خروجی تحریک کننده را از طریق کنترل اشباع ترانسفورماتور قدرت کنترل می کند. ثابت زمانی T_E به اندوکتانس سیم پیچ‌های کنترل وابسته است. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک ST2C در جدول ۱۲۵-۲ آمده است.



شکل ۴۱۰-۲ : سیستم تحریک مدل **ST2C**

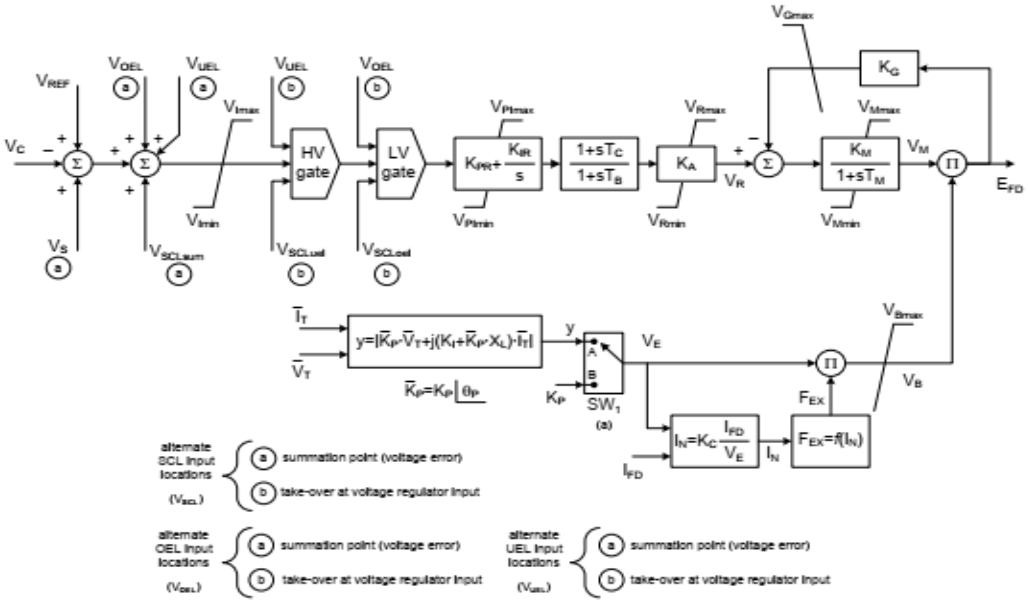
جدول ۱۲۵-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **ST2C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	120	A	K_A	Voltage regulator gain
s	0.15	E	T_A	Voltage regulator time constant
pu	1	A/E	V_{Rmax}	Maximum regulator output
pu	0	A/E	V_{Rmin}	Minimum regulator output
pu	0.05	A	K_F	Rate feedback gain
s	1	A	T_F	Rate feedback time constant
pu	0.1	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	1	E	K_E	Exciter field proportional constant
s	0.5	E	T_E	Exciter field time constant
pu	4.4	E	E_{FDmax}	Maximum generator field voltage
pu	4.88	E	K_P	Potential circuit (voltage) gain coefficient
pu	0	E	K_I	Compound circuit (current) gain coefficient

pu	0	E	X_L	Reactance associated with potential source
degrees	0	E	θ_P	Potential circuit phase angle (degrees)
pu	5.2	A/E	V_{Bmax}	Maximum available exciter voltage

- مدل ST3C

همانطور که در شکل ۴۱۱-۲ نشان داده شده است برخی از سیستم‌های تحریک استاتیک از یک حلقه کنترل ولتاژ برای خطی کردن مشخصه کنترل تحریک کننده استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها از انواع متنوع طراحی‌های یکسوساز کنترل شده استفاده می‌کنند: پل‌های تمام کنترل شده‌ی تریستوری و پل‌های نیمه‌کنترل شده و پیکربندی سری یا موازی. همچنین سیستم تحریک می‌تواند بصورت مستقل یا از خود ژنراتور تغذیه شود. در برخی سیستم‌ها از دو منبع ولتاژ و جریان برای تغذیه سیم‌پیچ استفاده شده است. تمهیداتی اینچنین باعث می‌شود استقلال خروجی از اغتشاشات ورودی تا حد امکان بیشتر شود. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک ST3C در جدول ۱۲۶-۲ آمده است.



شکل ۴۱۱-۲ : سیستم تحریک مدل **ST3C**

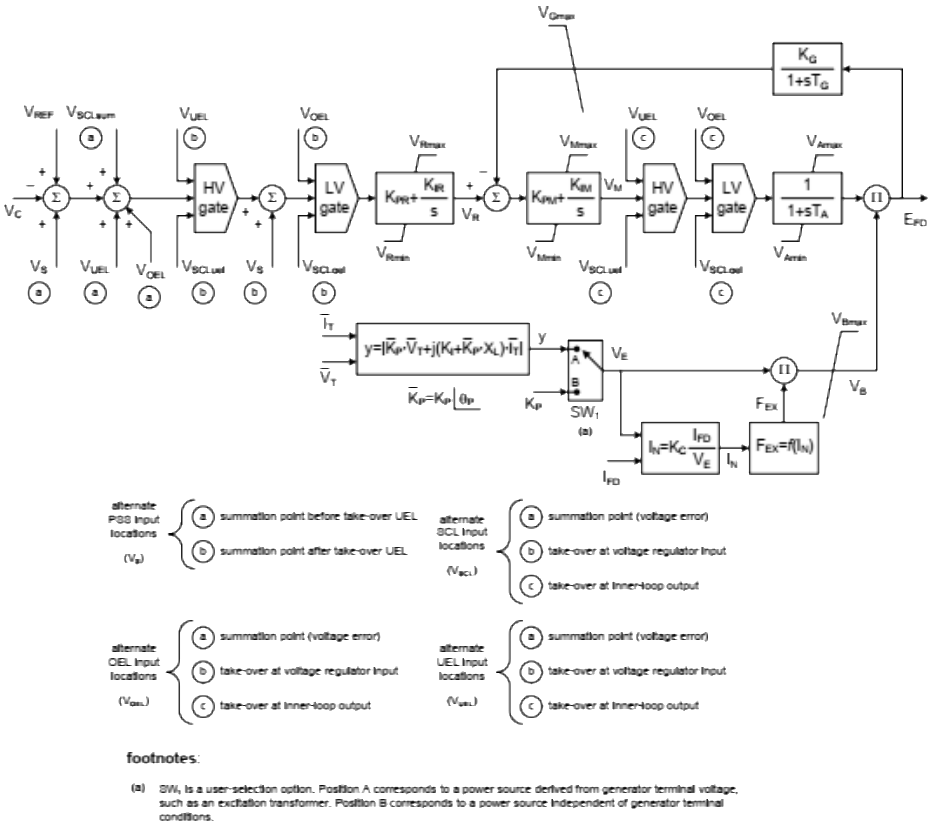
جدول ۱۲۶-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **ST3C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	200	A	K_A	Voltage regulator gain
s	0	E	T_A	Thyristor bridge firing control equivalent time constant
s	10	A	T_B	Regulator denominator (lag) time constant
s	1	A	T_C	Regulator numerator (lead) time constant
pu	10	A/E	V_{Rmax}	Maximum regulator output

pu	–10	A/E	V_{Rmin}	Minimum regulator output
pu	0.2	A/E	V_{Imax}	Maximum voltage error (regulator input)
pu	–0.2	A/E	V_{Imin}	Minimum voltage error (regulator input)
pu	7.93	A/E	K_M	Forward gain of inner loop field regulator
s	0.4	E	T_M	Forward time constant of inner loop field regulator
pu	1	A/E	V_{Mmax}	Maximum output of field current regulator
pu	0	A/E	V_{Mmin}	Minimum output of field current regulator
pu	1	A	K_G	Feedback gain of field current regulator
pu	5.8	A/E	V_{Gmax}	Maximum field current feedback voltage
	pos. A	E	SW_1	Power source selector
pu	0.2	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	6.15	E	K_P	Potential circuit (voltage) gain coefficient
pu	0	E	K_I	Compound circuit (current) gain coefficient
pu	0.081	E	X_L	Reactance associated with potential source
degrees	0 [b]	E	θ_P	Potential circuit phase angle (degrees)
pu	6.9	A/E	V_{Bmax}	Maximum available exciter voltage

- مدل ST4C

این مدل شبیه به مدل ST3C است، با این تفاوت که بلوک کنترل کننده PI جایگزین کنترل‌کننده پیش‌فاز–پس‌فاز در مدل ST3C شده است. مدل این سیستم تحریک در شکل ۴۱۲–۲ نشان داده شده است. مشخصات فنی نوعی سیستم تحریک ST3C در جدول ۱۲۷–۲ ارایه شده است.



شکل ۴۱۲-۲ : سیستم تحریک مدل **ST4C**

جدول ۱۲۷-۲ : مشخصات فنی سیستم تحریک **ST4C**

Units	Value	Type	Symbol	Description
pu	0	A	R_C	Resistive component of load compensation
pu	0	A	X_C	Reactance component of load compensation
s	0	E	T_R	Regulator input filter time constant
pu	10.75	A	K_{PR}	Voltage regulator proportional gain
pu/s	10.75	A	K_{IR}	Voltage regulator integral gain
s	0.02	E	T_A	Thyristor bridge firing control equivalent time constant
pu	1	A/E	V_{Rmax}	Maximum regulator output
pu	–0.87	A/E	V_{Rmin}	Minimum regulator output
pu	1	A/E	K_{PM}	Forward proportional gain of inner loop field regulator
pu/s	0	A/E	K_{IM}	Forward integral gain of inner loop field regulator
pu	99	A/E	V_{Mmax}	Maximum output of field current regulator
pu	–99	A/E	V_{Mmin}	Minimum output of field current regulator
pu	99	A/E	V_{Amax}	Maximum exciter output
pu	–99	A/E	V_{Amin}	Minimum exciter output

pu	0	A	K_G	Feedback gain of field current regulator
s	0	A/E	T_G	Feedback time constant of field current regulator
pu	99	A/E	V_{Gmax}	Maximum feedback voltage for field current regulator
	pos. A	E	SW_1	Power source selector
pu	0.113	E	K_C	Rectifier loading factor proportional to commutating reactance
pu	9.3	E	K_P	Potential circuit (voltage) gain coefficient
pu	0	E	K_I	Compound circuit (current) gain coefficient
pu	0.124	E	X_L	Reactance associated with potential source
degrees	0	E	θ_P	Potential circuit phase angle (degrees)
pu	11.63	A/E	V_{Bmax}	Maximum available exciter voltage

۸-۵-۲-۲- انتخاب مشخصات فنی برای مقایسه سیستم‌های تحریک نیروگاه

همانطور که اشاره شد، روتور ماشین سنکرون برای ایجاد میدان تحریک، احتیاج به یک جریان مستقیم قابل کنترل دارد. منبع این جریان سیستم تحریک می‌باشد که جریان تحریک را به ماشین سنکرون (ژنراتور) ارسال می‌کند. این سیستم متشکل از مجموعهٔ تغذیه کننده‌ها (فیدرها)، تنظیم کننده ها، کنترل‌ها و دستگاه‌های حفاظت می‌باشد. سیستم تحریک ماشین‌های سنکرون دارای دو قسمت اساسی می‌باشد:: ۱- ***سیستم قدرت*** که شامل تجهیزاتی است که وظیفه تولید جریان مورد نیاز حوزه مغناطیسی سیم پیچ رتور ماشین سنکرون را به عهده دارد.

۲- ***سیستم کنترل*** که وظیفه ی کنترل مقدار جریان حوزه مغناطیسی در شرایط بهره برداری عادی و در شرایط رخداد خطا را دارا می باشد.

به همین منظور پارامترهای فنی این دو قسمت در انواع سیستم‌های تحریک می‌بایست با یکدیگر مقایسه شوند. لیکن از آنجا که پارامترهای سیستم کنترل بعضا در شرایط یکسانی اندازه‌گیری نمی‌شوند و یا در برخی موارد دیده شده پارامترهای واقعی با آنچه توسط شرکت سازنده ادعا شده متناقض است و مرجع معتبری نیز برای اندازه‌گیری دقیق آنها وجود ندارد، لذا در این گزارش از تنها به مقایسه پارامترهای سیستم قدرت بسنده شده و پارامترهای سیستم کنترل هر جا که توسط شرکت سازنده بیان شده در جدول جداگانه‌ای آورده شده است. پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک در جدول ۱۲۸-۲ آورده شده‌است. در بخش بعد این پارامترها در انواع سیستم‌های تحریک ساخته شده توسط شرکت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

جدول ۱۲۸-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power	توان نامی
	Armature Voltage	ولتاژ اعمال شده به آرمیچر
	Armature Amps	جریان آرمیچر
	Excitation Current at Peak Load	جریان تحریک در پیک بار

	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	تحریک کننده با جاروبک یا بدون جاروبک؟

۹-۵-۲-۲- شرکت‌های سازنده خارجی و محصولات آن‌ها

لیست تولید کنندگان خارجی سیستم‌های تحریک ژنراتور سنکرون به ترتیب ذکر شده در گزارش در جداول ذیل آورده شده است.

جدول ۱۲۹-۲ : تولیدکنندگان مدل‌های نوع **DC**

مدل‌های تولید شده	نوع
Regulex is a trademark of Allis Chalmers Corp. Amplidyne and GDA are trademarks of General Electric Co. Westinghouse Mag-A-Stat, Rototrol, Silverstat, and TRA. AB and KC are trademarks of Asea Brown Boveri Inc. The type KC may be modelled with some approximations.	DC1C
Westinghouse PRX-400, MGR. General Electric SVR. Eaton Cutler Hammer/Westinghouse type WDR retrofit, Basler SR.	DC2C

جدول ۱۳۰-۲ : تولیدکنندگان مدل‌های نوع **AC**

مدل‌های تولید شده	نوع
Westinghouse Brushless Excitation System; Cutler Hammer Westinghouse WDR brushless exciter retrofit, Emerson DGC retrofit, Brush MAVR, STAVR, and PEAVR.	AC1C
Westinghouse High Initial Response Brushless excitation system, GE EX2000/EX2100/EX2100e (for brushless units).	AC2C
ALTERREX (a trademark of General Electric Co.)	AC3C
ALTHYREX (a trademark of General Electric Co.); General Electric Rotating Thyristor Excitation system.	AC4C
This model can be used to represent small excitation systems such as those produced by Basler and Electric Machinery and ALSTOM ControGen SX.	AC5C
Stationary diode systems such as those produced by C.A. Parsons and ABB Unitrol (for rotating exciters).	AC6C
Basler DECS or Basler/Eaton/Cutler Hammer ECS2100 applied to ac/dc rotating exciters (DECS is a trademark of Basler Electric Co.); Brush PRISMIC A50-B, A32, A3100 (Brush and PRISMIC are trademarks of Brush Electrical Machines Ltd.); GE EX2000/2100/2100e. Voltage regulator replacements for GE Alterrex (Type AC3A model) or dc exciters. Emerson/Emerson Ovation DGC, REIVAX excitation systems applied to rotating exciters. Siemens RG3 and THYRISIEM brushless excitation (RG3 and THYRISIEM are registered trademarks of Siemens).	AC7C

جدول ۱۳۱-۲ : تولیدکنندگان مدل‌های نوع استاتیک (**ST**)

نوع	مدل‌های تولید شده
ST1C	Silcomatic (a trademark of Canadian General Electric Co.). Westinghouse Canada Solid State Thyristor Excitation System; Westinghouse Type PS Static Excitation System with Type WTA, WTA-300 and WHS voltage regulators. Static excitation systems by ALSTOM, ASEA, Brown Boveri, GEC-Eliott, Hitachi, Mitsubishi, Rayrolle-Parsons, and Toshiba. General Electric Potential Source Static Excitation System. Basler Model SSE/SSE-N. UNITROL (a registered trademark of Asea Brown Boveri, Inc.); THYRIPOL (a registered trademark of Siemens AG.); Westinghouse WDR and MGR, REIVAX static excitation.
ST2C	General Electric static excitation systems, frequently referred to as the SCT-PPT or SCPT.
ST3C	General Electric Compound Power Source and Potential Power Source GENERREX excitation systems.
ST4C	Basler DECS applied to static excitation, Brush PRISMIC applied to static excitation, General Electric EX2000/2100/2100e bus fed potential source and static compound source and GENERREX-PPS or GENERREX-CPS; Canadian General Electric SILCOmatic 5, Basler/Eaton Cutler-Hammer ECS2100 static excitation system, Andritz Hydro THYNE applied to static excitation, Emerson/Emerson Ovation DGC or REIVAX static excitation systems.

در جدول زیر لیست معروف‌ترین تامین‌کنندگان خارجی سیستم تحریک نیروگاه ارایه گردیده است[۱].

جدول ۱۳۲-۲ : تولیدکنندگان خارجی سیستم تحریک نیروگاه

ردیف	نام شرکت	آدرس وبگاه
۱	ABB	https://new.abb.com/power-electronics/excitation-and-synchronization
۲	Emerson	https://www.emerson.com/en-us/automation/control-and-safety-systems/distributed-control-systems-dcs/ovation-distributed-control-system/generator-exciter-controls
۳	General Electric	https://www.ge.com/power/gas/controls/excitation-control-system

[۱] شرکت امریکایی Westinghouse در تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۱۰ اعلام ورشکستگی کرد.

٤	Siemens	https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/services/performance-enhancement/modernization-upgrades/generators/utility-generators/exciter.html
٥	NR Electric	https://www.nrec.com/en/index.php/product/productInfo/384.html
٦	Nidec	https://www.nidec-industrial.com/products/excitation-systems/
٧	Ansaldo	https://www.ansaldoenergia.com/
٨	Basler	http://www.basler.com/SiteMap/Products/Excitation-Systems/
٩	Brush	https://www.brush.eu/
١٠	TECG	https://www.tecgcontrol.com/electrical/generator-excitation-system-avr/

در ادامه ویژگی‌های فنی چند نمونه از سیستم‌های تحریک نیروگاه بیان می‌گردد:

- شرکت ABB

ABB یکی از بزرگترین تولیدکنندگان تنظیم‌کننده ولتاژ اتوماتیک (AVR) UNITROL و سیستم تحریک استاتیک (SES) است که راهکارهایی برای هر نوع نیروگاه با هر ظرفیت تولید ارائه می‌دهد. سیستم‌های تحریک یکی از مولفه‌های اصلی در بسیاری از واحدهای تولید توان است که توسط صاحبان نیروگاه‌ها و بهره‌برداران برای دستیابی به قابلیت اطمینان با عملکرد مناسب، پایداری و پاسخ سریع مطابق با نیاز شبکه استفاده می‌شود.

تولید سیستم تحریک در این شرکت در حال حاضر در دو سری زیر صورت می‌پذیرد:

UNITROL 1000 Series
UNITROL 6000 Series

سری ۱۰۰۰ برای تامین جریان‌های تحریک DC کمتر از ۲۰A و سری ۶۰۰۰ برای جریان‌های ۱۵ تا ۱۲/۰۰۰ آمپر طراحی و ساخته شده است. توضیحات مربوط به سری ۱۰۰۰ به جهت خارج بودن از موضوع این گزارش مورد بررسی قرار نگرفته است.

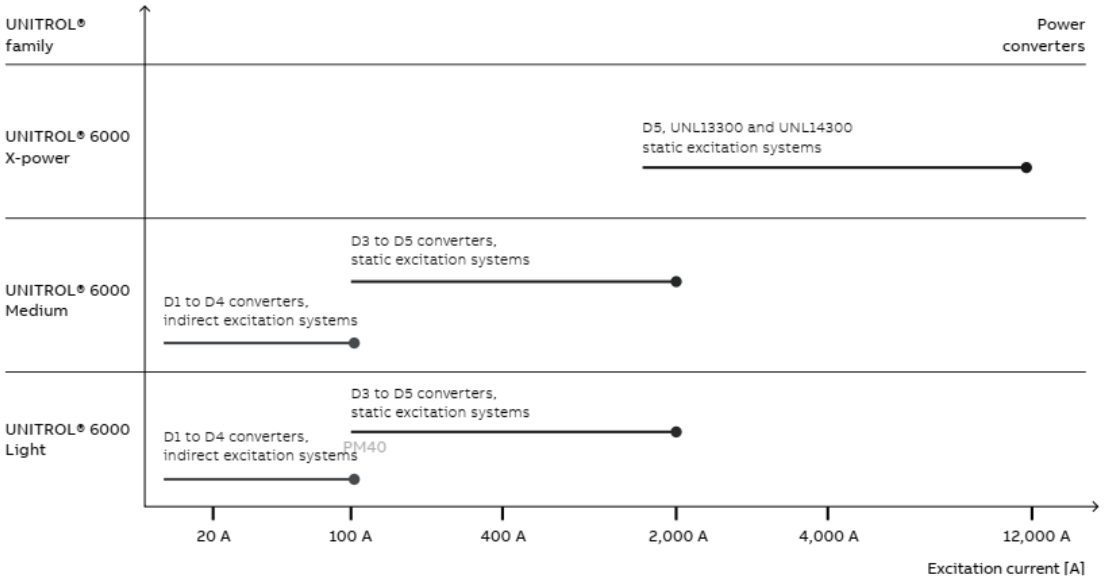
سری UNITROL 6000 به طور خاص برای ارائه خدمات به طیف گسترده‌ای از کاربردها طراحی شده و محدوده عملکرد این سری در شکل ۴۱۳-۲ نشان داده شده است.

موتور: کارخانه‌های تولید فولاد، کاغذ، مواد شیمیایی، کارخانه‌های تولید گاز طبیعی، پالایشگاه‌ها و ...

ژنراتور: نیروگاه‌های بخار، گاز، هسته‌ای و برق

UNITROL 6000 برای سیستم‌های تحریک استاتیک در سه نسخه ارائه می شود:

- UNITROL 6000 Light: سطح پایه استاندارد
- UNITROL 6000 Medium متوسط: کاملاً قابل تنظیم
- UNITROL 6000 X-power پیشرفته: کاملاً قابل تنظیم



شکل ۴۱۳-۲ : محدوده عملکرد سری **ABB UNITROL 6000**

داده‌های فنی سیستم‌های تحریک سری UNITROL 6000 در جدول ۱۳۳-۲ با یکدیگر مقایسه شده است. همچنین پارامترهای مشترک قدرت در جدول ۱۳۴-۲ آمده است.

جدول ۱۳۳-۲ : مقایسه داده‌های فنی سیستم‌های تحریک سری **ABB UNITROL 6000**

UNITROL® 6000 X-power	UNITROL® 6000 Medium	UNITROL® 6000 Light	ویژگی اصلی
Yes	Yes	No	Customizable
1800 A < X < 12000 A	< 1800 A	< 1800 A	DC current rage
Yes / Optional	Yes / Optional	No	Backup channel
Single, Twin, n-x	Single, Twin, Twin+Backup	Single, Twin	Converter redundancy
8	3	2	Max. converters
Yes	No	No	H configuration
D5, UNL13300, UNL14300	D1, D2, D3, D4, D5	D1, D3, D4, D5	Converter types
2B/2C/4B	2B/2C	2B/2C	PSS
Yes	No	No	APSS
3	2	2	PEC controller generation
Yes	Optional	No	IEC 61850
AC (4000) or DC	AC or DC	AC or DC	Field breaker

جدول ۱۳۴-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری **ABB UNITROL 6000**

UNITROL® 6000 X-power	UNITROL® 6000 Medium	UNITROL® 6000 Light	نام پارامتر

پارامترهای سیستم قدرت				
Rated Power (KW)	۱۲۰	۲۰۰	۲۰۰–۴۰۰
Armature Voltage (V)	۶۹۰	۶۹۰	۱۹۰۰
Armature Amps (A)	۱۲۰۰	۱۶۰۰	۲۰۰۰
Excitation Current at Peak Load (A)	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۶۰۰۰
Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brushless	Brushless	Brushless

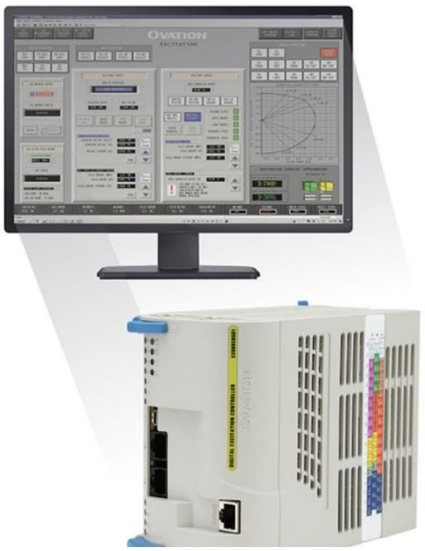
- شرکت EMERSON ایالات متحده آمریکا

ژنراتورهای نیروگاه و سیستم‌های تحریک همراه نقش مهمی در حفظ ثبات شبکه داشته‌اند. آسیب دیدگی یا خرابی کامل سیستم کنترل تحریک ژنراتور می‌تواند باعث قطع ناخواسته برق و در نتیجه از دست رفتن درآمد شود.

پلتفرم Ovation control شامل کنترل تحریک ژنراتور برای ژنراتورهای سنکرون است که ویژگی‌های ابتکاری مانند اسیلوگرافی با سرعت بالا، تعادل دینامیکی و تنظیم کننده جریان میدان مستقل را ارائه می‌دهد. نرم‌افزار پایدارساز سیستم قدرت یکپارچه و مجموعه کاملی از توابع محدود کننده و محافظت کننده بر اساس نیازهای خاص نیروگاه می‌توانند اضافه شوند. شکل ۴۱۴–۲ شمای این سیستم تحریک را نشان می‌دهد. همچنین پارامترهای مشترک قدرت در جدول ۱۳۵–۲ آمده است.

مزایای این محصول عبارتند از:

- بهره‌وری اپراتور را با استفاده از یک سیستم ساده HMI بهبود می‌بخشد.
- تصمیم‌گیری بهتر از طریق گرافیک فرآیند یکپارچه، هشدار دهنده، روندها و داده‌های تشخیصی را امکان پذیر می کند.
- پیکربندی را ساده کرده و تعمیر و نگهداری را سهل‌تر می‌کند.
- دسترسی به خدمات جامع، قابل‌دسترسی و آگاهانه از یک فروشنده را فراهم می‌کند.
- با کاهش خطرات ادغام ارتباطات و بروزرسانی چندین سیستم، قابلیت اطمینان و امنیت سیستم را افزایش می دهد.
- از طریق مجموعه مشترک قطعات یدکی استاندارد، هزینه‌های موجود را کاهش می‌دهد.
- پشتیبانی از توانایی مطابقت با الگوریتم های جدید NERC، داده‌ها ، تجزیه و تحلیل، حفاظت و کنترل.
- در انجام تعهدات امنیت سایبری از طریق محصولات و خدمات Ovation کمک می‌کند.



شکل ۴۱۴-۲ : شمای سیستم تحریک **EMERSON Ovation**

جدول ۱۳۵-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری **EMERSON**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۵۰
	Armature Voltage (V)	۱۲۵
	Armature Amps (A)	۸۰۰۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۱۰۰۰۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

- شرکت General Electric ایالات متحده

EX2100e چهارمین نسل از سیستم کنترل تحریک دیجیتال GE است. بیش از ۴۰۰۰ سیستم تحریک دیجیتال نسل اول، دوم و سوم GE در ۶۰ کشور در سراسر جهان مشغول به کار هستند. کنترل تحریک EX2100e جدیدترین و پیشرفته‌ترین سیستم تحریک GE برای ژنراتورهای بخاری، گازی و برق‌آبی است. طراحی سخت‌افزار و نرم‌افزار کنترل این سیستم کاملاً بر مهندسی کنترل هماهنگ است تا اطمینان حاصل شود که یک راه حل واقعی ارائه می شود.

سیستم کنترل EX2100e با چندین تنظیم در دسترس است تا انعطاف‌پذیری را برای کنترل کامل استاتیک و تنظیم‌کننده آن فراهم کند. سیستم‌های مبتنی بر یکسوساز کنترل کننده سیلیکون تریستور (SCR) از سلولهایی با ابعاد ۴۲، ۵۳، ۷۷ و ۱۰۰ میلی‌متر استفاده می‌کنند تا از لحاظ اقتصادی نیازهای جریان میدان را در کاربردهای استاتیک برآورده کنند. سیستم‌های مدولاسیون پهنای پالس (PWM) از ترانزیستورهای دو قطبی با گیت عایق بندی شده (IGBT) استفاده می کنند تا خروجی های A ۳۵ یا A ۱۲۰ را برای تنظیم‌کننده فراهم کنند. این سیستم‌ها می‌توانند از کاربردهای زیر پشتیبانی کنند:

• منابع استاتیک تا A ۸۰۰۰
• رگولاتورهای ترانسفورماتور جریان قابل اشباع / رگولاتورهای (SCT / PPT)
• تنظیم کننده‌های تحریک کننده بدون جاروبک
• تنظیم کننده تحریک کننده چرخان جریان مستقیم

معماری سیستم تریستور EX2100e شامل یک پیکربندی کنترل ساده، زیر سیستم رابط I/O با یک رابط تشخیصی قابل نصب اپراتور (صفحه لمسی)، رابط صفحه لمسی از راه دور، ماژول ورودی منبع تغذیه کنترل و ماژول تبدیل نیرو (PCM)است. PCM شامل زیر سیستم رابط پل، مبدل توان پل، شبکه‌های فیلتر AC و DC و دستگاه‌های ایزوله AC و یا DC است.

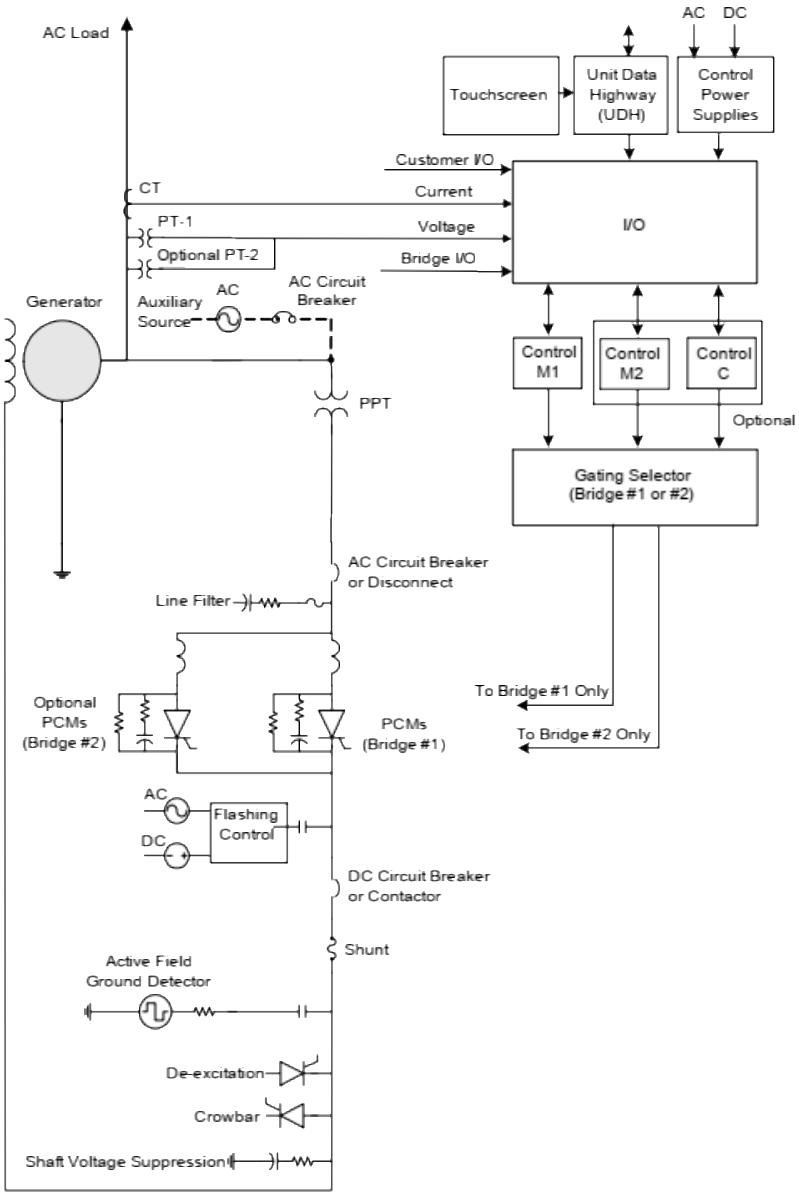
داده‌های فنی سیستم تحریک سری GE EX2100e در جدول ۱۳۶-۲ لیست شده است. اجزای اصلی عملکرد ساده شده سیستم کنترل EX2100e در شکل ۴۱۵-۲ نشان داده شده است. همچنین پارامترهای مشترک قدرت در

جدول ۱۳۷-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۳۶-۲ : داده‌های فنی سیستم تحریک سری **EX2100e GE**

Description	Item
Physical Characteristics	
NEMA 1/IP20 or IP21 freestanding, indoor metal cabinet, floor mounted Optional NEMA 12/IP54 available	Enclosure
Cabinet dimensions vary depending on the SCR size (42 mm, 53 mm, 77 mm, 100 mm)	Cabinet dimensions (W x H x D)
Exterior: ANSI®-70 (light gray) (other colors available) Interior: Galvanized steel	Paint
Environmental Characteristics	
0 to 40°C (32 to 104 °F); current derating at 50°C (122 °F)	Ambient temperature
42 mm: 600 V rms 53/77 mm: 1000 Vrms 100 mm: 1400 V rms	AC input maximum
50/60 Hz nominal	AC input frequency
42 mm: 165 A dc (convection), 465 A dc (fan cooled) 53 mm: 1000 A dc 77 mm: 2000 A dc 100 mm: 8000 A dc	Nominal continuous output
Supported Standards	
UL508C Standard for Power Conversion Equipment CSA 22.2 No. 14 Industrial Control Equipment OSHA 29 CFR Part 1910 Subpart S, Electrical Safety Requirements	Safety

Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive 2004/108/EC: EN 55011: ISM equipment emissions (CISPR 11) EN 6100-6-4 & -6-2 Emissions and Immunity, Industrial Environment • EN 61000-4-2 Electrostatic Discharge Susceptibility • EN 61000-4-3 Radiated RF Immunity • EN 61000-4-6 Conducted RF Immunity • EN 61000-4-4 Electrical Fast Transient Susceptibility • EN 61000-4-5 Surge Immunity Low Voltage Directive 2006/95/EC: EN 50178 Electronic equipment for use in power installations 1997	CE
421.1 Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines (2007) 421.2 Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems (1990) 421.3 High-Potential Test Requirements for Excitation Systems for Synchronous Machines (2004) 421.4 Guide for the preparation of Excitation Systems Specifications (2004) 421.5 Recommended Practice for Excitation Systems for Power Stability Studies (2005) C57.12.01 General Requirements	IEEE™
IBC 2006/Universal Building Code (UBC) – Seismic Code section 2312 Zone 4	Seismic



شکل ۴۱۵-۲ : اجزای اصلی عملکرد ساده شده سیستم کنترل **EX2100e**

جدول ۱۳۷-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری **EX2100e GE**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۱۰۰
	Armature Voltage (V)	۴۵۰
	Armature Amps (A)	۶۰۰۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۸۰۰۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

- شرکت Siemens آلمان

سیستم‌های تحریک استاتیک SPPA-E3000 (SES) شرکت زیمنس از سری THYRIPOL، سیستم‌های تحریک استاتیک برای ژنراتورهای سنکرون و کندانسورهای سنکرون هستند. آنها در نیروگاه‌های برق با توان متوسط تا زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فناوری بسیار انعطاف‌پذیر این سیستم راه‌حل‌های متناسب با هر مساله را ارائه می‌دهد. سیستم‌های تحریک استاتیک را می‌توان با توجه به نوع محل نصب موجود یا نوع ژنراتور، منبع تغذیه و ... در هر نیروگاه، سازگار کرد. این سیستم به صورت چندتکه (modular) ساخته شده و بر حسب نیاز می‌توان آنرا مطابق جدول زیر سرهم‌بندی کرد. پارامترهای مشترک قدرت در جدول ۱۳۸-۲، ابعاد فیزیکی در جدول ۱۳۹-۲ و مشخصات فنی سری THYRIPOL در جدول ۱۴۰-۲ آمده است. شکل ۴۱۶-۲ قسمت‌های مختلف تابلو آنرا نشان می‌دهد. ساختمان و اتصالات این سری در شکل ۴۱۷-۲ نشان داده شده است.

جدول ۱۳۸-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک سری **THYRIPOL** زیمنس

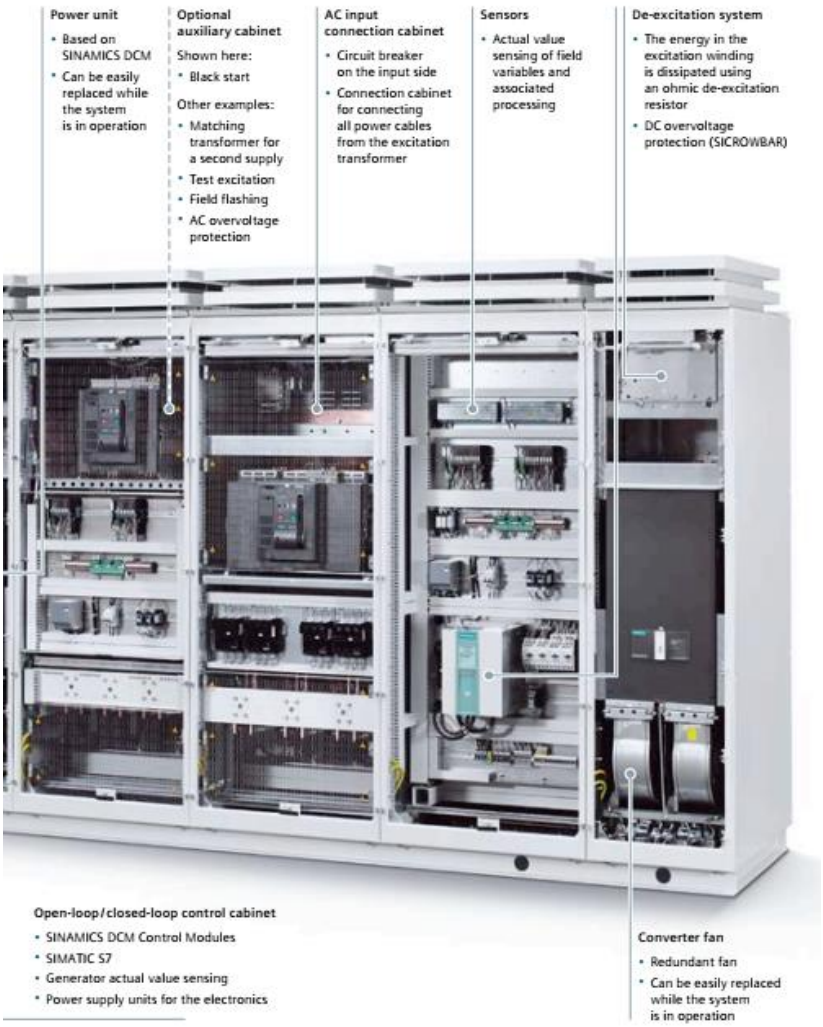
	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۴۲۰
	Armature Voltage (V)	۵۲۰
	Armature Amps (A)	۱۴۱۷
	Excitation Current at Peak Load (A)	۲۲۵۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

جدول ۱۳۹-۲ : ابعاد فیزیکی سیستم تحریک سری **THYRIPOL** زیمنس بر حسب نیاز

Type range, continuous excitation current			Symbolic representation (front view)
without redundancy	with N-1 redundancy	with N-2 redundancy	Open-loop / closed-loop control cabinet; Converter cabinet; Connection cabinet
up to 2,200 A	up to 2,200 A	–	600 600 600 — Width 1,800 mm
up to 4,500 A	up to 2,400 A	–	600 600 900 — Width 2,100 mm
up to 5,100 A	up to 5,100 A	up to 4,500 A	600 600 900 600 — Width 2,700 mm
up to 6,800 A	up to 6,800 A	–	600 600 900 900 600 — Width 3,600 mm
–	up to 6,800 A	up to 6,800 A	600 600 900 900 600 600 — Width 4,200 mm
up to 7,700 A	–	–	600 600 900 900 900 600 — Width 4,500 mm
–	up to 7,700 A	–	600 600 900 900 900 600 600 — Width 5,100 mm

Static excitation system: Rated supply voltage up to 950 V
Depth = 1,120 mm, max. height = 2,520 mm

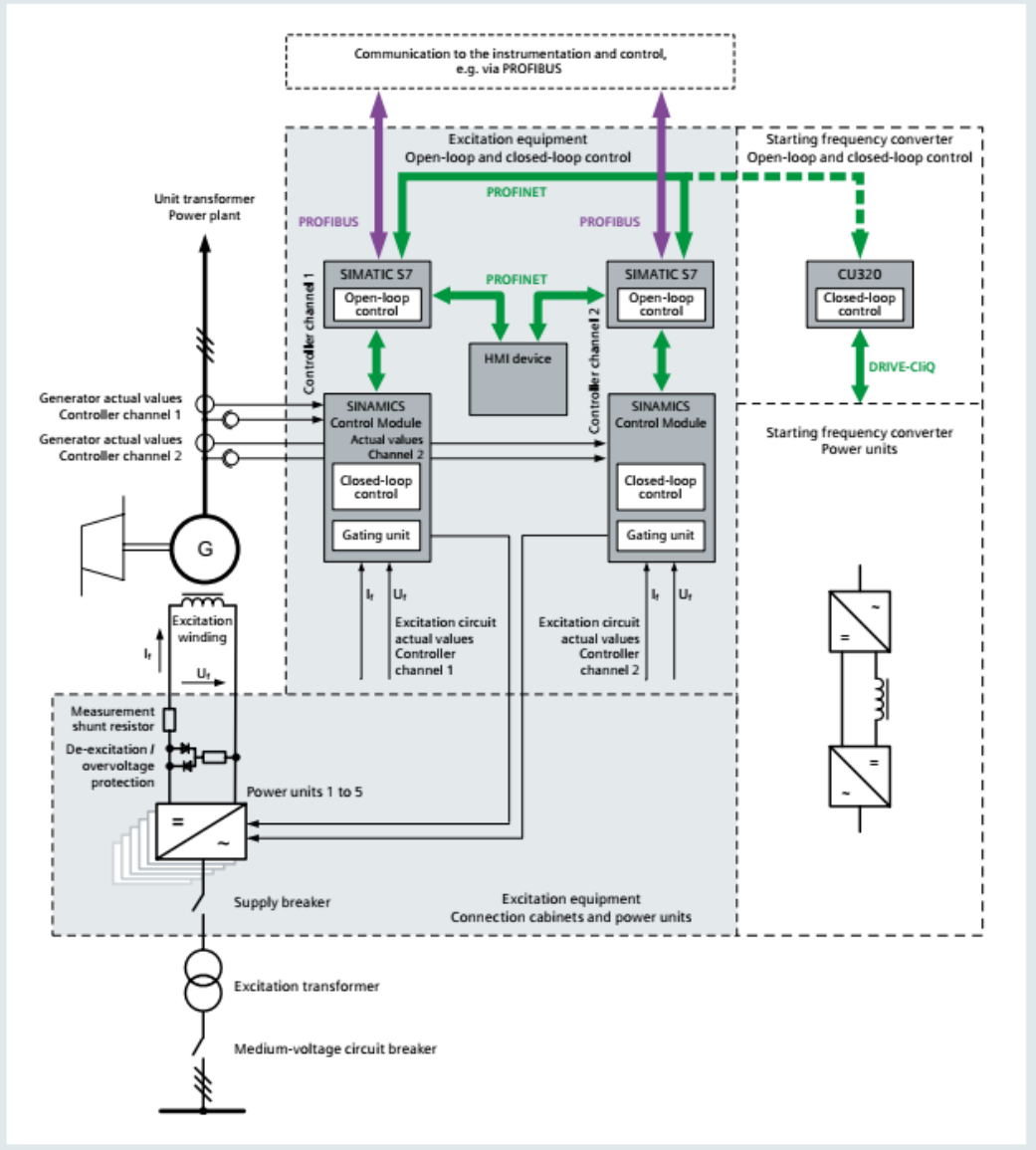
یک نمونه از نصب این سیستم تحریک در نیروگاه توربین گاز و بخار Irsching Block 4 آلمان دارای ظرفیت ۵۶۱ مگاوات است. نمونه دیگر در نیروگاه توربین گاز و بخار Bugok کره جنوبی است که در آن ۲ واحد ۲۰۵ MVA و ۱ واحد ۲۰۷ MVA سیستم تحریک استاتیک THYRIPOL زیمنس نصب شده است.



شکل ۴۱۶-۲ : قسمت‌های مختلف تابلو سری **THYRIPOL** زیمنس

جدول ۱۴۰-۲ : مشخصات فنی سری **THYRIPOL** زیمنس

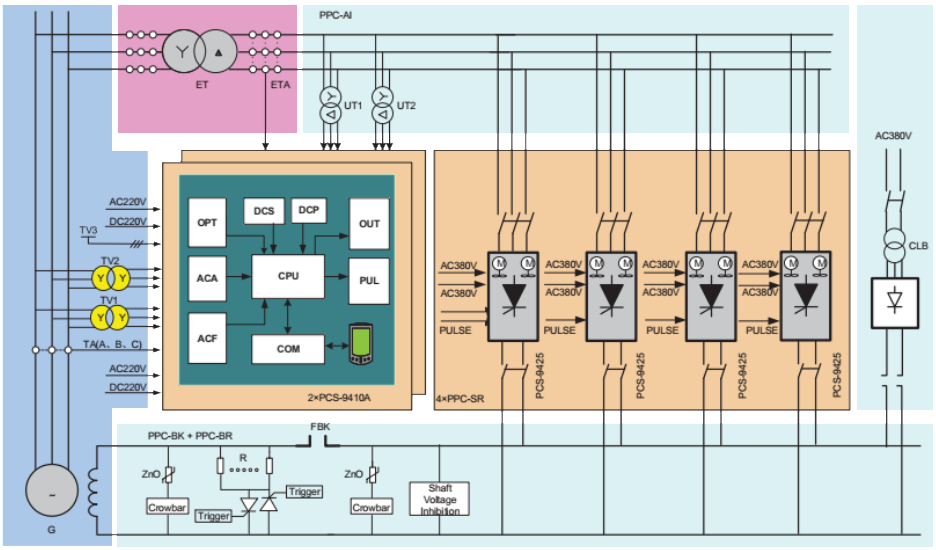
Type	Modular, sealed cabinet systems
Converter module type	SINAMICS DCM
Redundancy	• Open-loop and closed-loop control • Converter module • Converter fan • Power supply
Power range	Static excitation system: • Continuous excitation current: 1,375 to 7,700 A • Rated supply voltage: 575 to 950 VAC
Application areas	• Steam turbine power plants • Gas turbine power plants • Hydroelectric plants • Phase shifters
Voltage controller	• According to IEEE421.5 model ST6B, including limiters • Power system stabilizer • Reactive power control • Power factor control
Additional features	• Maintenance during operation • Current balancing control of parallel power converters (patent pending) • Ambient temperature: 0 to 50 °C • Degrees of protection: IP32 to IP43 • Noise in operation: 72 dBA / 50 Hz, 75 dBA / 60 Hz
Operation, open-loop and closed-loop control	• Closed-loop control dynamic response: rise time < 10 ms • Generator voltage and current actual value sensing: 50 µs / 16 Bit • Eight analog outputs, adjustable via parameters • Siemens platform concepts are used: SINAMICS, SIMATIC • Remote diagnostics



شکل ۴۱۷-۲ : ساختمان و اتصالات سری **THYRIPOL** زیمنس

- شرکت NR Electric چین

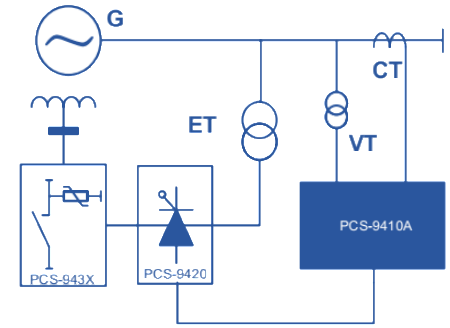
NR سیستم تحریک مبتنی بر ریز پردازنده ها را برای بهبود عملکرد ژنراتور و کاهش هزینه‌های نگهداری فراهم می‌کند. این استراتژی‌ها کنترل جامع را برای کاربردهای مختلف، مانند پایدارساز سیستم قدرت، کنترل بهینه یا کنترل تطبیقی و غیره ارائه می‌دهد. همچنین می‌تواند برای مطابقت با مشخصات مختلف پروژه‌های خاص سفارشی شود. در دسته‌بندی فعلی جریان از ۱۰۰A تا ۷۰۰۰A و ولتاژ از ۱۰۰ ولت تا ۷۰۰ ولت در دسترس است. شماتیک تحریک استاتیک NR برای ژنراتور ۶۰۰ MW در شکل ۴۱۸-۲ نشان داده شده است.



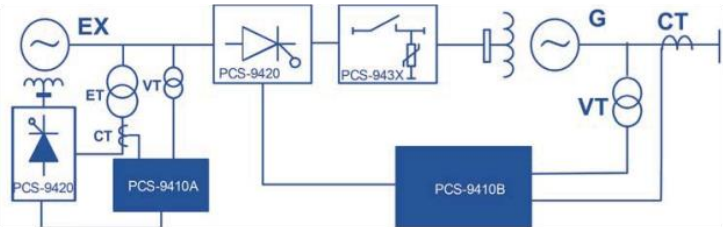
شکل ۴۱۸-۲ : شماتیک تحریک استاتیک شرکت **NR** برای ژنراتور **۶۰۰MW**

سیستم تحریک NR شامل تنظیم کننده عددی تحریک، یکسوکننده تریستور، یکسوکننده دریچه دیود، تجهیزات تحریک‌زدایی و کابینت‌های کمکی است. با توجه به نیازهای مختلف هر حالت تحریک، تجهیزات فوق را می‌توان انعطاف‌پذیر طراحی کرد تا راه‌حل بهینه را ترکیب کند. قسمت‌های مختلف شکل ۴۱۹-۲ انواع مختلف سیستم تحریک NR را نشان می‌دهد. پارامترهای مشترک قدرت در جدول ۱۴۱-۲ آورده شده است.

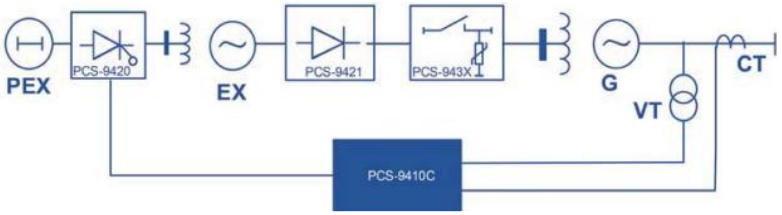
PCS-9400A
Self-excitation
Excitation
System

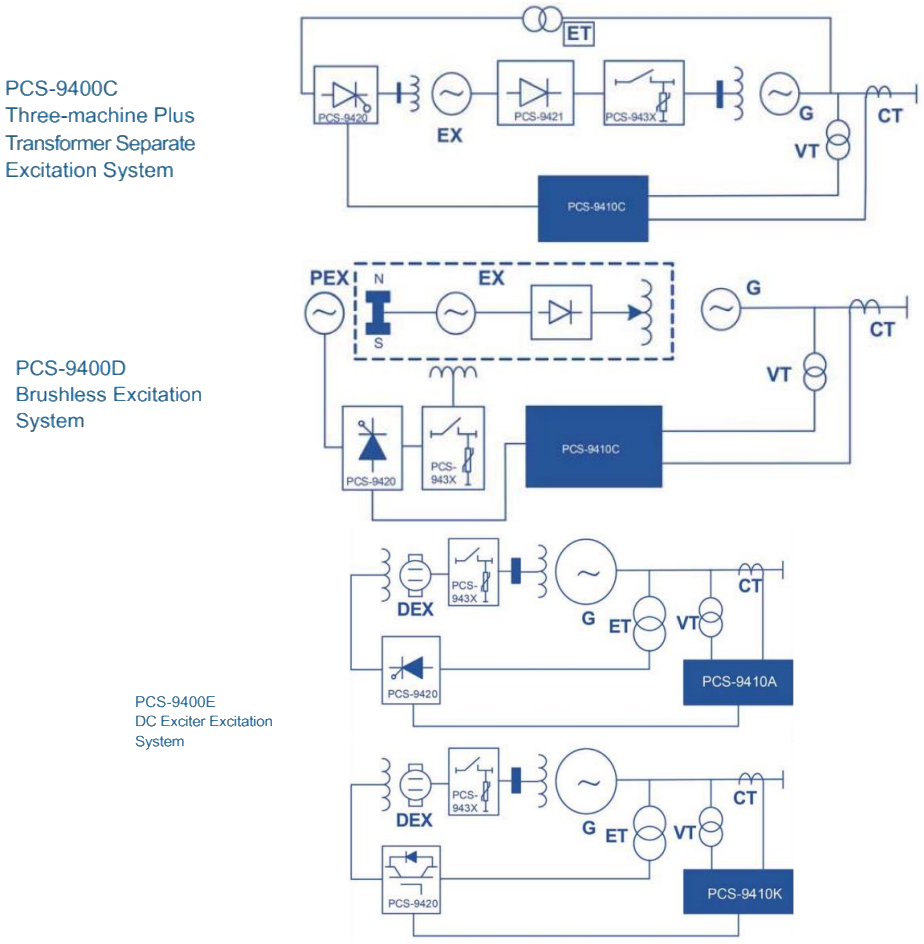


PCS-9400B
Two-machine
Separate Excitation
System



PCS-9400B
Two-machine
Separate Excitation
System





شکل ۴۱۹-۲ : انواع مختلف سیستم تحریک شرکت **NR**

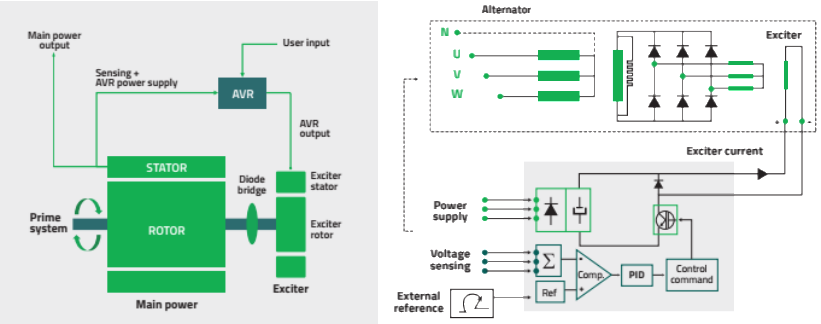
جدول ۱۴۱-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک **NR**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۴۸۰
	Armature Voltage (V)	۶۰۰
	Armature Amps (A)	۱۵۰۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۲۳۰۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

- شرکت Nidec ژاپن

Nidec Industrial Solutions یک شرکت چند ملیتی ژاپنی است که محصولات آن در درایوهای هارد دیسک، وسایل برقی، اتومبیل و تجهیزات تجاری و تولیدی یافت می‌شود. این شرکت بیشترین سهم بازار جهانی را برای موتورهای اسپیندل ریز دارد که در درایوهای دیسک سخت بکار می‌رود. این شرکت در سال ۲۰۱۷ با خرید Leroy-Somer از

Emerson، Nidec Leroy-Somer را راه‌اندازی نمود. در حال حاضر سیستم‌های تحریک Nidec اغلب تحت نام این کمپانی ساخته می‌شود .ظرفیت سیستم‌های تحریک Nidec Leroy-Somer از ۱۰kVA تا ۳۵MVA متغیر است. در شکل ۴۲۰-۲ دیاگرام کلی سیستم تحریک نشان داده شده است. در جدول ۱۴۲-۲ نیز پارامترهای مشترک قدرت ساخت این شرکت را ارایه می‌دهد.



شکل ۴۲۰-۲ : دیاگرام سیستم تحریک شرکت **Nidec**

جدول ۱۴۲-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک **Nidec**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۳۴۰
	Armature Voltage (V)	۴۲۰
	Armature Amps (A)	۹۰۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۱۲۸۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

- شرکت Ansaldo ایتالیا

Ansaldo یک شرکت چند ملیتی ایتالیایی است که در زمینه مهندسی برق، طراحی و ساخت موتورهای الکتریکی و ژنراتورها، الکترونیک قدرت و سیستم‌های کنترل و اتوماسیون برای کاربردهای صنعتی فعالیت می‌کند. شرکت Ansaldo در سال ۱۹۹۳ در گروه Finmeccanica ادغام شد. Finmeccanica در سال ۱۸۵۳ در Sampierdarena در جنوای ایتالیا تاسیس شده بود.

وقایع مربوط به این شرکت عبارتند از:

- ۱۸۵۳: بنیانگذاری Gio Ansaldo & Co. در جنوا. در طول سال‌ها، شرکت در سه زمینه تجاری توسعه یافته است: حمل و نقل، انرژی، صنعت.
- ۱۸۹۹: آنسالدو کارخانه برق خود را در جنوا افتتاح کرد، که از آن Ansaldo Sistemi Industriali بوجود آمد.
- ۱۹۵۰: آنسالدو به یک شرکت نیمه دولتی تبدیل شد.
- ۱۹۹۵-۱۹۸۹: یک دوره گسترش بزرگ برای بخش صنعتی آنسالدو: خرید هیل گراهام کنترل (انگلستان)، راس هیل کنترل (ایالات متحده) و لومر اتوماسیون.

- ۲۰۰۰: بخش صنعتی آنسالدو خصوصی شد و شروع به همکاری با Robicon (ایالات متحده) با نام ASIRobicon کرد. آنسالدو نام خود را در ASIRobicon SpA تغییر داد.
- ۲۰۰۵: آنسالدو همکاری خود را با Robicon پایان داد و در ۲۰۰۶ تغییر نام داد.

سیستم تولید شده توسط این شرکت اغلب شامل انواع AC بدون جاروبک و استاتیک می‌باشندو در توان‌های مختلفی ساخته می‌شوند. جدول ۱۴۳-۲ پارامترهای مشترک قدرت ساخت این شرکت را ارایه می‌دهد.

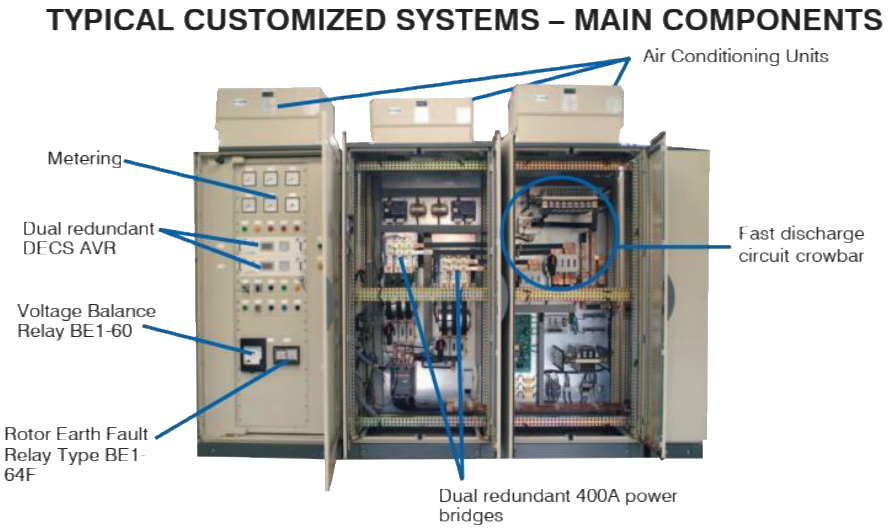
جدول ۱۴۳-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک **Ansaldo**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۲۳۰
	Armature Voltage (V)	۴۰۰
	Armature Amps (A)	۸۵۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۱۶۰۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

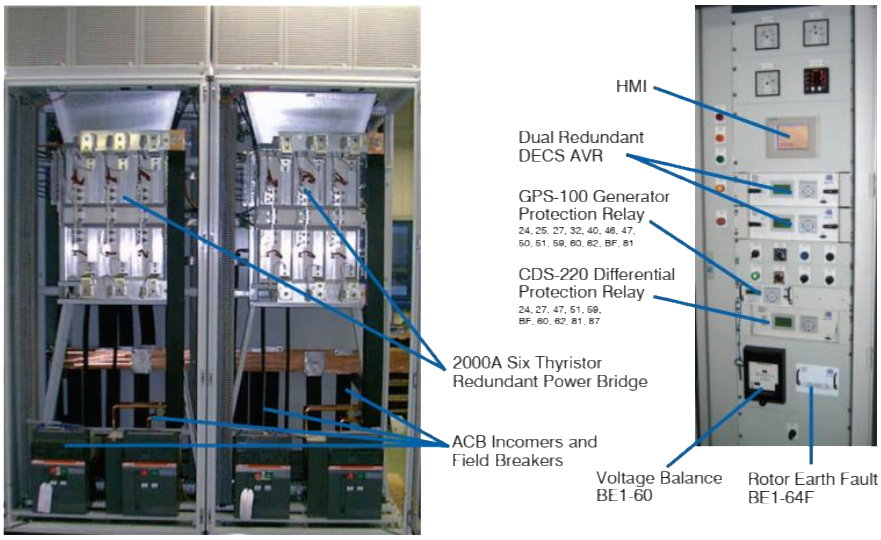
از سال ۱۹۵۰، آنسالدو موفق به ساخت تقریباً ۱۷۰ واحد نیروگاهی با ظرفیت کلی بیش از GVA ۲۷ شده است که شامل بیش از ۳۸ نیروگاه گازی می‌باشد. کشورهای امریکای لاتین، افریقا و خاورمیانه مقصد اصلی فعالیت‌های این شرکت بوده‌اند.

- شرکت Basler آمریکا

با بیش از ۶۰ سال تجربه در صنعت برق، باسلر الکتریک تضمین‌کننده ارائه فن‌آوری‌های پیشرفته مورد نیاز برای کنترل دقیق، محافظت و نظارت بر تقریباً همه انواع ژنراتورهای سنکرون است. امروزه، این شرکت دارای شهرت جهانی در زمینه تولید محصولات پیشرفته، کاملاً یکپارچه با طراحی دقیق و ساخت سیستم‌های تحریک برای نیروگاهّای بخار، گاز، دیزل، آبی و هسته‌ای است. باسلر الکتریک سیستم‌های کنترل تحریک دیجیتال با حداکثر جریان ۱۰،۰۰۰ آمپر را برای ژنراتورهای ولتاژ پایین، ولتاژ متوسط و ولتاژ بالا ارائه می‌دهد. شکل ۴۲۱-۲ و شکل ۴۲۲-۲ به‌ترتیب قسمت‌های مختلف یک سیستم تحریک ۴۰۰A دوکاناله و ۲۰۰۰A دوکاناله نوعی ساخت این شرکت را نشان می‌دهد. جدول ۱۴۴-۲ پارامترهای مشترک قدرت ساخت این شرکت را ارایه می‌دهد.



شکل ۴۲۱-۲ : سیستم تحریک **A**۴۰۰ دوکاناله شرکت **Basler**



شکل ۴۲۲-۲ : سیستم تحریک **A**۲۰۰۰ شرکت **Basler**

جدول ۱۴۴-۲ : پارامترهای مشترک قدرت در سیستم‌های تحریک **Basler**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۴۲۰
	Armature Voltage (V)	۵۲۰
	Armature Amps (A)	۱۵۰۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۲۱۰۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

- شرکت Brush

Brush Electrical Machines تولید کننده ژنراتورهای الکتریکی است که معمولاً برای کاربردهای توربین گاز و توربین بخار مورد استفاده قرار می‌گیرند. دفتر اصلی شرکت در Loughborough درLeicestershire انگلستان واقع شده است. BRUSH طیف وسیعی از سیستم های تحریک استاندارد و همچنین سیستم‌های سفارشی را ارائه می‌دهد که متناسب با نیاز مشتریان طراحی شده اند.

از میان مدل‌های مختلف سیستم‌های تحریک این شرکت، مدل AC بدون جاروبک PRISMIC A50، تنظیم ولتاژ پایدار با قابلیت اطمینان بالا را با استفاده از ریزپردازنده‌های پیشرفته و فناوری‌های نرم‌افزاری لازم برای جریان‌های تحریک ژنراتور از کمتر از A ۲۰ تا بیش از A ۸۰۰۰ فراهم می‌کند. شکل ۴۲۳-۲ این سیستم تحریک را برای یک توربوژنراتور MVA ۲۵۹ نشان می‌دهد. جدول ۱۴۵-۲ پارامترهای مشترک قدرت ساخت این شرکت را ارایه می‌دهد.

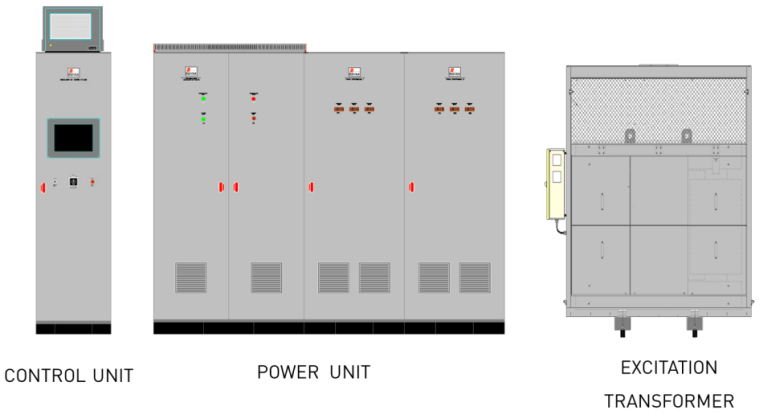
شکل ۴۲۳-۲ : سیستم تحریک **PRISMIC A50** شرکت **Brush** برای ژنراتور **۲۵۹MVA**

جدول ۱۴۵-۲ : پارامترهای سیستم تحریک ساخت شرکت **Brush**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۳۵۰
	Armature Voltage (V)	۴۶۰
	Armature Amps (A)	۱۵۰۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۲۲۰۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

- شرکت TECG Control

شرکت TECG Control سازنده سیستم‌های تحریکی در بازه‌های ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ آمپر برای ژنراتورهای حرارتی و أبی می‌باشد که نمونه آن در شکل ۴۲۴-۲ نشان داده شده است.



شکل ۴۲۴-۲ : سیستم تحریک شرکت **TECG Control**

عملکردهای اصلی کنترل سیستم تحریک ساخت این شرکت عبارتند از:

- کانال تکی یا اضافی برای کنترل‌ها و درایورهای قدرت و پل تریستوری
- چهار حالت کنترل (اتوماتیک ، دستی ، کنترل توان راکتیو و کنترل ضریب قدرت) ؛
- پایدارساز سیستم‌های قدرت (IEEE 421.5 PSS2B) ؛
- محدود کننده ها (OEL، V / Hz ، UEL ، SCL، MEL) ؛
- حفاظت (۲۴ ، ۲۷ ، ۳۲ ، F ۳۷، ۴۰ 32Q /، ۵۱/۵۰ ، ۵۹ ، F ۵۹، F ۷۶، O۸۱)

جدول ۱۴۶-۲ : پارامترهای سیستم تحریک ساخت شرکت **TECG Control**

	نام پارامتر	توضیحات
پارامترهای سیستم قدرت	Rated Power (KW)	۳۴۰
	Armature Voltage (V)	۴۰۰
	Armature Amps (A)	۱۲۰۰
	Excitation Current at Peak Load (A)	۲۰۰۰
	Is this a Brush Type Exciter or a Brushless Exciter?	Brush Type (Static)

- جمع‌بندی انواع سیستم‌های تحریک شرکت‌های خارجی

در این بخش انواع سیستم‌های تحریک با مشخصه‌ها و پارامترهای مختلف از معتبرترین شرکت‌های فعال در این زمینه مورد بررسی قرار گرفت. شرکت‌های پیشرو کوشیده‌اند با عرضه انواع مختلف سیستم تحریک به نیاز مشتریان را در هر سطح پاسخ دهند و ژنراتورهای سنکرون چند کیلووات تا چندصد مگاولت‌امپر و بالاتر را تغذیه نمایند. امروزه تولیدات این شرکت‌ها در سراسر دنیا به خرید و فروش می‌رسد. در کشور ما نیز شرکت‌های داخلی همچون مکو و هورپندار و ... توانسته‌اند با برقراری ارتباط موثر با شرکت‌های مطرحی همچون Siemens و Alstom و ... پاسخگوی بخشی از نیاز داخلی این صنعت باشند.

۱۰-۵-۲-۲- شرکت‌های سازنده داخلی و محصولات آن‌ها

در جدول زیر لیست معروف‌ترین تامین‌کنندگان و تعمیرکنندگان داخلی سیستم تحریک نیروگاه ارایه گردیده است. داده‌های این جدول بر اساس برقراری تماس تلفنی و اطلاعات منتشر شده در وبگاه شرکت‌ها تنظیم شده است.

جدول ۱۴۷-۲ : تولیدکنندگان داخلی سیستم تحریک نیروگاه

دیف	نام شرکت	ساخت	تعمیر	طراحی	نمونه پروژه‌ها	آدرس وبگاه
۱	شرکت آهار شرق	☑	☑		سیستم تحریک استاتیک بدون ترانسفورماتور واحدهای ۳۲۰ مگاواتی نیروگاه اصفهان	http://www.aharco.com
۲	پژوهشگاه نیرو	☑	☑	☑	طراحی، ساخت و نصب سیستم تحریک ژنراتور سنکرون برای یکی از واحدهای نیروگاه بعثت تعیین اطلاعات دینامیکی ژنراتور، سیستم تحریک و مبدل فرکانس مولدهای کرافت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد و ارائه پیشنهادهای اصلاحی طراحی وساخت نمونه آزمایشگاهی سیستم تحریک استاتیک	https://www.nri.ac.ir
۳	شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو)	☑	☑		ساخت سیستم تحریک استاتیک (MAPEX) و نصب در واحد سوم بخار نیروگاه سیکل ترکیبی پرند تامین سیستم تحریک ۲۰۰ مگاوات ABB و ۲۵ مگاوات JEUMONT	http://www.mapnaec.com/
۴	هورپندار	☑	☑		سیستم تحریک استاتیک دیجیتال SECON-2000 در نیروگاه آبی ارس	https://hoorpendar.com
۵	مونتکو			☑	خدمات مشاوره نوسازی سیستم تحریک مولدهای ۱۱ و ۱۲ نیروگاه دوم پالایشگاه آبادان خدمات بررسی زیرساخت نیروگاه‌های کاندید ارتقا	**https://monencogroup.com**
۶	اطمینان‌بخش	☑	☑	☑	بروز رسانی و بهینه‌سازی قطعات سیستم تحریک روسی نیروگاه ۳۲۰MW منتظری اصفهان در سال ۱۳۸۳ ساخت قطعات کنترلی نیروگاه بخاری فولاد مبارکه نیروگاه کلان جایگزینی سیستم تحریک دینامیکی با تحریک استاتیکی شرکت‌های تولیدی قند نقش جهان در یاسوج و کرج.	http://etminanbakhsh/h.com

توضیحات مربوط به هر شرکت و شرایط انجام پروژه در ادامه آمده است.

- شرکت آهار شرق

شرکت آهار از سال ۷۹ فعالیت خود را در زمینه اتوماسیون صنعتی و ساخت کارت های الکترونیکی آغاز نموده است. از همان ابتدا بخش عمده ای از فعالیت های شرکت در بخش انرژی معطوف بود. از سال ۸۵ شرکت سیاست تخصص گرایی را اتخاذ نموده و با تشخیص نیازهای عمده کشور در صنایع بالادستی، فعالیت های خود را در سایر صنایع متوقف و با سرمایه گذاری در حوزه تولید دانش دارای تکنولوژی های بالا و بومی سازی این بخش در صنایع انرژی ماموریت خود را تعریف نمود.

اهداف میان مدت انتخاب شده در این مسیر، بومی سازی کامل سیستم‌های کنترل مورد نیاز صنایع انرژی محور شامل نیروگاه، پالایشگاه، پتروشیمی و نفت و گاز می‌باشد. سیستم‌های کنترل انواع توربین‌های گازی و بخار، سیستم‌های تحریک ژنراتور و تجهیزات جنبی مربوطه از این دست بوده است. همچنین دپارتمان الکترونیک شرکت که سابقه طراحی بیش از ۵۰۰ نوع کارت الکترونیکی نیروگاه و پالایشگاهی را در کارنامه دارد، توانسته است، بخش مهمی از سیستم DCS یوکوگاوا CENTUM 3000را بومی‌سازی نماید و این پروژه درسایر بخش‌های این محصول ادامه دارد. ماموریت بعدی شرکت ارایه سیستم‌های کنترل ذکر شده با سخت افزار کاملا بومی می باشد که تاکنون بخش زیادی از این امر نیز محقق شده است.

هم‌اکنون ساختمان شرکت آهار با وسعت ۱۸۰۰ متر مربع در پارک علم و فناوری خراسان مستقر بوده و از شرکت‌های دانش بنیان پیش رو محسوب می‌گردد. بخش‌های تخصصی شرکت عبارتند از دپارتمان الکترونیک، دپارتمان توربین‌های گازی و بخار، دپارتمان سیستم‌های حفاظت و تحریک ژنراتور دفتر فنی و بخش تحقیق و توسعه. هم‌اکنون بیش از ۱۴۰۰ مگاوات از ظرفیت برق کشور با سیستم‌های تحریک ژنراتور و کنترل توربین بومی شرکت آهار، تولید می‌گردد. شرکت خدمات نیروگاهی آهار پس از قریب به دو دهه سابقه در ساخت انواع کارت‌های الکترونیکی سیستم‌های تحریک و انجام پروژه‌های گوناگون همانند ساخت کارت‌های تحریک نیروگاه‌های تبریز، کیش، پتروشیمی‌های خانگیران، بندرعباس و... توانسته است با کسب دانش تخصصی و تجارب فنّی در این زمینه، برای اولین بار در سطح کشور دانش طراحی و ساخت سیستم‌های کنترل و حفاظت ژنراتور را برای واحدهای نیروگاهی بخار و گاز، بومی‌سازی نماید. طراحی و پیاده‌سازی کلیه بخش‌های قدرت و کنترل سیستم تحریک و اجرای آن به صورت یک سیستم DCS، بخش‌هایی از توانمندی های فنی این شرکت در این زمینه می‌باشد. سخت افزار و توپولوژی این سیستم‌ها اکثراً بر اساس تکنولوژی DCS زیمنس آلمان است.

سیستم کنترل تحریک ساخت شرکت نیروگاهی آهار جهت نصب بر روی ژنراتورهای واحدهای بخار و گاز طراحی شده است. بخش کنترل و AVR این سیستم صرف نظر از نوع تحریک، می‌تواند روی انواع سیستم‌های تحریک استاتیک و دینامیک نصب شود. با توجه به نیاز کارفرما، امکان سفارشی‌سازی این سیستم برای واحدهای مختلف نیز مهیا می‌باشد.

از مهمترین ویژگی‌های این سیستم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- پیکربندی بخش کنترل و قدرت بر اساس سخت افزار زیمنس و طراحی بر اساس PLC های رده ۳۰۰ و ۴۰۰
- استفاده از نرم افزار PCS7 زیمنس و برنامه نویسی به صورت CFC
- سرعت پردازش بالای لوپ‌های کنترلی کمتر از ۲ میلی ثانیه
- امکان پیاده سازی سیستم از طریق Hot Redundancy در بخش‌های کنترل، قدرت و سیستم خنک کاری
- کاهش تلفات ژنراتور با قرار دادن نقطه کار آن در نقطه کار نامی و در نتیجه افزایش راندمان ژنراتور
- امکان ارتباط با شبکه پروفی باس و شبکه اترنت صنعتی
- امکان تغییر بخش قدرت سیستم تحریک از حالت دینامیک به استاتیک و حذف اکسایترها و ژنراتورهای میانی
- کنترل کامل بر ژنراتور توسط مدهای کنترلی مختلف
- کنترل ولتاژ ژنراتور در مد اتومات AVR (automatic voltage regulator)
- کنترل جریان تحریک در مد دستی FCR (field current regulator)
- کنترل توان راکتیو و ضریب توان ژنراتور در مدهای PF (power factor), VAR
- انتقال بدون جهش بین مدهای کنترلی

- جرانساز جریان راکتیو و قابلیت تعیین دروپ خط و یا دروپ توان راکتیو
- قابلیت سافت استارت ولتاژ ژنراتور برای جلوگیری از اورشوت‌های ناگهانی در زمان وصل تحریک
- دارای محدود کننده های زیرتحریک UEL (under excitation limiter) ، فوق تحریک OEL (over excitation limiter) محدود کننده جریان استاتور SCL (stator current limiter) و محدود کننده ولت بر هرتز (V/Hz)
- نمایش نقطه کار ژنراتور در منحنی قابلیت تولید توان ژنراتور بر روی HMI
- طراحی بخش قدرت به صورت دو ربعی برای افزایش سرعت بخش De-excitation
- پایش وضعیت دیودهای چرخان در سیستم تحریک دینامیک و وضعیت تریستورها در سیستم تحریک استاتیک

مزایای سیستم طراحی شده:

- استفاده از رابط کاربری ساده و نمایشگر touch LCD برای بهره برداری آسان
- قابلیت ایجاد لیست مشخصی از پارامترهای دلخواه در سیستم برای تشخیص خطا و جهت تعمیر و نگهداری
- قابلیت تعریف سطوح دسترسی مختلف برای بهره بردار، کاربر و تعمیرکار
- طراحی ماژولار برای تعمیر و تعویض سریع قطعات
- استفاده از دیتالاگر برای ثبت وقایع مهم در سیستم

فواید استفاده از سیستم تحریک آهار:

- افزایش انعطاف پذیری در سیستم جهت دستیابی به یک نقطه کار مشخص
- کاهش زمان تعمیرات
- افزایش قابلیت اطمینان فرایند
- افزایس دسترسی سیستم
- سیستم حفاظتی برای پایش سیستم و عکس العمل به بروز خطا
- ثبت بی وقفه وقایع سیستم

طراحی ماژولار این سیستم سبب شده است تا بتوان برای رفع نیازهای متفاوت از این سیستم بهره برد و برای هر شرایط و هر خواسته ای امکان نصب و تطبیق سیستم تحریک آهار موجود باشد. این سیستم قابلیت تطبیق و کارکرد در کنار سیستم های قدیمی را داشته و این قابلیت سبب میشود تا بتوان جهت نوسازی و ارتقای سیستم های قدیمی، براحتی این سیستم را با بخش هایی از سیستم قدیمی جایگزین کرده و خواسته های مورد نظر را براورده ساخت. علاوه بر آن امکان ارتقای این سیستم تحریک نیز در هر زمان فراهم بوده و بدون نیاز به تغییرات عمده در ساختار، با نصب ماژول های جدید سیستم به روز خواهد شد که این امر قابلیت انعطاف پذیری سیستم را نیز افزایش داده است.

شاخص های بارز عملکردی در این سیستم تحریک که آنرا سیستمی کارا جلوه می دهد عبارتند از:

زمان تحویل کوتاه :در حالت کلی فرایند نصب و تست این تجهیز در مدت زمانی کوتاه امکان پذیر بوده و در اندک زمانی آماده ی تحویل می باشد.

تنظیمات قابل انعطاف :گستره بالای تنظیمات این سیستم این امکان را فراهم می آورد تا آماده سازی با شکلی کاملا اختصاصی برای هر واحد و منطبق بر پارامترهای روز آن واحد پیاده سازی شود.

عملکرد ساده: وجود HMI در بدنه سیستم سبب دسترسی آسان به وقایع ذخیره شده، تنظیمات قابل دسترسی و پایش سیستم و اجزای آن شده است.

ابعاد بهینه: اندازه ی کوچک کابین سیستم سبب قابلیت جایگذاری این تابلو در محیط های کوچک نیز شده است.

قابلیت ردیابی تغییرات: هر فعالیتی که توسط کاربر سیستم انجام شده و یا تغییراتی که در تنظیمات پارامترها اعمال شده، به شکل ثبت تاریخ وقایع در حافظه سیستم نگهداری خواهد شد.

به علت استفاده از ساختار موازی (ریداندنت) در طراحی سیستم تحریک شرکت آهار، قابلیت اطمینان این سیستم به شدت افزایش پیدا کرده و در صورت رخداد خطای اتفاقی در واحد های فعال، با جایگزینی بی وقفه ی بخش خارج شده، عملکرد کلی واحد متوقف نخواهد شد.

ساختار موازی در بخش های زیر رعایت شده و ماژول‌های زیر به راحتی و در کمترین زمان قابل جایگزینی هستند:

- ریداندنسی کامل در بخش کنترل و پردازنده‌ها
- ریداندنسی کامل در بخش کانورترهای قدرت
- ریداندنسی کامل در شبکه فیبر نوری بین پردازنده‌ها
- ریداندنسی کامل در شبکه PROFINET و شبکه PROFIBUS
- ریداندنسی کامل در سطح ماژول‌های I/O
- ریداندنسی کامل در بخش تغذیه
- ریداندنسی کامل در ماژول‌های ترانسدیوسر
- ریداندنسی در خواندن فیدبک‌های ولتاژ ژنراتور
- ریداندنسی در تغذیه کانورترهای قدرت

استفاده از این سیستم سبب کاهش هزینه های بهره برداری و تعمیرات شده و به علت بهره گیری از خدمات یک شرکت داخلی، خدمات پس از فروش مطمئن و طولانی را به همراه خواهد داشت.

- پژوهشگاه نیرو

پژوهشگاه نیرو سازمانی دولتی و وابسته به وزارت نیرو می‌باشد که مسئولیت مدیریت تحقیقات وابسته به صنعت برق و انرژی ایران را به عنوان کارگزار شرکت‌های مادرتخصصی توانیر و تولید نیروی برق حرارتی بر عهده دارد. پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۶ با اخذ مجوز سه پژوهشکده "برق"، "تولید نیرو" و "انتقال و توزیع نیرو" از شورای گسترش آموزش عالی به‌طور رسمی کار خود را آغاز و در سال ۱۳۷۷ با اخذ دو مجوز جدید پژوهشکده‌های "انرژی و محیط زیست" و "کنترل و مدیریت شبکه" را نیز به مجموعه خود افزود و در ادامه با ایجاد "مراکز شیمی و مواد"، "توسعه فناوری توربین‌های بادی" و "آزمایشگاه‌های مرجع" فعالیت‌های خویش را توسعه بخشید. هم‌اکنون با ۴ پژوهشکده، ۱۵ مرکز و ۲۶ گروه پژوهشی علاوه بر پروژه‌های ملی در چندین پروژه بین‌المللی نیز با مشارکت کشورهای پیشرفته صنعتی حضور داشته و سعی دارد نقش خود را در این قبیل پروژه‌ها توسعه بخشد. با توجه به نقش زیر بنایی صنعت برق در رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور، پژوهشگاه نیرو با انجام پروژه‌های بنیادی، کاربردی و توسعه‌ای به منظور پاسخگویی بهتر و بیشتر به نیازهای صنعت برق و رفع مشکلات آن و دستیابی به فناوریهای نوین اقدام به تعریف پروژه برنامه استراتژیک خود همراستا با خواسته‌ها و برنامه‌های استراتژیک وزارت نیرو و برنامه توسعه پنجم کشور و در سال ۱۳۸۷ پس از تبیین بیانیه‌های مأموریت، چشم‌انداز و ارزشهای سازمانی با تحلیل محیط داخل و خارج و همچنین مطالعات تطبیقی در عرصه بین‌المللی استراتژی‌ها و اهداف پژوهشگاه راتدوین و در سال ۱۳۸۹ با استفاده از متدولوژی کارت امتیازی متوازن (BSC) با اجرای برنامه‌ها و دستیابی به اهداف کمی راه رسیدن به چشم‌انداز را هموار نموده‌است.

- طراحی، ساخت و نصب سیستم تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون برای یکی از واحدهای نیروگاه بعثت

پژوهشگاه نیرو به‌عنوان اولین طراح و سازنده داخلی سیستم تحریک استاتیک به‌شمار می‌رود که پس از تجربه موفق طراحی، ساخت و پیاده‌سازی یک نمونه سیستم تحریک استاتیک آزمایشگاهی، در سال ۱۳۸۶ مبادرت به طراحی و ساخت اولین سیستم تحریک استاتیک برای یک واحد از نیروگاه بعثت در جنوب تهران کرد. پس از انجام مطالعات اولیه طراحی بخش‌های قدرت، کنترل و مانیتورینگ سیستم تحریک استاتیک برای این واحد ۸۰ مگاوات انجام گردید. بخش‌های مهم سیستم قدرت مانند یکسوساز تریستوری، ترانسفورماتور تغذیه و حفاظت‌های سیستم در داخل کشور تهیه شد. سیستم کنترل خودکار با قابلیت تنظیم ولتاژ ترمینال ژنراتور و پاسخ به دیماند بارهای راکتیو با پاسخ مناسب و ایجاد حاشیه پایداری طراحی و پیاده‌سازی شد. یک سیستم مانیتورینگ در اتاق فرمان نصب و ارتباط کامل آن با بخش‌های قدرت و کنترل برقرار شد.

یکسوساز طراحی‌شده از نوع شش‌پالسه تریستوری است که بهمراه مدارات جانبی و حفاظت‌ها در کنار واحد یک نیروگاه بعثت نصب گردید. این سیستم تحریک قابلیت تأمین جریان مستقیم میدان ژنراتور تا میزان ۱۰۰۰ آمپر را داراست. کلیه محدودکننده‌های موجود در سیستم‌های تحریک صنعتی در این سیستم پیاده‌سازی شده است. آزمونهای نوعی مطابق استاندارد IEEE۴۲۱ بر روی این سیستم با موفقیت انجام شده است.

- تعیین اطلاعات دینامیکی ژنراتور، سیستم تحریک و مبدل فرکانس مولدهای کرافت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد و ارائه پیشنهادهای اصلاحی

این پروژه در سال ۱۳۸۵ با هدف تعیین اطلاعات دینامیکی ژنراتور، سیستم تحریک و مبدل فرکانس یکی از واحدهای کرافت نیروگاه سیکل ترکیبی یزد و بررسی و ارائه پیشنهادهای اصلاحی تعریف گردید. نیروگاه یزد دارای ۲ واحد کرافت گازی هر یک با توان نامی ۶۸ مگاوات، ساخت شرکت زیمنس می‌باشد. سیستم تحریک این واحدها از نوع استاتیک است. راه‌اندازی این واحدها توسط مبدل فرکانسی استاتیک صورت می‌گیرد. سیستم کنترل مبدل فرکانسی، تحریک و توربین سخت‌افزاری (آنالوگ) است.

پارامترهای مدل ژنراتور مبتنی‌بر تبدیل پارک به‌کمک روش آزمایش افول جریان مستقیم و الگوریتم شناسایی ژنتیک به‌طور دقیق تعیین گردید. علاوه‌بر این، امکانسنجی تعیین پارامترهای ژنراتور به روش on-line انجام‌پذیرفت. پیش از این برای ارزیابی و اصلاح احتمالی پارامترهای شناسایی‌شده مدل ژنراتور، بیشتر مقادیر نمونه‌ای واحدهای مشابه و یا اطلاعات موجود از سازنده ملاک عمل بوده است، در این پروژه پارامترهای بدست‌آمده از روش افول جریان مستقیم، با داده‌های اندازه‌گیری‌شده به‌صورت on-line ارزیابی شده است که باتوجه‌به فراهم بودن شرایط کار نامی، از اعتبار بالایی برخوردار است. در ادامه فعالیت‌های تکمیلی و کارهای آینده پیشنهاد گردیده است.

برای سیستم تحریک ابتدا براساس تجزیه و تحلیل نقشه مدارات الکترونیکی و بررسی‌های انجام‌گرفته، ساختار کلی و مدل تحلیلی استخراج شد. سپس با انجام دو دسته آزمایش استاتیک و دینامیک و پردازش داده‌های برداشت‌شده پارامترهای مدل شناسایی و تعیین گردید. در ادامه عملکرد و مشکلات مجموعه تحریک، تحلیل و پیشنهادهای اصلاحی ارائه گردید.

- طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی سیستم تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون

در این پروژه مراحل شبیه‌سازی، طراحی و ساخت یک سیستم تحریک استاتیک در مقیاس آزمایشگاهی در سال ۱۳۷۹ به‌انجام رسیده است. هدف از انجام این پروژه تأمین جریان میداندر یک ژنراتور سنکرون می‌باشد.

- شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو)

"شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا" (مکو) نخستین روز مرداد سال ۱۳۸۳ و با هدف پاسخ به نیازهای گروه مپنا در صنایع نیروگاهی تاسیس شد تا دانش و فن‌آوری لازم در حوزهٔ برق، کنترل، حفاظت و ابزار دقیق پاسخ داده شود. این شرکت، بعدها گسترهٔ فعالیت‌های خود را به حوزه‌های نفت، گاز، پتروشیمی و پالایشگاه‌ها، و البته حمل و نقل ریلی توسعه داد

تا نخستین و تنها شرکت تولیدکنندهٔ سیستم کنترل فرآیندی و اتوماسیون (DCS\FCS) در کشور باشد. همکاری و شراکت با برخی از شرکت‌های معتبر و بین‌المللی در زمینهٔ تولید سیستم‌های کنترل و حفاظت، سیستم‌های تحریک و راه‌انداز توربین‌های گاز و بخار جزو سوابق و دستاوردهای این شرکت است.

تجربه، دانش و توانایی کامل در زمینهٔ پیاده‌سازی سیستم برق و کنترل انواع ماشین‌های دوّار شامل توربوژنراتورها، توربوکمپرسورها، سیستم کنترل و حفاظت توزیع شده IPCS، سیستم کنترل تمامی واحدهای فرآیندی و یوتیلیتی در پلنت‌های نفت و گاز، سایر صنایع و سیستم‌های دیسپاچینگ و میترینگ در شرکت مکو وجود دارد. به پشتوانهٔ برخورداری از تجربهٔ کافی و بهره‌گیری از نیروهای متخصص و نخبه، شرکت مکو با اتخاذ رویکردهای جدید به دومین دههٔ فعالیت‌های خود وارد می‌شود.

طراحی، تولید، تست، نصب و راه‌اندازی بیش از ۱۵۰ واحد سیستم برق، کنترل، حفاظت و تحریک نیروگاه‌های گازی، سیکل ترکیبی و بخار در محدوده‌های مختلف در داخل و خارج از کشور و نیز تولید سیستم برق و کنترل برای بیش از ۷۰ واحد توربوکمپرسور مورد نیاز در صنایع مختلف، از جمله دستاوردهای ارزندهٔ شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا محسوب می‌شود.

عمده فعالیت‌های مکو در زمینه سیستم‌های تحریک ژنراتور عبارتند از:

- طراحی و ساخت سیستم تحریک ژنراتور دینامیک و استاتیک
- نوسازی سیستم تحریک ژنراتورهای ۳۷.۵ مگاواتی نیروگاه اصفهان و ۳۲۵ مگاواتی نیروگاه رامین اهواز
- دریافت گواهی تولید تجهیزات تحریک، راه‌انداز، حفاظت، سنکرون، اندازه‌گیری و باس‌داکت ژنراتورهای نیروگاهی از شرکت زیمنس آلمان
- دریافت گواهی تولید تجهیزات تحریک، راه‌انداز، حفاظت، سنکرون و اندازه‌گیری انواع ژنراتورهای نیروگاهی از شرکت ABB سوئیس

➢ تامین سیستم تحریک ژنراتورهای مقیاس بزرگ ۲۰۰ مگاولت آمپر

یک سیستم کنترلی دیجیتال ولتاژی کامل به همراه دو کانال رکتیفایری برای ساخت سیستم تحریک تحت لیسانس شرکت ABB قرار گرفته‌است. سیستمی بسیار مدرن و پیشرفته که برای ژنراتورهایی باسطح ولتاژی متوسط و بزرگ طراحی و ساخته شده‌است. در ساخت این سیستم طراحان به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم تحریک سطح کاملی از رداندانسی را درنظر گرفته‌اند. برای این منظور دوکانال کامل کاری در نظر گرفته شده‌است که هر کانال شامل یک کنترل کننده و یک پل رکتیفایری است که این قابلیت را دارا می باشند تا به گونه‌ای کاملا مستقل از یکدیگر و بدون هیچ وقفه‌ای ژنراتور را تغذیه نمایند. همچنین این سیستم به گونه طراحی شده‌است که هر کانال کنترل‌کننده قابلیت کار با پل رکتیفایری کانال دوم را دارا می‌باشد در نتیجه نهایت بالایی از سطح ایمنی و قابلیت کاری در طول تولید انرژی فراهم گردیده است. این قابلیت به گونه‌ای است که اگر در هریک از کانال‌های سیستم که مشغول به کار می‌باشد خطایی ایجاد گردد که مانع از ادامه روند کاری آن گردد سیستم بدون هیچگونه مشکلی و در کسری از زمان بلافاصله به کانال دوم تغییر موقعیت داده و به عملکرد کاری خود ادامه می‌دهد. قابلیت تعمییر کانال آسیب دیده بدون اخلال در روند کاری سیستم در زمان کار سیستم امکان‌پذیر است.

از قابلیتهای دیگر این سیستم امکان انتخاب دلخواه کانال کاری توسط اپراتور در هر لحظه از زمان و هر شرایط کاری (مد کاری ولتاژ، مدکاری توان راکتیو و مد کاری جریان تحریک) است که مجددا سیستم بدون هیچگونه مشکلی به عملکرد کاری خود ادامه می‌دهد.

شکل ۴۲۵-۲ : سیستم تحریک ژنراتورهای مقیاس بزرگ ۲۰۰ مگاولت آمپر **ABB**

برای تسهیل نمودن موارد مربوط به نگهداری و تعمیرات سیستم تحریک هر پل رکتیفایری از پل کانال دیگر بوسیله سلول مستقل از یکدیگر جداشده‌اند و هر کدام به صورت مستقل از طریق ترانسفورماتور تحریک تغذیه می‌شوند. همچنین برای افزایش امنیت کاری سیستم خروجی جریان مستقیم از ورودی AC توسط یک کلید دو پل DC جدا می‌گردد.

ویژگی ها:

- دارای تنظیم کننده ولتاژ اتوماتیک (AVR)
- کنترل توان راکتیو ژنراتور
- کنترل ضریب توان
- کنترل دستی در حالت Local با قابلیت انجام کلیه عملیات اپراتوری
- فانکشن استارت با شیب ملایم برای افزایش ولتاژ بصورت تدریجی
- دارای محدود کننده ولتاژ/فرکانس
- دارای محدود کننده جریان تحریک
- دارای محدود کننده زیر تحریک
- دارای سیستم تثبیت کننده توان برای میرا کردن فرکانسهای مربوط به نوسانات توان (PSS)
- دارای نمایشگر دمای روتور ژنراتور در لحظه
- پایدارساز ولتاژ شبکه
- فانکشن صفر کردن توان راکتیو به صورت خودکار در زمان خاموش نمودن واحد از جانب اپراتور
- عملکرد کاری در ۳ مد کاری ولتاز، جریان و توان راکتیو
- سیستم حفاظتی کروبار

➢ تامین سیستم تحریک برای ژنراتور ۲۵ مگاوات

سیستم تحریک مدرن برای ژنراتورهای ۲۵ مگاوات سنکرون طراحی و تولید شده است. این مدل محرک برای فراهم آوردن انرژی جریان مستقیم حاصل از ژنوراتورهای متصل به بخار گاز یا توربین‌های آبی در شرایط مختلف فعالیت تولید شده است. در عمل این سیستم تحریک کننده به صورت گسترده ای در واحدهای تولید برق توزیع شده (DG)، سیکل ترکیبی حرارتی و برق (CHP) و ژنراتورهای مستقل توربین‌های گازی به کار می رود. این تنظیم کننده محرک دیجیتال دارای پیکربندی دوکاناله است و هر کانال واحد تنظیم مستقل بر اساس پلت فرم سخت افزاری مدرن هستند. این سیستم تمامی

کارکردها مانند تنظیم PID و راهبرد PSS، کنترلهای با گره باز و بسته، با محدودکننده های تحریک بیشتر و کمتر را داراست. در صورت خرابی، تغییر کانال بدون ضربه ناگهانی اتفاق می‌افتد. قابلیت اعتماد مورد نیاز در هر سیستم تحریک به واسطه حالت‌های فعالیت مدار موازی و دوکابینه به دست آمده است.

جدول ۱۴۸-۲ : داده‌های ژنراتور سنکرون شرکت مکو تحت لیسانس

پارامتر	توضیح / اندازه
Manufacturer	JEOMUNT
Type	JISALT 245F
Rated Power	31.25MVA
Rated Voltage	11KV
Rated Current	1640A
Power Factor	0.8
Frequency	50HZ
Speed	3000 rpm
Rated Excitation Current	591.3A
Rated Excitation Voltage	203.3V
No-Load Excitation Current	229.4A
No-Load Excitation Voltage	55.3V
Field Resistance	0.288 Ohm

جدول ۱۴۹-۲ : داده‌های سیستم تحریک **AC** بدون جاروبک ساخت شرکت مکو

پارامتر	مقدار
Rated Power	123.8 KVA
Rated Excitation Current	9.7 Adc
Rated Excitation Voltage	44 Vdc
Field Resistance (at 75°c)	4.5 Ohms

شکل ۴۲۶-۲ : نمای روبروی سیستم تحریک بدون جاروبک **AC**

شکل ۴۲۷-۲ : نمای جانبی سیستم تحریک بدون جاروبک **AC**

برخی ویژگی های این محصول عبارتند از:

- کنترل افزونه‌ای پیمانه‌ای و پیکربندی قدرت شروع، عمل، عیب یابی، و تعمیر و نگهداری را آسان می‌سازد و همچنین زمان مورد نیاز برای هر یک را کاهش می‌دهد
- شامل تنظیم کننده ولتاژ اتوماتیک (AVR) است
- دارای حالت عملکردی خودکار و دستی است. سیستم کنترل تحریک را می‌توان هم در محل و هم از راه دور تنظیم کرد
- رابط کاربری انسان-ماشین (HMI)، نمایشگر فعالیت که برای برهمکنش نیروی انسانی با سیستم طراحی شده است
- سیستم به طور مرتب جریان متناوب و ولتاژ ژنراتور را از طریق CT و PT اندازه می‌گیرد و همچنین قدرت فعال، قدرت کنشی و عامل قدرت را نیز اندازه‌گیری می‌کند
- دارای گزینه پایدارساز سیستم‌های قدرت است

- دارای حالت کارکردی شروع آرام است
- روند سازی و ضبط داده ها برای عیب یابی به واسطه نرم افزار روند سازی و کنترل ممکن می‌شود

- شرکت هورپندار

شرکت دانش بنیان صنایع فن آوری رایانه هورپندار با بیش از ۲۰ سال تجربه تخصصی در طراحی و تولید انواع تجهیزات و سیستم‌های الکترونیکی و انجام پروژه های مختلف ابزار دقیق، کنترل و اتوماسیون صنعتی و مانیتورینگ اطلاعات در صنایع مختلف کشور، طی سالیان گذشته با بهره گیری از توانمندی متخصصان کشور و بکارگیری تکنولوژی روز دنیا، توانسته است پروژه‌های مختلفی را در این زمینه، با موفقیت به اجرا در آورد.

عمده مشتریان این شرکت سدها، نیروگاه ها، شرکتهای بهره برداری نفت و گاز، سازمان هواشناسی کشور و سایر صنایع اصلی کشور بوده اند که یا برای آنها بطور تخصصی تجهیزات و سیستم های مختلف الکترونیکی و میکروپروسسوری طراحی و ساخته شده و یا پروژه های کنترل و اتوماسیون صنعتی طراحی و پیاده سازی شده است.

اکثر این تجهیزات و سیستمها، نیاز به در اختیار داشتن تکنولوژی و توان مهندسی بالا و قابلیت کارکرد دائم و مطمئن در شرایط بسیار سخت کاری از لحاظ دما، لرزش، رطوبت، میدان های مغناطیسی، جرقه‌های ناشی از کلید زنی و صاعقه داشته‌اند تا بتوانند در صنایع مهمی چون کنترل نیروگاه ها، تامین آب شرب تهران و یا ایستگاه‌ها و کارخانجات مختلف پمپاژ نفت و گاز در شرکت نفت که کارکرد دائم آنها هم از لحاظ اقتصادی و هم از نظر سیاسی بسیار حائز اهمیت میباشد، بکار گرفته شوند.

سال ها تجربه در طراحی و ساخت تجهیزات مختلف در اینگونه صنایع، این شرکت را قادر ساخته است تا بطور تخصصی در این برهه زمانی، که کشور نیاز به خودکفائی در تامین نیازهای فنی خود را دارد با بومی‌سازی تجهیزات و سیستمهای صنعتی مورد نیاز، بخشی از نیازها را برآورده نماید. با هدف ارتقاء تکنولوژی صنعت الکترونیک در داخل کشور، مطالعه و تحقیق سر لوحه سیاست کاری شرکت قرار گرفته و با ارائه راهکارهای مناسب باعث رفع بسیاری از نیازهای صنایع مختلف شده است.

اکثر پروژه‌هایی که تاکنون به انجام رسیده است نیز ماهیت تحقیقاتی داشته که برای اولین بار در ایران به مرحله اجرا درآمده است، از جمله طراحی و ساخت سیستم تحریک ژنراتور نیروگاه، سیستم گاورنر دیجیتال توربین، کریدوسکوپ لیزری دو محوری، تجهیزات مربوط به شبکه های صنعتی جمع آوری اطلاعات، سیستم سوئیچینگ اطلاعات مراکز هواشناسی و... .

این شرکت، از معدود شرکت های ایرانی می باشد که علاوه بر توانائی اجرای پروژه‌های مختلف برق، ابزار دقیق، اتوماسیون، مانیتورینگ و کنترل صنعتی ، به عنوان یک شرکت طراح و سازنده تجهیزات الکترونیک با کاربردهای صنعتی فعالیت داشته و با تجربه و آشنائی کامل با این شرایط و با استفاده از توانمندی مهندسان و متخصصان داخلی توانسته است سیستم‌های بسیار متنوعی با کارائی و امکانات مورد انتظار را به تولید صنعتی برساند.

➢ سیستم تحریک استاتیک ژنراتورهای Brush-Less سری SECON 30

شرکت دانش بنیان هورپندار به عنوان اولین طراح و سازنده سیستم تحریک استاتیک ژنراتور نیروگاه، آماده طراحی و تولید و ارائه خدمات مورد نیاز مشتریان خود در زمینه سیستم تحریک ژنراتور میباشد. سیستم تحریک سری SECON-30 شامل سیستم های تحریک استاتیک برای ژنراتورهای Brushless میباشد که جریان مورد نیاز سیستم تحریک آنها تا A ۳۰ می‌باشد. بخش قدرت این سیستم تحریک از یک رگولاتور جریان با استفاده از تکنولوژی نیمه هادی IGBT بهره میبرد که توان تولید جریان مثبت و منفی را روی سیستم تحریک دارد.

در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۷ آزمون خودراه‌اندازی (Black Start) نیروگاه‌های سیکل ترکیبی خوی، سد ارس و واحدهای گازی نیروگاه بندرعباس تحت نظارت نمایندگان معاونت راهبری شبکه برق کشور ضمن انجام بارگیری در حالت جزیره‌ای با موفقیت انجام شد. در این آزمایش سیستم تحریک استاتیک دیجیتال SECON-2000 تولید و سیستم گاورنر دیجیتال DHTC-300شرکت هورپندار بر روی ژنراتور نیروگاه آبی سد ارس نصب شده و به صورت خود راه اندازه برق دار گردید. در این آزمایش که به طور مستقل از شبکه سراسری انجام شد، ضمن کنترل دقیق فرکانس، سیستم کنترل، مدیریت شبکه مستقل را با افزایش و کاهش بارهای پله ای تا ۲/۵MW به خوبی برعهده گرفته و توانست تا راه اندازی مجدد بقیه نیروگاه ها به راحتی کنترل بار، فرکانس و ولتاژ را در محدود استاندارد حفظ نماید.

- شرکت مونکو

مهندسین مشاور مونکو ایران با نزدیک به نیم قرن تجربه در ارائه خدمات مهندسی، مشاوره و نظارت در صنایع برق، نفت و گاز و پتروشیمی، مترو و راه آهن، مخابرات، دیسپاچینگ و اسکادا، آب و فاضلاب فعالیت می نماید. این مهندسین مشاور در سال ۱۳۵۲ با سرمایه گذاری مشترک بین بخش خصوصی ایران و شرکت مهندسی مونترال از کشور کانادا تاسیس و در ابتدا فعالیت خود را با تمرکز در صنعت برق ایران آغاز نمود. در حال حاضر سهام‌داران عمده شرکت مهندسین مشاور مونکو ایران شامل گروه مپنا، شرکت Wood Group و شرکت مشاوره مدیریت میر (متعلق به کارکنان) می‌باشند.

این مهندسین مشاور با برخورداری از نیروی انسانی متخصص و مجرب و پشتوانه‌ی علمی و تجربی شناخته شده، با استفاده از آخرین روش های فن آوری و مهندسی و استانداردهای بین‌المللی و تاکید بر اصل رضایت مشتری در چند دهه گذشته، نیازهای مهندسی و مشاوره صنعتی کشور را مرتفع و در تعاملی پایدار با کارفرمایان و شرکت های همکار، راه کارهای نوینی را جهت رفع معضلات صنایع مختلف ارائه نموده و توانسته است سهم قابل ملاحظه‌ای در بازارهای داخلی کسب نماید و موفق به ارایه خدمات گسترده تر و با کیفیت بالاتر برای مشتریان داخلی گردید. توسعه و بالندگی از طریق بازنگری اهداف، تدوین برنامه‌ها، اولویت‌بندی فعالیت‌ها و بهبود مستمر سرمشق شرکت مهندسی مشاور مونکو ایران در نزدیک به نیم قرن گذشته بوده و دستیابی به این اهداف، نیازمند ترویج فرهنگ تعالی، حفظ و بهبود ارزش‌ها و اصول اخلاقی شرکت و رعایت مسئولیت‌های اجتماعی است.

تنوع و کیفیت خدمات مشاوره مهندسی در کنار پرسنل مجرب این مهندسین مشاور، مشارکت های فرامرزی و همکاری با شرکت های برجسته بین المللی و منطقه ای ارایه خدمات مشاوره‌ای را در خارج از کشور امکان‌پذیر نموده و فرصت‌های مناسبی را جهت ارائه توانمندی های مونکو ایران در سایر کشورها پدید آورده است.

مهندسین مشاور مونکو ایران با هدف توسعه دانش فنی و انتقال فن آوری های جدید اقدام به شکل دهی همکاری های مقطعی یا بلندمدت با شرکت های معتبر بین المللی نمود و درصدد تاسیس تعدادی شرکت با مشارکت شرکتهای همکار محلی در خارج از کشور برآمد. در همین راستا، به منظور تمرکز بر بازارهای هدف خاورمیانه موفق به ثبت شرکت MCE (Monenco Consulting Engineers)در کشور عمان در سال ۱۳۸۹ و به منظور دسترسی به بازار آفریقای مرکزی در سال ۱۳۹۰ شرکت مونکو نیجریه (Monenco Engineering Limited MEL در کشور نیجریه گردید که متعاقباً تجارب و موفقیت های چشمگیری در بازار عمان کسب نمود. همچنین در سال ۱۳۹۵ با هدف دسترسی به بازار اروپا و تقویت همکاری با شرکای اروپایی اقدام به ثبت شرکت مونکو آلمان (Monenco Germany) نمود. علاوه بر آن، خدمات این شرکت مشاوره مهندسی و فعالیت های آن در خارج از کشور صرفاً به این سه کشور محدود نبوده و در کشورهای عراق و سوریه در خاورمیانه، بنگلادش، هند، کره جنوبی، تاجیکستان و قرقیزستان در شرق دور، زامبیا و کنیا در آفریقا و اتریش و فرانسه در اروپا نیز فعالیت دارد.

➢ امکان سنجی فنی و اقتصادی بروز رسانی سیستم تحریک مولدهای نیروگاه پالایشگاه آبادان

شرکت مونتکو ایران موفق به عقد قرارداد "امکان سنجی فنی و اقتصادی به‌روز رسانی سیستم تحریک مولدهای نیروگاه پالایشگاه آبادان" به کارفرمایی شرکت پالایش نفت آبادان گردید.

یکی از مهم‌ترین مشکلات پیش رو در بهره‌برداری از واحدهای قدیمی نیروگاه پالایشگاه آبادان، قطعات یدکی منسوخ شده است. عدم وجود قطعات یدکی باعث از کارافتادن واحد و در نتیجه خسارت مالی فراوانی می‌گردد. از سوی دیگر جهت اتصال این پالایشگاه به شبکه سراسری، بروز رسانی سیستم تحریک به منظور افزایش قابلیت اطمینان سیستم تولید برق، ضروری می‌باشد.

➢ خدمات بررسی زیرساخت نیروگاه های کاندید ارتقا

مونتکو ایران موفق به عقد قرارداد "خدمات بررسی زیرساخت نیروگاههای کاندید ارتقا" به کارفرمایی شرکت گروه مپنا گردید. در راستای تبدیل واحدهای گازی V94.2 قدیمی مپنا به واحدهای جدید MAP2B نیاز است اطلاعاتی از وضعیت واقعی سیستم های برقی و مکانیکی گردآوری گردد و براساس آن آنالیزهایی صورت پذیرد. به همین منظور در این پروژه اطلاعاتی از لاگ شیت‌های سیستم های خنک کن، آنالیز سوختهای گاز و گازوئیل و شرایط واقعی سیستم های فوروارد‌ینگ، کابلها، سیستم تحریک، GCB، باسداکت، ترانسهای جریانی، ترانسفورماتورهای اصلی و سیستم های کمکی الکتریکی گرد آوری می گردد. شرکت های توگا، مکو، پارس و مپنا بویلر اطلاعات گردآوری شده را به عنوان ورودی مدل های خود استفاده می نمایند. نقش این مهندسین مشاور در این پروژه بسیار حیاتی و با اهمیت است زیرا هرچقدر دقت اطلاعات جمع آوری شده بالاتر باشد، دقت کار خروجی کارخانجات نیز دقیق‌تر خواهد بود و قدرت تصمیم گیری مپنا جهت تغییرات مذکور را بالاتر خواهد برد.

- شرکت اطمینان‌بخش

شرکت دانش‌بنیان اطمینان‌بخش با توان بومی و ملی انجام شده، یکی از سازندگان و تولیدکنندگان درایوهای ماژولار فشار ضعیف LV در رنج‌های صنعتی و درایوهای ماژولار فشار متوسط MV تا سطح ولتاژ ۱۱ کیلوولت و توان ۴.۵ مگاولت آمپر می‌باشد. این شرکت با تکیه بر دانش فنی توانسته است نشان کیفیت صنعت نفت ایران که جزء استانداردهای داخلی وزارت صنعت، معدن و تجارت در زمینه تولیدات داخلی درایوهای ماژولار فشار ضعیف و فشار متوسط می‌باشد را کسب نماید. این شرکت با دارا بودن مجموعه موتور و ژنراتور تا ۳۲۰۰ کیلووات در داخل کارخانه، عملا امکان تست واقعی درایو در بار کامل را تا رنج مذکور فراهم نموده است. همچنین آزمایشگاه‌های فشار قوی، تست دما، تست ارتعاش و تست رطوبت جهت ماژول‌ها و بردهای الکترونیکی در داخل کارخانه، بطور مرتب تجهیزات تولیدی را مورد پایش قرار می‌دهند. علاوه بر این درایوهای تولیدی، این شرکت در آزمایشگاهها و مراجع ذی صلاح گواهینامه‌های زیر را کسب نموده است.

- گواهینامه تست سازگاری الکترومغناطیسی EMC
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی فرکانس قدرت تابلو ماژولهای قدرت
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی فرکانس قدرت ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز ایزوله
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی ضربه صاعقه ترانسفورماتور تغییر دهنده فاز ایزوله
- گواهینامه آزمایش استقامت الکتریکی فرکانس قدرت کابل رابط افشان فشارقوی

کاربرد درایوهای فول ماژولار تولیدی این شرکت در صنایع مادر اعم از نفت و گاز و پتروشیمی، فولاد، آب و فاضلاب، نیرو، سیمان و معدن، صنایع غذایی و غیره می باشد.

روزمه این شرکت در زمینه ساخت و بهینه‌سازی سیستم‌های تحریک عبارتست از:

- ساخت سیستم تحریک استاتیکی ژنراتورهای ۴۰۰A و ۷۵ KW

- بروز رسانی و بهینه‌سازی قطعات سیستم تحریک روسی نیروگاه ۳۲۰MW منتظری اصفهان در سال ۱۳۸۳
- ساخت قطعات کنترلی نیروگاه بخاری فولاد مبارکه (سیستم اصلی جایگزین آنسالدو شد)
- نیروگاه کلان
- جایگزینی سیستم تحریک دینامیکی با تحریک استاتیکی شرکت‌های تولیدی قند نقش جهان در یاسوج و کرج.

قسمت‌های مختلف سیستم تحریک استاتیکی ساخته شده در این شرکت عبارتند از:

- ترانسفورماتور
- ماژول قدرت استاتیکی
- رگولاتور AVR
- واحد Flash Start
- سیستم نظارت و حفاظت PLC
- واحد HMI

۱۱-۵-۲-۲- قیمت محصولات

قیمت‌های اعلام شده برای سیستم‌های تحریک بر اساس پارامترها، برند و متغیرهای اقتصادی و جغرافیایی بسیار متفاوت است. قیمت متوسط برای سیستم‌های تحریک اروپایی به ازای هر کیلووات توان خروجی حدود ۳۵۰ دلار امریکا می‌باشد و به طبع این عدد برای برندهای چینی و اروپای شرقی به نصف و حتی کمتر نیز می‌رسد. در ایران نیز تهیه سیستم تحریک شرکت آهار حدود ۱۸۰ دلار به‌ازای هر کیلووات هزینه در بر دارد. این هزینه برای سیستم تحت لیسانس زیمنس ارایه شده توسط شرکت مکو حدود ۲۵۰ دلار به ازای هر کیلووات می‌باشد.

۱۲-۵-۲-۲- برآورد توانایی ساخت داخل و ارزیابی توانمندی شرکت‌های داخلی

همانگونه که در این فصل به آن اشاره شده، تعداد شرکت‌های داخلی فعال در زمینه تهیه و تامین سیستم‌های تحریک نیروگاهی محدود می‌باشد. در حال حاضر اغلب پروژه‌های داخلی در این زمینه توسط شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو) و نیز شرکت خدمات نیروگاهی آهار انجام می‌شود.

شرکت مهندسی و ساخت برق و کنترل مپنا (مکو) : علاوه بر نصب و راه‌اندازی سیستم‌های تحریک نیروگاهی از برندهای ABB و زیمنس در نقاط مختلف کشور، موفق به ساخت بومی تابلوی تحریک مپنا با نام تجاری MAPEX گردیده است. این سیستم هم‌اکنون در ژنراتور سنکرون واحد دوم بخار نیروگاه پرند در حال بهره‌برداری می‌باشد. نیاز نیروگاههای با توان ۲۰۰ مگا ولت آمپر به سیستم تحریک با جریان ۱۴۱۷ آمپر را توسط این محصول می‌توان برطرف نمود.

طبق اطلاعات اخذ شده از این شرکت و مصاحبه با جناب آقای مهندس رسولی مدنی مدیر مهندسی واحد مربوطه، این شرکت عمده اجزای سیستم تحریک اعم از ماژولهای قدرت، سیستم کنترل و بورد درایور را خود طراحی و تولید می‌نماید. همچنین سیستم مانیتورینگ را با استفاده از PLC زیمنس و برنامه‌نویسی کارشناسان شرکت می‌سازد. همچنین ترانسفورماتورهای تحریک مورد نیاز را نیز از خارج شرکت تهیه می‌نمایند.

شرکت مکو دارای امکانات انجام تست‌های الکتریکال و استقامت عایقی می‌باشد. همچنین امکان تست‌های تحت بار تا توان ۸۰۰ کیلوولت آمپر نیز در محل کارخانه و در زمان محدود فراهم است. این شرکت دارای امکانات تست‌های

آزمایشگاهی عملکردی HIL (Hardware in Loop) برای محصول سیستم تحریک خود می باشد. این شرکت از طریق مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک تستهای EMC مورد نیاز خود را انجام می دهد.

شرکت خدمات نیروگاهی آهار: پس از ساخت انواع کارت‌های الکترونیکی سیستم‌های تحریک همانند ساخت کارت‌های تحریک نیروگاه‌های تبریز، کیش، پتروشیمی‌های خانگیران و بندر عباس توانسته است طراحی و پیاده‌سازی کلیه بخش‌های قدرت و کنترل سیستم تحریک را به انجام برساند. سخت‌افزار و توپولوژی این سیستم‌ها بر اساس تکنولوژی زیمنس آلمان است. سیستم کنترل تحریک ساخت شرکت نیروگاهی آهار جهت نصب بر روی ژنراتورهای واحدهای بخار و گاز طراحی شده است. بخش کنترل و AVR این سیستم صرف نظر از نوع تحریک، می‌تواند روی انواع سیستم‌های تحریک استاتیک و دینامیک نصب شود.

طبق اطلاعات کسب شده و مصاحبه با آقای مهندس محمدی از مدیران و متخصصان فنی شرکت آهار، این شرکت هم اکنون ساخت ماژول‌های قدرت و بورد درایور و سیستم کنترل (سیستم ابداعی سانیار) را در داخل شرکت به انجام رسانده و در خصوص سیستم مانیتورینگ از سیستم زیمنس استفاده می‌نماید. البته هدف‌گذاری شرکت آن است که تا دو سال آینده در این زمینه نیز خودکفا گردد. در صورت نیاز به ترانسفورماتور تحریک، خرید از ایران ترانسفو انجام می پذیرد. ضمنا محفظه تابلو و مقاومت کروبار نیز از شرکتهای داخلی تامین می‌گردد.

این شرکت توانایی انجام تست‌های الکتریکال و استقامت عایقی و همینطور توانایی انجام تست‌های تحت بار محدود (تا ۵۰ کیلوولت آمپر) را در داخل شرکت دارد. البته برای انجام تستهای فشار قوی از امکانات پژوهشگاه نیرو استفاده نموده و برای انجام تست سازگاری الکترومغناطیسی از امکانات شرکت دانش‌بنیان آزمایشگاه صنایع انرژی (EPIL) بهره می‌برد.

شرکت دانش‌بنیان اطمینان‌بخش: با تکیه بر توان بومی و ملی، یکی از سازندگان و تولیدکنندگان سیستم‌های تحریک استاتیک ژنراتورهای نیروگاهی می‌باشد. طی مصاحبه با جناب آقای مهندس رئوفی مدیر فنی واحد مربوطه، در این شرکت اجزای اصلی سیستم تحریک از جمله ماژول‌های قدرت استاتیکی، ماژول درایور و سیستم کنترل و حفاظت، ترانس تحریک و ... در داخل کارخانه طراحی و تولید می‌گردد. سیستم مانیتورینگ را نیز با استفاده از PLC زیمنس و برنامه نویسی داخلی تولید می‌نمایند.

این شرکت مجموعه آزمایشگاهی متنوعی را در این حوزه در اختیار دارد. این آزمایشگاه‌ها شامل آزمایشگاه شرایط محیطی همچون ارتعاشات- برودت- حرارت- رطوبت- ضربه-مه نمکی، استقامت عایقی، عملکرد بی‌باری و زیربار (تا ۸۵۰ کیلوولت آمپر)، آزمایشگاه فشار قوی و ... می‌باشد. این شرکت از طریق مرکز تحقیقات صنایع انفورماتیک (RCII)، آزمون سازگاری الکترومغناطیسی خود را انجام می دهد.

شرکت دانش‌بنیان هورپندار: به عنوان اولین طراح و سازنده سیستم تحریک استاتیک ژنراتور نیروگاه مطرح می‌باشد. آزمون خودراه‌اندازی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی خوی، سد ارس و واحدهای گازی نیروگاه بندرعباس تحت نظارت نمایندگان معاونت راهبری شبکه برق کشور ضمن انجام بارگیری در حالت جزیره‌ای با موفقیت توسط این شرکت انجام شده است. در این پروژه سیستم تحریک استاتیک دیجیتال SECON-2000 و سیستم گاورنر دیجیتال DHTC-300 شرکت هورپندار مورد استفاده قرار گرفته است.

طبق تحقیقات بعمل آمده و مصاحبه با جناب آقای مهندس پورناجی مدیر فنی شرکت، این شرکت ماژول قدرت استاتیکی، بورد درایور و سیستم کنترل را در داخل شرکت تولید می نماید. همچنین برای مانیتورینگ از سیستم HMI زیمنس بهره می‌برد. همچنین ترانس تحریک و مقاومت کروبار نیز از شرکت‌های دیگر تهیه می‌شود. ضمنا بدنه تابلو نیز از سازندگان معتبر داخلی تامین می‌گردد.

در این شرکت تست‌های الکتریکال و عایقی و بی باری انجام گردیده و تست تحت بار با توان محدود کمتر از ۱۰۰ کیلوولت آمپر در محل کارخانه شرکت قابل انجام می‌باشد. عمده تست‌های تحت بار در محل پروژه و پس از نصب به انجام می‌رسد. همچنین تست‌های فشار قوی و EMC نیز در آزمایشگاه‌های معتبر خارج از شرکت در صورت نیاز به انجام می رسد.

امید است با حمایت بیشتر از فعالیت‌های R&D شرکت‌های کوچک و متوسط در این زمینه در آینده نزدیک شاهد شکوفایی این صنعت در کشور، رفع نیاز واردات و افزایش صادرات جهانی محصولات تولید شده باشیم.

۱۳-۵-۲-۲- برآورد TRL بین‌المللی و داخلی در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاه حرارتی

امروزه تمرکزی قابل‌توجه در زمینه تجاری‌سازی نتایج تحقیقات و نوآوری‌های انجام‌شده توسط مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان در سطح دنیا و ازجمله ایران در صنایع مختلف به‌وجود آمده است و کلید واژه مدیریت فناوری هرچه بیشتر به‌منظور سرمایه‌آفرینی از فعالیت‌های پژوهشی و کاهش ریسک عملکردی، زمانبندی و سرمایه‌گذاری در توسعه محصولات با فناوری بالا مورد توجه قرار گرفته است، لذا بهره‌گیری از ابزاری مناسب، نقش اساسی در تصمیم‌گیری و کاهش ریسک در مرحله تزریق مالی به‌منظور تجاری‌سازی دستاوردهای تحقیق، و توسعه و نوآوری (RDI) ایفا می‌کند. یکی از ابزارهای کاربردی در این زمینه که توسط سازمان ناسا در دهه هفتاد میلادی توسعه‌یافت و مورد استفاده قرار گرفت، ابزاری با هدف تعیین سطح آمادگی فناوری به نام TRL است. ابزار مذکور که امکان ارزیابی بلوغ فناوری را در مراحل توسعه محصول امکان‌پذیر می‌سازد، به صورت گسترده در سطح کشورهای پیشرفته در سازمان‌های صنعتی و دولتی مورد استفاده قرار گرفته است. به بیانی دیگر، ابزار TRL امکان ارزیابی بلوغ فناوری خاص حاصل از فرآیندهای نوآوری و تحقیق و توسعه و همچنین مقایسه سازگاری مابین انواع مختلف فناوری به‌کار رفته در ساختار یک تجهیز یا سیستم را امکان‌پذیر می‌سازد و برخلاف ابزارهای مشابه دیگر، ابزار مذکور سطحی که فناوری در آن قرار دارد را به صورت کاربردی شناسایی می‌کند. ارزیابی سطح آمادگی هر تکنولوژی (TRL) می‌تواند در قالب ۹ سطح تقسیم‌بندی شود که با توجه به محیط سیستم از پژوهش‌های پایه‌ای و استخراج معادلات مفهومی آغاز شده و تا تولید صنعتی و توسعه بازار ادامه یابد. این سطوح در جدول ذیل تشریح گردیده است.

جدول ۱۵۰-۲ : سطوح ارزیابی سطح آمادگی تکنولوژی **TRL**

	سطوح آمادگی فناوری(TRL)	توصیف
۱	**مشاهده و درک اصول علمی پایه و گزارش آنها**	تحقیقات علمی در این مرحله به دانش کاربردی و دانش توسعه‌ای منتهی می‌گردد. مثال :مقالات علمی حوزه فناوری
۲	**مدل‌سازی ایده اصلی فناوری و کاربرد آن**	در این مرحله اختراع انجام شده است. بهره‌برداری در این مرحله تقریبی و مفهومی است. مثال: دانش استخراج شده از یک مقاله علمی.
۳	**اثبات عملکرد در سطح مدل ریاضیاتی و آزمایش‌های اولیه**	این مرحله شامل مطالعات دقیق علمی و تحلیلی و بررسی‌های آزمایشگاهی است تا اعتبار سنجی لازم صورت پذیرد.

		مثال: اجزای غیر یکپارچه یک مطالعه تحقیقاتی در حوزه فناوری که هنوز رسمی و اعلام نشده‌اند.
۴	**دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیط آزمایشگاهی**	با کنار هم قرار گرفتن اجزای یک سیستم، فناوری آماده به کار شکل میگیرد. البته هنوز سطح اطمینان و عملکرد فناوری پائین است. مثال: تکمیل شدن یک جزء سخت افزاری برای آزمایش نهائی در سیستم فناوری.
۵	**دستیابی به نمونه آزمایشگاهی کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد**	با انجام آزمایشات تکمیلی، سطح اطمینان بالاتری حاصل می‌آید. اجزای اولیه یک فناوری در ابعاد و دقت واقعی و غیرآزمایشگاهی تهیه شده و در کنار یکدیگر برای آزمون نهائی واقعی مهیا میشوند. مثال: آزمایش نهائی یک سیستم.
۶	**دستیابی به نمونه اولیه کارآمد در محیطی که به محیط عملکرد واقعی شباهت دارد**	مدل نمایشی که خروجی سطح TRL-5 به حساب می‌آید و البته در محیط واقعی با موفقیت آزمایش شده است.مثال: آزمایش یک محصول پروتوتایپ در یک آزمایشگاه که این محصول قابلیت بکارگیری مطمئن در محیط شبیه سازی شده را نیز داراست.
۷	**اثبات عملکرد نمونه اولیه در محیط واقعی**	محصول فناوری در یک محیط عملیاتی متفاوت با شرایط اولیه آزمون واقعی بکار گرفته می‌شود. این مرحله سطح بلوغ یافته TRL-6 به حساب می‌آید. نیازمند وجود یک محیط و فضای عملیاتی متفاوت برای بکارگیری سیستم کامل فناوری و اجزا در آن است.مثال: آزمایش سیستم در محیطی متفاوت و واقعی.
۸	**تکمیل سیستم نهایی و دستیابی به شرایط لازم برای کاربرد عملیاتی/ افزایش مقیاس تولید به سطح تولید پایلوت**	فناوری آماده بهره برداری تحت وضعیت‌های مختلف است. در این مرحله ارزیابی و تست‌های نهائی پایان یافته و سیستم بصورت یک پکیج قابل اجرا و انتقال مورد تصور است. مثال: سیستم مورد بهره‌برداری در شرایط مختلف.
۹	**راه اندازی سیستم نهایی در محیط واقعی/ راه اندازی خط تولید**	بکارگیری واقعی در وضعیت‌های شبیه بحران و عملیاتی کامل که باعث رفع مشکلات نهائی یک سیستم فناوری گردیده و اطمینان ۱۰۰ درصدی را در پی خواهد داشت. مثال: سیستم مورد بهره‌برداری تحت شرایط واقعی.

در خصوص محصولات خارجی سیستم تحریک نیروگاهی، با توجه به مطالعات انجام شده در فصول گذشته ملاحظه می‌گردد که در حال حاضر اکثر قریب به اتفاق سیستم‌های تحریک تولید شده از نوع استاتیک هستند و نیز درصد بسیار پایینی از آمار تولید، به سیستم تحریک AC اختصاص دارد. ساخت سیستم‌های تحریک DC نیز بکلی منسوخ شده است. همچنین شرکتهای بسیار معتبری با محصولات متنوع در این حوزه، سهم قابل توجهی در تولید و تامین این تجهیزات در مقیاس جهانی را دارا می باشند. این محصولات با توجه به پیشینه فعالیت این شرکت‌ها به نیروگاه‌های نقاط مختلف در جهان و از جمله ایران صادر می‌گردد. در خصوص سطح آمادگی فناوری (TRL) سیستم‌های تحریک این شرکتهای معتبر لازم به ذکر است که محصولات آنها با این گستره از تولید و مصرف عموما در سطح TRL8-9 می‌باشد.

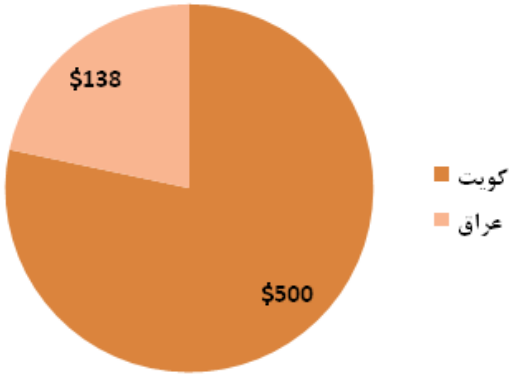
در داخل نیز دستیابی به دانش فنی بومی حوزه ساخت سیستم‌های تحریک نیروگاهی، عنصری کلیدی در زمینه خودکفایی و قطع وابستگی به بیگانگان است و از دیرباز در حوزه تحقیق و توسعه یکی از مهمترین پروژه‌های راهبردی نیروگاهی بوده که با تکیه بر دانش و نیروی متخصص بومی به آن پرداخته شده است و ثمره آن در سال‌های اخیر و علی‌الخصوص در شرایط اعمال تحریم‌های ظالمانه به کشور و توانایی شرکت‌های داخلی در ساخت، تامین و تعمیر تجهیزات بیش از پیش نمایان شده است. در حال حاضر مکو و آهار شرق از فعالترین شرکت‌های فعال در این زمینه به شمار می‌روند و سطح آمادگی مناسب شرکت‌های داخلی را می‌توان با TRL6-7 مشخص نمود.

۱۴-۵-۲-۲- سهم بازار و میزان واردات و صادرات سیستم تحریک در حوزه نیروگاه حرارتی

در این بخش به سهم بازار و میزان صادرات شرکتهای داخلی در حوزه سیستم تحریک و مبدلهای استاتیک و میزان واردات این محصولات به داخل کشور جهت نیازهای صنایع می پردازیم.

- سهم بازار و میزان صادرات

جدول ۲-۱۵۱ آمار صادرات مبدلهای استاتیک از جمله سیستم تحریک را که از طریق گمرکات مختلف کشور در سال ۱۳۹۷ به خارج کشور ارسال گردیده‌اند، را نمایش می دهد. اطلاعات درج شده در این جدول شامل سال و ماه انجام صادرات هر ردیف، نام کمرگ ترخیصی، نام کشور مقصد، مشخصات و کد تعرفه محصول، وزن محموله، مبلغ ریالی و مبلغ دلاری صادرات صورت گرفته می باشد. مقصد صادرات کشورهای کویت و عراق و ارزش صادرات حدود ۲۷ میلیون ریال بوده است. نمودار گرافیکی شکل ۲-۴۲۸ نیز این اطلاعات را به تصویر می کشد.



شکل ۲-۴۲۸ : نمودار گرافیکی اطلاعات صادرات مبدلهای استاتیک در سال ۱۳۹۷

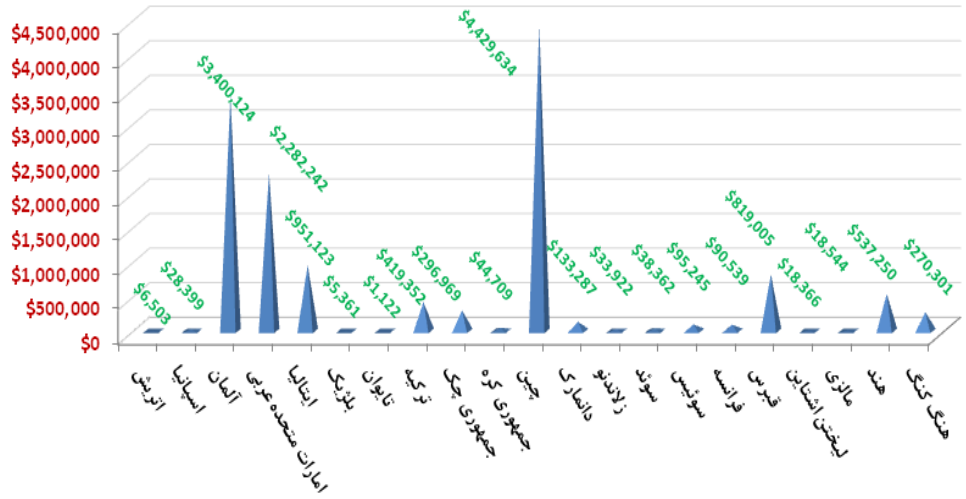
جدول ۲-۱۵۱ : اطلاعات صادرات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷

ردیف	ماه	سال	نام گمرک	نام کشور	شماره تعرفه	توضیحات تعرفه	وزن - کیلو گرم	ارزش - ریال	ارزش - دلار
۱	۱	۱۳۹۷	یزد	کویت	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۴۰	۲۱,۰۰۰,۰۰۰	۵۰۰
۲	۲	۱۳۹۷	باشماق	عراق	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹۲	۵,۹۰۲,۲۶۰	۱۳۸
							مجموع کل ۲۶,۹۰۲,۲ ریال ۶۰	**مجموع کل ۶۳۸ دلار**	

- سهم بازار و میزان واردات

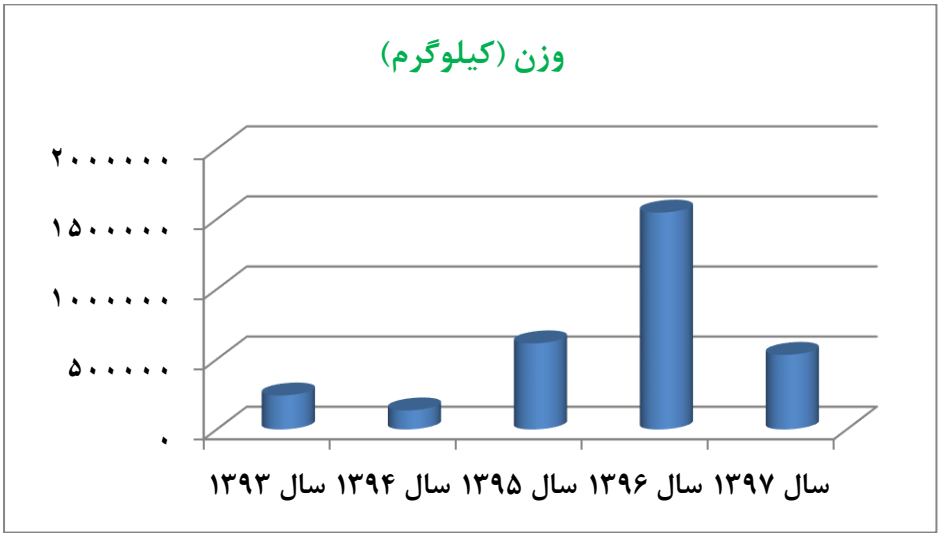
آمار واردات مبدلهای استاتیک نیز در سال ۱۳۹۷ به شرح جدول ضمیمه آورده شده است. در شکل ۲-۴۲۹ اطلاعات گرافیکی و خلاصه جدول مذکور درج گردیده است.

ملاحظه می گردد که میزان وزنی واردات حدود ۵۳۲ تن و ارزش ریالی و دلاری حدودی آن به ترتیب ۵۷۰ میلیارد ریال و ۱۴ میلیون دلار می باشد. این اقلام از مبدا کشورهای ایتالیا، سوئیس، هنگ کنگ، اسپانیا، قبرس، جمهوری چک، دانمارک، فرانسه، زلاندنو، مالزی، لیختن اشتاین، اتریش، بلژیک، آلمان، سوئد، چین، هند، کره جنوبی، ترکیه، تایوان و امارات متحده عربی به گمرکات کشور وارد گردیده است. بیشترین واردات به ترتیب از کشورهای چین و آلمان با ارزش حدودی ۴.۵۰۰.۰۰۰ دلار و ۳.۴۰۰.۰۰۰ دلار صورت گرفته است. پس از آنها امارات متحده عربی، ایتالیا و قبرس در رده های بالای ارسال مبدلهای استاتیک به کشورمان می باشند.

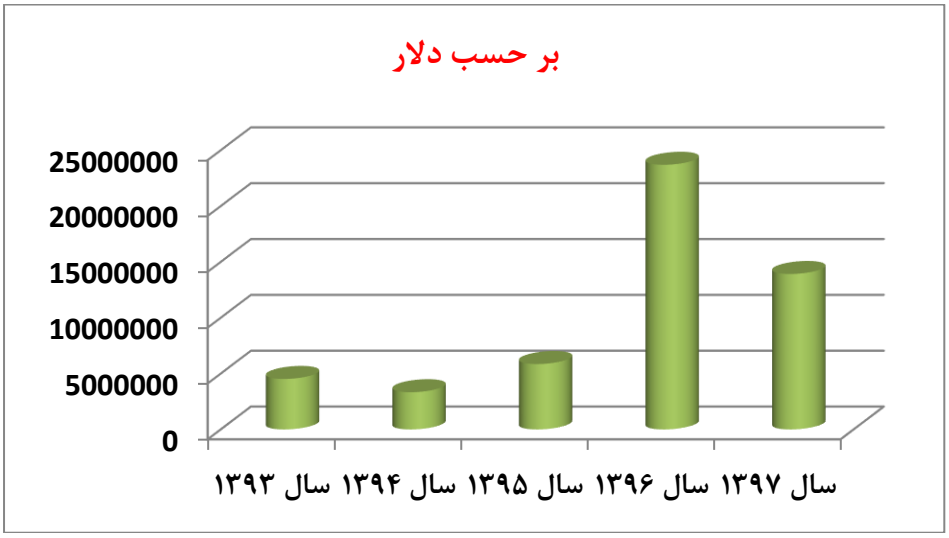


شکل ۴۲۹-۲ : نمودار گرافیکی واردات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷

برای رصد بهتر روند واردات در سال‌های اخیر، اطلاعات واردات مربوط به سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار داده شده است. شکل ۴۳۰-۲ نمودار وزنی سیستم‌های راه‌انداز وارداتی و شکل ۴۳۱-۲ نمودار ارزش دلاری واردات صورت گرفته در سال‌های اخیر را نشان می‌دهد.



شکل ۴۳۰-۲ : نمودار گرافیکی واردات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در ۵ سال منتهی به ۱۳۹۷ با شاخص وزن



شکل ۴۳۱-۲ :نمودار گرافیکی واردات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در ۵ سال منتهی به ۱۳۹۷ با شاخص هزینه

همانطور که ملاحظه می‌شود، در سال ۱۳۹۴ شاهد کاهش واردات نسبت به سال ماقبل بوده‌ایم و طی دو سال بعد این افت جبران شده است. لیکن در سال ۱۳۹۷ دوباره شاهد کاهش شدید میزان واردات نسبت به سال‌های ماقبل بوده ایم. نکته مناقشه برانگیز منحنی‌ها، کاهش وزنی واردات سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۹۵ با وجود افزایش هزینه دلاری واردات می‌باشد که موید اثرگذاری تحریم‌های تکنولوژی و مالی بر هزینه واردات برای کشور است.

٦-۲-۲- سیستم‌های پایش وضعیت

تاکنون جهت پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار و تشخیص عیوب ماشین، روشهای مختلفی توسعه پیدا کرده است. قبل از شناخت فناوری پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار در ابتدا لازم است تا شناخت مبسوطی از عیوب ماشین و علل بروز آن داشته باشیم. از اینرو در ابتدای این بخش کلیه عیوب مرتبط با توربوژنراتورهای نیروگاهی و الکتروموتوهای توان بالا که به عنوان محرکه پمپ و فن های خنک کننده بکار گرفته می شوند، بررسی می گردد.

شناخت فناوری پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار شامل روشهای آنلاین اندازه‌گیری تخلیهٔ جزئی، اندازه‌گیری شار الکترومغناطیس فاصله هوایی و آنالیز ارتعاشات و روشهای جانبی نیز شامل پایش دما و آنالیز گازهای خنک‌کننده به ترتیب در بخش‌های بعدی آورده شده است. در هر یک از بخش‌های فوق‌الذکر ابتدا عیوب قابل تشخیص با روش مربوطه معرفی می شود. در ادامه فناوری های مرتبط با اندازه گیری شاخص، روشهای تشخیص عیب و مشخصات فنی محصولات شرکتهای فن آور در سطح دنیا بررسی می گردد.

از آنجا که تشخیص بموقع عیوب ژنراتور با پایش وضعیت پیوسته و مستمر عملکرد ژنراتورها امکان پذیر است در بخش بعدی فناوری سیستم های جامع پایش وضعیت و چند نمونه صنعتی که توسط شرکتهای معتبر توسعه داده شده اند در قالب این بخش بررسی می گردد. ایجاد سیستمهای جامع پایش وضعیت محلی بهمراه توسعه و ارتقاء نرم افزارهای پایش عیب موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستمهای فوق در تشخیص عیب می شود. این امر نیازمند دسترسی به یک پایگاه داده (Database) بزرگ از اطلاعات ژنراتورهای مختلف می باشد. لذا با اتصال سیستمهای جامع پایش وضعیت محلی، مراکز جامع تشخیص وضعیت که در آنها ژنراتورهای نیروگاههای مختلف بصورت همزمان پایش می شوند، شکل گرفتند. از مهمترین مزایای ایجاد مراکز جامع پایش وضعیت آنلاین، ایجاد یک بانک اطلاعات قدرتمند از اطلاعات عملکردی ژنراتور با هدف تشخیص دقیق عیب و انجام تعمیرات هدف دار (با مشخص شدن زمان تعمیر و نوع تعمیر) است.

سپس وضعیت فعلی فناوری پایش وضعیت ژنراتورهای نیروگاهی در کشور شامل بررسی تجهیزات نصب شده در نیروگاههای کشور بررسی می‌گردد. در انتها نیز درخت فناوری ترسیم و جهت توسعه فناوری در کشور نیز پیشنهادات فنی در قالب عنوان تعریف پروژه ارایه می گردد.

۱-۶-۲-۲- مروری بر انواع عیوب ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی

یکی از مهم‌ترین دغدغه‌هایی که در مدیریت شبکه های قدرت وجود دارد، جلوگیری ازخروج نابهنگام و بدون برنامه‌ریزی مراکز تولید انرژی (نیروگاهها) است. در این بین نقش ماشین‌های الکتریکی دوار ولتاژ بالا که در قالب ژنراتورهای سنکرون و الکتروموتورهای با رنجهای توانی متنوع که در صنایع و نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دلیل اهمیت دسترس پذیری آنها و همچنین قیمت بالا نسبت به سایر تجهیزات،بسیار حائز اهمیت است. از اینرو در نیروگاهها موضوع نگهداری و تعمیرات ژنراتورها و الکتروموتورهای توان بالا همواره یک مساله مهم و قابل توجه بوده است.

در ابتدا اکثر نیروگاهها از برنامه های نت عکس العملی[1] استفاده می کردند که در واقع انجام عملیات تعمیراتی بعد از وقوع خرابی تجهیز بود. بدلیل هزینه های زیاد تعمیراتی (و یا هزینه جایگزینی ماشین جدید) و مهمتر از آن هزینه های ناشی از کاهش و یا عدم تولید که ناشی از خارج از سرویس شدن ماشینهای الکتریکی بود، این سیستمها جای خود را به برنامه های تعمیراتی دوره ای دادند. استفاده از سیستمهای نگهداری و تعمیرات با هدف افزایش قابلیت اطمینان، خروج با برنامه و کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات مورد توجه صنایع و نیروگاه‌های مختلف قرار گرفت بطوریکه در حال حاضر در اکثر صنایع مرتبط به ماشینهای الکتریکی در داخل کشور، برنامه نگهداری و تعمیرات ژنراتورهای سنکرون و موتورهای ولتاژ متوسط و بالا بصورت دوره ای[2] (PM) انجام می شود. هر چند استراتژی جدید در مقایسه با روش قبلی از مزایای بیشتری برخوردار بود اما همچنان مساله خروج ناگهانی تجهیزات و کاهش دسترس پذیری وجود داشت. از اینرو توسعه روشهای پیش بینی عیوب و استفاده از فناوری های جدید که بصورت آنلاین وضعیت عملکردی ماشین را گزارش می دهد، مورد توجه قرار گرفت.

در سالهای اخیر رویکرد جدید کشورهای توسعه یافته استفاده از سیستمهای نت مبتنی بر وضعیت پیشگویانه تجهیز[3] (PdM) است. در این روش وضعیت ماشین بطور آنلاین مورد ارزیابی قرار گرفته، به محض بروز اولین نشانه ها از وقوع مشکل، با آگاه ساختن اپراتور جهت انجام اقدامات مقتضی، از پیشرفت عیب و وقوع خطا جلوگیری به عمل می آید.

علاوه بر اتفاقات ناگهانی، بروز عیب های جزیی در ماشین می تواند به مرور زمان باعث تخریب قسمت هایی از ماشین و خروج نابهنگام آن شود. از آنجاییکه سیستم حفاظت نمی تواند به وجود آمدن و رشد این عیب ها را تشخیص دهد بنابرین لازم است که سیستم دیگری در کنار سیستم حفاظت انجام این کار را بر عهده بگیرد که این کار توسط سیستم پایش انجام می شود. اگر سیستم پایش بر روی تجهیز نصب شود با کشف و تشخیص عیوب جزیی و رفع آن می توان احتمال وقوع خطاهای سریع را تا اندازه زیادی کاهش داد که این به نوبه خود باعث افزایش قابلیت اطمینان ماشین و سیستم مرتبط با آن می شود. بر همین اساس مطالعات گسترده ای توسط مراکز علمی و تحقیقاتی دنیا در خصوص پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ صورت گرفته است. از این رو شناخت دقیق عیوب ماشین و دلایل بروز آن اهمیت بالایی می یابد که در ادامه این بخش به آن پرداخته میشود.

---

[1] . Reactive Maintenance
[2]. Periodic Maintenance
[3] . Predictive Maintenance

همانطور که گفته شد اولین مرحله جهت پایش و تشخیص عیوب ژنراتورهای نیروگاهی شناخت عیوب و منشاء ایجاد آنهاست. برای این منظور در ادامه مروری بر انواع عیوب ژنراتورهای نیروگاهی صورت می پذیرد. با توجه به مطالعات قبلی و همچنین استعلامی که از کارشناسان محترم الکتریک نیروگاههای کشور صورت پذیرفت، کلیه عیوب ژنراتورهای نیروگاهی با ذکر منشاء ایجاد آنها را می توان مطابق موارد زیر بیان کرد [۸-۱] :

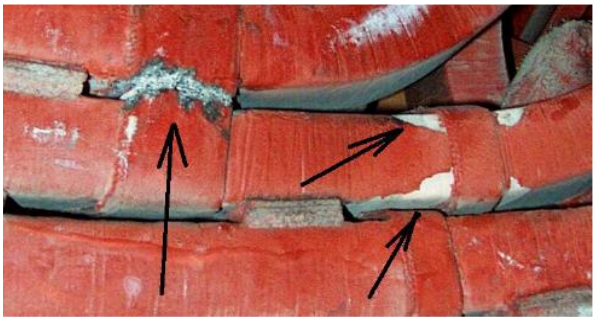
- عیوب مربوط به هسته استاتور
  - شل شدن ورقه های هسته استاتور
  - اتصال و جوش خوردن لبه ورقه های هسته به یکدیگر
- عیوب متداول در مسیرهای خنک کنندگی
  - مسدود شدن داکتهای هوا یا گاز خنک کننده ماشین
  - انسداد مسیر آب خنک کننده
  - افت جریان آب خنک کننده سیم پیچی استاتور
- عیوب متداول در بوشینگ و جعبه ترمینال
  - خطای فاز به فاز یا فاز به زمین در داخل جعبه ترمینال
- عیوب متداول در شکل سیم پیچی استاتور
  - تغییر شکل کلافهای ماشین
  - بیرون جهیدن شینه ها Bar Bouncing
- عیوب متداول در ژنراتورهای هوا خنک ناشی از فیلتراسیون ضعیف
  - ایجاد خلاء در داخل ژنراتورها در اثر گرفتگی فیلترهای هوا
- خطاهای عایقی در ژنراتورهای نیروگاهی
  - قرار گرفتن اجسام خارجی و وجود حفره درون عایق در هنگام ساخت
  - وجود مواد آلی شامل نیتروژن در زنجیره پلیمری مواد عایقی
  - نفوذ مواد خارجی نظیر روغن یا ذرات فلز به درون عایق
  - ضربه و صدماتی که ممکن است مثلاًدر هنگام حمل و نقل بوجود آید.
  - بروز عیب در سیستم خنک کنندگی ،تحریک رتور و ...
  - دمای بالای محیط ممکن است باعث اضمحلال عایق شود در حالیکه دمای پایین امکان دارد سبب بروز سفیدک (بروز پودر سفید رنگ روی اشیاء در دمای زیر نقطه انجماد)گردد.
  - رطوبت بالا موجب ظهور شبنم روی عایق وبروز خطا در آن می گردد.در حالیکه خشکی بالای هوا سبب تبخیر حلالهای موجود می گردد.
  - ولتاژهای ضربه (صاعقه و کلیدزنی) در شبکه متصل به ژنراتور نیز موجب بروز عیب در سیستم عایقی ژنراتور می گردد.
  - هارمونیک های موجود در شبکه نیز بر بروز یا تشدید برخی از عیوب در داخل سیستم عایق بندی موثر هستند.
  - جریانهای بزرگ مربوط به اضافه بار یا اتصال کوتاه نیز موجب آسیب رساندن به سیستم عایق بندی می شوند.

- جریانهای نامتقارن نیز باعث ایجاد لرزش و نوسان شدید در استاتور شده و ممکن است موجب بیرون آمدن گوه ها، زخمی شدن عایق فازها و ... می شود.
- گرد وخاک محیط و گردو خاک حاصل از سایش ذغال ممکن است وارد ماشین شده و روی سطح عایق جمع گردد که این امر علاوه بر افزایش جریانهای خزش سطحی موجب عملکرد ناقص خنک کنندگی شینه های ژنراتور مطرح گردد.

شکل ۴۳۲-۲ : آلودگی سطحی بر روی شینه ژنراتور که موجب تشدید **PD** می شود

- عیوب متداول در اثر رویداد مکرر تخلیه جزیی در سیستم عایق بندی
  - عدم پرس کافی لایه های عایقی در هنگام ساخت شینه
  - ابعاد و شکل حفره های موجود در عایق که در ولتاژ شروع تخلیه و شدت آن موثر است
  - ولتاژهای ضربه موجب تشدید تخلیه جزیی می شود
- عیوب متداول در تسمه های هادی شینه ها
  - شکستگی در تسمه های شینه
  - از بین رفتن عایق تسمه ها و متصل شدن تسمه های شینه به یکدیگر
  - جدا شدن تسمه ها از یکدیگر Strand Separation
- عیوب متداول در داخل شیار استاتور
  - شل شدن گوه های شیار استاتور
  - تخلیه شیار
  - خوردگی عایق در داخل شیار
- عیوب متداول ناشی از تفاوت ضرایب انبساط حرارتی
  - بروز ترکهای عمودی
  - جدا شدن نوار
  - تورق delamination
  - پودر شدگی ، اسفنجی شدن و پف کردن سطح عایق
- عیوب متداول در سرکلافها

- شل شدن مهاربندی انتهای سیم پیچی
- ترک خوردن عایق و جویده شدن آن در محل خروج شینه از شیار در اثر لرزش شینه ها
- سایش عایق در اثر لرزش
- صدمات ناشی از وجود اجسام خارجی در داخل ژنراتور



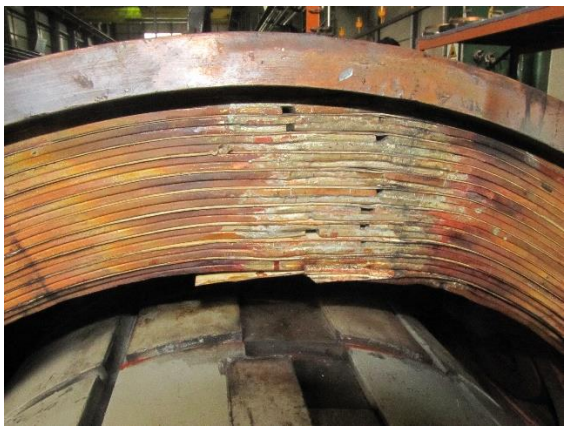
الف- ساییدگی عایق در اثر بروز ارتعاش

ب- بروز خطای شینه ناشی از ارتعاشات

شکل ۴۳۳-۲: تخریب عایق استاتور در اثر ارتعاشات ماشین

- عیوب متداول مربوط به عایق قدیمی آسفالت
  - شل شدن آسفالت و نفوذ آن به خارج لایه محافظ
- عیوب متداول ژنراتور در باسهای پیرامونی
  - سایش عایق باس های پیرامونی
  - ایجاد مسیر (برای جریان الکتریکی) بین دو فاز
- عیوب متداول در فن روتور
  - جابجایی و جویدگی در رینگ
  - عیوب متداول ژنراتورهای نیروگاهی در پره های فن
- عیوب متداول در یاتاقان
  - سایش در لایه فلز بابیت (در یاتاقانهای ژورنال) یا لایه پد (در یاتاقانهای تراست)
  - از بین رفتن خاصیت لغزانندگی روغن روغنکاری
  - عیوبی نظیر انحراف بافل روغن یا بهم خوردن فاصله های حلقه روغن سیل و فاصله های یاتاقان مواردی هستند که ممکن است در یاتاقان بوجود آمده و مبنای عیوبی دیگری در ژنراتور گردند.
- عیوب متداول ژنراتورهای نیروگاهی در رابطه با کثیفی روتور
  - ته نشین شدن پودر مس روی روتور در حالت turning gear
- عیوب متداول ژنراتورهای نیروگاهی در رینگ نگهدارنده
  - خستگی در فلز رینگ نگهدارنده
  - عیب ناشی از نفوذ آب بدرون رینگ نگهدارنده
  - سوراخ سوراخ شدن رینگ نگهدارنده

- تخریب رینگ نگهدارنده در سوراخهای موجود در آن
  - خروج خنک کننده (بویژه هیدروژن) از سوراخ های شعاعی رینگ نگهدارنده موجب سایش سطح رینگ در جهت خلاف جهت چرخش روتور می شود .
  - ترک برداشتن یا شکسته شدن لبه بدنه روتور در زیر رینگ نگهدارنده
- عیوب متداول مربوط به گوه های روتور
  - سوراخ سوراخ شدن گوه روتور
  - ایجاد ناحیه سوخته شده
  - ایجاد ترک در گوه های روتور
- عیوب متداول توربوژنراتورهای نیروگاهی در قسمت انتهای سیم پیچی روتور
  - تغییر شکل یافتن انتهای سیم پیچی روتور
  - ایجاد پودر مس در اثر کوبیده شدن سیم پیچی در حالت Turning gear
  - شکستن تسمه در حلقه رویی سیم پیچی تحریک
  - اشکالات مربوط به محل اتصال هادی به بازوی عبور داده شده از شفت



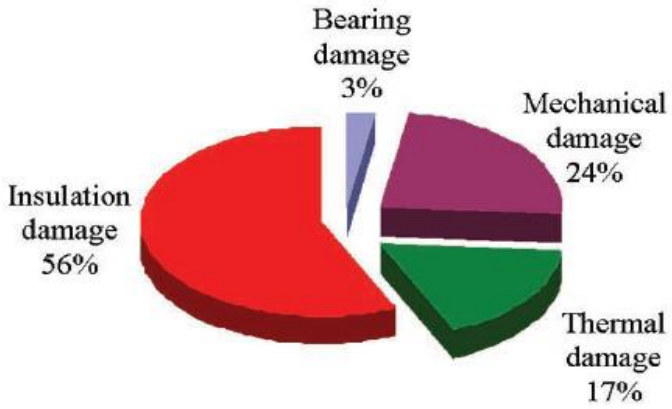
شکل ۴۳۴-۲: وقوع اتصال کوتاه در سیم پیچی رتور

- عیوب متداول ژنراتورهای نیروگاهی در رینگ های لغزشی و زغالها
  - سایش زغال و رینگ لغزشی
  - ضعیف شدن فنر زغال
  - شکست عایق رینگ لغزشی
  - شکست عایق در نگهدارنده های زغال
- عیوب متداول ژنراتورهای نیروگاهی در شیارهای محیطی قطب روتور
  - شروع و رشد ترک در بدنه روتور از نوک شیارهای محیطی قطب روتور

همانطور که ملاحظه گردید تعداد عیوبی که ممکن است در یک ژنراتور نیروگاهی رخ دهد زیاد است. یک سیستم پایش وضعیت بطور قطع نمی تواند بطور دقیق همه عیوب فوق را تشخیص دهد اما با کشف و پیش بینی برخی از عیوب مهم ماشین می تواند از روند توسعه عیب و ایجاد عیوب جدید و همچنین بروز خطاهای بزرگ جلوگیی کند. برای این منظور می توان کلیه عیوب مهم ژنراتورهای نیروگاهی را مطابق موارد زیر دسته بندی نمود :

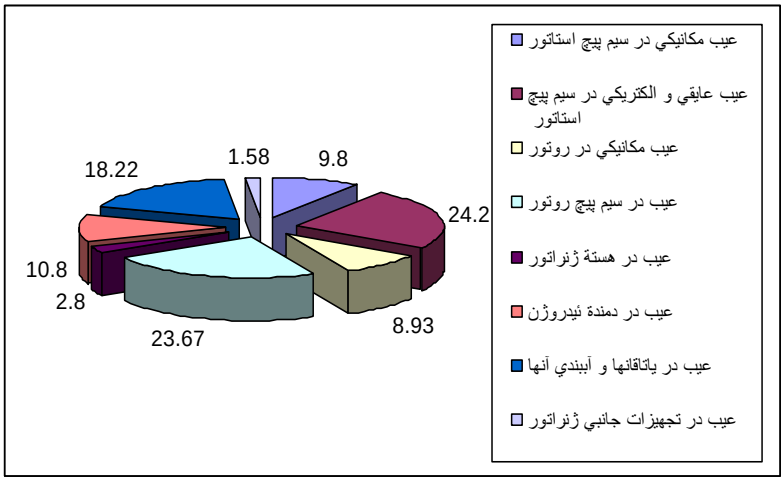
- عیوب الکتریکی شامل
  - عیب عایقی در استاتور
  - عیب در عایق سیم پیچ روتور
  - اتصال حلقه در رتور
  - شکستگی دمپر در هیدرو ژنراتورها
- عیوب مکانیکی شامل
  - ناهم محوری (خروج از مرکزیت)
  - عیب در یاتاقان و سیستم روانکاری
  - ارتعاشات انتهای شینه (دفرمگی عایق، شکستن گوه ها)
  - عیب در سیستم خنک کاری
  - عیب در هسته رتور و استاتور

تاکنون در خصوص اینکه هر یک از عیوب ماشین چه سهمی از کل خطاهای رخداده را دارا هستند مطالعات گسترده ای انجام پذیرفته است. نتایج مطالعات سیگره بر روی ۱۱۹۹ هیدروژنراتور نیروگاهی در شکل ۴۳۵-۲ آورده شده است. [۱]



شکل ۴۳۵-۲: سهم عیوب مختلف در هیدوژنراتورهای نیروگاهی

طبق مطالعات سیگره بیشترین عیوب هیدروژنراتورها مربوط به عیوب عایقی می باشد. بعد از عیوب عایقی با ۵۶ درصد، عیوب مکانیکی که پیشتر معرفی گردید با ۲۴ درصد، بیشترین سهم را در بین عیوب رخداده دارند. همچنین مطالعات جامعی بین سالهای ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۵ بر روی توربوژنراتورهای نیروگاههای حرارتی کشور توسط پژوهشگاه نیرو و شرکت توانیر انجام پذیرفت که نتایج آن در شکل ۴۳۶-۲ آورده شده است. طبق نتایج این مطالعات بیش از ۵۰ درصد عیوب توربو ژنراتورها مربوط به سیستم عایقی روتور و استاتور ماشین می باشد.



شکل ۴۳۶-۲: سهم عیوب مختلف در توربوژنراتورهای نیروگاههای حرارتی کشور

از طرف دیگر هر یک از عیوب فوق الذکر در صورت گسترش می تواند منجر به بروز عیوب جدیدتر شود. گسترش تدریجی عیب یا عیوب موجود در یک قطعه یا بخشی از ژنراتور منجر به وارد آمدن صدمات و ضربات تشدید به آن قطعه شده که در نهایت بخش مذکور فاقد کارآیی لازم و اصطلاحا آن قطعه دچار خطا می گردد. لذا امکان استفاده از قطعه معیوب تا مدت زمان خاصی (عمر باقیمانده قطعه) وجود دارد، در حالیکه از قطعاتی که دچار خطا شده است دیگر نمی توان استفاده نمود (پایان عمر قطعه). از وقوع تورق در عایق، سایش بابیت یاتاقان می توان به عنوان مثالهایی از عیب نام برد در حالیکه اتصال به بدنه شدن شینه و یا آسیب دیدن کفشک یاتاقان یا برخورد روتور به بدنه داخلی استاتور، خطاهای ناشی از این عیوب هستند. در صورت بروز برخی از عیوب می توان با انجام برخی اقدامات اصلاحی بدون اینکه قطعه معیوب تعویض شود و یا قابلیت پایه و پیک ژنراتور تغییر کند، روند گسترش تدریجی آن را متوقف نمود که می توان به عیب ساییده شدن پوشش هادی اشاره نمود.

به عنوان مثال هر نوع فرسایش در گوه های نگهدارنده انتهای شینه منجر به افزایش میزان ارتعاشات انتهای شینه خواهد شد که خود عامل اصلی ایجاد تخلیه های جزیی در قسمت انتهای شینه و فرسودگی عایق در ان قسمت از ماشین است. با محکم کردن شینه در داخل شیار و اصلاح پوشش هادی در قسمت های از بین رفته می توان از روند گسترش عیب جلوگیری نمود. به اینگونه از عیوب، قابل رفع گفته می شود. برخی دیگر از عیوب هستند که بدون تعویض قطعه معیوب و یا تغییر قابلیت های پیک و پایه ژنراتور نمی توان از روند گسترش آنها جلوگیری نمود مانند وقوع و گسترش تورق در عایق و یا ایجاد و گسترش ترک های مویی در محور ژنراتور. به اینگونه از عیوب، غیرقابل رفع گفته می شود. به عبارت دیگر در مواقعی که قطعه ای مبتلا به عیب غیرقابل رفع باشد راهی جز تعویض قطعه معیوب وجود ندارد در این حالت تعیین صحیح زمان تعویض قطعه بسیار اهمیت خواهد داشت چرا که چنانچه این قطعه خیلی زود تعویض شود در حقیقت به نحوی از بخشی از عمر مفید آن استفاده نشده و بنابراین ضرر اقتصادی در پی خواهد داشت و چنانچه این قطعه به موقع عوض نشود احتمال بروز خطا و آسیب دیدن سایر قسمتها افزایش یافته و قابلیت اطمینان تولید کاهش می یابد.

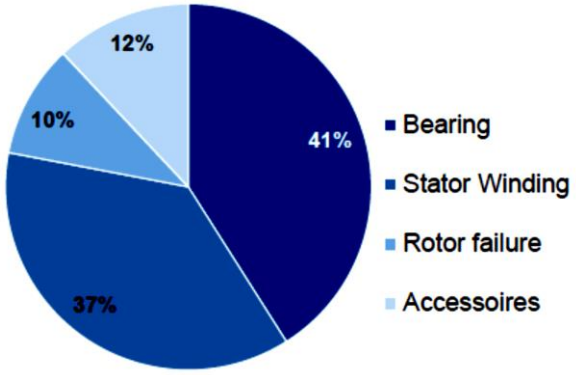
- عیوب موتورهای توان بالای نیروگاهی

موتورهای القایی یکی از مهمترین تجهیزات هستند که در نیروگاه‌ها به عنوان محرکه پمپهای سوخت و آب و فن در توان‌های تا سطح ۲.۵ مگاوات و سطح ولتاژ ۳ تا ۶.۶ کیلو ولت مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. جریان و سرعت موتور القایی در صورتی که بار متصل به آن دارای نوسان نباشد، می تواند به عنوان یکی از سیگنال های با ارزش بخصوص در تشخیص خطای روتور مورد استفاده قرار گیرد. عمدتا بار های متصل به موتور القایی دارای گشتاور بار متغییر هستند که این امر

تشخیص خطا را دچار مشکل می کند. لذا شاخص هایی که برای تشخیص خطای مبتنی بر نوسانات سرعت شفت مورد استفاده قرار می گیرند بایستی توانایی تشخیص اینکه نوسان ناشی از بار بوده و یا خطا را داشته باشند.

نحوه استفاده از موتور و سیکل کاری و تعداد استارت و استوپ های آن در نرخ بروز خطا تاثیر دارد. همچنین محلی که موتور مورد بهره برداری قرار می گیرد نیز در بروز خطا بسیار تاثیر دارد. میزان خطای رخ داده در موتورهایی که در محیط بیرون مورد استفاده قرار می گیرند در قیاس با موتورهایی که در داخل مورد بهره برداری قرار می گیرند، دارای تفاوت فاحشی است[۴].

اکثر عیوبی که بر روی الکتروموتورهای توان بالا رخ می دهد مربوط به فرسایش سیستم یاتاقانها و از بین رقتن بیرینگها می باشد که منجر به ایجاد ناهم محوری و از بین رفتن تقارن شار الکترومغناطیسی در روتور و استاتور خواهد شد. این عدم تقارن و آن بالانسی در دراز مدت منجر به تضغیف سیستم عایقی و بروز عیب در سیستم روتور و استاتور خواهد شد. طبق مطالعاتی که موسسه EPRI بر روی ۷۵۰۰ الکتروموتور انجام داد عیوب مربوط به بیرینگ و عایق استاتور از بیشترین سهم برخوردار بودند. در شکل ۴۳۷-۲ سهم عیوب مختلف در الکتروموتورهای توان بالای نیروگاهی آورده شده است. [۷]



شکل ۴۳۷-۲ : سهم عیوب مختلف در الکتروموتورهای توان بالای نیروگاهی

در گذشته اکثر روشهایی که برای پایش وضعیت الکتروموتورهای توان بالا بکار گرفته می شدند مبتنی بر آنالیز جریان بوده اند. اما امروزه با توجه به تشابه ماهیت عیوب الکتروموتورهای توان بالا با ژنراتورها ، روشهای نوین آنلاین پایش وضعیت الکتروموتورهای توان بالا مشابه روشهای پایش وضعیت ژنراتورها می باشد. با این وجود حجم تحقیقات صورت گرفته در حوزه پایش وضعیت الکتروموتورهای توان بالا کمتر از حوزه مربوط به ژنراتورهای نیروگاهی است.

همانطور که مشاهده گردید درصد قابل توجهی از عیوب رخ داده در ماشینهای دوار بزرگ نیروگاهی مربوط به زوال سیستم عایقی در روتور و استاتور است لذا در ابتدا سیستم های پایش وضعیت شامل مجموعه ای از تست های تشخیص وضعیت عایق بوده که بصورت آفلاین و در حین تعمیرات دوره ای و اساسی صورت می پذیرفت. این آزمایش‌ها شامل اندازه‌گیری مقاومت عایقی تجهیزات، اندازه‌گیری ظرفیت خازنی و ضریب تلفات عایقی، اندازه‌گیری جریان پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون و اندازه‌گیری تخلیه جزئی مطابق جدول ۱۵۲-۲ می باشد.

جدول ۱۵۲-۲ آزمون‌های آفلاین عایق سیم‌پیچی ژنراتورها و موتورها

ردیف	نام آزمون	توضیح	استاندارد	هدف و عیوب قابل تشخیص
۱	سنجش مقاومت عایقی IR	مقاومت عایقی بعد از یک دقیقه اعمال ولتاژ DC سنجیده می‌شود	IEEE43-2013	پیدا کردن آلودگی شدید و آسیبهای جدی، و رطوبت زیاد

۲	اندیس پولاریزاسیون PI	$PI = IR_{10'} / IR_{1'}$	IEEE43-2013	مشابه بالا و تخمین حدود استرس ها و تلفات عایقی
۳	سنجش جریان پولاریزاسیون و دیپلاریزاسیون	اندازه‌گیری و رسم منحنی تغییرات جریان پولاریزاسیون و دیپلاریزاسیون در زمانی بالاتر از ۲۰۰۰ ثانیه تحت یک میدان الکتریکی DC و پس از قطع آن	استاندارد خاصی ندارد + مقادیر ولتاژ اعمالی از IEEE43-2013	مشابه بالا و پیداکردن انواع استرس حدود آن و محل آلودگی
۴	سنجش ضریب تلفات عایقی تانژانت دلتا و C	با استفاده از پل شرینگ و دیگر پلهای ترانسفورمری با اندازه‌گیری جریان عبوری از عایق تحت یک ولتاژ AC.	IEEE286-2000	با توجه به مقدار تانژانت دلتا و شیب تغییرات آن (tip-up)می‌توان رطوبت عدم پخت درست، استرسهای حرارتیتشخیص داد و نشان‌دهنده میزان حفره‌های درون عایق باشد
۵	تخلیه جزیئ آفلاین(PD)	در ولتاژ نامی مقدار پالس PD مستقیماً خوانده می‌شود	IEEE1434	مشکلات بیشماری را بالاخص در ناحیه انتهای سیم‌پیچی مشخص می‌کند
۶	DC ramp	جریان نشتی عایق نسبت به ولتاژ $1-2\ KV/\min$ که با نرخ	IEEE95-2002	ترک و یا شکافهای عایق اصلی به ویژه تشخیص در سیستمهای ترموپلاستیک و بعضی پلی استرها

در حال حاضر روشهای فوق جزء تستهای روتین سیستم های پایش وضعیت بوده که بصورت آفلاین بر روی ژنراتورهای انجام می شود. از آنجایی که در حال حاضر فناوری پایش وضعیت مبتنی بر توسعه روشهای آنلاین مطابق موارد زیر می باشد :

الف– روش اندازه گیری تخلیه جزئی

ب– پایش شار فاصله هوایی

ج– آنالیز ارتعاشات (استاتور، رتور و انتهای شینه)

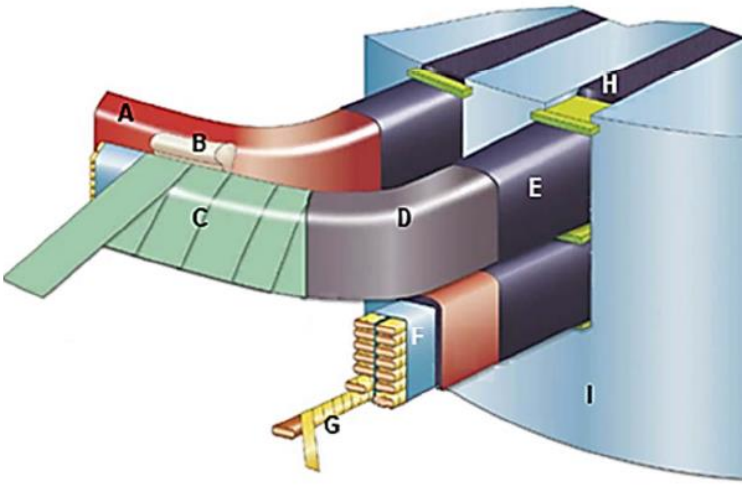
د – سایر روشهای آنلاین (اندازه گیری دمای قسمتهای مختلف و آنالیز گازهای خنک کننده)

در فصل های بعدی هریک از روشهای پایش وضعیت بصورت مفصل بررسی و آینده فناوری برای هر یک از روشهای فوق بیان می شود.

۲-۶-۲-۲- بررسی فناوری اندازه گیری تخلیه جزیی

یکی از اصلی‌ترین عواملی که در عملکرد صحیح ماشین‌های الکتریکی تأثیر دارد سیستم عایقی آنها است بطوریکه غالبا عمر مفید اغلب ماشین‌های الکتریکی نیز توسط عمر سیستم عایقی آن‌ها تعیین می‌شود. به همین دلیل پایش وضعیت عایقی ماشین‌های الکتریکی دوار اهمیت می یابد. در حین وقوع پالس‌های تخلیه جزئی بر روی سطح یا درون عایق‌های الکتریکی، الکترون‌های پر انرژی و یا یون‌های شتاب‌دار به ماده عایقی برخورد می‌کنند که این امر منجر به واکنش‌های شیمیایی و نهایتاً تخریب عایق می‌شود.

A. نوار پوشش دهنده
B. Spacer
C. نوار میکا (Groundwall insulation)
D. پوشش سیلیکون کاربید
E. پوشش نیمه هادی شیار
F. پوشش داخلی (semicon)
G. عایق بین Strand–ها
H. ضامن شیار
I. هسته استاتور



شکل ۴۳۸-۲: اجزای مختلف ساختار عایقی استاتور ماشین‌های دوار

به همین دلیل پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار با استفاده از اندازه‌گیری تخلیه جزئی امری ضروری است. اما اندازه‌گیری آنلاین مشکلاتی مانند تداخلات الکتریکی، حجم زیاد داده‌ها و تفسیر اطلاعات را دارد با حل سه مشکل گفته شده می‌توان از مزایای متعددی که اندازه‌گیری آنلاین تخلیه جزئی دارد، مانند پایش بر اساس وضعیت (CBM[1]) و زمان‌بندی هوشمند تعمیرات (PdM[2])، استفاده کرد.

شناخت فناوری اندازه گیری تخلیه جزئی که شامل معرفی عیوب مرتبط با پدیده تخلیه جزئی، شناسایی روشهای اندازه گیری، معرفی حسگرها و تجهیزات صنعتی، روشهای حذف نویز، چگونگی تفکیک منابع عیب است که در ادامه به آن اشاره می شود.

- انواع تخلیه جزئی در ماشین‌های دوار

تخلیه جزئی ممکن است در سراسر سیستم عایقی سیم‌پیچ اس تاتور به علت فن‌آوری‌های خاص تولید، عیب در تولید، پیری طبیعی در حین بهره برداری و یا پیری غیرطبیعی ایجاد شود. معمولاً تخلیه جزئی در ماشین‌هایی با سطح ولتاژ بالاتر از ۶ kV اتفاق می‌افتد. انواع PD هایی که در ماشین‌های دوار اتفاق می‌افتد را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد[۳-۷].

۱) تخلیه داخلی: این نوع تخلیه می‌تواند به سه شکل زیر در ماشین‌ها اتفاق بیفتد

الف) حفره داخلی[3]: وجود حفره در سیستم عایقی نوار میکا آغشته به رزین (S1 در شکل ۴۳۹-۲)

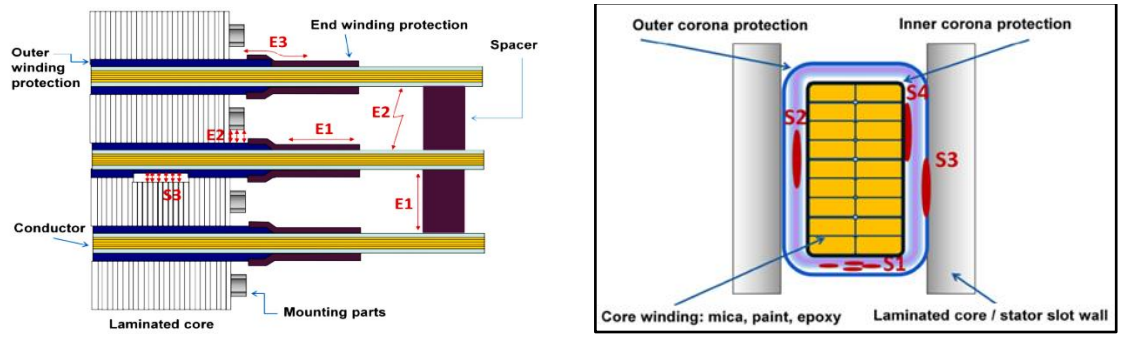
ب) لایه‌لایه شدن داخلی[4]: به علت فرآیند ساخت ناقص دستگاه‌های عایقی در طول تولید و یا تنش‌های زیاد مکانیکی یا حرارتی در طول بهره‌برداری (S2 در شکل ۴۳۹-۲)

ج) فاصله افتادن بین هادی و عایق: فاصله افتادن بین هادی مسی و عایق اصلی که معمولاً از سیکل حرارتی ناشی می‌شود به‌شدت خطرناک است (S4 در شکل ۴۳۹-۲)

د) تخلیه شیار[5]: به علت آسیب دیدگی پوشش شیار بخش رسانا (S3 در شکل ۴۳۹-۲)

[1] Condition Based Maintenance
[2] Predictive Maintenance
[3] Internal void
[4] Internal delamination
[5] Slot discharges

۲) تخلیه‌های سطحی در انتهای سیم‌پیچ: اگر پوشش هادی یا نیمه هادی انتهای سیم‌پیچ به دلیل چسبندگی ضعیف و یا مواد بدون کیفیت، آلودگی، تخلخل (کاربرد مواد بدون دقت)، اثرات حرارتی و غیره بی‌اثر شود تخلیه‌های سطحی ایجاد می‌شود. (E1 و E3 در شکل ۴۳۹-۲).



شکل ۴۳۹-۲: تخلیه جزئی در داخل شیار (سمت راست) و در اطراف شیار (سمت چپ)

- معرفی انواع روشهای اندازه‌گیری تخلیه جزئی

روش‌های متعددی نظیر روشهای صوتی، نور مرئی و ماورای بنفش و گاز ازون برای تشخیص تخلیه جزئی استفاده شده است ولی حساسیت پایین و محدود به اندازه‌گیری تخلیه جزئی‌های سطحی باعث می شود این روش‌ها کمتر در مورد ماشین‌های الکتریکی که دارای عایق‌های مرکب هستند و امکان تخلیه جزئی‌های داخلی در آن‌ها بیشتر است مورد استقبال قرار گیرد. ولی روش اندازه‌گیری الکتریکی این مشکلات را ندارد و همواره به‌عنوان بهترین روش اندازه‌گیری تخلیه جزئی در ماشین‌های دوار مطرح بوده است. سیگنال‌های تخلیه جزئی دارای طیف وسیع فرکانسی هستند که مطابق جدول ۱۵۳-۲ می‌تواند تا سه گیگاهرتز مشخصه فرکانسی داشته باشد. [۸]

جدول ۱۵۳-۲: بازه‌های مختلف فرکانس اندازه‌گیری الکتریکی تخلیه جزئی

LF (Low Frequency)	0 – 3 MHz
HF (High Frequency)	3 MHz - 30 MHz
VHF (Very High Frequency)	30 MHz - 300 MHz
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz - 3000 MHz

در ابتدا اندازه گیری تخلیه جزئی طبق استاندارد IEC60270 و در فرکانسهای پایین (LF) انجام می پذیرفت. مهمترین عیب این روش دقت پایین و حساسیت کم بدلیل وجود منابع نویزهای مختلف بوده است. با توسعه فناوری و بکارگیری از حسگرهای جدید، اندازه گیری سیگنالهای PD در فرکانسهای بالا (HF) در محدوده VHF و UHF امکان پذیر شد. براین منظور استانداردهای IEC60034، IEEE1129 و IEEE1434 توسعه پیدا کردند. یکی از مهمترین مزایای اندازه گیری فرکانس بالای PD، کاهش تداخلات مربوط به نویزهای خارجی با سیگنالهای تخلیه جزئی بوده است. با وجود این مزیت مهم، اندازه گیری PD در فرکانسهای بالا باعث کاهش حساسیت در تشخیص همه منابع PD می شد که کاهش قابلیت اطمینان این فناوری در تشخیص عیوب ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی را بدنبال داشت. این تجربه موجب شد اندازه گیری PD در فرکانسهای HF مجددا مورد توجه واقع شود. که به دنبال آن ارتقا و توسعه روشهای حذف نویز و تفکیک منابع مورد توجه قرار گرفت.

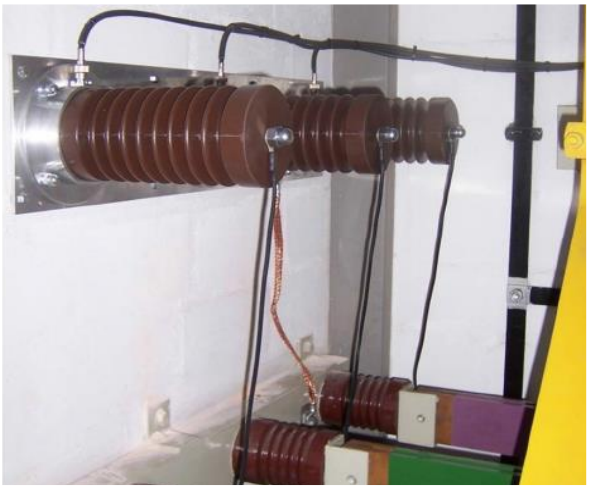
در ادامه انواع حسگرها، سخت افزار و نرم افزارهایی که در اندازه گیری تخلیه جزیی بکار گرفته کی شوند معرفی می شود.

- انواع حسگرها مرتبط با روش اندازه‌گیری الکتریکی تخلیه جزئی

همانطور که پیشتر گفته شد سیگنال‌های تخلیه جزئی دارای طیف وسیع فرکانسی هستند که می‌تواند تا بیش از یک گیگاهرتز نیز مشخصه فرکانسی داشته باشد. به همین علت می‌توان از حسگرهای متعدد در بازه‌های فرکانسی مختلف استفاده کرد که در زیر به آن اشاره می شود .

- کوپلرهای خازنی

کوپلرهای خازنی متداول‌ترین حسگرهای اندازه‌گیری تخلیه جزئی در ژنراتورها و موتورهای بزرگ می‌باشند این خازن‌ها در اندازه‌های مختلف ساخته می شوند و می‌توانند در حین آزمون و یا به صورت دائمی در ترمینال ژنراتورها نصب شوند. استفاده از این حسگرها تنها راه ممکن برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی برای تمامی دستگاه‌های فشارقوی طبق استاندارد IEC 60270 است. به علت وجود نویز زیاد فرکانس پایین در اندازه گیری آنلاین معمولا از روش اندازه‌گیری استاندارد استفاده نمی‌شود و اندازه‌گیری فرکانس بالا با استفاده از این حسگرها انجام می‌شود به همین علت استفاده از خازن‌های کوچکتر که برای اندازه‌گیری فرکانس بالا مناسب‌تر است برای نصب دایمی در ترمینال ژنراتورها و موتورها متداول است.



شکل ۴۴۰-۲: حسگرهای اندازه‌گیری تخلیه جزئی کوپلر خازنی

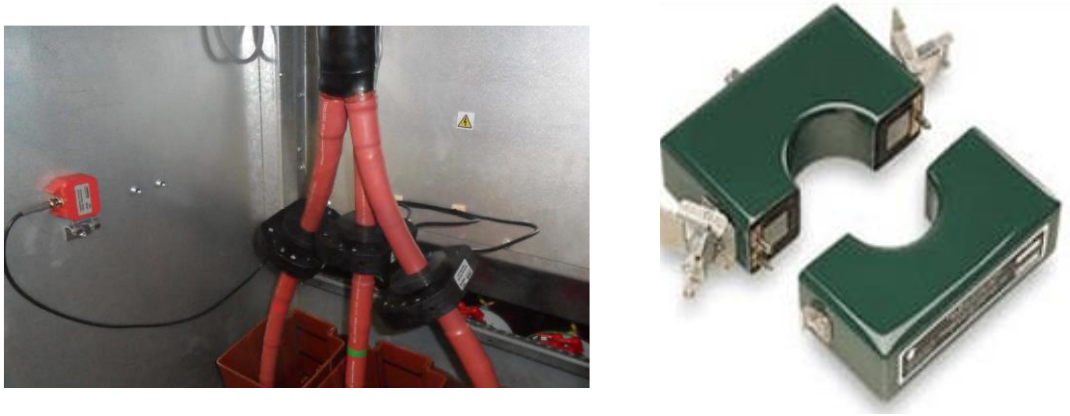
یک اندازه متداول در این زمینه استفاده از خازن‌های ۸۰ پیکو فاراد است که محدوده فرکانسی قابل استفاده این حسگرها 40 MHz تا 350 MHz است[۵] پس این حسگرها در محدوده فرکانسی VHF قابل استفاده هستند. با افزایش میزان ظرفیت خازنی، اندازه‌گیری در فرکانس‌های پایین نیز امکان‌پذیر می‌شود که به نوبه خود باعث افزایش حساسیت اندازه‌گیری می‌شود. برای اینکه بتوان اندازه‌گیری استاندارد IEC 60270 را به‌صورت آنلاین نیز انجام داد لازم است که این خازن‌ها ظرفیتی بیش از 1 nF داشته باشند.

- ترانسفورمر جریان (حسگرهای HFCT)

ترانسفورماتور جریان (CT) که پهنای باند زیادی داشته باشد می‌توان برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی به کار برد. این ترانس‌های جریان معمولاً از هسته فریت ساخته می‌شوند و توسط یک روکش فلزی پوشیده می‌شود. اکثر CT-هایی که به‌صورت صنعتی وجود دارد مشخصه فرکانسی و سطح سیگنال خروجی برایشان مشخص می‌شود.CT-ها معمولاً در نقطه خنثی ژنراتور نصب می شوند. همچنین باید از زمین شدن محفظه CT اطمینان حاصل شود. استفاده از HFCT[1]-ها و کویل روکوفسکی دو حسگر متداول در این روش اندازه‌گیری است. این حسگرها در رنج فرکانسی بالایی ساخته می‌شوند و

[1] High Frequency Current Transformer

می‌توان از آن‌ها در بازه فرکانسی HF و VHF استفاده کرد. حسگرهای HFCT حساسیت بسیار بالاتری نسبت به کویل روکوفسکی دارد و کاربرد به‌مراتب بیشتری در اندازه‌گیری تخلیه جزئی دارد. حسگرهای HFCT در دو شکل مختلف ساخته می‌شوند که در یکی از این شکل‌ها هسته قابل جداسازی است و برای اندازه‌گیری در حین کار دستگاه بدون خارج کردن دستگاه از شبکه بسیار مفید است.



شکل ۴۴۱-۲: حسگرهای **HFCT** و نحوه نصب آن بر روی ماشینهای الکتریکی دوار

- آنتن (حسگرهای UHF و SSC)

از حسگرهای آنتن برای اندازه‌گیری تشعشعات الکترومغناطیسی پالس‌های تخلیه جزئی استفاده می‌شود. تشعشعات الکترومغناطیسی ساطع شده از پالس‌های تخلیه جزئی می‌تواند بازه فرکانسی تا 2 GHz داشته باشد. یک مشکل عمده در اندازه‌گیری آنلاین تخلیه جزئی وجود تداخلات زیاد در بازه فرکانسی LF و HF است بطوریکه اندازه‌گیری در این محدوده فرکانسی در حالت آنلاین به شدت با مشکل مواجه است. اما این تداخلات در رنج فرکانسی بالاتر کمتر شده، به‌طوری که رنج فرکانسی UHF یک بازه فرکانسی بسیار مناسب برای اندازه‌گیری است که آنتن‌ها اندازه‌گیری را در این بازه فرکانسی انجام می‌دهند.

دو راه ممکن برای استفاده از این حسگرها برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی وجود دارد اول اینکه می‌توان این حسگرها را در خارج از ژنراتور و یا موتور استفاده کرد (مانند حسگرهای UHF) و دوم اینکه این حسگرها در داخل ژنراتور و یا موتور و بر روی استاتور جاسازی شود (حسگرهای SSC). اگر این حسگرها در بیرون از ماشین استفاده شوند مهم‌ترین مزیتشان این خواهد بود که برای این اندازه‌گیری لازم نیست هیچ عملی روی ماشین انجام شود و این کار به ساده‌ترین شکل ممکن می‌تواند استفاده شود[۶-۸]. اما مهم‌ترین عیب این روش این است که، همان طور که گفته شد، وجود بدنه فلزی استاتور امواج الکترومغناطیسی را به شدت تضعیف می‌کند و این روش اندازه‌گیری حساسیت پایینی خواهد داشت.

روش دیگر استفاده از این آنتن‌ها در داخل ماشین است که به آنتن‌های SSC[1] معروف هستند[۸]. SSC اساساً یک کوپلر الکترومغناطیسی جهت‌دار[2] است. این فنّاوری در حوزه ماکروویو به خوبی شناخته شده است. SSC شامل یک صفحه زمین و یک خط حسی با خروجی کابل‌های کواکسیال در دو سر آن می‌باشد. هنگامی که یک موج الکترومغناطیسی، به عنوان پالس PD در طول SSC و نزدیک خط حس انتشار می‌یابد، در دو سر خروجی SSC پالس‌هایی آشکار می‌شود. امپدانس مشخصه SSC ۵۰ اهم می‌باشد که برای تطبیق کردن دو کابل خروجی در نظر گرفته شده است. دو خروجی بودن

[1] Stator Slot Coupler (SSC)
[2] Directional Electromagnetic Coupler

SSC این امکان را می‌دهد که جهت پالس PD تشخیص داده شود. این عمل توسط دستگاهی که داده‌های SSC توسط آن جمع‌آوری و پردازش می‌شود، امکان‌پذیر است.

شکل ۴۴۲-۲: نصب حسگرهای **SSC**

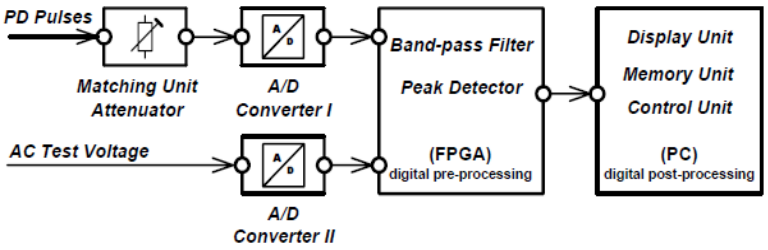
از جمله مزیت حسگر SSC حذف نویزهای داخلی ماشین برای توربوژنراتورهای بزرگ می‌باشد. پهنای باند وسیع SSC (100 MHz تا 1GHz) اجازه شناسایی پالس‌های PD با زمان خیز و مدت دوام بسیار کوچک را از پالس‌های نویز که دارای زمان خیز و مدت دوام بیشتری نسبت به PD هستند را فراهم می‌کند. علاوه بر این به علت اینکه SSC درون سیم پیچی و در نزدیکی نقاطی از سیم پیچی که محتمل‌ترین نقاط برای وقوع PD محسوب می‌شوند، نصب می‌گردد، امکان اثر گذاری نویزهای خارجی مانند نویزهای باس بر آن کم شده و نسبت سیگنال به نویز بسیار بهتری نسبت به کوپلرهای خازنی ترمینال ارائه می‌کند. [۱۰]

از معایب این حسگر می‌توان به لزوم بیرون آوردن روتور از داخل هسته برای نصب حسگر اشاره کرد. نصب حسگر علاوه بر این نیاز به حداقل سه روز فرصت دارد و در آن احتمال سوراخ کردن بدنه ژنراتور برای بیرون آوردن کابل‌ها وجود دارد که در صورتی که ژنراتور هیدروژن خنک باشد باید برای درزگیری مناسب این سوراخ‌ها تدابیر لازم اندیشیده شود. یکی از مهم‌ترین عیب‌های SSC که عیب مشترک حسگرهای با فرکانس بالا می‌باشد محدود بودن ناحیه تشخیص SSC به ناحیه اطراف حسگر است. به نحوی که SSC تنها تخلیه‌های جزئی را که در اطراف و در شیاری که در آن نصب شده است تشخیص می‌دهد و توانایی تشخیص PD در شیارهای مجاور را ندارد. البته با توجه به اینکه سعی می‌شود SSC ها در شیارهایی که شینه‌های آن دارای بیشترین تنش الکتریکی و بنابراین بیشترین احتمال وقوع PD هستند، نصب شود، این مسئله قابل توجیه است. اما به هر صورت SSC ها فقط می‌تواند PD هایی را که عمدتاً در اثر کویل‌های شل، عایق‌های پیر شده و آلودگی سیم پیچ انتهایی در شیاری که SSC در آن نصب شده است، به وقوع می‌پیوندد، تشخیص دهد و در صورتی که در یکی از شیارهای مجاور به هر دلیل تخلیه‌ای رخ دهد SSC قادر به تشخیص آن نخواهد بود. با توجه به موارد گفته شده حسگرهای کوپلر خازنی و HFCT رایج‌ترین این حسگرها هستند که در پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار فشار قوی به کار گرفته می شوند.

- معرفی سخت افزار اندازه گیری PD

سیستم اندازه‌گیری تخلیه جزئی باید بتواند علاوه بر سیگنال تخلیه جزئی سیگنال ولتاژ را نیز ثبت کند تا بتوان مشخصه PRPD را به دست آورد. این دو سیگنال، سیگنال تخلیه جزئی و سیگنال ولتاژ، به لحاظ مشخصه فرکانسی از هم متفاوت هستند سیگنال ولتاژ برای حالت پایش آنلاین برابر با فرکانس قدرت، یعنی 50Hz است. سیگنال‌های تخلیه جزئی همانطور

که گفته شد مشخصه فرکانسی تا چند گیگاهرتز دارند. دستگاه‌های اولیه که برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی ساخته شد فقط توانایی اندازه‌گیری بر اساس استاندارد IEC 60270 را داشتند یعنی اینکه فقط می‌توانستند تا فرکانس 1MHz از سیگنال‌های تخلیه جزئی را ثبت کنند این دستگاه‌ها معمولاً به‌صورت آنالوگ و یا نیمه دیجیتال ساخته می‌شدند اما دستگاه‌های امروزی ساخته شده معمولاً سیستم‌های اندازه‌گیری تمام دیجیتال هستند و با استفاده از تکنیک‌های مختلف پردازش سیگنال می‌توانند تمامی اندازه‌گیری‌های LF، HF، VHF و UHF را اندازه‌گیری کنند. [۱–۵]



شکل ۴۴۳–۲: بلوک دیاگرام دستگاه اندازه‌گیری دیجیتال تخلیه جزئی

- معرفی نرم‌افزار

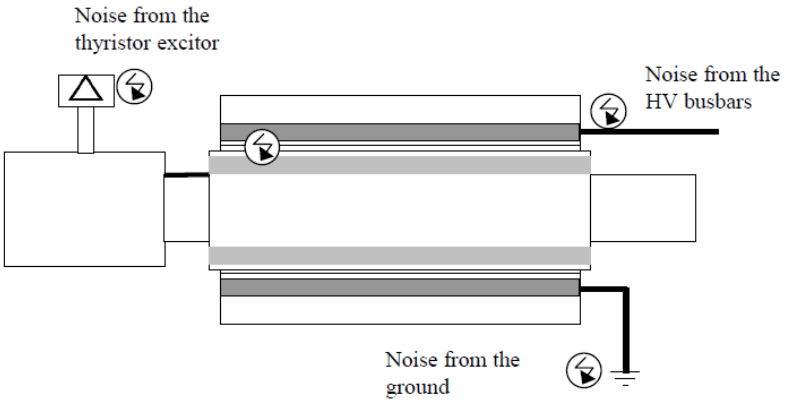
مهمترین وظائف نرم افزارها در تجهیزات اندازه گیری تخلیه جزیی شامل موارد زیر است:

- حذف نویزهای اندازه گیری و محیطی با استفاده از الگوریتم‌های نویز زدایی
- جداسازی منابع عیب
- تحلیل و تفسیر اطلاعات جهت تشخیص عیب

یکی دیگر از قابلیت‌هایی که لازم است نرم افزارها داشته باشند بر اساس وب بودن و یا ارتباط با سیستم SCADA است. این قابلیت باعث می‌شود که اطلاعات مربوط به پایش وضعیت همه جا در دسترس باشد. در ادامه هر یک از این ویژگی ها مورد بررسی قرار می گیرد.

- حذف نویز در اندازه‌گیری آنلاین تخلیه جزئی

نویزها و اغتشاشات در ژنراتورها مطابق شکل ۴۴۴–۲ می‌تواند ناشی از منابع مختلفی مانند تریستور سیستم تحریک، زمین، باس فشارقوی و نویز داخلی (جرقه در داخل ماشین دوار) باشد.



شکل ۴۴۴–۲: منابع مختلف نویز در ژنراتورها

حذف نویز در اندازه‌گیری آنلاین اهمیت ویژه‌ای دارد تا کنون ۶ روش مختلف برای تفکیک نویز از سیگنال PD مطابق زیر معرفی شده است:

محدود کردن رنج فرکانسی

اندازه گیری زمان انتشار

تفاضل سیگنالهای دو کانال با مقایسه پلاریته امپدانس مدار اندازه گیری

روش Gating

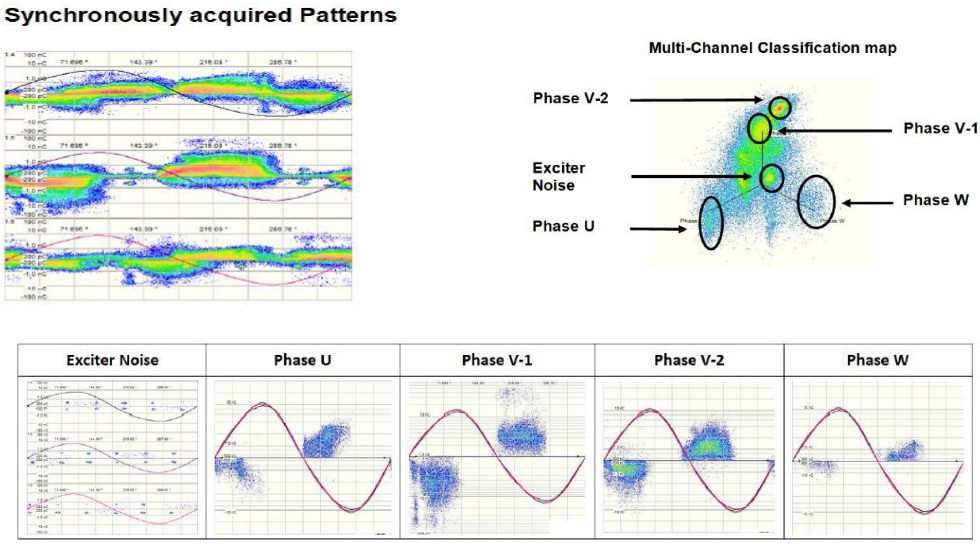
اندازه گیری همزمان سه فاز (3PARD) [1]

استفاده از ویژگیهای سیگنال تخلیه جزیی

و روش آخر بهترین روشهای حذف نویز هستند که در حال حاضر توسط شرکتهای صنعتی توسعه پیدا کرده اند.

- تفکیک منابع تخلیه

تحلیل نتایج در حالت وجود چند نوع منبع تخلیه جزئی به‌شدت دشوار می‌شود به همین دلیل لازم است که ابتدا منابع مختلف عیب‌ها از هم جداسازی شده و بعد به تفسیر نتایج هر بخش پرداخته شود. یک روش جداسازی منابع استفاده از روش 3PARD است و می‌تواند منابع مختلف تخلیه را از هم تفکیک کند این روش به دستگاه اضافی نیازی ندارد فقط کافی است که اندازه‌گیری تخلیه جزئی در سه فاز به‌صورت هم‌زمان انجام شود. این روش به این صورت عمل می‌کند که میزان بار تخلیه شده در هر فاز را بر روی یک نمودار سه بعدی نگاشت می‌کند در شکل زیر نحوه استفاده از این روش برای جداسازی منابع تخلیه جزئی آمده است. [۸-۹]



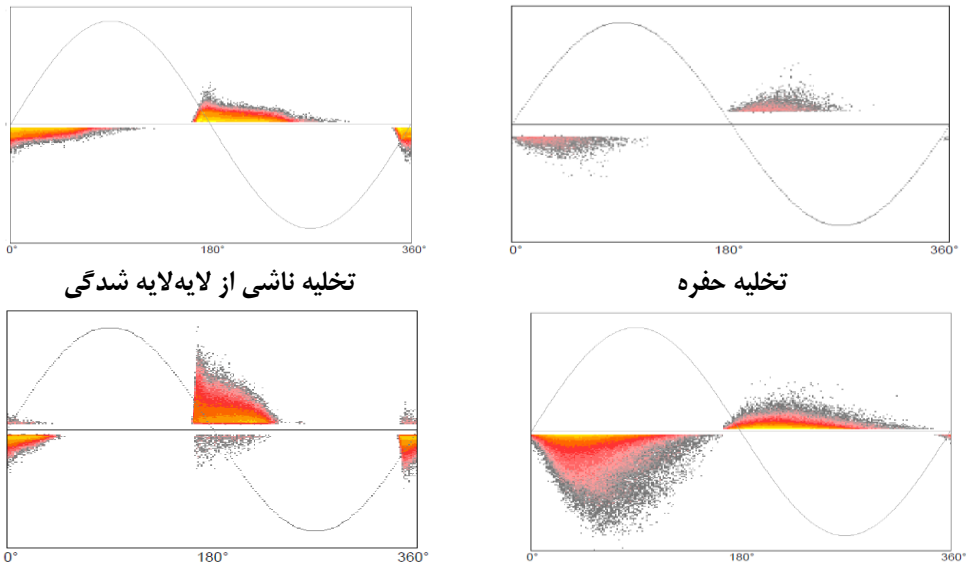
شکل ۴۴۵-۲: تفکیک منابع تخلیه جزئی با استفاده از روش **3PARD**

- تفسیر اطلاعات

برای منابع مختلف تخلیه جزئی این مشخصه‌ها منحصر به فرد هستند و می‌توان از این مشخصه‌ها برای شناسایی منبع تخلیه جزئی استفاده کرد. شناسایی منبع به این صورت انجام می‌شود که بعد از اندازه‌گیری تخلیه جزئی (اندازه‌گیری دامنه به

[1] Three Phase Amplitude Relation Diagram

تنهایی و یا اندازه‌گیری دامنه و فاز) مشخصه به دست آمده با مشخصه‌های شکل ۴۴۶-۲ مقایسه می‌شود و به هر کدام از شکل‌ها شبیه‌تر باشد آن نوع تخلیه جزئی به‌عنوان منبع تخلیه انتخاب می‌شود.



تخلیه ناشی از لایه‌لایه شدگی **تخلیه حفره**

تخلیه شیار **تخلیه ناشی از فاصله افتادن بین هادی و عایق**

شکل ۴۴۶-۲: مشخصه **PRPD** عیب‌های مختلف

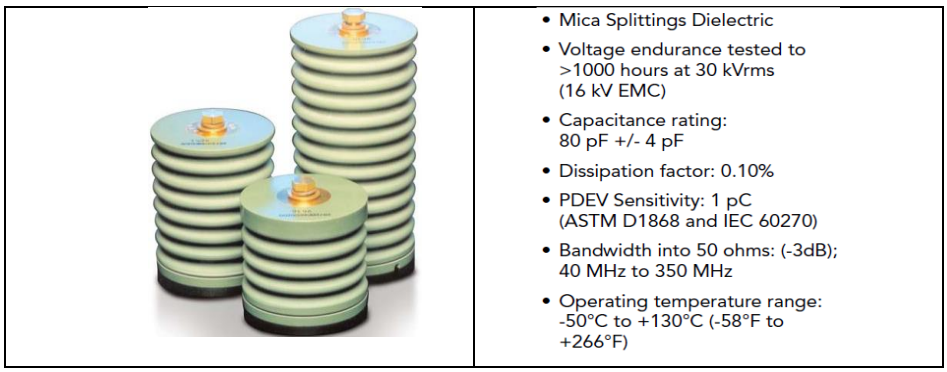
۳-۶-۲-۲- شناسایی شرکتهای صنعتی فعال در حوزه اندازه‌گیری تخلیه جزئی

در حوزه فن آوری اندازه گیری تخلیه جزیی شرکتهای زیر بصورت فعال در حال توسعه فناوری و تولید محصول می باشند :

- شرکت IRIS

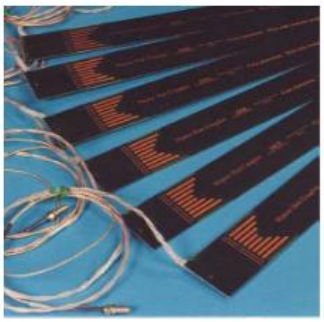
شرکت IRIS در سال ۱۹۹۰ توسط تعدادی از محققین بنیان‌گذاری شد. در سال ۲۰۰۰، بیش از ۵۰٪ ژنراتورهای بزرگ در آمریکا و کانادا به فن‌آوری این شرکت در نگهداری و مانیتورینگ سیم‌پیچی استاتور مجهز شدند. [۱۱]

این شرکت از دو دسته حسگر برای اندازه‌گیری سیگنال‌های تخلیه جزئی استفاده می‌کند. حسگر اول خازن‌های کوپلاژ است که با ظرفیت 80 pF ساخته می‌شوند خازن کوپلاژی با این ظرفیت پاسخ فرکانسی از 40 MHz تا 350 MHz دارد پس از این حسگرها برای اندازه‌گیری VHF استفاده می‌شود که نویز زدایی بسیار خوبی دارد اما باید توجه داشت که حساسیت اندازه‌گیری این خازن‌ها پایین است.



شکل ۴۴۷-۲: خازن‌های کوپلاژ شرکت **IRIS**

حسگر دومی که توسط این شرکت ثبت اختراع شده و استفاده می‌شود حسگرهای SSC است که مشخصات آن‌ها در شکل زیر آمده است. با توجه به محدوده فرکانسی 10-1000 MHz، این حسگرها در محدوده فرکانسی UHF مورد استفاده قرار می‌گیرند و با توجه به پهنای فرکانس اندازه‌گیری و اینکه در داخل ژنراتورها نصب می‌شوند نویز زدایی بسیار خوبی دارند اما عیب این حسگرها این است نمی‌توانند تخلیه‌های به وجود آمده در بیش از یک شیار را تشخیص دهند به همین دلیل باید برای هر شیار یک نمونه از این‌ها را نصب شود. [۱۱]



جنس ساخته شده	ورقه اپوکسی شیشه، NEMA
پهنای باند	۱۰-۱۰۰۰MHz
امپدانس	Ω۵۰
خروجی دوگانه	تشخیص تخلیه انتهای سیم‌پیچ از شیار
ضخامت	۲mm

شکل ۴۴۸-۲: مشخصات حسگرهای **SSC** شرکت **IRIS**

جدول ۱۵۴-۲: لیست محصولات شرکت **IRIS**

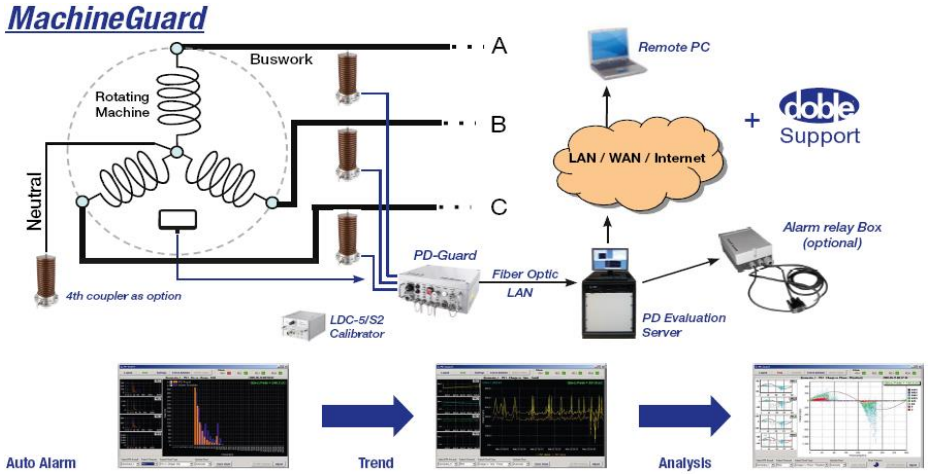
نام محصول	ویژگیها
PDTracII™	- برای موتورهای ولتاژ متوسط با ظرفیت ۳/۳kV و بالاتر - اندازه گیری پیوسته PD و تولید منحنی‌های 2D و 3D از داده های Qm و NQN و PRPD - فن‌آوری تفکیک نویز مبتنی بر فیلترینگ و تحلیل شکل پالس - حافظه USB برای دانلود اطلاعات ذخیره شده بدون لپ‌تاپ - شبکه با پرت Ethernet برای تشخیص عیب، دانلود و پیکربندی با نرم افزار IRIS از راه دور - سرور FTP قابل تنظیم برای آپلود خودکار اطلاعات
HydroTrac™	- برای هیدرو ژنراتورها با هر ظرفیت نامی استفاده می شود. - استفاده از یک جفت کوپلر خازنی در هر فاز جهت نویز زدایی با روش زمان انتشار - سیستم تحلیل و مانیتورینگ پیشرفته مبتنی بر روش Pulse-by-Pulse
BusTrac™	- استفاده در توربو ژنراتورهای بزرگ با استفاده از کوپلر خازنی و حسگر SSC - ثبت پیوسته PD و تولید و ذخیره نمودارهای Qm و NQN و آرشیو آنها به مدت ۲ سال - استفاده از روش نویز زدایی gating - مدهای ارتباطی راه دور جهت ارتباط با اسکادا

- شرکت Double-Lemke

این شرکت آلمانی از سال ۱۹۲۰ در حوزه افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات فشار قوی فعالیت می کند. [۱۷]

این شرکت خازن‌های کوپلاژ با ظرفیت 2 nF تولید می‌کند که پاسخ فرکانسی در محدوده 50kHz-20MHz دارد. استفاده از خازن‌های با ظرفیت بزرگ‌تر باعث می‌شود که بتوان اندازه‌گیری در فرکانس‌های پایین را انجام داد و همچنین حساسیت اندازه‌گیری بالاست اما مشکل اصلی وجود نویز است که از روش‌های مختلف برای حذف نویز استفاده می‌شود. مزیت دیگر اندازه‌گیری در فرکانس پایین تفسیر پذیری اطلاعات است. انتخاب خازن کوپلاژ به رنج فرکانس اندازه‌گیری بستگی دارد شرکت‌هایی که در روش‌های نویززدایی موفق عمل کرده‌اند اندازه‌گیری در فرکانس پایین را ترجیح می‌دهند.

این شرکت تجهیز PD-Guard را برای اندازه گیری آنلاین PD معرفی کرده است. رنج وسیع اندازه‌گیری تخلیه جزئی و مشخصه فرکانسی بالا از جمله مزایای این سیستم اندازه‌گیری است.



شکل ۴۴۹-۲ : سیستم پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار شرکت **Double**

از مهمترین ویژگی‌های PD-Guard می توان به زیر اشاره کرد:

- نشان دادن جریان PD
- جلوگیری از نویز
- بهینه‌سازی فرکانس و محدوده سیگنال
- تهیه چندین نمودار PD (phi-Q ، phi-Q-N ، گراف Q-N و الگوی آلارم‌ها
- کالیبراسیون خارجی اندازه‌گیری PD با توجه به استاندارد IEC 60270.
- وجود یک تابع FFT برای تحلیل اندازه‌گیری طیف فرکانسی

بعد از تجربه موفق این شرکت در استفاده از این دستگاه برای پایش وضعیت دستگاه‌های مختلف فشارقوی این شرکت نمونه پیشرفته این دستگاه را با اسم doublePRIME PD-Guard™ را ارائه کرده است. که از مهمترین ویژگیهای این دستگاه می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- داشتن ۸ کانال (۴ کانال به‌طور هم‌زمان)
- اندازه‌گیری رنج فرکانسی بالا (از صفر تا یک گیگاهرتز)
- توانایی اندازه‌گیری با استفاده از تمامی حسگرها
- داشتن سه خروجی متفاوت (اسپکتروم آنالیزر، اسیلوسکوپ و اندازه‌گیری سطح تخلیه جزئی)

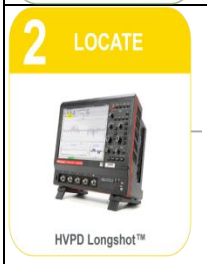
- شرکت HVPD

این شرکت انگلیسی از سال ۲۰۰۶ بصورت رسمی فعالیتهای خود را در حوزه پایش وضعیت آغاز کرده است.[۱۸]

این شرکت از حسگرهای خازنی (۸۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پیکوفاراد) برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی در ماشین‌های الکتریکی دوار استفاده می‌کند. فرکانس قطع پایین برای خازن ۸۰ پیکو فاراد 20 MHz و برای سایر خازن‌ها 4 MHz می‌باشد. علاوه بر این از حسگرهای HFCT نیز با پهنای باند 100KHz-20MHz استفاده می کند. جدیدترین حسگر HFCT این شرکت با نام SMART-TB3™ دارای دو خروجی است که خروجی اول مشخصه فرکانس پایین (0 Hz – 200 KHz) و جریان بالا (تا ۸۰۰ آمپر) برای اندازه‌گیری کیفیت توان و هارمونیک جریان، خروجی دوم مشخصه فرکانس بالا (100 kHz – 30 MHz) برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی دارد.

این شرکت برای اندازه‌گیری و پایش وضعیت بر اساس تخلیه جزئی چهار فاز را پیشنهاد می‌کند.

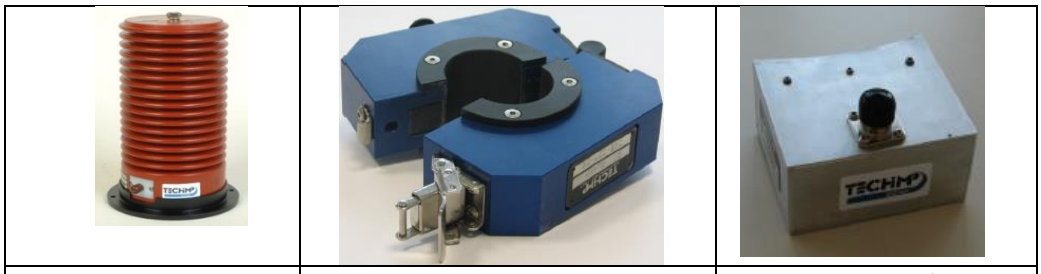
ول ۱۵۵-۲: محصولات شرکت **HVPD**

فاز اول : شناسایی	- برای ماشین‌های الکتریکی دوار با سطح ولتاژ بین ۳.۳ و ۱۵ کیلوولت - اندازه‌گیری دامنه تخلیه جزئی - پایش وضعیت دستگاه بر اساس سطح تخلیه و میزان تکرار تخلیه - ذخیره اطلاعات کوتاه مدت	
فاز دوم : شناسایی نوع تخلیه	- استفاده از اسیلیسکوپ شرکت Lecroy آمریکا بجای ساخت سخت افزار - دارای ۴ کانال اندازه گیری - توسعه نرم افزار PDGold و PDReader برای خواندن و تحلیل اطلاعات، تفکیک و شناسایی نوع تخلیه جزئی - تابع FFT برای ارزیابی فرکانسی طیف‌های سیگنال با تبدیل فوریه سریع - امکان حذف نویز بصورت نرم افزاری	
فاز سوم : پایش وضعیت	- دارای ۲۴ کانال اندازه گیری (۶ کانال بصورت همزمان) - پهنای فرکانسی بالا (۵۰ مگاهرتز) - امکان ذخیره اطلاعات برای مدت ۲ سال - استفاده از روش مشخصه‌های شکل جریان تخلیه جزئی برای حذف نویز	
فاز چهارم : مدیریت و پایش بلند مدت	- امکان مدیریت همزمان ۴ دستگاه - دارا بودن ۲۴ کانال اندازه گیری	

- شرکت Techimp

شرکت ایتالیایی Techimp از سال ۱۹۹۹ شروع به فعالیت کرده است و با ارائه پیشرفته‌ترین سیستم‌های مانیتورینگ برای تجهیزات برقی در عرصه جهانی فعالیت می‌کند. [۱۹]

این شرکت خازن‌های کوپلاژ با اندازه‌های متفاوت (۴۷۰، ۹۴۰ و ۱۰۰۰ پیکوفاراد) و در سطح ولتاژهای ۶، ۱۲، ۱۷.۵ و ۲۴ کیلوولت ساخته است. این شرکت نیز به علت اینکه از روش‌های مناسب نویززدایی استفاده می کند ترجیح می‌دهد از خازن‌هایی با ظرفیت بزرگتر و در فرکانس پایین اندازه‌گیر کند.



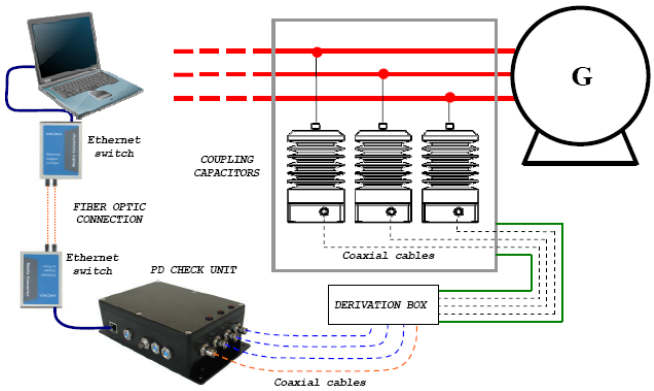
الف- آنتن هرن	ب- حسگر HFCT	ج- کوپلرهای خازنی

شکل ۴۵۰-۲: حسگرهای مورد استفاده شرکت **Techimp**

این شرکت علاوه بر کوپلرهای خازنی از حسگرهای HFCT با پهنای باند بالا (۶۰-۲ مگاهرتز) و آنتن‌های هرن که می‌تواند جهت تشخیص تخلیه جزئی در خارج از بدنه ماشین الکتریکی دوار، استفاده می کند. این آنتن پهنای باند 500MHz – 3 GHz دارد.

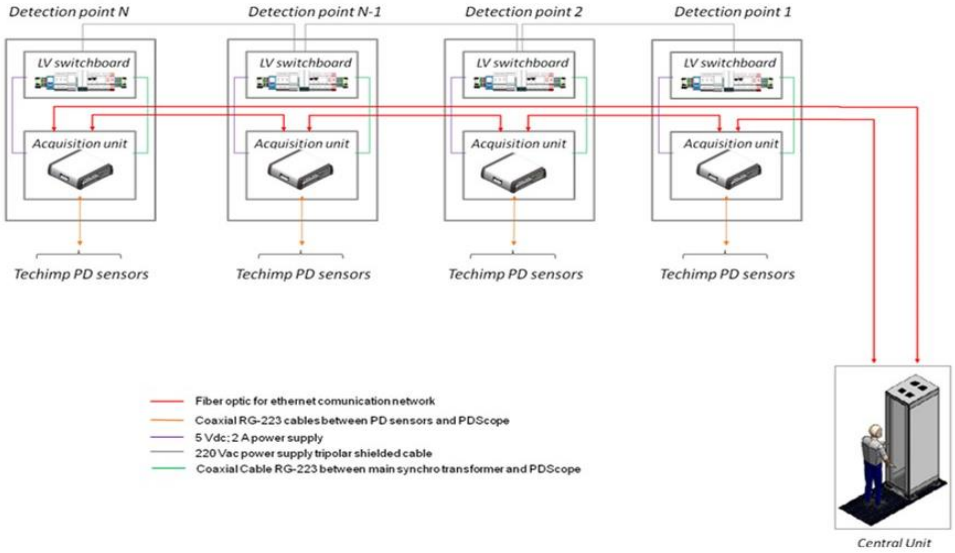
این شرکت برای اندازه گیری آنلاین تخلیه جزئی دستگاه PDcheck را طراحی کرده است. این دستگاه دارای ۴ کانال اندازه گیری است که یک کانال آن برای اندازه‌گیری فرکانس پایین به منظور اندازه‌گیری استاندارد IEC 60270 مورد استفاده قرار می‌گیرد این کانال نرخ نمونه برداری 20 MHz دارد و ۳ کانال فرکانس بالا دارد که می‌تواند مشخصه فرکانسی تا 30 MHz را ثبت کند و نرخ نمونه برداری 100MHz دارد. برای کنترل سخت‌افزار و برداشت اطلاعات از نرم‌افزار PD Check و برای پردازش داده‌ها و کلاس‌بندی آن‌ها نرم‌افزارPD Processing استفاده می شود. از مهترین ویژگیهای این دستگاه عبارتند از :

- استفاده از فیبر نوری در انتقال اطلاعات
- استفاده از روش TF جهت حذف نویز و تفکیک منابع تخلیه
- استفاده از منطق فازی و هوش مصنوعی برای تشخیص نوع عیب تخلیه

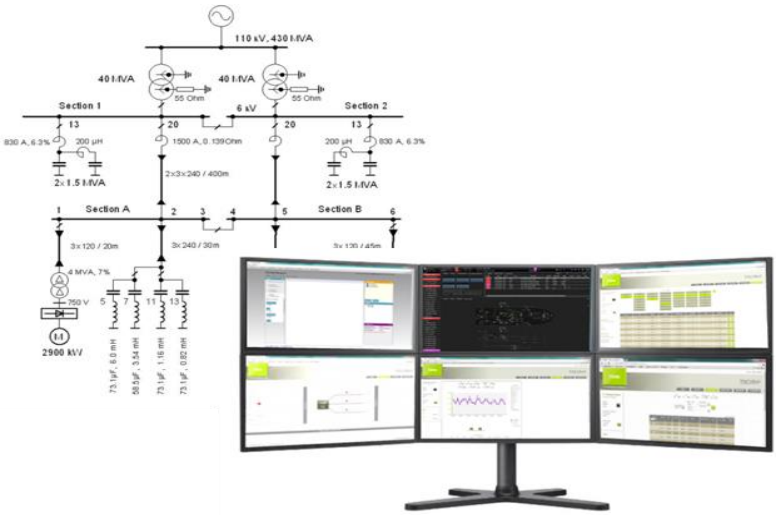


شکل ۴۵۱-۲:پایش وضعیت ژنراتور با استفاده از دستگاه **PD Check**

این شرکت جهت پایش همزمان چندین دستگاه فشارقوی دستگاهی با نام PD Hub را ساخته است. حسگرهای مختلفی که بر روی دستگاه‌های مختلف فشارقوی نصب شده‌اند با استفاده از ارتباط نوری به سیستم PD Hub که در اتاق کنترل قرار دارد وصل می‌شوند که در آن داده‌های تخلیه جزئی جمع‌آوری شده و این داده‌ها ذخیره و تحلیل می‌شوند. این شرکت برای اینکه بتواند پایش وضعیت را در ابعاد وسیع‌تر (در حد شبکه قدرت) انجام دهد و از حسگرهای متعدد در کنار هم استفاده کند در سال ۲۰۱۴ سیستم Ti-SCADA را توسعه داده است. این سیستم اطلاعات مختلف (مانند تخلیه جزئی، شار و ارتعاشات) را از دستگاه‌ها دریافت می‌کند و به آنالیز و ذخیره سازی این داده‌ها می‌پردازد



شکل ۴۵۲-۲: سیستم جمع‌آوری اطلاعات از دستگاه‌های تخلیه جزئی با استفاده از **PD Hub**

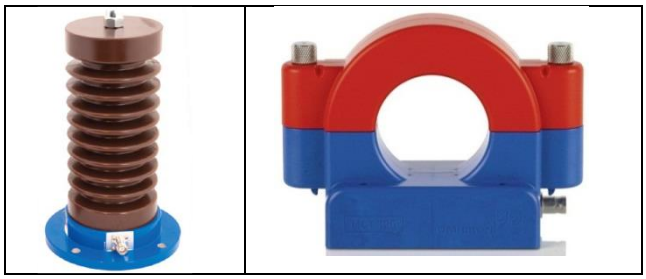


شکل ۴۵۳-۲: سیستم **Ti-SCADA** برای پایش وضعیت سیستم قدرت

- شرکت Omicron

شرکت امیکرون در سال ۱۹۹۰ در کشور اتریش شروع به فعالیت کرده است این شرکت طی سال‌های گذشته با نوآوری در دستگاه‌های آزمون و پایش وضعیت ادوات سیستم قدرت به یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌ها در این زمینه تبدیل شده است. این شرکت دارای واحدهای تحقیقاتی زیادی در کانادا، امریکا، استرالیا و کشورهای متعدد اروپایی است. [۲۰]

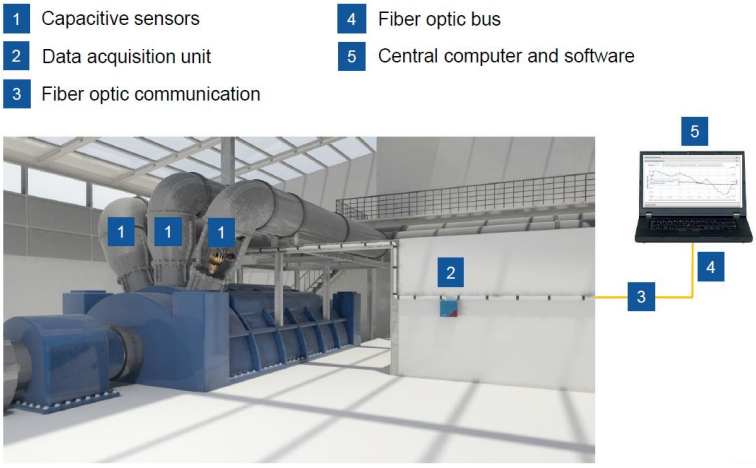
این شرکت با توجه به اینکه از روش‌های متعدد نویززدایی استفاده می کند اندازه‌گیری را در فرکانس پایین (زیر 30 MHz) انجام می‌دهد و از خازن کوپلاژ با ظرفیت 1.1 nF و در سطح ولتاژهای ۱۲ و ۲۴ کیلوولت استفاده می‌کند. علاوه بر این از حسگرهای HFCT با هسته دو بخشی و یکپارچه با مشخصه فرکانسی 80kHZ -5 MHZ استفاده می کند.



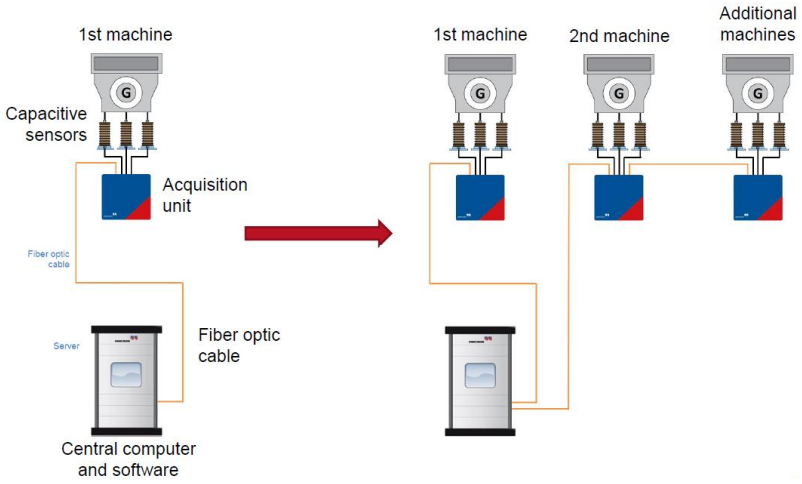
شکل ۴۵۴-۲: حسگرهای شرکت امیکرون

این شرکت اولین محصول پایش وضعیت ماشین‌های دوار الکتریکی را در سال ۲۰۱۵ با نام **MONGEMO** روانه بازار کرد. این محصول از ۴ کانال تشکیل شده است که می‌تواند تا فرکانس 30 MHz را اندازه‌گیری کند.

این شرکت برای اندازه‌گیری سیگنال‌های تخلیه جزئی با مشخصه فرکانسی بیشتر از 100 MHz دستگاه UHF 620 استفاده می‌کند این دستگاه یک مبدل فرکانسی است و به تنهایی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه خروجی آن به دستگاه **MONGEMO** برای اندازه‌گیری ارسال می‌شود. با این دستگاه می‌توان هر سه روش تبدیل فرکانسی، یعنی باند باریک (تا 1.5 MHz)، باند متوسط (70 MHz) و باند پهن (1.9 GHz)، را انجام داد. این دستگاه مثل اسپکتروم آنالیزر کار می‌کند و می‌تواند مشخصه فرکانسی سیگنال‌ها را از 100 MHz تا 2 GHz نشان دهد. از مهمترین ویژگی های این دستگاه استفاده از نرم افزارهای قدرتمند جهت کاهش حجم اطلاعات جهت ارسال به مراکز پایش از طریق اسکادا است. این شرکت برای نویز زدایی و جداسازی منابع تخلیه از روش‌های 3CFRD و 3PARD استفاده می‌کند.



شکل ۴۵۵-۲: نصب دستگاه برای پایش وضعیت ژنراتور **MONGEMO**



شکل ۴۵۶-۲: سری کردن دستگاه‌های **MONGEMO** برای پایش وضعیت چندین ماشین به طور همزمان

۴-۶-۲-۲- بررسی فناوری اندازه گیری شار فاصله هوایی

شار فاصله هوایی یکی از پارامترهای مهم در پایش ماشین‌های دوار الکتریکی هست که معمولا در اثر بروز عیب‌های متعددی از جمله ناهم محوری، اتصال کوتاه و یا شکستگی میله‌های روتور، مشخصه آن تغییر می‌کند؛ لذا می توان با پایش برخط آن عیوب فوق الذکر را شناسایی کرد. با توجه به اینکه اغلب عیب‌های رخ داده در روتور را می‌توان با این روش اندازه‌گیری تشخیص داد یک ابزار مناسب برای پایش وضعیت روتور نیز است. این پارامتر را می‌توان به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم اندازه‌گیری کرد که در روش مستقیم از حسگرهای مناسب در فاصله هوایی استفاده می‌شود و در روش غیرمستقیم شار فاصله هوایی با اندازه گیری ولتاژ و یا جریان استاتور محاسبه می‌شود. علاوه بر شار فاصله هوایی، ولتاژ و جریان شفت ماشین‌های الکتریکی دوار به‌منظور پایش وضعیت اندازه‌گیری می‌شود. بالا بودن جریان شفت می‌تواند باعث خوردگی شفت و مشکلات دیگر شود. همچنین با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان شفت می‌توان از صحت عملکرد زمین کننده شفت اطمینان حاصل کرد. لذا با توجه به موارد گفته شده مهمترین عیوب ماشین که با استفاده از روش اندازه گیری شار مغناطیسی فاصله هوایی قابل کشف هستند مطابق موارد زیر است:

- عیوب مکانیکی نظیر ناهم محوری دینامیکی (خروج از مرکزیت)
- هر نوع عیبی در ساختار روتور (اتصال حلقه، عیب در هسته)
- شکستگی میله های دمپر در هیدروژنراتورها
- شکستگی میله روتور (در موتورهای القایی)

یکی از عیوب مهم در ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی، عیب در ساختار رتور می باشد. عیب در سیستم عایقی رتور و عیوب ناشی از فرسودگی یاتاقان ماشین که می تواند منجر به بروز پدیده خروج از مرکزیت روتور (ناهم محوری دینامیکی) گردد، مهمترین عیوبی هستند که عدم تشخیص به موقع آن می تواند موجب گسترش عیب و وقوع خطاهای بزرگ در ماشین گردد. به همین دلیل شناسایی و تشخیص عیوب رتور بسیار اهمیت دارد. بروز عیوب فوق باعث از بین رفتن تقارن شار مغناطیسی در فاصله هوایی ماشین می شود. این عدم تقارن موجب ایجاد مولفه های هارمونیکی در شار فاصله هوایی، ولتاژ و جریان استاتور، ولتاژ و جریان شفت خواهد شد. شناخت این فناوری که شامل بررسی روشهای اندازه گیری ، معرفی تجهیزات و حسگرها و شناسایی روشهای پایش عیب است در ادامه معرفی می شود.

- انواع روشهای اندازه گیری شار مغناطیسی فاصله هوایی

انواع روشهای اندازه گیری شار مغناطیسی فاصله هوایی را می توان به دو دسته زیر در نظر گرفت:

روشهای اندازه گیری غیر مستقیم

روشهای اندازه گیری مستقیم

در روش غیر مستقیم سیگنالهای زیر اندازه گیری می شود :

جریان و ولتاژ استاتور

جریان و ولتاژ شفت

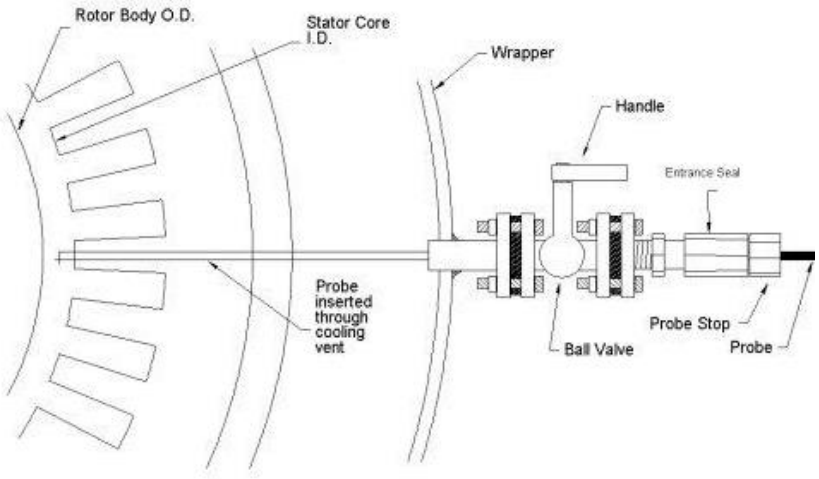
حسگرهایی که در این روش مورد استفاده قرار میگیرند شامل CT و PT های اندازه گیری است که باید از مشخصه فرکانسی بالا (در حدود ۱۰ کیلو هرتز) و جریان اشباع تا ۱۰۰۰ آمپر برخوردار باشند.

شکل ۴۵۷-۲: تجهیزات مربوط به اندازه گیری جریان و ولتاژ شفت

در روش مستقیم نیز شار فاصله هوایی بصورت مستقیم توسط حسگرهای اثر هال و یا سرچ کویل اندازه گیری و توسط سیستم اکتساب اطلاعات ثبت می شود. این حسگرها با توجه به محدوده فاصله هوایی در ماشینهای الکتریکی از تنوع بالایی برخوردار هستند.

شکل ۴۵۸-۲: تجهیزات مربوط به اندازه گیری شار مغناطیسی

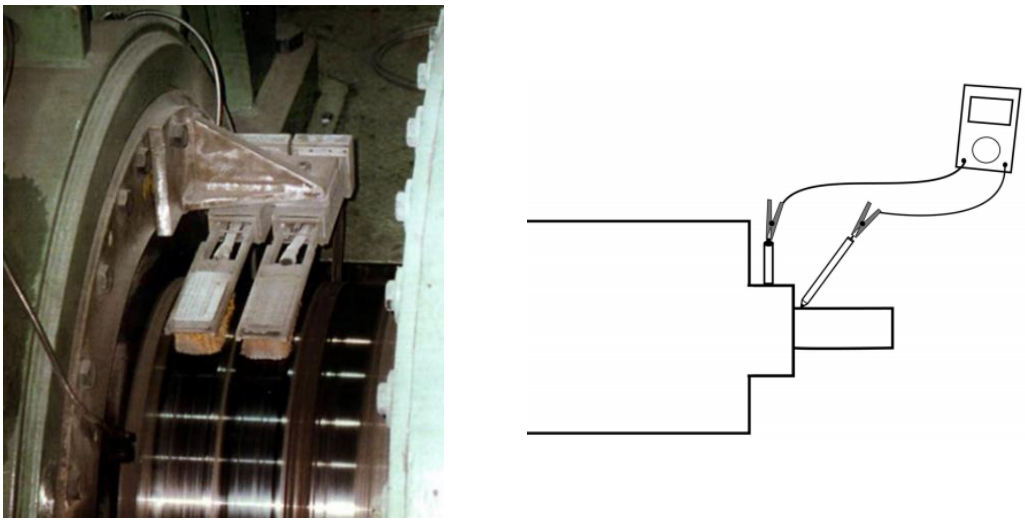
برای نصب حسگرهای گفته شده لازم است که روتور ماشین‌های دوار خارج شود تا این حسگرها بتوانند نصب شوند.



شکل ۴۵۹-۲: نصب حسگر موقت شار فاصله هوایی بر روی ژنراتور

شرکت Generatortech روشی معرفی کرده است که برای جاسازی حسگر در فاصله هوایی ماشین دوار نیازی به درآوردن روتور نیست و می‌توان مستقیماً حسگر را در فاصله هوایی قرار داد. برای انجام این کار از سیستم‌های تهویه‌ای که در بدنه ماشین دوار قرار داده شده است استفاده می‌شود به این صورت که حسگر از طریق سیستم تهویه وارد ماشین شده و مطابق شکل ۴۵۹-۲ در فاصله هوایی قرار می‌گیرد. [۲۱]

علاوه بر عیوب مربوط به ساختار روتور یکی دیگر از دلایل ایجاد جریان شفت مربوط به خوردگی در شفت و سطح یاتاقان می‌باشد. هرچقدر که ماشین دوار بزرگ‌تر باشد تعداد و شدت خسارت ناشی از جریان شفت افزایش می‌یابد. به همین علت لازم است که سطح جریان و ولتاژ شفت همواره در یک سطح قابل قبولی قرار داشته باشد تا از صدمه دیدن شفت جلوگیری به عمل آید. اندازه‌گیری ولتاژ شفت مطابق شکل ۴۶۰-۲ بین بدنه و شفت اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۴۶۰-۲: اندازه‌گیری ولتاژ شفت

برای جلوگیری از افزایش جریان ولتاژ در شفت از رینگ‌های زمین کننده مطابق شکل ۴۶۰-۲ استفاده می‌شود معمولاً دو تا از این رینگ‌ها برای انجام این کار استفاده می‌شود. اگر این رینگ‌ها عملکرد مناسب در زمین کردن شفت نداشته باشند این جریان‌ها می‌توانند به مرور زمان باعث خوردگی شفت شود به همین علت لازم است که از عملکرد صحیح این رینگ‌ها در حین کارکرد ماشین دوار اطمینان حاصل شود.

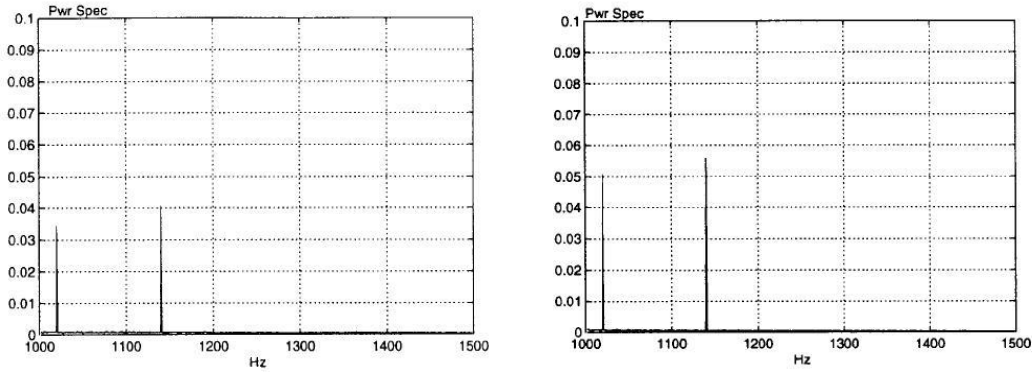
- معرفی روشهای تشخیص عیب

همانطور که پیشتر گفته شد در [۳۰-۲۲] تمام شاخصهایی که با استفاده از روش فوق الذکر برای تشخیص عیوب ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ بکار گرفته می شوند بطور مفصل معرفی گردید. در میان همه شاخص های مورد مطالعه، شاخصهایی که مبتنی بر تحلیل مولفه های فرکانسی متغیر اندازه گیری شده است بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند که در ادامه مهمترین آنها آورده می شود.

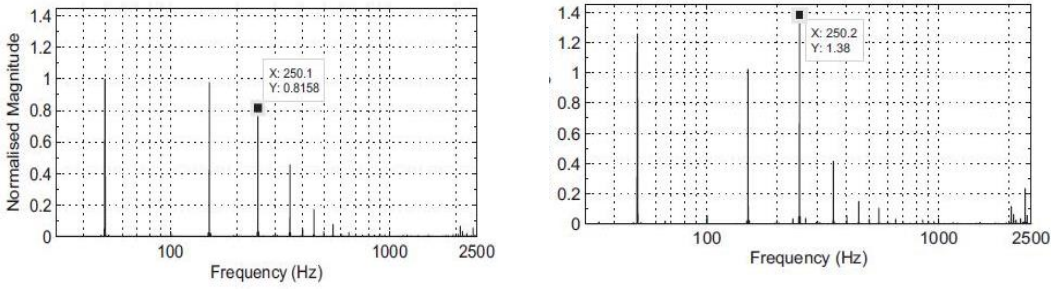
- عیب ناهم‌محوری

یکی از خطاهای رایج در ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ بروز خطای ناهم محوری است که وقوع آن بیشتر در هیدروژنراتورها دیده می شود. پدیده ناهم محوری در اشکال استاتیکی، دینامیکی و مختلط بروز می کند. ناهم محوری استاتیکی بیشتر به دلیل بیضی شکل شدن هسته در اثر نیروهای الکترومغناطیس رخ می دهد. در میان تمامی شاخصهای معرفی شده در [۳۹-۳۱] دو شاخص زیر بیشترین حساسیت را نسبت به بروز خطا دارند :

- شاخص هارمونیکهای جریان استاتور (هارمونیک ۱۷ و ۱۹، مطابق شکل ۴۶۱-۲)
- شاخص هارمونیکهای ولتاژ شفت (هارمونیک ۵، مطابق شکل ۴۶۲-۲)



شکل ۴۶۱-۲: شکل سمت چپ در حالت سالم-سمت راست در حالت ۵۰ درصد ناهم محوری

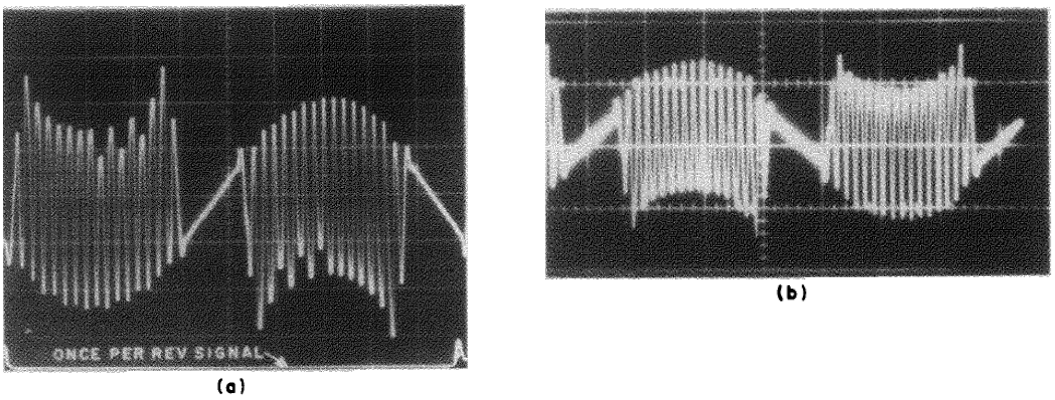


شکل ۴۶۲-۲: شکل سمت چپ در حالت سالم-سمت راست در حالت ۰.۹ میلیمتر ناهم محوری

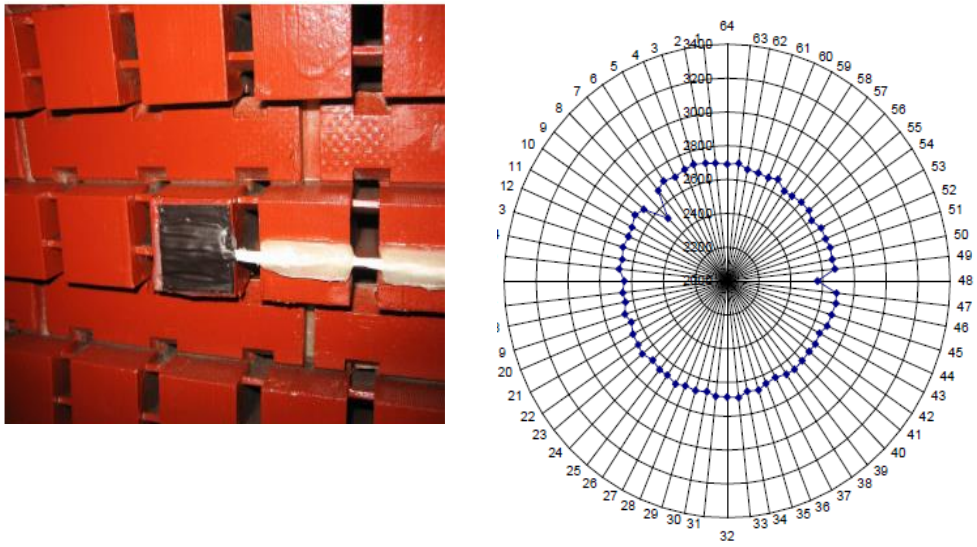
- عیب اتصال حلقه در روتور

مهمترین شاخصهایی که برای تشخیص این خطا توسعه پیدا کرده مطابق موارد زیر است [۴۵-۴۰] :

- شاخص شکل موج شار در فاصله هوایی (شکل ۴۶۳-۲)
- شاخص دیاگرام قطبی شار مغناطیسی (در ماشینهای قطب برجسته) – (شکل ۴۶۴-۲)
- شاخص هارمونیکهای ولتاژ شفت (شکل ۴۶۵-۲)

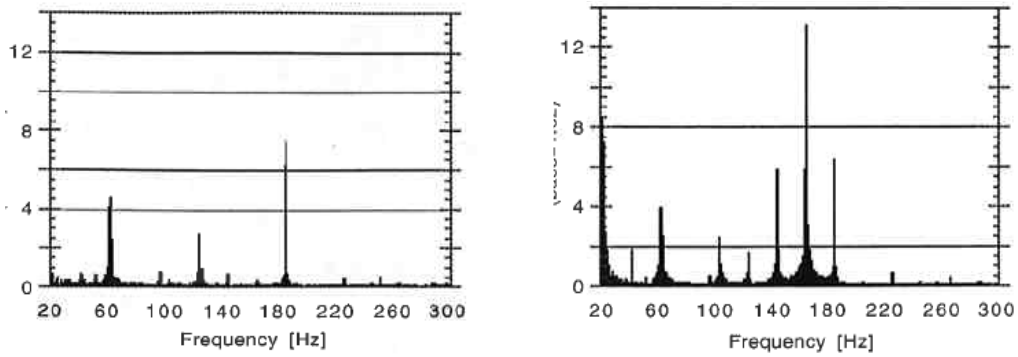


شکل ۴۶۳-۲: شکل سمت چپ قبل از تعمیرات–سمت راست بعد از تعمیرات



شکل ۴۶۴-۲: دیاگرام قطبی شار مغناطیسی فاصله هوایی

همانطور که در شکل ۴۶۴-۲ نشان داده شده است با نصب حسگر در فاصله هوایی و رسم دیاگرام قطبی بروز عیب در قطبهای ۸ و ۴۸ قابل تشخیص می شود.



شکل ۴۶۵-۲: هارمونیکهای ولتاژ شفت–شکل سمت چپ در حالت سالم–سمت راست تحت خطا

- عیب شکستگی میله های روتور در ماشین القایی

عیب شکستگی میله در موتور های القایی به عنوان یکی از خطاهای رایج در این ماشین محسوب می شود. بروز این عیب در موتور القایی سبب تقویت مولفه های هارمونیکی فرکانس پایین ناشی از میدان چپگرد ماشین می شود که به طور ذاتی در ماشین به دلیل مشکلات ناشی از پروسه تولید بوجود می آید.

تشخیص عیب در موتور القایی تحت تغذیه مستقیم از شبکه بسیار سهل تر از تشخیص خطا تحت تغذیه از منبع اینورتر می باشد. در حالتی که موتور با استفاده از اینورتر تغذیه می شود، تعداد سوئیچ زنی های بالای منبع تغذیه سبب افزایش تعداد هارمونیک های تغذیه می گردد، زیرا منبع تغذیع با سوئیچینگ بالا سبب افزایش اشباع در هسته می شود که این امر در نهایت سبب بروز اعوجاج در میدان مغناطیسی فاصله هوایی موتور می شود.

در [۴۵-۳۹] تمامی شاخص هایی که در پایش عیب شکستگی میله های روتور در الکتروموتورهای القایی با استفاده از روشهای الکتریکی (اندازه گیری جریان و ولتاژ) وجود داشت مورد بررسی قرار گرفت. با مطالعه و بررسی مراجعی که برای نگارش این فصل صورت پذیرفت، اکثر فعالیتهای تحقیقاتی مرتبط با مبحث فوق، در دانشگاهها و بیشتر بر روی الکتروموتورهای القایی کوچک و با هدف انجام مطالعات تشخیص خطا انجام شده است. تحقیقات بر روی الکتروموتورهای کوچک با هدف استخراج دقیق شاخصهای عیب و تعمیم آن به الکتروموتورهای بزرگ و پر کاربرد در صنعت صورت می پذیرد. هرچند با توجه به اینکه ساختار الکتروموتورهای القایی بزرگ بسیار متفاوت با الکتروموتورهای القایی کوچک است به طور قطع نمی توان در خصوص امکان استفاده از همه شاخصهای معرفی شده برای پایش این عیب در موتورهای القایی بزرگ اعلام نظر کرد. با این وجود شاخص‌هایی نظیر آنالیز مولفه های فرکانسی جریان تغذیه و پایش مولفه های هارمونیک آن می تواند در پایش وضعیت آنلاین مورد توجه قرار گیرد.

۵-۶-۲-۲- شرکتهای صنعتی فعال در حوزه پایش شار مغناطیسی

در حال حاضر شرکتهای متعددی در حوزه فناوری اندازه گیری شار مغناطیسی فاصله هوایی فعالیت دارند که در این بین شرکت IRIS و شرکت BKVibro بصورت تخصصی جهت پایش ژنراتورهای نیروگاهی حسگرها و محصولات متنوعی را توسعه داده است.

همانطور که گفته شد در روش غیرمستقیم از اندازه گیری جریان و ولتاژ استاتور استفاده می‌شود که به ترتیب برای اندازه‌گیری این پارامترها از CT و PT استفاده می‌شود. CT مورد نیاز برای اندازه‌گیری باید مشخصه فرکانسی تا چند کیلوهرتز داشته باشد و همچنین این حسگر باید جریان اشباع بالایی داشته باشد. شکل ۴۶۶-۲، CT که توسط شرکت IRIS برای پایش جریان معرفی شده را نشان می‌دهد این حسگرها می‌توانند جریان اشباع تا ۱۰۰۰ آمپر داشته باشند.

شکل ۴۶۶-۲: **CT** شرکت **IRIS** برای پایش جریان

روش دیگر برای اندازه‌گیری شار فاصله هوایی اندازه‌گیری این پارامتر به‌صورت مستقیم است. شرکت‌های متعددی حسگرهایی را برای انجام این اندازه‌گیری ساخته‌اند اما در ادامه به‌طور مختصر حسگرهای مربوط به دو شرکت Brüel & Kjaer Vibro (BKVibro) و IRIS که در زمینه پایش ماشین‌های دوار فعالیت می‌کنند، معرفی می‌شود. [۱۱]

شکل ۴۶۷-۲ حسگر شرکت BKVibro را نشان می‌دهد که بر اساس اثر هال[1] کار می‌کند این حسگر برای اینکه اختلالی در عملکرد ماشین دوار نداشته باشد بسیار نازک ساخته شده است ضخامت این حسگر ۳ mm و طول و عرض آن به ترتیب ۱۱۰ و ۱۰ میلی‌متر است. مشخصات دیگر این حسگر در جدول ۱۵۶-۲ آمده است. [۱۲]

شکل ۴۶۷-۲: حسگر شار مغناطیسی شرکت **BKVibro**

جدول ۱۵۶-۲: مشخصات حسگر شار مغناطیسی شرکت **BKVibro**

Output signal for channel Y.....	magnetic field ±3 T
Linear magnetic field range.....	±2 T (full scale)
Output voltage at full-scale (VB)	±10 V, single ended
Sensitivity to magnetic field.....	5 V/T
Tolerances of sensitivity (B = 1 T d.c.)	±0,5 %
Non Linearity of output (B <= ±1 T)	<0.2 %
(B <= ±2 T)	<1 %
Long term instability	<1 % over 10 years
Temp. coefficient of sensitivity (T= 23 ±10°C)	<±100 ppm/°C
Offset at B = 0T	<±3 mV
Temp. coefficient of offset.....	<±0.25 mV/°C
Output noise and ripple (peak) 0.01-100Hz ...	<0.5 mV
Output resistance.....	<10 Ω, s. c. proof
Max. frequency response of the magnetic field	2.5 kHz

[1] Hall effect

شرکت IRIS دو نمونه حسگر برای اندازه‌گیری شار مغناطیسی ساخته است [۲] که هر کدام در شرایط متفاوتی استفاده می‌شود. اولین حسگر این شرکت با نام TFProbe تا حد امکان نازک ساخته شده است و برای ماشین‌های دواری که فاصله هوایی آن‌ها کم‌تر از ۵ سانتی‌متر باشد به کار برده می‌شود. ضخامت این حسگر ۴ mm و طول و عرض آن به ترتیب ۲۵ و ۱۲ میلی‌متر می‌باشد. این حسگر به وسیله اپکسی به استاتور چسبانده می‌شود و هیچ آسیبی به ماشین در فرایند نصب وارد نمی‌شود با توجه به ضخامت بسیار کم این حسگر این امکان وجود دارد که این حسگر را بدون خارج کردن روتور در بدنه استاتور نصب کرد. [۱۱]

شکل ۴۶۸-۲: حسگر شار مغناطیسی شرکت **IRIS** برای ماشین‌های دوار با فاصله هوایی کمتر از **۵cm**

حسگر دیگر این شرکت با نام FFProbe برای ماشین‌های دوار با فاصله هوایی بیشتر از ۵ سانتی‌متر ساخته شده است (شکل ۴۶۹-۲) ارتفاع این حسگر قابل انتخاب است و با توجه به اندازه فاصله هوایی می‌توان ارتفاع این حسگر را تنظیم کرد.

شکل ۴۶۹-۲: حسگر شار مغناطیسی شرکت **IRIS** برای ماشین‌های دوار با فاصله هوایی بیشتر از **۵cm**

دستگاهی که شرکت IRIS برای انجام پایش وضعیت موتورهای القایی ساخته است MDSP3 نام دارد (شکل ۴۷۰-۲) که در سال ۲۰۱۴ آخرین نسخه این دستگاه ارائه شده است. این دستگاه برای موتورهای القایی با توان ۵۰ hp (۳۷.۵ kW) و بیشتر قابل استفاده است. برای انجام پایش وضعیت می‌توان از یک یا دو حسگر استفاده کرد. این دستگاه برای ثبت سیگنال‌ها از نرخ نمونه‌برداری ۶.۵ kHz استفاده می‌کند و نسبت سیگنال به نویز در این سیستم اندازه‌گیری ۱۰۰ dB است. این دستگاه برای شناسایی و تشخیص نوع عیب از تحلیل مؤلفه فرکانسی سیگنال اندازه‌گیری شده مطابق مطالب گفته شده استفاده می‌کند.

شکل ۴۷۰-۲: دستگاه **MDSP3** شرکت **IRIS** برای پایش وضعیت شار فاصله هوایی موتورهای القایی

محصولاتی که شرکت IRIS برای پایش شار مغناطیسی ژنراتورهای نیروگاهی توسعه داده مطابق زیر است :

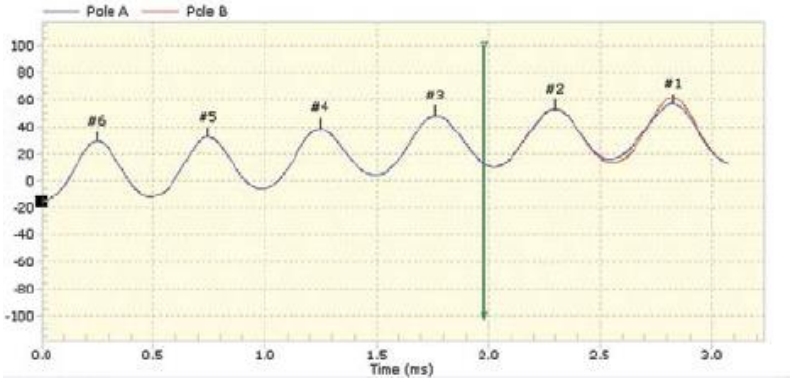
- جهت اندازه گیری شار مغناطیسی
  - دستگاه FluxTracII-R : توربو ژنراتور
  - دستگاه FluxTracII-S : هیدرو ژنراتور
- جهت اندازه گیری ولتاژ شفت
  - دستگاه SMTraceII

که در ادامه مشخصات فنی و کارکرد هر یک از تجهیزات فوق الذکر بررسی می گردد.

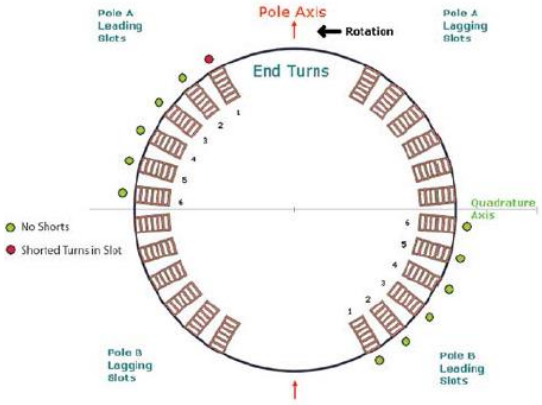
- دستگاه FluxTracII-R

همانطور که گفته شد بروز ناهم محوری هم می‌تواند باعث تغییر مشخصه فرکانسی شار فاصله هوایی اندازه‌گیری شده شود که برای ماشین‌های سنکرون دوار قطب صاف (به علت ساختار این ماشین‌ها) این حالت کلاً در نظر گرفته نمی‌شود پس هر تغییری در مشخصه فرکانسی شار فاصله هوایی به معنی وقوع اتصال حلقه به حلقه در روتور می‌باشد. رویکرد دیگر این است که علاوه بر تشخیص وجود عیب اتصال حلقه به حلقه مکان این عیب نیز تشخیص داده شود برای انجام این کار لازم است که به تعداد قطب‌های ماشین حسگر شار در فاصله هوایی نصب شود که البته این کار برای ماشین‌های سنکرون دوار قطب صاف به علت اینکه فقط از ۲ یا ۴ قطب تشکیل می‌شوند مشکلی ندارد و فقط کافی است که ۲ یا ۴ حسگر شار، به ترتیب برای ماشین‌های ۲ یا ۴ قطب، در فاصله هوایی نصب شود.

نحوه تشخیص محل اتصال حلقه به حلقه در روتور یک ژنراتور دو قطب در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است. چون روتور دو قطب است پس دو حسگر شار در فاصله هوایی و روبروی هم بر روی استاتور نصب می‌شود پس در هر لحظه دو حسگر شار شیارهای متناظر در دو قطب را نشان می‌دهد (شکل ۴۷۱-۲ (الف)) حال اگر اتصال حلقه به حلقه در شیار یک قطب اتفاق بیفتد دامنه آن نسبت به شار شیار متناظر قطب دیگر کم می‌شود و به این ترتیب می‌توان محل اتصال حلقه به حلقه در روتور را مشخص کرد (شکل ۴۷۱-۲ (ب)). همچنین با مقایسه میزان تفاوت این دو سیگنال می‌توان تعداد حلقه‌های اتصال کوتاه شده را نیز تشخیص داد.



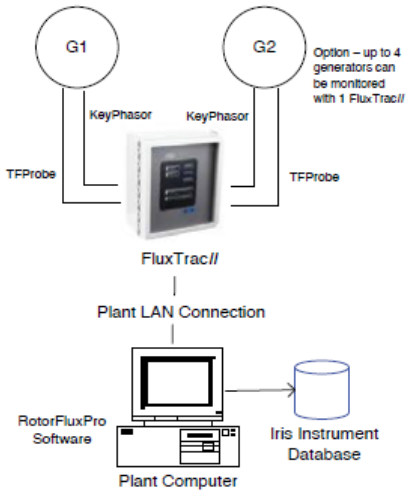
(الف)



(ب)

شکل ۴۷۱-۲: تشخیص محل اتصال حلقه به حلقه الف) شار دو حسگر ب) محل اتصال حلقه به حلقه

شرکت IRIS برای انجام این کار دستگاه FluxTracII-R را ساخته است که می‌توان از آن برای ماشین‌های سنکرون دو قطب یا چهار قطب استفاده کرد. این دستگاه می‌تواند تا چهار ماشین سنکرون قطب صاف را به‌طور هم‌زمان پایش کند. همچنین به وسیله نرم‌افزار RotorFluxPro می‌توان اطلاعات را در کامپیوتر تحلیل و ذخیره کرد. این دستگاه مطابق روند گفته شده علاوه بر تشخیص اتصال حلقه به حلقه مکان اتصال را نیز تشخیص می‌دهد.

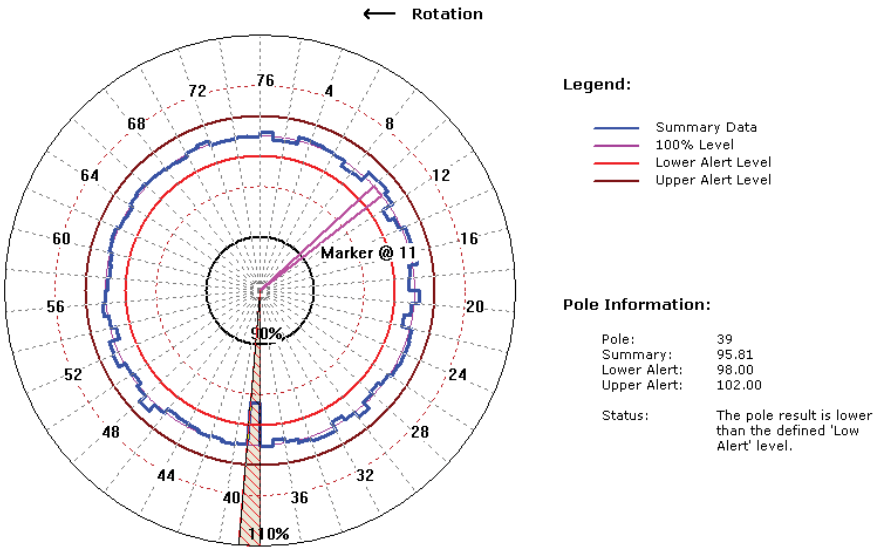


شکل ۴۷۲-۲: دستگاه **FluxTracII-R** برای پایش آنلاین شار فاصله هوایی ماشین‌های سنکرون قطب صاف

- دستگاه FluxTracII-S

شرکت IRIS دستگاه FluxTracII-S را برای پایش آنلاین شار فاصله هوایی ماشین‌های سنکرون قطب برجسته ساخته است این دستگاه می‌تواند برای پایش شار ماشین‌هایی با ۴ تا ۱۲۸ قطب به کار رود و همچنین می‌تواند چهار ماشین قطب برجسته را به‌طور هم‌زمان پایش کند.

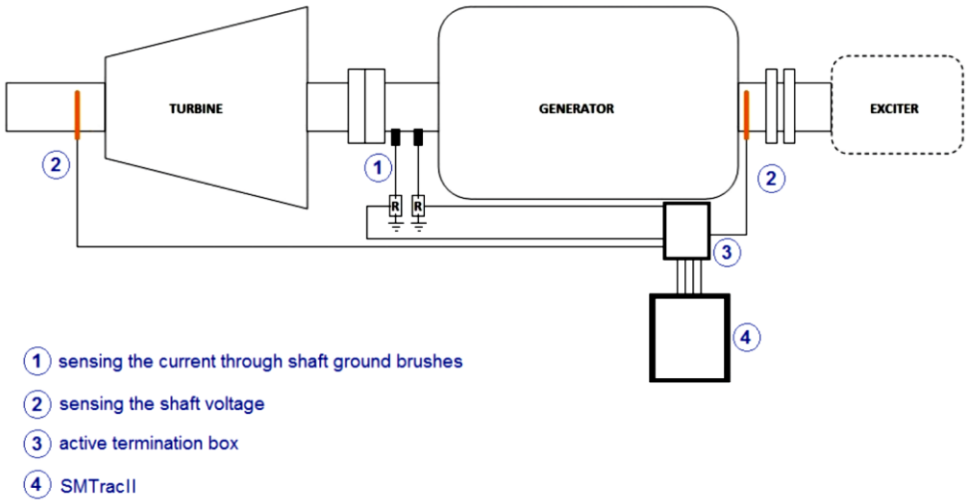
این دستگاه علاوه بر تشخیص اتصال حلقه به حلقه مکان اتصال را نیز تشخیص می‌دهد. شکل ۴۷۳-۲ نحوه تشخیص مکان اتصال حلقه به حلقه را نشان می‌دهد که در آن در یک ماشین سنکرون قطب برجسته با ۷۶ قطب اتصال حلقه به حلقه در قطب ۳۹ اتفاق افتاده است.



شکل ۴۷۳-۲: پایش شار ماشین سنکرون قطب برجسته با ۷۶ قطب

- دستگاه SMTraceII

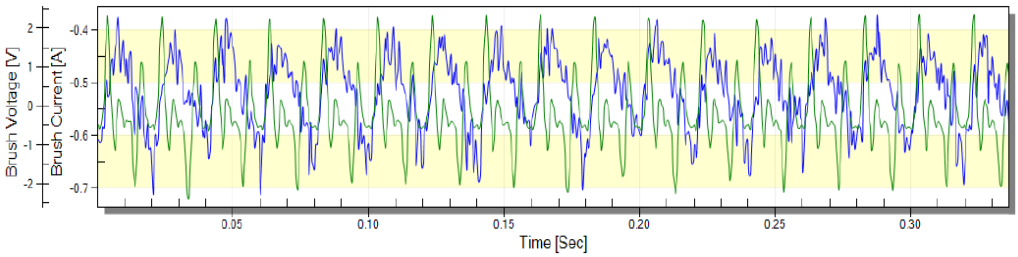
شرکت IRIS از دستگاه SMTraceII برای پایش ولتاژ و جریان شفت استفاده می‌کند. این دستگاه می‌تواند حداکثر دو سیگنال ولتاژ و دو سیگنال جریان را به‌طور هم‌زمان ثبت کند. سیستم پایش جریان و ولتاژ شفت برای توربو ژنراتور با استفاده از دستگاه SMTraceII در شکل ۴۷۴-۲ نشان داده شده است.



شکل ۴۷۴-۲: دستگاه **SMTraceII** برای پایش آنلاین ولتاژ و جریان شفت

در این سیستم از دو حسگر ولتاژ بعد از سیستم تحریک و توربین استفاده شده است همچنین با قرار دادن مقاومت در مسیر زمین رینگ‌های زمین کننده جریان این دو رینگ اندازه‌گیری شده است. با اندازه‌گیری این جریان از عملکرد رینگ‌های زمین کننده اطمینان حاصل می‌شود.

شکل ۴۷۵-۲ نمونه‌ای از سیگنال‌های ولتاژ و جریان ثبت شده توسط این سیستم را در حالت عملکرد عادی نشان می‌دهد.



شکل ۴۷۵-۲: نمونه‌ای از سیگنال‌های ولتاژ و جریان شفت

۶-۶-۲-۲- بررسی فناوری آنالیز ارتعاشات

ماشین‌های الکتریکی از یک سو به دلیل برخورداری از ساختار مکانیکی مخصوص و از سوی دیگر به دلیل ادواتی که از طریق شفت به آن‌ها متصل می‌شود، در حالت عملکرد عادی و بدون خطا نیز دارای ارتعاش هستند. در الکتروموتورهای القایی، اتصال شفت به یک بار مکانیکی با استفاده از یک سیستم کوپلینگ و یا در ژنراتورهای نیروگاهی، اتصال به توربین و سیستم الکترومغناطیسی موجود در خود ماشین، موجب تحریک مودهای فرکانس طبیعی ماشین می‌شود و درنهایت سبب بروز ارتعاش در ماشین الکتریکی می‌گردد؛ اما در هنگام بروز عیب در ماشین، به دلیل از بین رفتن تقارن شار و نیروهای الکترومغناطیسی، سطح ارتعاشات در بخش‌های مختلف ماشین افزایش می‌یابد. مهم‌ترین عیب‌هایی که وقوع آن‌ها منجر به بروز ارتعاش در ماشین‌های الکتریکی می‌شود به شرح زیر است [۵۷-۵۱]:

- عیب در سیستم یاتاقان (شامل سایش یاتاقان ژورنال، فرسودگی بیرینگ‌ها و یا افت فشار روغن)؛
- خروج از حالت تعادل و بروز ناهم‌محوری و ناهم‌ترازی (ناشی از عیوب بند ۱)؛
- اتصال کوتاه در سیم‌پیچ رتور؛
- شکستگی میله؛
- از بین رفتن ساپورت (نگهدارنده) نصب‌شده در قسمت پیشانی کلاف.

در صورت تشخیص ندادن به‌موقع عیب‌های پیش‌گفته، سطح ارتعاشات در قسمت‌های مختلف ماشین، افزایش می‌یابد که می‌تواند منجر به شل شدن محل اتصال شینه‌ها با یکدیگر، ساییدگی و تخریب عایق بین شینه های مجاور شود.

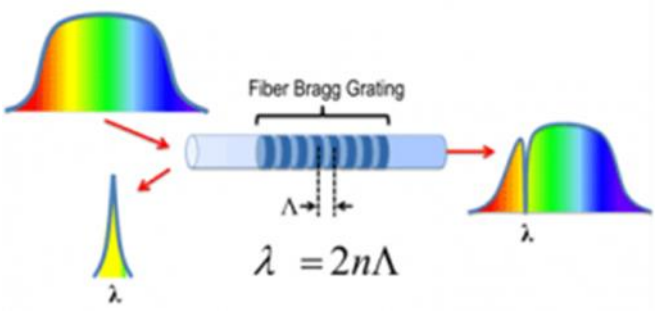
- معرفی روش‌های اندازه‌گیری ارتعاش

اندازه‌گیری ارتعاشات نقاط مختلف ماشین دوار، به دو صورت اندازه‌گیری «ارتعاشات مطلق» و «ارتعاشات نسبی» انجام می‌شود. ارتعاشات مطلق مربوط به حرکات سریع پوسته و محفظهٔ یاتاقان، نسبت به یک نقطهٔ ثابت است. در ارتعاشات نسبی نیز حرکت سریع شفت دوار نسبت به پوستهٔ یاتاقان، سبب بروز ارتعاش می‌گردد.

ارتعاشات مطلق، در نواحی مختلفی از ماشین‌های دوار قابل اندازه‌گیری است که می‌توان آن‌ها را به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:

- ارتعاشات انتهای شینه

عبارت است از حرکت‌های لرزشی انتهای سیم‌پیچ یا شینهٔ ماشین نسبت به یک نقطهٔ ثابت در فضا. اندازه‌گیری ارتعاشات انتهای سیم‌پیچ یا شینه در تمامی ماشین‌های دوار بزرگ (توربو ژنراتور، هیدرو ژنراتور و موتورها) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ارتعاشات معمولاً در اثر شل شدن نگه‌دارندهٔ انتهای سیم‌پیچ، عیب در سیستم عایقی، خستگی و ترک‌خوردگی شینه رخ می‌دهد. اندازه‌گیری توسط شتاب‌سنج‌های فیبر نوری –که در شرایط سخت از مقاومت بالایی برخوردار است– استفاده می‌شود. برای این منظور از شبکه فیبر برگ (FBG) [۱] استفاده می‌شود. شبکهٔ FBG درواقع بازتاب‌دهنده‌های وابسته به طول موجی هستند که به‌وسیلهٔ ایجاد تغییرات متناوب در ضریب شکست هستهٔ فیبر نوری تشکیل می‌شوند. زمانی که یک طیف نوری از داخل فیبر عبور می‌کند، به هنگام برخورد با شبکهٔ FBG ، بخشی از آن بازتاب داده می‌شوند و بخش دیگری از شبکه عبور می‌کند. [۶۱–۵۵]

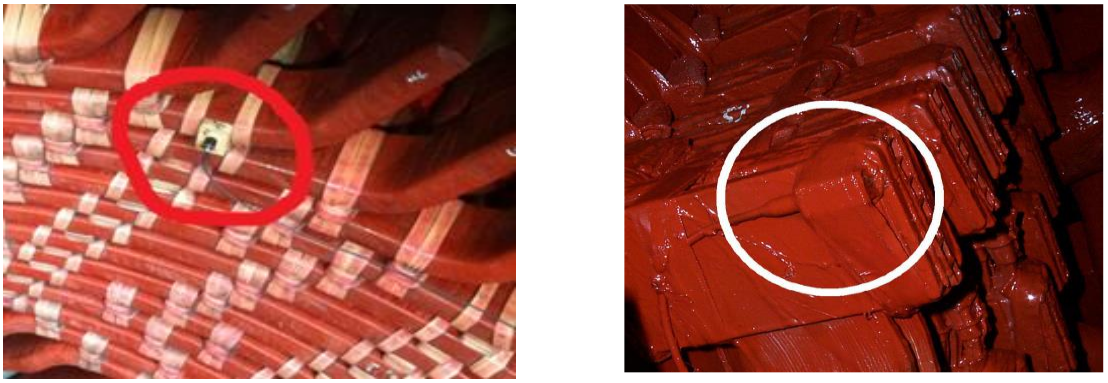


شکل ۴۷۶–۲: ساختار شبکه فیبر برگ

در این حالت، سیگنال منعکس‌شده، بسیار نازک خواهد شد و بر طول موج Bragg منطبق می‌گردد. هر تغییری که در فاصلهٔ تناوب‌های شبکه که توسط تغییرات دما ایجاد می‌شود، می‌تواند موجب تغییر طول موج Bragg شود. این همان

[۱]. Fiber Bragg Grating.

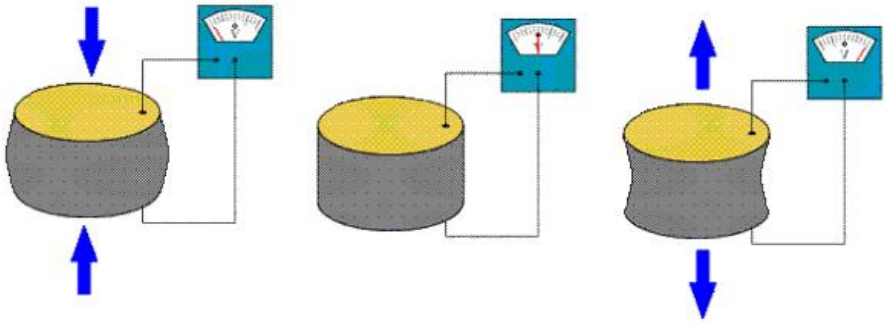
خاصیتی است که در کاربری‌های اندازه‌گیری استفاده می‌شود. شکل ۴۷۷-۲ محل نصب این حسگرها را در انتهای شینه نشان می‌دهد.



شکل ۴۷۷-۲: نصب حسگر شتاب‌سنج در انتهای شینه

- ارتعاشات مطلق بدنه

عبارت است از حرکت‌های لرزشی بدنهٔ ماشین نسبت به یک نقطهٔ ثابت در فضا. این اندازه‌گیری معمولاً برای ارزیابی روتورهایی که یاتاقان المان غلطکی (بلبرینگ) دارند مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری ارتعاشات مطلق بدنه، به علت این‌که یک اندازه‌گیری غیر مهاجم است، یکی از اندازه‌گیری‌های متداول در پایش وضعیت ماشین‌های دوار به‌شمار می‌آید که این اندازه‌گیری را می‌توان به‌صورت «پیوسته» و یا «دوره‌ای» انجام داد. با انجام این اندازه‌گیری می‌توان عیب‌هایی مانند نداشتن تعادل، خروج از مرکزیت، خمش شفت، ناهم‌ترازی، سایش در یاتاقان ژورنال و عیوب گیربکس را آشکار کرد. برای اندازه‌گیری در این حالت، از شتاب‌سنج‌های پیزوالکتریک استفاده می‌شود. شتاب‌سنج‌های پیزوالکتریک بر اساس اثر پیزوالکترونیک کریستال‌های کوارتز یا سرامیک (عمل می‌کنند) که در آن متناسب با شتاب اعمال‌شده به کریستال، جریان الکتریکی توسط کریستال تولید می‌شود [۶۳-۶۱].



شکل ۴۷۸-۲: اساس عملکرد حسگرهای پیزوالکتریک

اثر پیزوالکتریک موجب جمع شدن شارژ بارهای مخالف در کریستال می‌شود. مقدار این شارژ متناسب با نیرو و یا تنش واردشده به کریستال، متغیر است. نیروی واردشده به شبکهٔ کریستال کوارتز موجب می‌شود تا یون‌های مثبت و منفی در آن جابجا شده و درنتیجه این یون‌های در دو سطح مقابل کریستال جمع شوند. این شارژ الکترونیکی کریستال را می‌توان برای اندازه‌گیری به پردازنده منتقل نمود.

- ارتعاشات مطلق شفت

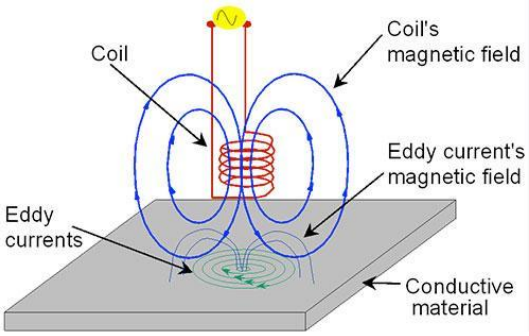
عبارت است از حرکت‌های لرزشی شفت روتور، نسبت به یک نقطهٔ ثابت در فضا. این نوع ارتعاش در توربین‌های بخار بزرگ از اهمیت خاصی برخوردار است. در عمل برای اندازه‌گیری میزان این نوع لرزش ، ارتعاش نسبی شفت با ارتعاش مطلق یاتاقان به‌صورت برداری با یکدیگر جمع می‌شود.

- موقعیت محوری

موقعیت محوری شفت، در مجاورت یاتاقان تراست اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از حسگر غیر تماسی جابجایی می‌توان این اندازه‌گیری را که نشان‌دهندهٔ میزان استهلاک یاتاقان تراست و تغییرات بار ماشین است، به دست آورد.

در اثر سایش یاتاقان محوری در هیدرو ژنراتورها یا توربین‌های گازی یا بخاری ممکن است جابجایی محوری در این ماشین‌ها اتفاق بیفتد که بسیار خطرناک است و در مدت‌زمان بسیار کوتاهی باعث خروج ژنراتور از شبکه گردد.

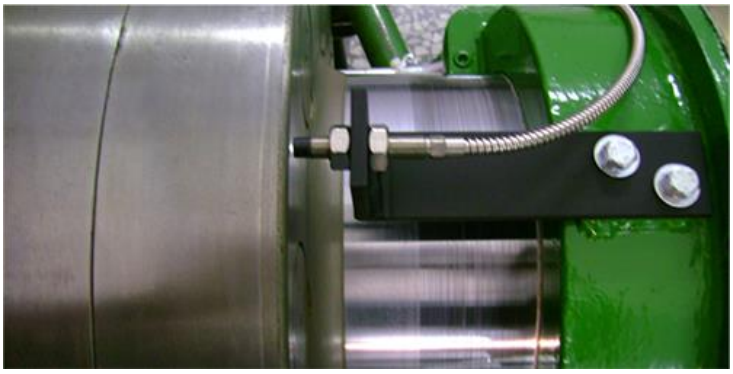
برای پایش جابجایی محوری، از حسگرهای اندازه‌گیری فاصله استفاده می‌شود که معمولاً از نوع حسگرهای جریان گردابی هستند. اساس عملکرد در روش جریان گردابی بدین‌صورت است که میدان مغناطیسی تولیدشده در اطراف یک سیم‌پیچ در اثر عبور جریان متناوب الکتریکی، باعث القای جریان‌های گردابی در مادهٔ رسانای نزدیک سیم‌پیچ می‌شود (شکل ۴۷۹-۲).



شکل ۴۷۹-۲: نحوه عملکرد حسگرهای جریان گردابی

طبق قانون لنز، جریان گردابی به وجود آمده با عامل به وجود آورنده خود مخالفت می‌کند و به همین دلیل میدان الکترومغناطیسی که از جریان‌های گردابی به وجود می‌آید در خلاف جهت میدان اصلی است و ازاین‌رو میدان ناشی از جریان‌های گردابی باعث تغییر میدان اصلی می‌شود که این تغییر نیز به‌نوبهٔ خود باعث تغییر ولتاژ دو سر سیم‌پیچ می‌شود. هر چه میدان مغناطیسی بیشتری روی ماده اثر کند (یعنی ماده نزدیک‌تر به سیم‌پیچ باشد)، تبادل انرژی قوی‌تر خواهد بود. این اثر به سیگنال قابل‌اندازه‌گیری نرمال، متناسب با فاصلهٔ بین سیم‌پیچ و مادهٔ رسانا، تبدیل می‌شود.

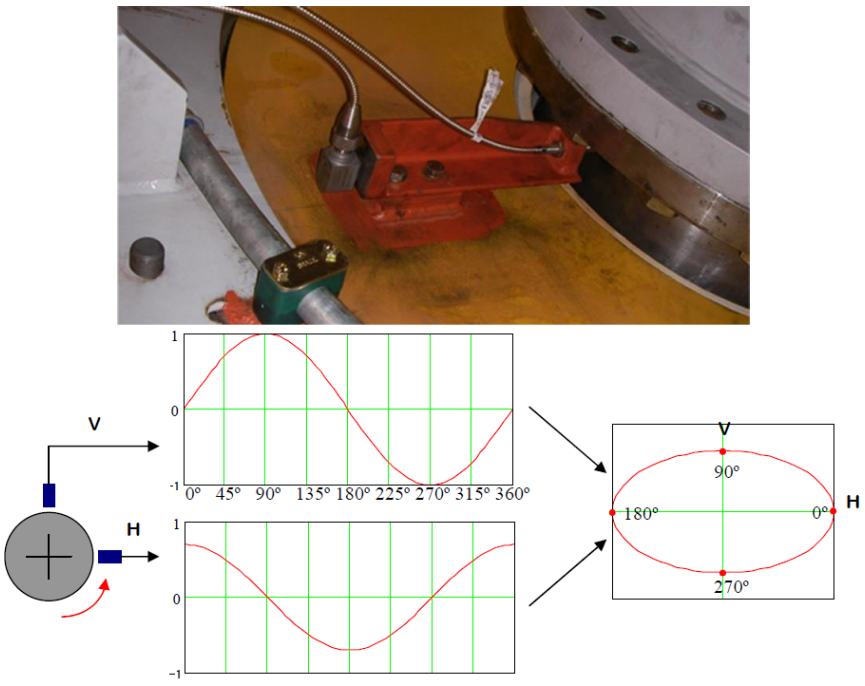
در حسگرهای جریان گردابی، یک اسیلاتور (که در یک فرکانس مشخص نوسان می‌کند) به یک سیم‌پیچ وصل می شود. سپس با استفاده از کالیبراسیون، یک ضریب متناسب با ولتاژ دو سر سیم‌پیچ و مقدار فاصله، مشخص می‌شود. با استفاده از این ضریب ولتاژ خوانده‌شده به فاصله تبدیل می‌شود. این حسگر مطابق با شکل ۴۸۰-۲ در فاصلهٔ نزدیکی از بدنه نصب می‌شود و با استفاده از این حسگر می‌توان کوچکترین جابجایی در راستای محوری را به‌راحتی تشخیص داد.[۶۸-۶۳]



شکل ۴۸۰-۲: محل نصب حسگر جریان گردابی برای پایش جابجایی محوری

- ارتعاشات نسبی شفت

عبارت است از حرکت‌های لرزشی شفت روتور نسبت به یاتاقان. در روتورهای دارای یاتاقان‌های ژورنال، این لرزش مهم‌ترین شاخص برای نمایش وضعیت ماشین است. ارتعاشات نسبی شفت با استفاده از حسگرهای اندازه‌گیری جابجایی نسبی (حسگرهای جریان گردابی و یا خازنی) که بر روی یاتاقان نصب می‌شوند اندازه‌گیری می‌گردد. برای به دست آوردن محور صحیح شفت (مسیری که مرکز شفت طی می‌کند) باید از دو حسگر که به فاصلهٔ ۹۰ درجه از یکدیگر نصب شده‌اند استفاده نمود (شکل ۴۸۱-۲). ارزیابی میزان لرزش یا بر اساس معیار حداکثر مقدار جابجایی شفت حاصل از دو حسگر، و یا بر اساس معیار پیک تا پیک هر حسگر به‌صورت مستقل صورت می‌گیرد.



شکل ۴۸۱-۲: اندازه‌گیری ارتعاشات نسبی شفت و تعیین اوربیت شفت

- ارتعاشات نسبی شینه نسبت به بدنهٔ استاتور

عبارت از حرکت‌های لرزشی شینه نسبت به شیار استاتور است. همچنین افزون بر اندازه‌گیری ارتعاشات مطلق انتهای شینه که در بخش قبل به آن اشاره شد، اندازه‌گیری ارتعاشات نسبی انتهای شینه نسبت به بدنهٔ استاتور را نیز می‌توان به دست آورد؛ برای چنین کاری از حسگرهای خازنی اندازه‌گیری فاصله که در فاصلهٔ بین شینه و بدنه، به شینه چسبانده شده‌اند، استفاده می‌شود.

- بررسی انواع روش‌های تحلیلی پایش ارتعاش

به‌طورکلی چهار روش زیر برای پایش وضعیت و تشخیص عیوب رخداده در ماشین‌های الکتریکی دوار بزرگ با استفاده از اندازه‌گیری ارتعاشات وجود دارد، که در ادامه معرفی می‌شود:

- روش پایش سطح کلی ارتعاش
- روش پایش طیف فرکانسی
- روش آنالیز شکل موج
- روش آنالیز زاویه فاز

- روش پایش سطح کلی ارتعاش

بررسی سطح ارتعاش در ماشین‌های الکتریکی به‌عنوان یکی از ساده‌ترین روش‌های پایش وضعیت به‌شمار می‌آید. اگرچه این روش، اطلاعات کاملی برای تشخیص خطا به اپراتور نمی‌دهد ولی به‌عنوان یک روش تکمیلی می‌توان از آن استفاده کرد. در این روش ارتعاشات را با استفاده از حسگرهایی که بر روی بدنهٔ ماشین (معمولاً بر روی یاتاقان) قرار دارد در یک پهنای باند خاصی نمونه‌برداری می‌کنند. در این روش معمولاً محدودهٔ نمونه‌برداری از ۰/۰۱ تا ۱ کیلوهرتز و یا ۱ تا ۱۰ کیلوهرتز است. این روش به دلیل آن‌که اطلاعات خوبی در مورد وضعیت ماشین به اپراتور می‌دهد، بسیار مورد توجه قرار گرفته و استانداردهایی برای مشخص نمودن وضعیت سلامت ماشین با بررسی سطح ارتعاش ارائه شده است. اولین استانداردی که درزمینهٔ ارتعاش ماشین‌های الکتریکی ارائه شده، استاندارد آلمانی VDI 2056 است. نمونهٔ به‌روزرسانی شدهٔ این استاندارد، استاندارد ISO 10816-1:1995 است. طبق استاندارد فوق درصورتی‌که سطح ارتعاش در حدود ۸ دسی‌بل تغییر پیدا کند، باید توجه بیشتری به نوسانات ارتعاش ماشین معطوف شود و درصورتی‌که مقدار ارتعاش از ۲۰ دسی‌بل بیشتر باشد، باید اقدامات ضروری به‌منظور بررسی علت افزایش ارتعاشات، صورت پذیرد. شایستهٔ یادآوری است که اگر مؤلفه‌های فرکانس بالا و نویز، در محیط اندازه‌گیری وجود داشته باشند، لازم است که سطح مدنظر برای ارتعاشات از ۸ به ۱۶ و از ۲۰ به ۴۰ دسی‌بل افزایش داده شود.

استاندارد CDA/MS/NVSH107 توسط دولت کانادا برای بررسی ارتعاشات در ماشین‌های الکتریکی، معرفی شده است. این روش نیز به بررسی سطح ارتعاشات کلی سیستم می‌پردازد و حسگرهای اندازه‌گیری بر روی یاتاقان‌ها قرار داده می‌شوند. در این روش پهنای باند مورد استفاده از ۰/۰۱ تا ۱۰ کیلوهرتز و مبتنی بر اندازه‌گیری سرعت ارتعاشات است.

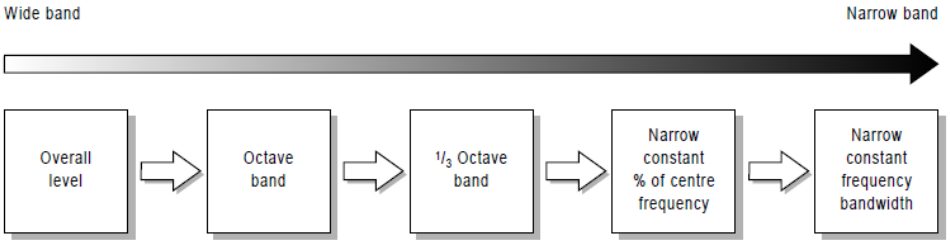
جدول ۱۵۷-۲: محدودهٔ ارتعاشات برای تعمیرات و نگهداری مبتنی بر استاندارد **CDA/MS/NVSH 107**

Type of plant	New machines		Worn machines (full-load operation)	
	100–1 000 hour life, mm/s	1000–10 000 hour life, mm/s	Service level, mm/s	Immediate overhaul*, mm/s
Boiler auxiliaries	1.0	3.2	5.6	10.0
Large steam turbine	1.8	18.0	18.0	32.0
Motor-generator set	1.0	3.2	5.6	10.0
Pump drives	1.4	5.6	10.0	18.0
Fan drives	1.0	3.2	5.6	10.0
Motors in general	0.25	1.8	3.2	5.6

همان‌طور که در جدول ۱۵۷–۲ مشاهده می‌شود، میزان ارتعاش مجاز برای مجموعهٔ موتور–ژنراتور در مدت‌زمان ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ ساعت کارکرد، حدود ۱ میلی‌متر بر ثانیه است. افزایش این مقدار به عدد ۵/۶، بروز عیب در ماشین را نشان می‌دهد. نقطهٔ قوت این روش در قیاس با سایر روش‌ها، سادگی آن است. نیاز نداشتن به تجهیزات پیچیده و سادگی نصب آن بر روی ماشین، از دیگر مزایای این روش به‌شمار می‌آید و به همین دلیل است که از این روش برای بررسی بروز عیب در ماشین‌های الکتریکی به‌صورت عمده استفاده می‌شود. پایین بودن حساسیت این روش به ارتعاشات در سطوح پایین، و همچنین نیاز به اپراتوری باتجربه برای تحلیل داده‌ها، از جمله ضعف‌های این روش است.

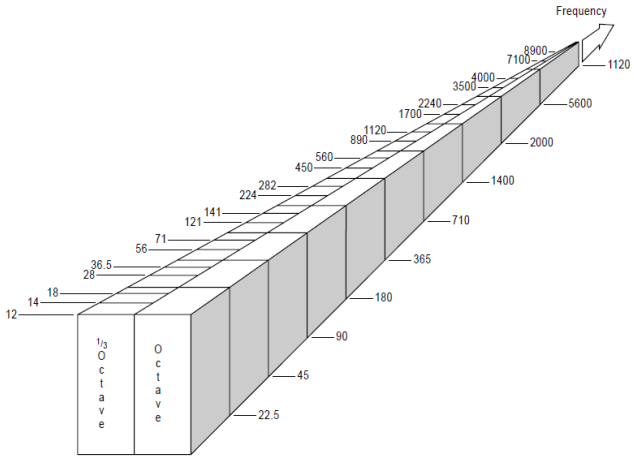
- روش پایش طیف فرکانسی

این روش مبتنی بر پایش سطح سیگنال ارتعاش است، با این تفاوت که از پهنای باند کوچک‌تر با فرکانس ثابتی برای نمونه‌برداری استفاده می‌شود (شکل ۴۸۲–۲). در این روش نیز برای بررسی وضعیت ماشین و بررسی وقوع خطا، نیاز به داده‌های مرحلهٔ قبلی دارد. یکی از استانداردهایی که می‌تواند برای پایش مبتنی بر ارتعاش مورد استفاده قرار بگیرد، استاندارد ISO 10816 است.



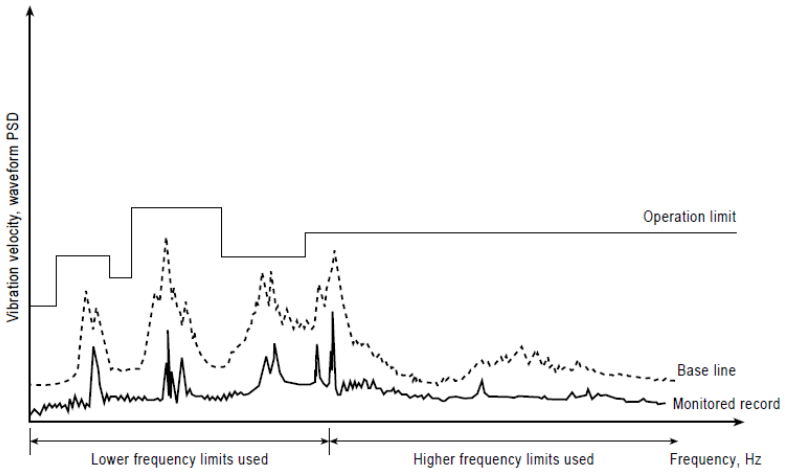
شکل ۴۸۲–۲: سطوح مختلف برای تحلیل طیف فرکانسی

در تکنیک مبتنی بر باندهای اوکتاو و یک‌سوم اوکتاو، طیف فرکانسی به باندهای گسسته‌ای تقسیم می‌شود (شکل ۴۸۳–۲) عمده‌ترین دلیل استفاده از پهنای باند مشخص و ثابت، افزایش کیفیت پردازش طیف فرکانسی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد، افزایش کیفیت داده‌های پردازش‌شده در روش مبتنی بر پهنای باند باریک، دلیل استفاده از این روش برای تشخیص عیب است.



شکل ۴۸۳-۲: پهنای باند اوکتاو و یک‌سوم اوکتاو

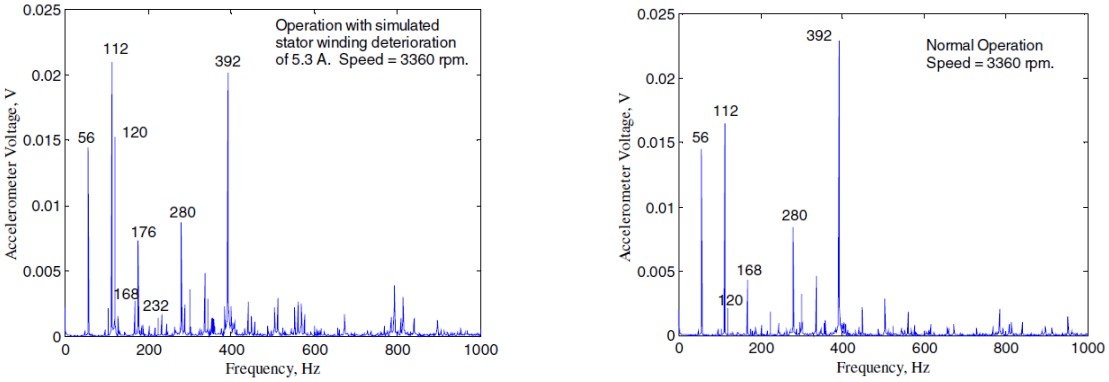
همچنین با استفاده از روش مبتنی بر پهنای باریک، امکان دنبال کردن روند افزایش مؤلفه‌های ارتعاشی به‌صورت دقیق‌تری برای بهره‌بردار فراهم می‌شود. یکی از مشکلات عمدهٔ این روش، نیاز آن به داده‌های اولیهٔ ماشین در حالت عملکرد سالم، برای مقایسه است. در روش مبتنی بر طیف فرکانسی ارتعاش، همهٔ داده‌ها به‌صورت فرکانس‌های گسسته محاسبه می‌شوند و برای ارزیابی روند پیشرفت خطا، از مقایسهٔ دامنهٔ آن‌ها با یکدیگر استفاده می‌شود. یکی دیگر از مشکلات این روش، تولید داده‌های بسیار زیاد، به دلیل استفاده از پهنای باند باریک است که می‌توان با استفاده از استانداردهای موجود در این زمینه، داده‌های کمتری را تولید کرد. در این روش به‌منظور تشخیص خطای مبتنی بر ارتعاش، می‌توان محدوده‌هایی را مبتنی بر استانداردها و یا نتایج آزمون عملی لحاظ نمود. در شکل ۴۸۴-۲ روند تشخیص خطا و همچنین محدوده‌های مشخص‌شده برای اعلام هشدار، نشان داده شده است. برای تشخیص دقیق لازم است که فرکانس‌های خاص و یا مجموعه‌ای از فرکانس‌ها بررسی شوند. برای تشخیص دقیق به‌خصوص در ماشین‌های الکتریکی که عمدتاً سرعت چرخش آن‌ها برابر و یا کمی کمتر از فرکانس منبع تغذیه است، باید از نرخ نمونه‌برداری بالا استفاده کرد.



شکل ۴۸۴-۲: محدوده عملکردی مبتنی بر طیف فرکانسی

مرجع [۶۹] به بررسی خطای اتصال کوتاه در موتورهای القایی و نحوهٔ تشخیص آن با استفاده از ارتعاش پرداخته است. بروز خطا در ماشین به‌صورت مستقیم در میدان مغناطیسی فاصلهٔ هوایی تأثیر می‌گذارد. از طرفی ارتعاش نیز با مجذور میدان مغناطیسی رابطهٔ مستقیم دارد. نتایج تست آزمایشگاهی حاکی از افزایش مؤلفه‌های فرکانسی ارتعاش در اثر بروز خطای

اتصال کوتاه در موتور القایی است که در شکل ۴-۱۰ آمده است. بررسی طیف فرکانسی حاکی از تحریک برخی از هارمونیک‌ها در سیگنال ارتعاش در اثر خطای اتصال کوتاه در استاتور موتور القایی، ازجمله ۱۲۰، ۱۷۸ و ۲۳۲ هرتز است.



الف- در حالت سالم

ب- در حالت خطا

شکل ۴۸۵-۲: طیف فرکانسی سیگنال ارتعاشات الکتروموتور

در [۵۱] مؤلفه‌های فرکانسی ارتعاش ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ هرتز و مؤلفه‌های اطراف آن به‌عنوان شاخصی برای خطای ناهم‌محوری معرفی شده است؛ اما عوامل دیگری از قبیل نداشتن تعادل و همچنین ناهم‌راستایی نیز می‌توانند این مؤلفه‌های فرکانسی ارتعاشی را در ماشین تحریک نمایند؛ ازاین‌رو استفاده از این مؤلفه‌های فرکانسی در سیگنال ارتعاش، نمی‌تواند به‌درستی خطا را نشان دهد.

همچنین در [۷۱] خطای اتصال کوتاه و همچنین نداشتن تعادل ولتاژ، در موتور القایی که با منبع قدرت ۵۰ هرتزی تغذیه می‌شود، سبب بروز مؤلفه‌های هارمونیکی در فرکانس ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ هرتز می‌شود. همچنین وقوع خطای ناهم‌محوری سبب تحریک مؤلفه‌های هارمونیکی فرکانس بالا در سیگنال ارتعاش استاتور می‌شود. لازم به یادآوری است که به دلیل حساسیت سنسورهای اندازه‌گیری به نویز و همچنین ارتعاشات ناشی از کوپلینگ و یا تجهیزات جانبی، اندازه‌گیری دقیق سیگنال ارتعاش، اهمیت بسیاری دارد.

در جدول ۱۵۸-۲ نتایج حاصل از بررسی مقالات و تشخیص انواع عیب‌های ماشین‌های دوار الکتریکی با استفاده از آنالیز طیف فرکانسی سیگنال ارتعاش آورده شده است. [۵۲-۷۳]

جدول ۱۵۸-۲ شاخص‌های استخراج‌شده برای تشخیص خطا بر اساس سیگنال ارتعاش

نوع خطا	مؤلفه‌های هارمونیکی استخراج‌شده
نداشتن تعادل روتور	*fr*
ناهم‌راستایی روتور و شفت	*fr, 2fr, 3fr, 4fr*
لقی شفت در محل یاتاقان	*fr, 2fr*
فشار روغن یاتاقان	*(0.43 to 0.48) fr*
شکستگی میله	*fr+2sfs*
اتصال کوتاه در رتور ماشین	*fs, 2fs, 4fs*
خطای ناهم‌محوری	*2fs, 4fs, 6fs*
لقی پیشانی کلاف	*2fs*

- روش آنالیز شکل موج

در روش آنالیز شکل موج ارتعاشات، در واقع سیگنال ارتعاشات تقریباً بدون هیچ‌گونه پردازشی تحلیل می‌شود. برخی از عیوب مانند شکستگی چرخ‌دنده‌ها و عیوبی که پالس ایجاد می‌کند، ارتعاشات ضربانی و ... از طریق شکل موج آسان‌تر تشخیص داده می‌شوند. با وجود سادگی این روش، یکی از ضعف‌های آن، نیاز داشتن به یک اپراتور باتجربه جهت تحلیل داده‌ها است.

- روش زاویهٔ فاز

از طریق مقایسهٔ مقادیر زاویهٔ فاز در نقاط مختلف اندازه‌گیری بر روی ماشین یا هر سازهٔ دیگر، می‌توان شمایی از چگونگی حرکت اجزای مختلف نسبت به یکدیگر را به دست آورد. در برخی موارد، مشخصات فرکانسی ارتعاشات ناشی از عیوب مختلف، مشابه یکدیگرند و ازاین‌رو، تمایز بین این عیوب تنها از طریق مشخصهٔ فرکانسی امکان‌پذیر نخواهد بود؛ لذا باید از سایر مشخصات ارتعاشات، مانند زاویهٔ فاز برای تشخیص عیب استفاده کرد، زیرا باوجود تشابه مشخصهٔ فرکانسی، الگوی زاویهٔ فاز در مورد اشکالات مختلف، متمایز است.

۷-۶-۲-۲- شرکتهای فعال در حوزه اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور

تعداد شرکتهایی که در حوزه ساخت حسگر و تجهیزات مرتبط با اندازه گیری ارتعاشات فعال می باشند قابل توجه است که در ادامه معرفی می شوند.

- شرکت MC-m

شرکت MC-m یکی از فعالترین شرکت ها در زمینه پایش وضعیت ماشین های دوار است این شرکت سوئیسی با بیش از ۱۵ سال سابقه کار در این زمینه سیستم جامع پایش وضعیت را برای ماشین های دوار مختلف ارایه می دهد. این شرکت به صورت تخصصی فقط بر روی سیستم پایش وضعیت ماشین های دوار، از جمله توربو ژنراتور، هیدروژنراتور، توربین های گازی و بخاری و توربین های بادی، که در تولید برق بکار می روند فعالیت می کند. [۱۵]

در ادامه به معرفی حسگرهای ارایه شد توسط شرکت فوق ارایه می گردد. در شکل ۴۸۶-۲ حسگر شرکت Mc-m با نام PPT-280 نشان داده شده است. برای اینکه اندازه‌گیری فاصله از شرایط و نویزهای محیط متأثر نشود از اسیلاتور با فرکانس ۷۵۰ kHz استفاده شده است. سایر مشخصات مربوط به این حسگر در جدول ۱۵۹-۲ آمده است.

شکل ۴۸۶-۲: حسگر اندازه‌گیری فاصله بر اساس عملگرد جریان گردابی (شرکت **Mc-m**)

جدول ۱۵۹-۲: مشخصات حسگر **PPT-280**

Power supply	**-20V_{DC} to -30V_{DC} or +20V_{DC} to +30V_{DC}**
Current consumption	**< 20mA**
Linear range	**0.2 to 2.2mm or 0.2 to 4.2mm**
Sensitivity	**8mV/µm or 4mV/µm**
Output range (corresponding to 0.2 to 2.2mm or 0.2 to 4.2mm depending on linear range configuration)	**-2V to -18V (-24V_{DC} configuration) or +2V to +18V (+24V_{DC} configuration)**
Temperature sensitivity (-25°C to +80°C, probe with 5m cable)	**< 300ppm/°C at mid-range (*to be confirmed*)**
Linearity (deviation from straight line)	**Within ±0.06mm (*to be confirmed*)**
Repeatability	**< 0.2%**
Frequency response (±3dB)	**0 to 2kHz**
Minimum target size	**ø20mm**

از مشخصات این حسگر می‌توان به اندازه‌گیری فاصله ۰.۲ mm تا ۴.۲ mm، داشتن حساسیت ۸ mV/µm و پاسخ فرکانسی تا ۲ kHz اشاره کرد.

این شرکت برای اندازه گیری شتاب حسگر FAS-M2 را ارایه داده است. حسگر اندازه‌گیری شتاب بر اساس فیبر نوری شرکت MCm دارای دو خروجی شتاب و جابجایی است و می‌تواند این دو پارامتر مکانیکی را به‌طور هم‌زمان اندازه‌گیری کند. مشخصات حسگر FAS-M2 در جدول ۱۶۰-۲ آمده است این حسگر نیز مانند حسگر قبلی می‌تواند در محیط‌هایی تا حداکثر دمای ۱۵۵ ^{o}C کار کند.

جدول ۱۶۰-۲: مشخصات حسگر **FAS-M2**

Outputs	**Acceleration**	**Displacement**
Sensitivity at 100Hz	100mV/g ±5%	10mV/µm ±5%
Bias voltage	+6V_{DC}	+7.5V_{DC}
Frequency response (-3dB)	10 to 400Hz	20 to 400Hz
Output resistance	100Ω ±1%	
Measuring range	0 to 40g (1mm peak-peak at 100Hz)	
Resonance frequency	>600Hz	
Transverse sensitivity	< 5% with respect to sensitive axis	
Residual noise	< 3mVrms overall noise between 20 and 400Hz	
Resolution	< 1µm peak-peak at 100Hz	

این شرکت برای پایش وضعیت ژنراتورها حسگرهای سری AGT با مشخصات متفاوت برای اندازه‌گیری فاصله هوایی ساخته است که در جدول ۱۶۱-۲ نام این حسگرها و فاصله هوایی که می‌توانند اندازه‌گیری کنند آمده است.

جدول ۱۶۱-۲: حسگرهای فاصله هوایی شرکت **Mc-m**

AGT-212	2mm to 8mm
AGT-525	5mm to 25mm
AGT-550	15mm to 35mm

AGT-550MX	35mm to 65mm

همان‌طور که گفته شد برای اندازه‌گیری فاصله هوایی لازم است که به حسگر ولتاژی اعمال شود تا بتوان در نهایت فاصله هوایی را اندازه‌گیری کرد این کار توسط دستگاه کمکی که به همراه حسگر ارائه می‌شود، انجام می‌پذیرد. به کمک این دستگاه کمکی می‌توان سه سیگنال متفاوت زیر را دریافت کرد:

ولتاژ MinGap (V)

ولتاژ پروفایل قطب (V)

جریان MinGap یا پروفایل قطب (mA)

همچنین جبران سازی اثر دما در اندازه‌گیری نیز توسط این دستگاه کمکی انجام می‌شود تا اینکه این دستگاه بتواند تا دمای ۱۲۵ درجه عملکرد خطی داشته باشد. حسگر فاصله هوایی AGT-525 به همراه دستگاه کمکی در شکل ۴۸۷-۲ نشان داده شده است ضخامت این حسگر ۳.۵ میلی‌متر و طول و عرض آن به ترتیب ۳۲ و ۲۲۱ میلی‌متر است. سایر مشخصات این حسگر در جدول ۱۶۲-۲ آمده است.

شکل ۴۸۷-۲: حسگر فاصله هوایی **AGT-525**

جدول ۱۶۲-۲: مشخصات الکتریکی حسگر فاصله هوایی **AGT-525**

Outputs	**Voltage Pole Profile**	**Current - Pole profile or MinGap**	**Voltage MinGap**
Value	2 to 10V	4 to 20mA	2 to 10V
Sensitivity to distance	0.4V/mm	0.8mA/mm	0.4V/mm
Loop resistance (current output)	n/a	Max. 500Ω	n/a
Output resistance (voltage outputs)	100Ω ±1%	n/a	100Ω ±1%
Linearity	< 5% of full scale; < 2% from 8 to 20mm		
Temperature coefficient	< 300ppm/°C at 15mm		
Typical frequency response (-3dB)	DC to 1kHz		
Output noise	< 50mVrms		
Interchangeability tolerance	< 5% of full scale		
Linear measuring range	5 to 25mm (0.2 to 1 in.)		

مشخصات حسگر پیزوالکتریک شرکت MCm در جدول ۱۶۳-۲ آمده است این حسگرها می‌توانند در محیط‌هایی تا دمای حداکثر ^{o}C ۱۲۰ کار کنند همچنین این حسگرها محدوده فرکانسی وسیعی دارند و می‌توانند از چند دهم هرتز تا چند کیلوهرتز مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۱۶۳-۲: مشخصات حسگر پیزوالکتریک شرکت **MCm**

Model version	**PAS-103 M1**	**PAS-103 M5**
Measuring principle	Piezoelectric annular shear mode with built-in electronic	
Measuring parameter	Vibration acceleration	
Electrical grounding	Isolated from machine ground	
Shielding	Internal Faraday shielding	
Isolation case to shield	100MΩ	
Sensitivity	100mV/g ±5%	500mV/g ±5%
Output impedance	200Ω nominal	
Output bias voltage	+10V_{DC}	
Residual noise (24°C)		
1Hz to 25kHz	300µg rms	25µg rms
1Hz	30µg	2.4µg
Frequency response		
±10%	1 to 6'000Hz	0.4 to 1'600Hz
±3dB	0.5 to 10'000Hz	0.2 to 3'700Hz
Mounted resonant frequency	22kHz nominal	16kHz nominal
Dynamic range	80g pk	10g pk
Transverse sensitivity	< 5% max of nominal sensitivity at 20Hz, 5g	
Linearity	±1% max	
Temperature range continuous operation)	-55°C to +120°C	-55°C to +90°C

- شرکت VibroSystem

شرکت VibroSystem که از شرکت‌های فعال درزمینه پایش وضعیت ماشین‌های دوار هست حسگرهای PES-302 و PES-305 را برای اندازه‌گیری فاصله بر اساس جریان گردابی ساخته است. مشخصات مربوط به حسگر PES-305 در جدول ۱۶۴-۲ آمده است. [۱۴]

جدول ۱۶۴-۲: مشخصات حسگر **PES-305**

• Measuring Range*	0 to 5 mm *[0 to 197 mils]*
• Outputs*	6.67 to 20 mA 1.67 to 10 V
• Sensitivity*	2.67 mA/mm *[67.7 µA/mil]* 1.67 V/mm *[42.3 mV/mil]*
• Accuracy	According to correction factor
• Repeatability	± 5%
• Bandwidth	DC to 1000 Hz (-3dB)
• Load at Current Output	500 Ω max.
• Load at Voltage Output	10 kΩ min.
• Temperature Drift	< 10%

سری دیگری از این حسگرها که برای اندازه‌گیری فاصله‌های کوچک‌تر مناسب است توسط شرکت‌های مختلف ساخته شده است که این حسگرها می‌تواند برای کاربردهای خاص یا به‌عنوان جایگزین برای حسگر جریان گردابی مورد استفاده قرار گیرد در ادامه به دو مورد از این حسگرها که در پایش وضعیت ماشین‌های دوار کاربرد دارند اشاره شده است.

حسگرهای خازنی به علت ضخامت کم می‌توانند در جاهای خاصی تعبیه شود از این حسگرها می‌توان برای اندازه‌گیری ارتعاشات انتهای شینه‌های استاتور استفاده کرد به این صورت که می‌توان این حسگرها را بر روی شینه استاتور نصب کرد و فاصله شینه تا بدنه را اندازه‌گیری کرد که به این طریق می‌توان به ارتعاشات انتهای شینه‌ها پی برد. در شکل ۴۸۸-۲

نمونه‌ای از این حسگر برای اندازه‌گیری فاصله بین شینه و بدنه، که توسط شرکت Vibrosystem ساخته شده است، نشان داده شده است.

شکل ۴۸۸-۲: حسگر اندازه‌گیری فاصله خازنی برای ارتعاش انتهای شینه

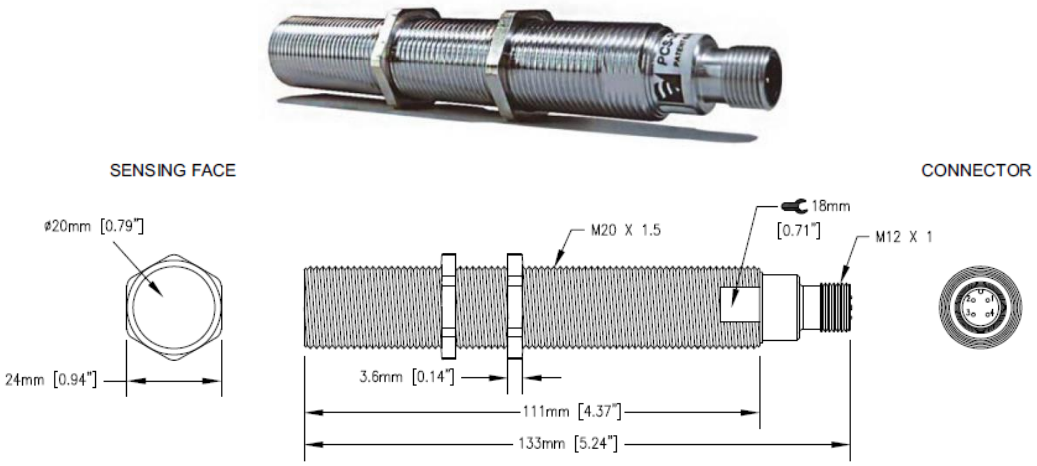
مشخصات این حسگر در جدول ۱۶۵-۲ آمده است مطابق این جدول این حسگرها برای اندازه‌گیری فاصله‌های کمتر از ۲.۵ mm بکار می‌رود.

جدول ۱۶۵-۲: مشخصات حسگر فاصله خازنی برای فاصله‌های کم

Sensor	**DCS-400**	**SBV-202P**
Nominal Measuring Range	0.5 to 2.5 mm [20 to 99 mils]	0.3 to 2.3 mm [12 to 91 mils]
Sensor Integral Cable Length	40 cm [15.7 in]	6 m [19.7 ft]
Extension Cable Length	10 m [33 ft]	---
Conditioner Model	LIN-340-10S-0.5/2.5	LIN-302VP-6I-0.3/2.3
Output	4 to 20 mA	
Bandwidth	DC to 1.2 kHz (-3 dB)	
Sensitivity	8 mA/mm *[203 µA/mil]*	8 mA/mm *[203 µA/mil]*
Accuracy (full scale) 0 to 30% 0 to 70% 0 to 100%	 ± 1 % ± 3 % ± 6 %	 ± 1 % ± 4 % ± 8 %
Repeatability (% of reading)	± 0.3 %	± 0.3 %
Temperature Drift (at mid-range)	< 500 ppm/°C	< 800 ppm/°C
Load at Output	500 Ω max.	

همچنین حسگرهای خازنی می‌توانند به‌عنوان جایگزین برای حسگرهای جریان گردابی استفاده شوند یکی از عیب‌های حسگرهای جریان گردابی این بود که ضریب تبدیل بین ولتاژ تولید شده و فاصله به جنس فلز مقابل بستگی داشت و نتایج برای فولاد و فولاد ضدزنگ متفاوت بود و به همین دلیل لازم بود که این حسگر قبل از استفاده کالیبره شوند. اما در حسگرهای خازنی ضریب تبدیل بین ولتاژ تولید شده و فاصله ارتباطی به جنس فلز ندارد و نیاز به کالیبره کردن قبل از استفاده وجود ندارد.

مشخصات حسگر خازنی PCS-304 شرکت VibroSystem (شکل ۴۸۹-۲)، که به‌عنوان جایگزین برای حسگرهای جریان گردابی ساخته شده است، در جدول ۱۶۶-۲ آمده است.



شکل ۴۸۹-۲: حسگر خازنی اندازه‌گیری فاصله جایگزین برای حسگرهای جریان گردابی

جدول ۱۶۶-۲: مشخصات حسگر اندازه‌گیری فاصله **PCS-304**

• Measurement Type	Non-Contact Proximity, Capacitive Technology
• Measuring Range	0.5 to 4.5 mm *[19.7 to 177 mils]*
• Output	4 to 20 mA
• Sensitivity	4 mA/mm *[0.1 mA/mil]*
• Accuracy	± 2.5% F.S.R.
• Repeatability	± 0.5% F.S.R.
• Bandwidth	0 to 1000 Hz (-3dB)
• Load at Current Output	500 Ω max.
• Temperature Drift	< 500 ppm/°C (at mid-range)
• Short Circuit Protection	Built-In

از این حسگرها در اندازه‌گیری شتاب نواحی مختلف در ماشین استفاده می‌شود و شرکت‌های مختلف حسگرهای متعددی برای این کار توسعه داده‌اند. شرکت VibroSystem حسگرهای FOA-100E و FOA-200 را برای این منظور ساخته است که مشخصات آن در جدول ۱۶۷-۲ آمده است.

شکل ۴۹۰-۲: حسگر اندازه‌گیری شتاب بر اساس فیبر نوری شرکت **VibroSystem**

جدول ۱۶۷-۲: حسگر اندازه‌گیری شتاب **FOA-200**

• Sensitivity	100 mV/g ±5%
• Measuring Range	0 to 40 g Peak
• Bandwidth	10 to 1000 Hz (-3 dB)
• Voltage Output	6 Vdc ±5% Bias, ±4 Vac
• Sensitivity Deviation vs Temperature	
Class A	±10% max. @ 105°C *[221°F]*
Class F	±10% max. @ 155°C *[311°F]*
• Maximum Shock Acceleration	1000g Half Sine 1 ms Duration
• Resonance Frequency	> 2 kHz
• Transverse Sensitivity	< 5% Respecting Sensitive Axis
• Residual Noise	< 6 mV RMS

در اینجا g شتاب گرانش ($9.8\ m/s^2$) است. فرکانس پایین این حسگر ۱۰ Hz است و همچنین می‌تواند در محیط‌هایی تا دمای ۱۵۵ °C نیز مورد استفاده قرار گیرد.

مشخصات حسگر پیزوالکتریک شرکت VibroSystem در جدول ۱۶۸-۲ آمده است این حسگرها می‌توانند در محیط‌هایی تا دمای حداکثر ۹۰ °C کار کنند همچنین این حسگرها محدوده فرکانسی وسیعی دارند و می‌توانند از چند دهم هرتز تا چند کیلوهرتز مورد استفاده قرار گیرند.

جدول ۱۶۸-۲: مشخصات حسگر شتاب سنج شرکت **VibroSystem**

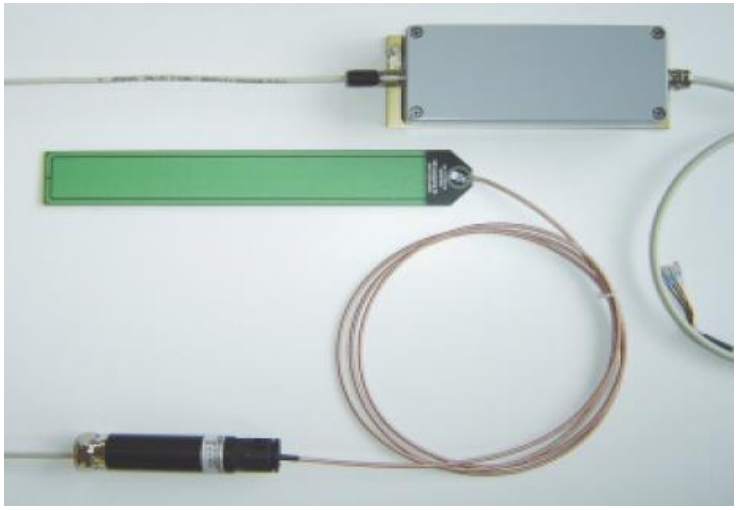
• Sensitivity	500 mV/g ±5%
• Measuring Range	10g Peak
• Amplitude Nonlinearity	1%
• Bandwidth	0.4 to 1600 Hz (- 10%)
	0.2 to 3700 Hz (-3 dB)
• Resonance Frequency	16 KHz Nominal
• Transverse Sensitivity	<5%
• Sensitivity Deviation	-10% @ - 55°C *[-67°F]*
vs Temperature	-3% @ 0°C *[32°F]*
	5% @ 90°C *[194°F]*
• Residual Noise	25 µg RMS
• Output Impedance	50Ω Nominal
• Bias Output Voltage	12 Vdc ± 10%
• Grounding	Case Isolated, Internally Shielded
• Isolation (Case to Shield)	100 MΩ Minimum

- سایر شرکتها

شرکت BKvibro نیز برای پایش وضعیت ماشین‌های دوار از اندازه‌گیری فاصله هوایی به‌صورت آنلاین استفاده می‌کند و سه حسگر خازنی که برای طول‌های مختلف فاصله هوایی طراحی شده‌اند را ساخته است (مطابق جدول ۱۶۹-۲). حسگر فاصله هوایی EQ2431-A2 در شکل ۴۹۱-۲ نشان داده شده است و سایر مشخصات آن در جدول ۱۷۰-۲ و جدول ۱۷۱-۲ آمده است. [۱۲]

جدول ۱۶۹-۲: حسگرهای فاصله هوایی شرکت **BKvibro**

مدل	فاصله قابل اندازه گیری
EQ2431-A	5 to 25mm
EQ2431-A2	15 to 35mm
EQ2431-A3	20 to 50mm



شکل ۴۹۱-۲: حسگر فاصله هوایی **EQ2431-A2**

جدول ۱۷۰-۲: مشخصات الکتریکی حسگر فاصله هوایی **EQ2431-A2**

Linear measuring range..... 15 to 35mm (0.6 to 1.4in.)

Outputs

Output voltage – Pole profile ..... 2 to 10V
Sensitivity to distance 0.4V/mm
Output resistance ..... <100Ω
Output voltage – Minimum gap..... 2 to 10V
Residual ripple ..... Depends on rotor speed
Linearity of outputs in measuring range .... <2% of reading
Output current – Pole profile or Min. gap.....
Current loop resistance ..... Max 500 ohms
Temp. coefficient of sensitivity..... Typical 500 ppm/°C
Output noise (peak) ..... <1% of reading
Typical frequency response..... (-3dB) 1kHz
Interchangeability tolerance..... <3% of reading

جدول ۱۷۱-۲: مشخصات محیطی حسگر فاصله هوایی **EQ2431-A2**

Temperature range		
Operation	Sensor	-15°C to +125°C *(+5 to +259°F)*
	Conditioner	-15°C to +55°C *(+5 to +131°F)*
Non destructive	Sensor	-40°C to +150°C *(-40 to+302°F)*
	Conditioner	-20°C to +70°C *(-5 to+212°F)*
Humidity		Resistant to 95% RH
Vibration		IEC 68.2.27 standard, 5g peak, 10Hz to 150Hz
Shock		IEC 68 2.27 standard, 15g peak, 11ms

شرکت IRIS یکی دیگر از شرکت‌های فعال درزمینه پایش وضعیت ماشین‌های دوار حسگرهای فاصله هوایی مدل CGS را با مشخصات جدول ۱۷۲-۲ ساخته است.

جدول ۱۷۲-۲: مشخصات حسگرهای فاصله هوایی شرکت **IRIS**

TYPE	CGS- 02	CGS - 03	CGS - 04
Dimension	135 x 32 x 1.7mm	230 x 32 x 2.4mm	250 x 40 x 3.2mm
Maximum Sensor Distance From Top of Core	0.5m (1.6 ft)	1m (3.2ft)	1m (3.2ft)
Interface to Module Length	10m		
Operating Temperature	- 15 °C to 125 °C		
Measuring Range	3mm to 15mm	5mm to 25mm	10mm to 50mm
Full Range Accuracy	±3%	±3%	±5%
Recommend Range for Nominal Air Gap	5mm to 12mm	12mm to 22mm	22mm to 47mm
Temperature Drift	<300ppm/ °C		

حداقل فاصله قابل اندازه‌گیری توسط این حسگر ۳ میلی‌متر و حداکثر ۵۰ میلی‌متر هست و همچنین رنج ناحیه خطی این حسگرها نیز محدود می‌باشد به همین دلیل این حسگر باید بر اساس میزان فاصله هوایی انتخاب شود.

۸-۶-۲-۲- بررسی سایر روشهای آنلاین پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی

اندازه‌گیری دما و آنالیز شیمیایی نیز بعنوان سایر روشهای مکمل آنلاین برای اطلاع از وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار است. در این بخش ابتدا روش اندازه‌گیری دما و نحوه تحلیل نتایج برای پایش وضعیت حرارتی ماشین‌های الکتریکی ارایه می‌شود.

- پایش دمای ژنراتور

بروز هر گونه عیبی در ماشین های الکتریکی عمدتا با تغییراتی در دمای آن همراه خواهد بود. لازم به ذکر است که با بررسی افزایش دما در ماشین های الکتریکی علاوه بر اینکه می توان از وقوع و یا عدم وقوع عیب مطلع گردید می توان از آن تا حدودی به عنوان ابزاری برای تشخیص نوع عیب استفاده نمود. با این وجود مهمترین کاستی این روش عدم تشخیص شدت عیب رخداده در ماشین می باشد. همچنین لازم به ذکر است افزایش دما و محدوده مجاز آن بر اساس عایق مورد استفاده در ماشین مشخص می گردد. کلاس عایقی در ماشین های الکتریکی بر اساس محل مورد استفاده و همچنین صلاحدید طراح ماشین های الکتریکی مشخص می گردد. مهم‌ترین عیب‌هایی که وقوع آن‌ها منجر به افزایش قسمتهای مختلف ماشین‌های الکتریکی می‌شود به شرح زیر است:

- عیب در سیستم خنک کاری

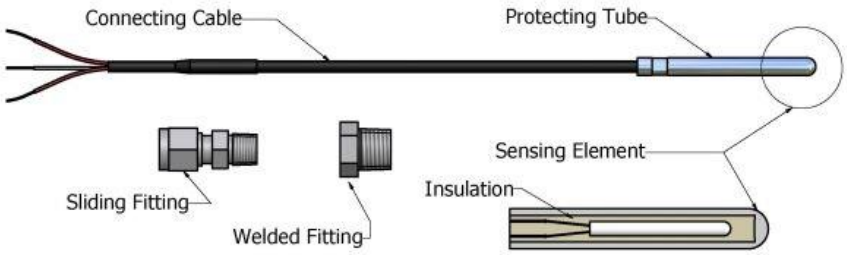
- عیب در سیستم یاتاقان
- عیب در ساختار استاتور و روتور

در این میان، شناسایی و کشف عیوب مربوط به روتور بسیار اهمیت دارد. زوال سیستم عایقی شینه های روتور که معمولا بدلیل تنشهای بهره برداری رخ می دهد در دزار مدت منجر به شکست عایقی و وقوع اتصال کوتاه در هادی های مس خواهد شد. با بروز اتصال کوتاه، دامنه جریان عبوری در بخش هایی از شینه روتور افزایش می یابد که منجر به شکل گیری نقاط داغ در داخل رتور خواهد شد. در صورت کشف و تشخیص عیب فوق، می توان با خارج کردن با برنامه ژنراتور، نسبت به تعمیر و اقدام اصلاحی بر روی روتور اقدام کرد. در صورت عدم تشخیص بموقع و گسترش عیب ، منجر به صدمه جدی روتور خواهد شد.

روش‌ها و حسگرهایی که برای اندازه‌گیری حرارت در ماشین‌های دوار استفاده می‌شود عبارت‌اند از:

- حرارت سنج مقاومتی (RTD[1])
- ترموکوپل
- فیبر نوری

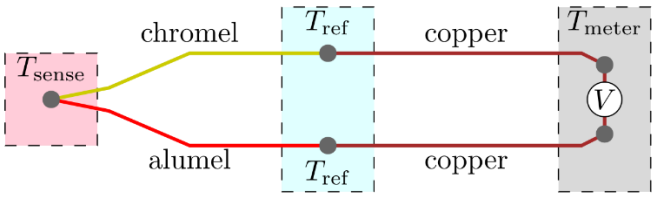
حرارت سنج مقاومتی (RTD) از تغییر مقاومت فلزات برای اندازه‌گیری حرارت استفاده می‌کند. معمولاً از فلزات پلاتین و نیکل به علت مقاوم در برابر خوردگی و حساسیت در مقابل درجه حرارت استفاده می‌شود.RTD–ها در رنج وسیعی از تغییرات حرارتی رفتار خطی دارند و از دقت و صحت بالایی نیز برخوردارند اما حساسیت آن‌ها پایین است. شکل ۴۹۲–۲ ساختار این حسگرها را نشان می‌دهد. [۸۰–۷۷]



شکل ۴۹۲–۲: حسگر حرارت سنج مقاومتی (**RTD**)

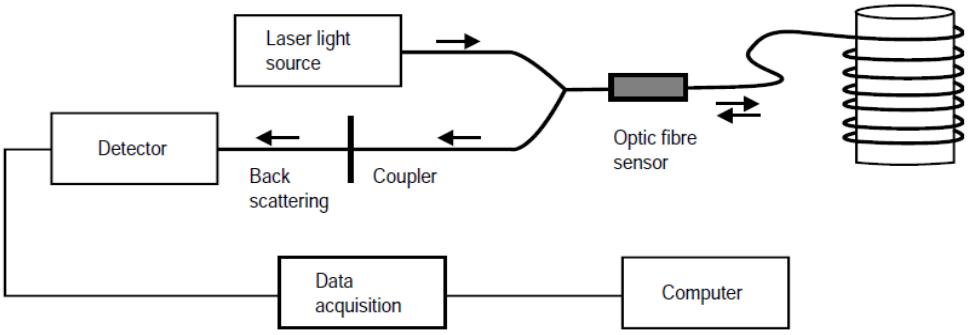
ترموکوپل یکی از پرمصرف‌ترین حسگرهای اندازه‌گیری دما محسوب می‌گردد . این حسگرهای ساده با استفاده از اتصال یک فلز و آلیاژ آن و با توجه به اثر سیبک[2] تولید می‌شوند و با همین مکانیزم ساده قادر به اندازه‌گیری دما در رنج وسیعی از زیر صفر تا حدود ۱۷۰۰ درجه می‌باشند (شکل ۴۹۳–۲) . با توجه به پدیده سیبک اتصال هر دو فلز از نوع مختلف باعث ایجاد ترموکوپل شده و تولید میلی ولتی متناسب با دمای اعمال شده می‌کند از این رو انواع مختلفی از ترموکوپل می‌توان تولید کرد که در استانداردهای متداول می‌توان از انواع ۱۰ یا ۱۲ نوع ترموکوپل یاد کرد که در مدل‌های مختلف و با اشکال گوناگون تولید می‌شود .

[1] Resistance Temperature Detector
[2] Seeback



شکل ۴۹۳-۲: نحوه عملکرد ترموکوپل

یکی دیگر از حسگرهای مورد استفاده در اندازه‌گیری حرارت، فیبر نوری است که می‌تواند در جاهایی با شرایط سخت و ولتاژ فشارقوی نیز نصب شود. اساس عملکرد این حسگر در فصل قبل بیان شد که در اندازه‌گیری دما نیز از همان مکانیزم استفاده می‌کند. شکل ۴۹۴-۲ نحوه اندازه‌گیری دما را با استفاده از فیبر نوری نشان می‌دهد. طول موج برگشتی تحت تأثیر دما تغییر می‌کند و با اندازه‌گیری طول موج برگشتی می‌توان میزان دما را اندازه‌گیری کرد.[۸۰-۷۷]



شکل ۴۹۴-۲: نحوه عملکرد فیبر نوری برای اندازه‌گیری دما

حسگر فیبر نوری شرکت VibroSystem در شکل ۴۹۵-۲ نشان داده شده است. مشخصات این حسگر در جدول ۱۷۳-۲ آمده است.

شکل ۴۹۵-۲: حسگر فیبر نوری برای اندازه‌گیری دما شرکت **VibroSystem**

این حسگر می‌تواند برای اندازه‌گیری دمای بین ۲۵ تا ۱۲۵ به کار برده شود خروجی این حسگر به‌صورت جریان است و به ازای هر درجه تغییر در دما جریان خروجی 0.128 mA تغییر می‌کند. همان‌طور که قبلاً نیز گفته شد از این حسگرها می‌توان برای اندازه‌گیری دما در شینه‌های فشارقوی و اطراف آن استفاده کرد.

جدول ۲-۱۷۳: مشخصات حسگر **FOT-100**

Operation

• Sensitivity	0.128 mA/°C *[0.071 mA/°F]*
• Measuring Range	25 to 125°C *[77 to 257°F]*
• Output	7.2 to 20 mA
• Accuracy	±5°C *[±9°F]*
• Repeatability	±2°C *[±3.6°F]*
• Maximum Response Time*	
63%	1 Minute
90%	3 Minutes
• Output Load	500 Ω max.
• Temperature Drift (conditioner)	< 500 ppm/°C

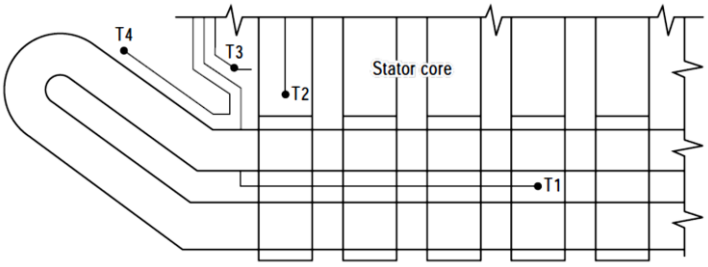
Power Requirements

• Voltage	24 Vdc ± 15%
• Consumption	50 mA max.

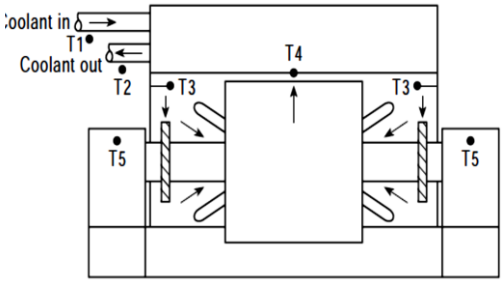
اندازه‌گیری دما جهت پایش وضعیت ماشین‌های دوار دارد توسط سه روش زیر انجام می‌شود:

۱. اندازه‌گیری دمای محلی با استفاده از حسگرهای تعبیه شده در ماشین
۲. استفاده از عکس حرارتی، برای نظارت بر دمای داغ‌ترین نقطه در دستگاه
۳. اندازه‌گیری دمای توزیع‌شده در ماشین یا دمای کلی مایعات خنک کننده

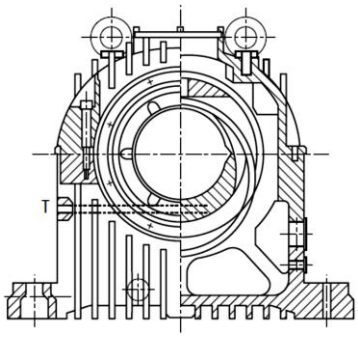
در شکل ۲-۴۹۶ جاهای مختلفی که می‌توان اندازه‌گیری دما را انجام داد نشان داده شده است.



a) Embedded between conductors in the slot portion (T1)
Embedded in core pack laminations (T2)
Mounted on potentially hot components such as pressure plates (T3)
Embedded on conductors in the end winding portion (T4)



Water or air inlet to the heat exchanger (T1)
Water or air outlet from the heat exchanger (T2)
Re-entry air to the machine from the heat exchanger (T3)
Exhaust air from the machine to the heat exhanger (T4)
Bearing temperatures (T5)

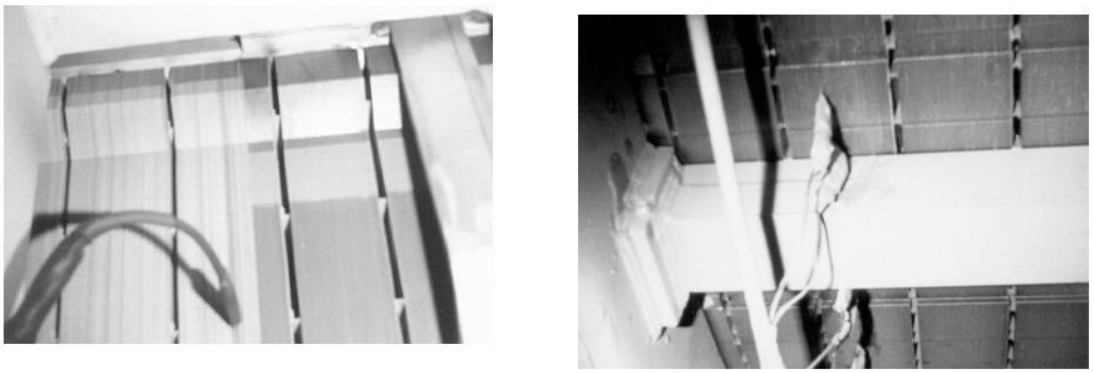


c) Bearing temperature (T)

شکل ۴۹۶-۲: جاهای مختلف اندازه‌گیری دما در ماشین‌های دوار

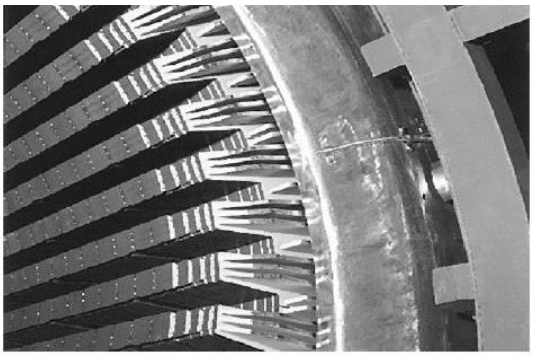
بر این اساس مهمترین اندازه گیری های دما در ژنراتورهای نیروگاهی شامل موارد زیر است[۸۰-۷۷] :

- اندازه گیری دمای سیم پیچی رتور و استاتور
  - اندازه گیری دمای رتور با استفاده از حسگر و مادون قرمز
- هسته استاتور و فریم
  - اندازه گیری دمای هسته با استفاده از ترموکوبل
  - اندازه گیری دمای صفحه کلمپینگ هسته با استفاده از RTD
  - اندازه گیری دمای سیال مربوط به سیستم خنک کاری
  - دمای مجرای خروجی از شینه ها
  - دمای شینه های شیار
- یاتاقان
  - دمای فلز یاتاقان
  - دمای روغن ورودی به یاتاقان
  - دمای روغن خروجی یاتاقان
- دمای هیدروژن
  - دمای فلز سیل هیدروژن
  - دمای روغن ورودی به سیل هیدروژن
  - دمای روغن خروجی از سیل هیدروژن
- دمای گاز هیدروژن سرد
- دمای گاز هیدروژن گرم
- دمای نقطه شبنم گاز هیدروژن



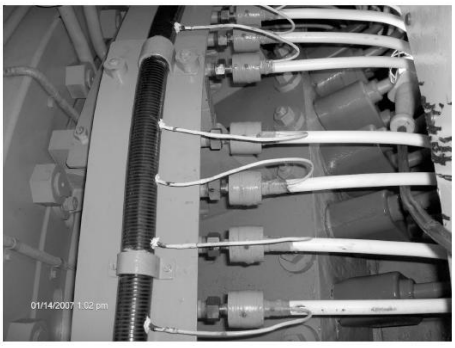
شکل ۴۹۷-۲: ترموکوپلهای قرار داده شده در هسته

اندازه‌گیری محلی می‌تواند توسط حسگرهایی مانند RTD که در جاهای مناسبی در ماشین دوار نصب شده‌اند انجام شود. این حسگرها در هسته استاتور و سیم‌پیچی جاسازی می‌شوند که اگر مکان نصب این حسگرها به شینه‌های فشارقوی نزدیک باشد باید از حسگرهای فیبر نوری، که قابلیت بالایی در تحمل شرایط نامناسب را دارند، استفاده شود. اگر مکان این حسگرها به خوبی انتخاب شود (گرم‌ترین نقطه از ژنراتور که می‌تواند قسمتی از شیار یا انتهای سیم‌پیچ باشد) این اندازه‌گیری می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد شرایط ماشین در اختیار قرار دهد.

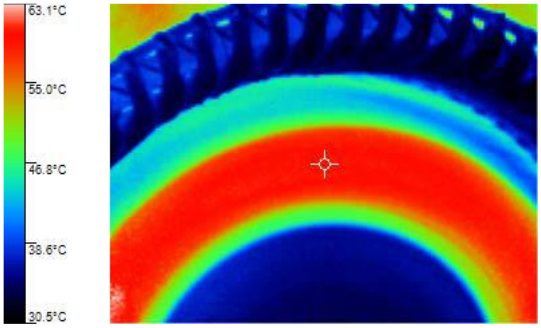


شکل ۴۹۸-۲: ترموکوپل قرار داده شده در انتهای هسته

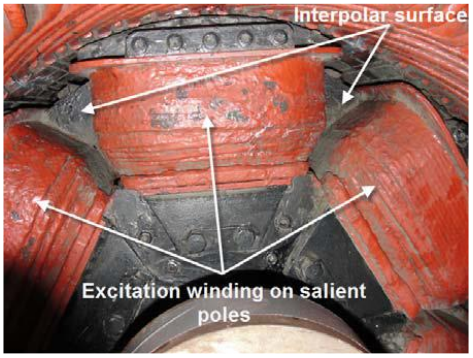
اطلاع از اندازه دمای نقاط حساس می‌تواند آرامش خاطر کافی در مورد عملکرد مناسب ماشین را به ارمغان بیاورد، اما همیشه سوءظن آزار دهنده‌ای وجود دارد که شاید حسگرها در داغ‌ترین نقطه ماشین نصب نشده‌اند. راه‌حل اطلاع از نقطه داغ ماشین استفاده از عکس‌برداری حرارتی است که به طور گسترده‌ای در ترانسفرمرها به کار می‌رود ولی در مورد ماشین‌های دوار این روش زیاد مورد استقبال قرار نگرفته است.[۸۵-۸۱]



شکل ۴۹۹-۲: ترموکوپل بروی خروجی شینه ها



الف- دمای قسمتهای مختلف ماشین



ب- قطب های تحریک ژنراتور سنکرون قطب برجسته

شکل ۵۰۰-۲: اندازه گیری دمای رتور در ژنراتور سنکرون قطب برجسته

حتی با وجود اطلاع از نقطه داغ در ماشین و دانستن میزان دمای آن همواره این تمایل وجود دارد که دمای کلی ماشین را نیز بدانیم که این کار را می‌توان با اندازه‌گیری افزایش دمای مایع خنک کننده داخلی و خارجی توسط ترموکوپل‌ها به دست آورد. این اندازه‌گیری معمولاً در ماشین‌های بزرگ انجام می‌شود.

- آنالیز شیمیایی سیال خنک کننده ژنراتور

مواد عایقی استفاده شده در ماشین‌ها تحت تأثیر تنش‌های الکتریکی، مکانیکی و حرارتی تجزیه می‌شوند روغن روان کاری کننده نیز علاوه بر محصولات تجزیه خود محصولات دیگری نیز مانند سایش یاتاقان را در خود دارد. برای اینکه بتوانیم قبل از تخریب کامل سیستم عایقی و سیستم روان کاری کننده از قبل مطلع شویم لازم است که موارد و ذرات شیمیایی تولید شده در اثر تجزیه بررسی شود.

پایش شیمیایی تخریب عایق می‌تواند با تشخیص وجود ذرات معلق در گاز خنک کننده و یا با تشخیص گازهای ساده مانند مونوکسید کربن و ازن، و یا گازهای هیدروکربن پیچیده‌تر مانند اتیلن و استیلن صورت گیرد. [۹۱-۸۶]

تشخیص دود ناشی از تجزیه عایق ساده‌ترین و کلی‌ترین تکنیک پایش شیمیایی است. برای تشخیص دود می‌توان از محفظه یونی استفاده کرد.

بسیاری از فعالان در زمینه پایش وضعیت توصیه می‌کنند که اگر سیستم پایش هسته آلارمی داد باید نمونه‌برداری از مواد ذرات شیمایی باید انجام شود. به‌منظور جمع‌آوری مقدار قابل تشخیص ذرات در یک زمان کوتاه، لازم است نرخ بسیار زیاد جریان گاز از طریق فیلتر عبور کند. با وجود تأکید بر نمونه‌برداری از گاز برای مطالعات بعدی، اجماعی در مورد روش تحلیل این گازها وجود ندارد.

یک جایگزین برای تشخیص و تجزیه و تحلیل ذرات، شناسایی محصولات و گاز ناشی از تجزیه در اثر حرارت، مانند گازهای هیدروکربن و یا مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن در گاز خنک کننده است. مزیت‌هایی در انجام این کار وجود دارد.

روش تجزیه و تحلیل گاز، که برای هیدرو ژنراتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد، با استفاده از یک آشکارساز کروماتوگرافی گازی و یونیزاسیون شعله برای اندازه‌گیری میزان هیدروکربن‌ها در هیدروژن انجام می‌شود. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اکثر ترکیبات آلی موجود در گاز خنک کننده نمی‌تواند با یک تکنیک غلظت تشخیص داده شود.

یکی روش دیگر تشخیص آفلاین گاز که در ماشین‌های مدرن، بزرگ و با خنک‌کنندگی هوا مورد استفاده قرار گیرد اندازه‌گیری غلظت ازن برای تشخیص شروع و پیشرفت فرسایش عایق‌ها ناشی از فعالیت تخلیه جزئی است. عایق اپوکسی

سیم‌پیچ در شرایط خنک‌کنندگی هوا با چنین مشکلی مواجه می‌شود که می‌تواند به نارسایی عایق عمده منجر شود. این تکنیک با موفقیت بر روی هیدرو ژنراتورهای بزرگ، که ولتاژ استاتور تا ۲۴ کیلوولت دارد و از هوا به عنوان خنک کننده استفاده می‌شود، انجام شده است. [۹۴-۸۸]

روش دیگر اندازه‌گیری این است که به‌جای اینکه اندازه‌گیری‌ها به‌صورت آفلاین انجام شود این اندازه‌گیری‌ها به‌صورت آنلاین انجام شود مزیت اندازه‌گیری آنلاین گاز این است که می‌توان قبل از بروز خسارت‌های جدی هشدارهای لازم را داد. عیب اندازه‌گیری آنلاین این است که معمولاً نمی‌توان ترکیب گازهای شیمیایی را به یک پارامتر قبل فهم از شرایط ماشین تبدیل کرد. [۹۵و ۹۶]

برای روش‌های دیگر مانند آنالیز روغن، که به‌صورت گسترده در ترانسفرمرها استفاده می‌شود، هیچ مکانیسم روشنی برای تشخیص عیب با استفاده تحلیل این روغن‌ها، برخلاف ترانسفرمر، وجود ندارد. با اینکه روش‌هایی برای آنالیز روغن در ژنراتورها به‌صورت آفلاین پیشنهاد شده است ولی این روش‌ها هیچ موفقیت قابل ملاحظه‌ای در تشخیص عیب به دست نیاورده‌اند.

تجزیه شیمیایی مواد عایقی و مواد روان کاری قابل تشخیص هستند و می‌توانند یک معیار کلی از وضعیت ماشین‌های الکتریکی را بیان کنند. اگرچه معیار تشخیص عیب با استفاده از این روش اندازه‌گیری مشکل است و آنالیز شیمایی در کل فرایند پیچیده و گرانی است و عملاً استفاده از این روش برای ارزیابی وضعیت ماشین‌های دوار فقط به ژنراتورهای بزرگ محدود می‌شود. که اگر سیستم اندازه‌گیری تخلیه جزئی بر روی ژنراتور نصب شده باشد استفاده از این روش باز محدودتر خواهد بود.

۹-۶-۲-۲- بررسی فناوری سیستمهای جامع پایش وضعیت ژنراتورهای نیروگاهی

در بخش‌های قبل روشهای مختلف پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی بررسی و تحلیل گردید. شاید هر یک از روشهای فوق به تنهایی قابلیت تشخیص و پایش عیوب ژنراتور و الکتروموتورهای توان بالا را داشته باشند اما همواره چالش عدم قطعیت در تشخیص به موقع و درست عیب وجود خواهد داشت. از اینرو استفاده از روشهای مختلف و بررسی روند طولانی تغییرات مربوط به شاخص ها تحت عنوان یک سیستم پایش جامع می تواند علاوه بر تشخیص به موقع عیوب ماشین، موجب افزایش قابلیت اطمینان سیستم شود. در واقع هدف اصلی از ایجاد مراکز جامع پایش وضعیت آنلاین، ایجاد یک بانک اطلاعات قدرتمند جهت تشخیص دقیق خطا و انجام تعمیرات هدف دار (با مشخص شدن زمان تعمیر و نوع تعمیر) است.

در سالهای اخیر سیستمهای پایش وضعیت ژنراتورهای نیروگاهی با توجه به توسعه فزاینده ای که در حوزه فناوری حسگرها و ICT صورت پذیرفته، رشد چشمگیری یافته اند.

مهمترین ساختارهایی که برای این سیستمها وجود دارد می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- پایش وضعیت تک ماشینه با نصب تجهیزات بر روی یک ژنراتور
۲- توسعه سخت افزاری و نرم افزاری و ایجاد شبکه های محلی برای پایش وضعیت چند ژنراتور مربوط به یک نیروگاه (مراکز پایش محلی)
۳- ایجاد مراکز جامع پایش وضعیت آنلاین با غلبه بر چالشهای فنی انتقال داده های پر حجم با استفاده از فناوری فیبر نوری و اینترنت اشیاء (مراکز پایش مرکزی و جامع)

یک مرکز پایش وضعیت دارای اجزاء زیر است و ملاحظات فنی که در خصوص هر یک از موارد زیر وجود دارد در زیر آورده شده است:

- حسگرهای اندازه گیری
- سیستم اندازه گیری و ذخیره داده (بصورت محلی)
- تحلیل داده (کاهش حجم داده)
- انتقال داده به مرکز جامع (سیستم اسکادا، تحت WEB) و مباحث امنیت شبکه
- سیستم های پایش عیب و تشخیص خطا
- سیستم تشخیص نوع و زمان تعمیر
- بهبود نرم افزار پایش وضعیت

جدول ۱۷۴-۲ : ملاحظات فنی اجزاء اصلی سیستم پایش وضعیت

اجزاء	توضیحات	ملاحظات فنی
حسگرهای اندازه گیری	- حسگرهای دما (RTD و ترموکوبل) و ارتعاشات (حسگر اندازه گیری شتاب و جابجایی) بصورت روتین بر روی قسمتهای مختلف یک ژنراتور نیروگاهی نصب هستند. برای اندازه گیری ارتعاشات انتهای شینه و PD نیاز به نصب حسگر های جدید می باشد. - استفاده از حسگرهای بی سیم با قابلیت ارسال اطلاعات در قالب Wifi و RF مورد توجه قرار گرفته است.	- حساسیت زیاد - دقت بالا - فرکانس نمونه برداری - PD Free (مربوط به کوپلرهای PD) - سیگنال خروجی با حداقل نویز - سیگنال خروجی سازگار با باس
سیستم انتقال داده	- استفاده از کابلهای مسی و انتقال بیسیم Wifi (در ساختار تک ماشینه و چند ماشینه در محل نیروگاه) - استفاده از بستر فیبر نوری (شبکه OPGW شرکت توانیر و یا سیستم MPLS شرکت ملی مخابرات) در ساختار مراکز جامع محلی و مرکزی	- رعایت استاندارد IEEE 802.11b برای انتقال بی سیم - رعایت استاندارد IEEE 802.3 برای اترنت - برخورداری از پهنای باند فرکانسی مناسب - سرعت انتقال بالا - دارا بودن امنیت کافی
مرکز داده	- مرکز داده دارای ساختاری ماژولار است و با توجه ساختار سیستم پایش (تک ماشینه، محلی و مرکزی) حافظه، پهنای باند و سرعت CPU آن انتخاب می شود.	- بر اساس استاندارد ANSI / BICSI 002
نرم افزارهای اصلی	- نرم افزارها مغز اصلی یک سیستم پایش وضعیت آنلاین هستند. پاکسازی داده های اندازه گیری شده از نویز، کاهش حجم داده، تشخیص الگوهای مربوط به بروز عیب و فرهم نمودن رابط کاربری (HMI) توسط نرم افزارها انجام می پذیرد.	- نصب راحت و سازگاری با انواع سیستم عامل - محیط کاربری ساده و راهنمای کاربری کامل - امکان بررسی شاخصهای مختلف تشخیص عیب - استخراج الگوهای مختلف تشخیص عیب بصورت گرافیکی (توپوگراف و سه بعدی) - امکان ذخره خروجی داده ها در فرمتهای مختلف (TXT و Excel)
امنیت شبکه	- سیستمهای پایش ساختاری مشابه با سیستمهای اسکادا دارند و حفاظت از آن در برابر آسیبهای امنیتی (بد افزارها و دسترسی غیر مجاز) اهمیت دارد. - در ساختارهای بزرگتر نظیر مراکز جامع پایش وضعیت، امنیت شبکه یکی از مهترین اجزاء این سیستم می باشد.	- بر اساس استاندارد ISO27001 - مناسبترین مدل برای امنیت یک سیستم پایش وضعیت، مدل دفاع چند لایه (امنیت شبکه و مدیریت امنیت) است که سخت افزار و نرم افزار های سیستم را در بر می گیرد.

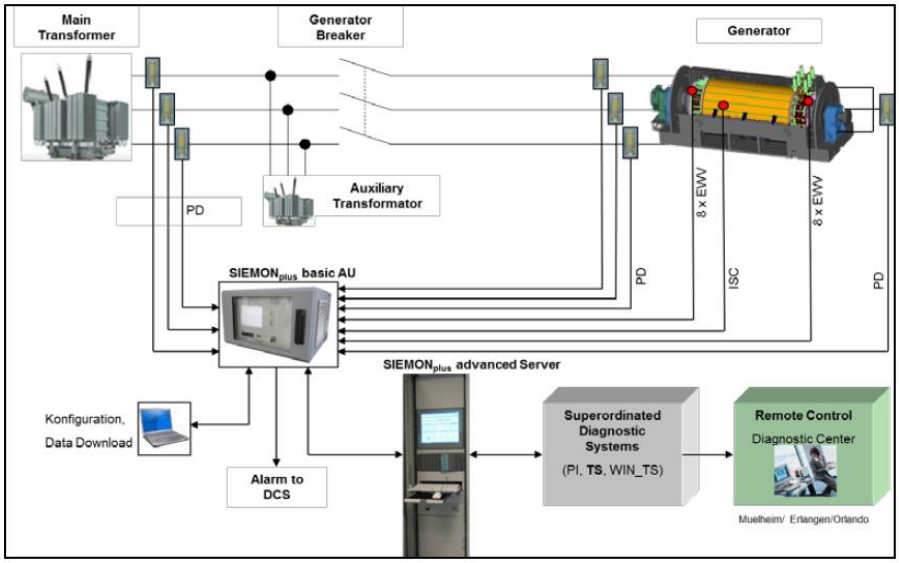
در این بخش مشخصات فنی چند نمونه از سیستمهای پایش وضعیت محلی و جامع که تا کنون توسط شرکتهای معتبر در حوزه نیروگاهی نصب و راه اندازی شده اند بررسی می شود. این شرکتها عبارتند از :

- شرکت زیمنس آلمان
- شرکت جنرال الکتریک GE
- شرکت IRIS
- شرکت BKvibro
- شرکت Vibro system
- شرکت Mcm
- شرکت ABB

که در ادامه سیستم های هریک از آنها بررسی و جزییات فنی مربوط به آنها معرفی می شود.

- شرکت Siemens

شرکت زیمنس که از بزرگترین تولید کنندگان ماشین های دوار به حساب می آید برای پایش وضعیت این ماشین ها سیستم شکل ۵۰۱-۲ را پیشنهاد می کند. در این سیستم از اندازه گیری های زیر برای پایش استفاده می کند. [۱۶]



شکل ۵۰۱-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت زیمنس

- **تخلیه جزئی:** از ۷ حسگر کوپلر خازنی استفاده می کند که یکی از آنها در مسیر زمین قرار دارد و در هر فاز نیز دو حسگر با فاصله از هم نصب شده اند تا بتواند با استفاده از اندازه گیری اختلاف زمانی نویزهایی که ممکن است از سمت شبکه فشارقوی و ترانسفرماتور بیاید را حذف کند.
- **ارتعاشات انتهای شینه:** از ۸ حسگر ارتعاش سنج فیبر نوری در ابتدا و ۸ حسگر دیگر در انتها برای اندازه گیری ارتعاشات استفاده می کند.
- **شار فاصله هوایی:** با استفاده از یک حسگر اثر حال شار فاصله هوایی به منظور تشخیص اتصال حلقه به حلقه در روتور اندازه گیری می شود.

این شرکت از یک دستگاه ثبت سیگنال برای اندازه گیری تمامی ۲۴ سیگنال استفاده می کند این دستگاه همچنین سیستم آلارم دارد که در صورت تشخیص خطا اپراتور را خبردار می کند. اطلاعات این دستگاه را می توان به منظور کنترل از راه دور مشاهده کرد.

البته اشاره ای به اینکه این مدل پیشنهادی برای کدام ژنراتورها مناسب است نشده است ولی از روی شکل ۵۰۱-۲ و نوع اندازه گیری هایی که انجام شده است می توان فهمید که سیستم اشاره شده برای توربو ژنراتورها است و اطلاعات در مورد نحوه پایش این شرکت برای موتورها و هیدروژنراتورها موجود نیست.

- شرکت General Electric

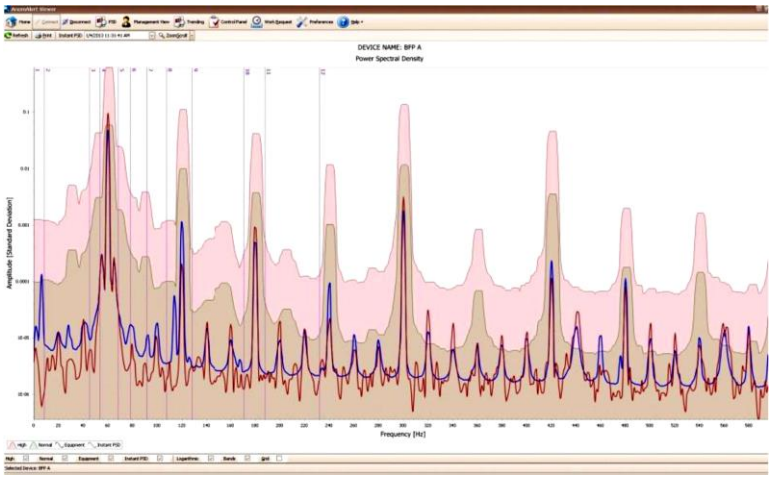
شرکت GE Measurement & Control Solutions زیر مجموعه شرکت جنرال الکتریک است که در زمینه پایش، کنترل و حفاظت فعالیت می کند که بیش ۱۵ سال است که در این زمینه کار می کند و سیستم پایش جامع را برای ماشین های دوار مختلف توسعه داده است.[۱۳]

این شرکت برای پایش وضعیت موتورها اندازه گیری سه فاز ولتاژ و جریان را پیشنهاد می کند که با استفاده از این اندازه گیری می توان خطاهای متعدد در موتور مانند اتصال کوتاه در روتور و استاتور و ناهم محوری را تشخیص داد. شکل ۵۰۲-۲

حسگرها (CT) و دستگاه اندازه گیری و تحلیل را نشان می دهد این سیستم از آنالیز FFT جریان برای تشخیص خطا و بررسی روند تغییر پارامترها به منظور ارزیابی شرایط موتور استفاده می کند.

شکل ۵۰۲-۲: پایش وضعیت موتور با اندازه گیری ولتاژ و جریان سه فاز

شکل ۵۰۳-۲ نمونه ای از آنالیز FFT سیگنال جریان را برای سه فاز نشان می دهد که سه محدوده برای فرکانس های مختلف مشخص شده است که این سه وضعیت مربوط به وضعیت سالم، هشدار و خطا است.



شکل ۵۰۳-۲: آنالیز **FFT** سیگنال جریان به منظور تشخیص عیب

در مورد توربوژنراتورها و هیدروژنراتورها اطلاعات دقیقی در مورد نحوه پایش وجود ندارد اما در حالت کلی این شرکت برای پایش این ژنراتورها از پنج روش مختلف اندازه گیری استفاده می کند.

- تخلیه جزئی
- ارتعاشات انتهای شینه
- ولتاژ شفت
- شار فاصله هوایی
- حرارت

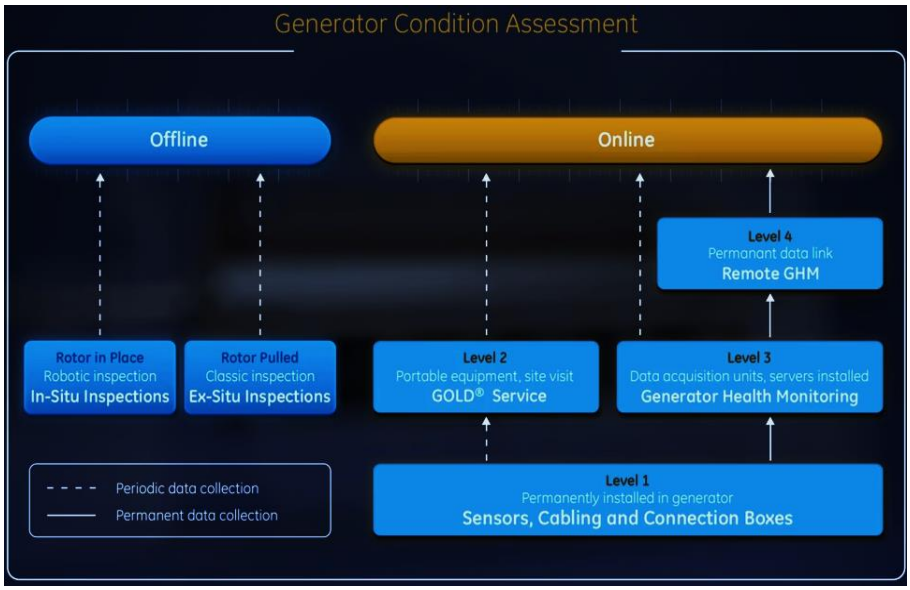
این شرکت برای بررسی شرایط ژنراتورها ساختار شکل ۵۰۴-۲ را پیشنهاد می کند طبق این شکل بررسی عملکرد ژنراتورها می تواند به دو صورت آفلاین و آنلاین صورت گیرد. در روش آفلاین با بازرسی شرایط ماشین مشخص می شود که این بازرسی می تواند به دو شکل انجام شود.

- روتور سر جای خودش باشد (بازرسی با ربات)
- روتور خارج شود (بازرسی سنتی)

در هر دو روش لازم است که ژنراتور از مدار خارج شود و به همین دلیل این بازرسی را نمی توان در فواصل زمانی کوتاه مدت انجام داد زیرا هزینه ناشی از خاموشی و بازرسی به شدت افزایش می یابد به همین علت این بازرسی در فواصل زمانی طولانی مدت انجام می شود. سوالی که در مورد استفاده از این روش پیش می آید اینست که این بازرسی باید در چه زمان هایی انجام شود و اگر مشکلی بین دو بازرسی اتفاق بیفتد چه باید کرد. راه حل استفاده از روش پایش آنلاین است که دیگر در این حالت نیازی به خروج ژنراتور از شبکه نیست و بررسی وضعیت در هر زمانی می تواند انجام شود.

این شرکت برای پایش آنلاین چهار سطح مختلف را پیشنهاد می کند.

- **سطح یک:** نصب حسگرها، کابل کشی و جعبه اتصالات (با انجام این سطح همه چیز برای اندازه گیری فراهم است و این اندازه گیری در هر زمان دلخواهی می تواند انجام شود. این سطح اساسی ترین اقدام لازم به منظور پایش آنلاین است.)
- **سطح دو:** بعد از نصب حسگرها قدم بعدی اندازه گیری است در این سطح اندازه گیری به صورت دوره ای انجام شود (توسط سیستم های اندازه گیری قابل حمل) و اطلاعات ذخیره شده در ادامه به منظور بررسی روند تغییر پارامترها استفاده می شود.
- **سطح سه:** در این سطح سیستم های اندازه گیری در محل ژنراتور نصب می شوند این سیستم های اندازه گیری می تواند به صورت اندازه گیری دائمی و یا دوره ای باشد.
- **سطح چهار:** در این سطح یک مرکز پایش وجود دارد که سیستم های اندازه گیری دائمی نصب شده در محل ژنراتور اطلاعات مربوط به ژنراتورها را به این مرکز ارسال می کنند از این مرکز می توان برای بهره برداری سیستم قدرت استفاده کرد.



شکل ۵۰۴-۲: ساختار پایش وضعیت ژنراتورها توسط شرکت جنرال الکتریک

شکل ۵۰۵-۲ ساختار کلی تحلیل اطلاعات برای پایش وضعیت ژنراتور و تشخیص عیب را نشان می دهد که از شش مرحله تشکیل شده است.

- ساختار سیستم پایش وضعیت
- آگاهی از مقادیر پارامترهای مختلف
- تشخیص تغییر
- تشخیص علت تغییر (تشخیص نوع عیب)
- پیشنهاد اقدام اصلاحی
- بهبود نرم افزار پایش وضعیت

شکل ۵۰۵-۲: نحوه تحلیل اطلاعات به منظور پایش وضعیت

front

شکل ۵۰۶-۲: سیستم اندازه گیری سیگنال های پایش وضعیت

اندازه گیری سیگنال های مختلف مربوط به حسگرها توسط Bently Nevada 3500 انجام می شود (شکل ۵۰۶-۲) این سیستم اندازه گیری به صورت ماژولار ساخته شده است و می توان تعداد کانال های آن را کم یا زیاد کرد. برای پایش وضعیت همزمان چند ماشین به تعداد ماشین از این سیستم اندازه گیری استفاده می شود که ترکیب آنها یک اتاقک به صورت شکل ۵۰۶-۲ را تشکیل می دهد.

- شرکت IRIS

شرکت IRIS که از شرکت های فعال در زمینه پایش وضعیت ماشین های دوار است مجموعه گسترده ای از سیستم های اندازه گیری و تحلیل برای انواع ژنراتورها و موتورها ارایه می کند. همان طور که در فصل های قبل هم اشاره شد این شرکت دستگاه هایی مجاز برای هر یک از اندازه گیری ها، از جمله تخلیه جزئی و ارتعاشات، دارد اما در کنار این دستگاه های اندازه گیری مجاز سیستم اندازه گیری جامع برای پایش وضعیت را نیز ساخته است. این دستگاه ها با نام تجاری GuardII در دو نسخه و برای توربو ژنراتورها و هیدرو ژنراتورها عرضه شده اند. [۱۱]

این شرکت برای پایش وضعیت موتورها سه اندازه گیری زیر را پیشنهاد می کند.

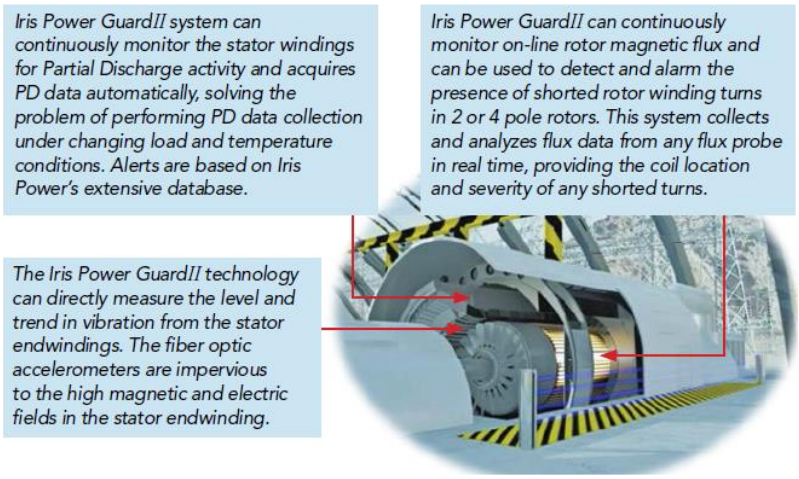
- تخلیه جزئی (استفاده از حسگرهای HFCT و یا کوپلر خازنی)
- ارتعاشات انتهای سیم پیچ
- ولتاژ و جریان سه فاز و شفت (تشخیص ناهم محوری و اتصال کوتاه در روتور)

که برای هر یک از اندازه گیری ها از سیستم های اندازه گیری مجزایی استفاده می کند. برای پایش وضعیت موتورها از ترکیبی سه اندازه گیری گفته شده استفاده می شود ولی اینکه از چه ترکیبی استفاده شود به عوامل مختلفی از جمله توان و اهمیت موتور بستگی دارد و برای تشخیص مناسب می توان از تمام و یا ترکیبی از سه اندازه گیری برای پایش وضعیت موتور استفاده کرد.

این شرکت برای پایش وضعیت توربو ژنراتورها سه اندازه گیری زیر را پیشنهاد می کند.

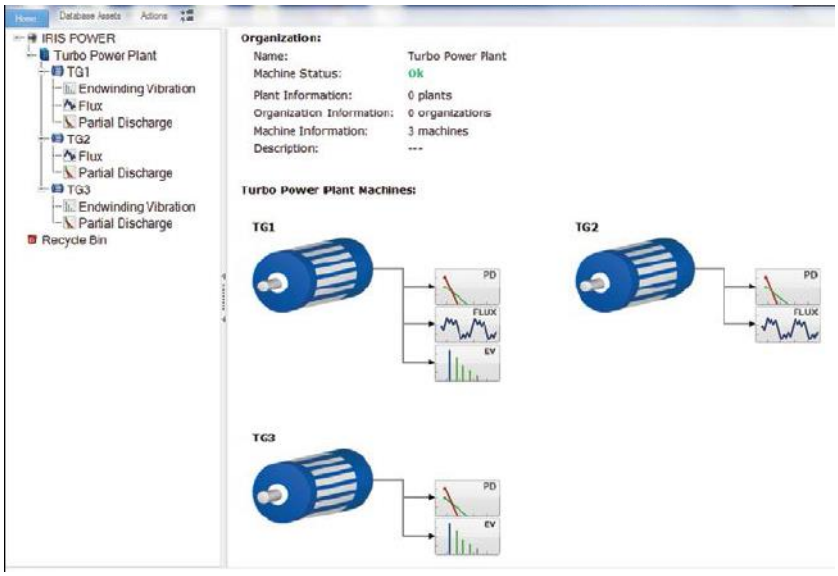
- تخلیه جزئی (سه یا شش کوپلر خازنی)
- ارتعاشات انتهای شینه (تشخیص ارتعاشات ناشی از ناهم محوری، اتصال حلقه به حلقه)
- شار فاصله هوایی: ۲ یا ۴ حسگر (به تعداد قطب) برای تشخیص اتصال حلقه به حلقه در سیم پیچی رتور و همچنین مشخص کردن مکان آن

این سه دسته اندازه گیری توسط دستگاه GaurdII انجام می شود. این شرکت جزو معدود شرکت هایی است که بیش از یک حسگر شار فاصله هوایی برای تشخیص اتصال حلقه به حلقه استفاده می کند. این کار برای توربو ژنراتورها که تعداد ۲ یا ۴ قطب دارند، و در نتیجه ۲ یا ۴ حسگر لازم است، می تواند توجیه کننده باشد.



شکل ۵۰۷-۲: **GuardII** برای پایش وضعیت توربو ژنراتور

سیستم پایش وضعیت این شرکت برای هیدرو ژنراتورها در شکل ۵۰۷-۲ نشان داده شده است که برای این ماشین‌ها از اندازه‌گیری گسترده‌تری برای پایش وضعیت استفاده کرده است که این اندازه گیری ها شامل ارتعاشات هسته، ارتعاشات شینه، ارتعاشات یاطاقان، ارتعاشات نسبی شفت، پارامترهای الکتریکی (ولتاژ و جریان) و پارامترهای هیدرولیکی توربین است. این شرکت به صورت نرم افزاری روند تغییرات پارامترهای مختلف (از جمله تخلیه جزئی، شار و ارتعاشات انتهای شینه) را نشان می دهد. همچنین این نرم افزار می تواند چندین ماشین را نیز هم زمان پایش وضعیت کند.

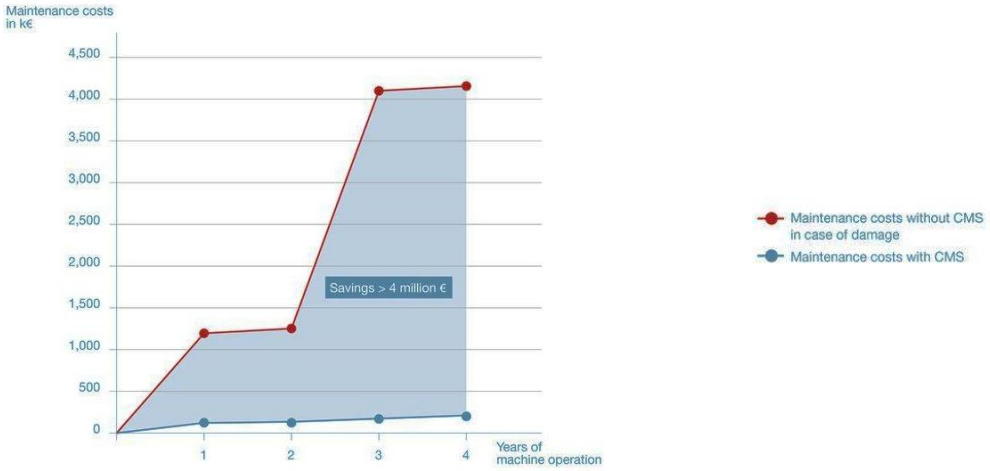


شکل ۵۰۸-۲: نرم افزار پایش وضعیت شرکت **IRIS**

- شرکت Bkvibro

شرکت Brüel & Kjaer Vibro (به اختصار Bkvibro) یک شرکت چند ملیتی (آلمان و دانمارک) است این شرکت بزرگترین شرکت تولید کننده قطعات مربوط به اندازه گیری ارتعاشات و صدا است. این شرکت در زمینه پایش وضعیت ژنراتورها نیز فعال است و سیستم پایش وضعیت پیشنهادی و مورد استفاده این شرکت برای هیدرو ژنراتور در ادامه آمده است. [۱۲]

میزان هزینه صرفه جویی شده با استفاده از سیستم پایش وضعیت در نمودار شکل ۵۰۹-۲ با استفاده از ۲۲ ماشین بدست امده است. البته در این نمودار هزینه خروج بدون برنامه در نظر گرفته نشده است که هزینه این خروجی می توان چند میلیون یورو در روز باشد.



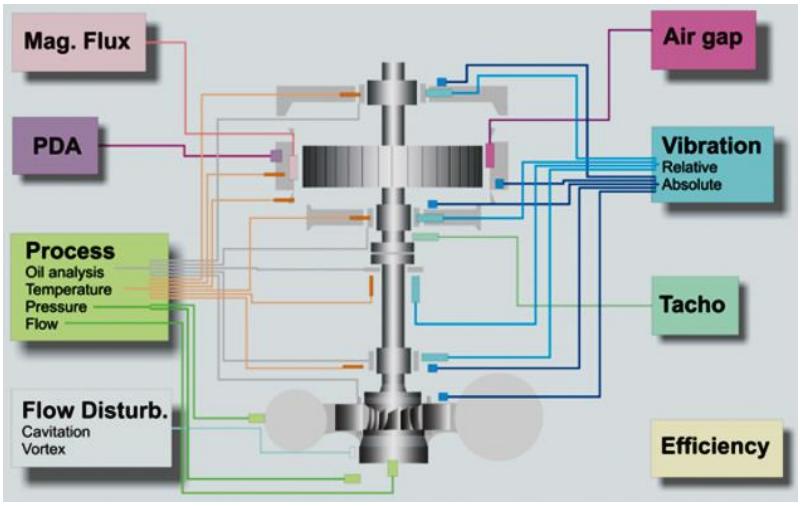
شکل ۵۰۹-۲: میزان صرفه جویی در هزینه با استفاده از سیستم پایش وضعیت

سیستم پایش وضعیت هیدرو ژنراتور این شرکت در شکل ۵۱۰-۲ نشان داده شده است که از اندازه گیری پارامترهای زیر برای پایش وضعیت استفاده می کند.

- تخلیه جزئی
- شار فاصله هوایی
- فاصله هوایی
- ارتعاشات (مطلق و نسبی)
- سرعت دوران
- پارامترهای فرایند
- اختلال جریان
- بازده

جدول ۱۷۵-۲ لیست عیب هایی که می تواند در ژنراتور اتفاق بیفتد و روش های تشخیص این عیب ها را نشان می دهد. عیوب ژنراتور به سه دسته کلی عیب های مکانیکی و یاتاقان، عیب در ژنراتور و عیب در توربین تقسیم بندی شدند.

برای تشخیص عیب های مکانیکی و یاطاقان از اندازه گیری و آنالیز ارتعاشات استفاده می شود. برای تشخیص عیوب در ژنراتور از اندازه گیری فاصله هوایی، شار فاصله هوایی و پارامترهای فرایند استفاده می شود. در نهایت برای تشخیص عیب های توربین از آنالیز ارتعاش و کاویتاسیون استفاده می شود.

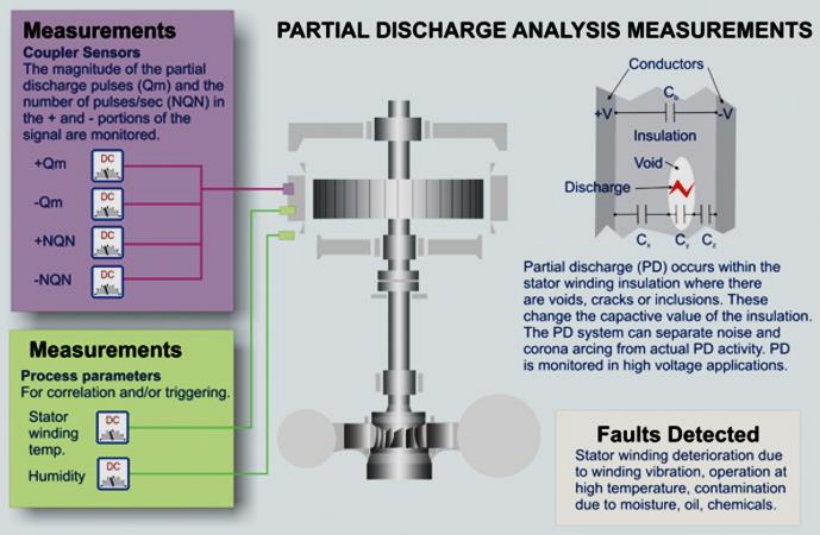


شکل ۵۱۰-۲: سیستم پایش وضعیت هیدرو ژنراتور شرکت **Bkvibro**

جدول ۱۷۵-۲: عیب های مختلف ژنراتور و روش های تشخیص آنها

		Vibration	Air Gap	Magnetic Flux	Process values	Cavitation
Mechanical and bearing	Unbalance	✓				
	Misalignement	✓				
	Rotor rub	✓				
	Foundation problems	✓				
	Loose bearings	✓				
	Oil and lubrication	✓				
	Stator/Rotor bar problems (loose, shorted)		✓			
Generator	Stator bar/core vibration					
	Air Gap abnormalities		✓	✓	✓	
	Rotor/Stator out-of-roundness		✓			
	Loose/shorted stator bars			✓		
Turbine	Turbine runner/blade problems	✓				
	Wicket gate problems	✓				
	Turbine blade cavitation	✓				✓

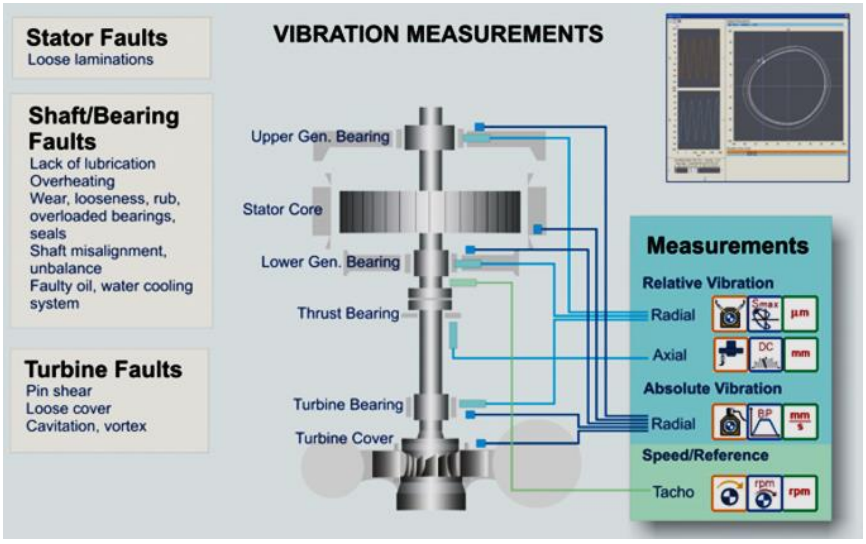
طبق مستندات این شرکت ، تخریب عایق سیم پیچی استاتور به علت ارتعاشات، عملکرد در دمای بالا، آلودگی ناشی از رطوب و فرایندهای شیمیایی یکی از شایع ترین عیب ها در ژنراتورها است که برای تشخیص و پایش این عیب از اندازه گیری سیگنال های تخلیه جزئی استفاده می شود. این شرکت از پارامترهای مقدار تخلیه در سیکل مثبت و منفی و تعداد پالس در هر ثانیه در سیکل مثبت و منفی برای پایش و بررسی تغییرات وضعیت عایقی ژنراتور استفاده می کند. این اندازه گیری در هر فاز استاتور و با استفاده از کوپلرهای خازنی انجام می شود. این شرکت نیز مانند بسیاری از شرکت هایی که در زمینه سیستم پایش جامع کار می کنند برای اندازه گیری تخلیه جزئی از دستگاه های اندازه گیری شرکت دیگر (PDA) استفاده می‌کند.



شکل ۵۱۱-۲: تشخیص مشکلات عایقی استاتور با اندازه گیری تخلیه جزئی

این شرکت در کنار اندازه گیری تخلیه جزئی پارامترهای فرآیند، یعنی دمای سیم پیچی استاتور و رطوب را نیز اندازه گیری می کند تا با ایجاد ارتباط بین مقدار تخلیه جزئی اندازه گیری شده با این مقدار عامل تخلیه جزئی را شناسایی کند.

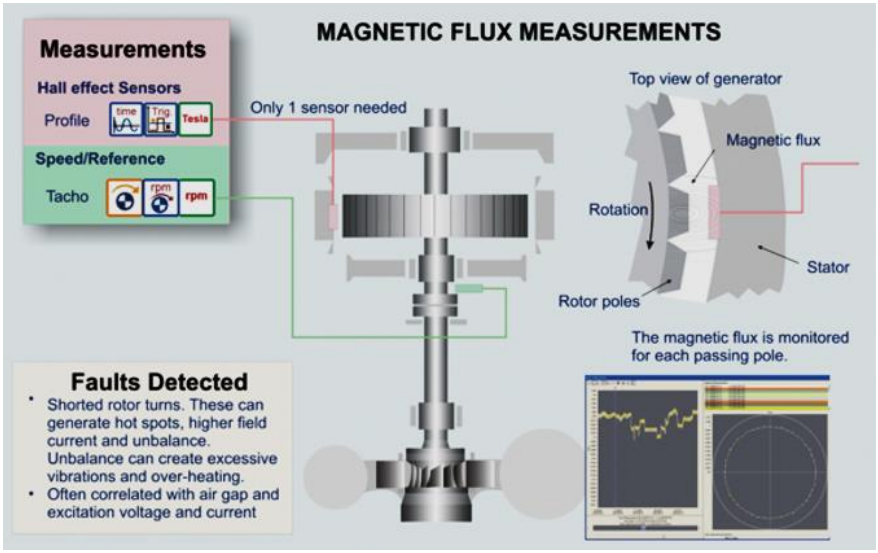
وجود عیب مکانیکی در استاتور، یاطاقان و شفت و توربین باعث به وجود آمدن ارتعاش می شود به همین علت برای تشخیص این عیب ها اندازه گیری ارتعاشات در نقاط مختلف ژنراتور برای تشخیص عیب انجام می شود.



شکل ۵۱۲-۲: اندازه گیری ارتعاشات به منظور تشخیص عیوب مکانیکی

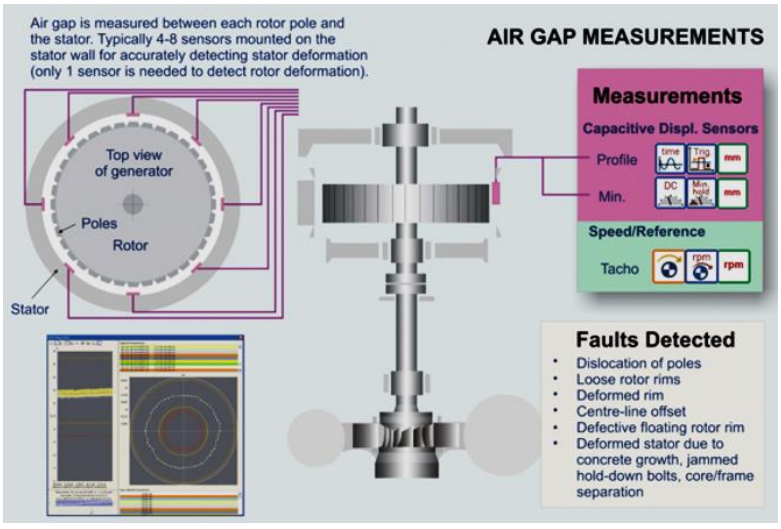
اندازه گیری ارتعاشات به دو صورت ارتعاشات مطلق و نسبی انجام می شود ارتعاشات مطلق مربوط به ارتعاش یاطاقان ها (در ۵ نقطه)، ارتعاش بدنه استاتور و ارتعاش انتهای شینه است. ارتعاشات نسبی خود به دو صورت شعاعی و محوری انجام می شود ارتعاش محوری برای اندازه گیری جابجایی محوری یاطاقان تراست استفاده می شود و ارتعاش شعاعی برای اندازه گیری ارتعاش شفت (۳ نقطه) به کار می رود.

شار فاصله هوایی به منظور تشخیص اتصال حلقه به حلقه در روتور اندازه گیری می شود که فقط از یک حسگر و به منظور تشخیص وجود چنین عیبی استفاده می شود. برای تحلیل نتایج این اندازه گیری سرعت چرخ شفت نیز اندازه گیری می شود.



شکل ۵۱۳-۲: اندازه گیری شار فاصله هوایی به منظور تشخیص اتصال حلقه به حلقه در روتور

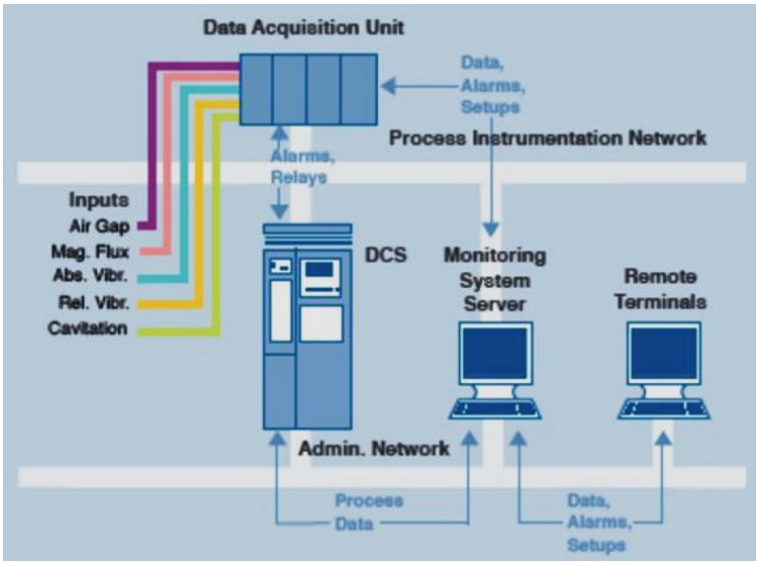
یکی از عیب هایی که در هیدروژنراتورها می تواند به وجود بیاید (به علت ارتفاع کم و قطر زیاد) ناهم محوری روتور و یا تغییر شکل استاتور است. برای تشخیص این عیب از اندازه گیری فاصله هوایی استفاده می شود برای تشخیص ناهم محوری و جابجایی روتور استفاده از یک حسگر فاصله هوایی کافی است اما برای تشخیص دقیق تغییر شکل استاتور لازم است بین ۴ تا ۸ حسگر (به قطر استاتور بستگی دارد) مورد استفاده قرار گیرد. برای تحلیل نتایج این اندازه گیری سرعت دوران شفت نیز در کنار این اندازه گیری انجام می شود.



شکل ۵۱۴-۲: اندازه گیری فاصله هوایی به منظور تشخیص ناهم محوری روتور و تغییر شکل استاتور

شکل ۵۱۵-۲ ساختار سیستم پایش وضعیت را نشان می دهد که در آن سیگنال تمامی حسگرهایی که روی ماشین نصب شده اند به سیستم داده برداری ارسال می شود که داده های نمونه برداری شده می تواند به صورت محلی و یا به صورت

شبکه ای مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. همچنین این اطلاعات را می توان ذخیره کرد و روند تغییرات پارامترها را مورد بررسی قرار داد. همچنین مجموعه سیستم پایش به سیستم هشدار نیز مجهز است که در صورت تشخیص خطا اپراتور را مطلع می کند تا کارهای پیشگیرانه را انجام دهد.



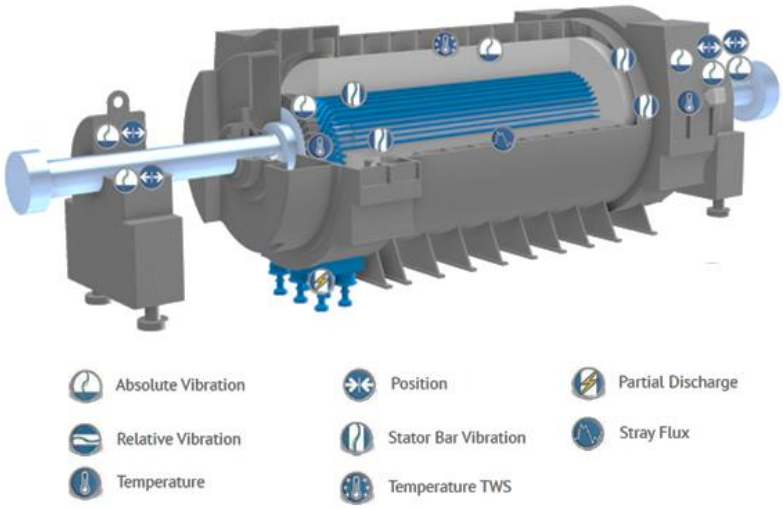
شکل ۵۱۵-۲: ساختار سیستم پایش وضعیت

- شرکت VibroSystem

شرکت VibroSystem یک شرکت کانادایی است که در سال ۱۹۸۶ و با ساخت حسگرهای خازنی که برای اندازه گیری فاصله هوایی در هیدرو ژنراتورها به کار می رود کار خود را شروع کرده است. این شرکت با گسترش فعالیت خود در این حوزه امروزه سیستم پایش وضعیت کامل ماشین های دوار را پیشنهاد می کند که در ادامه این سیستم آورده شده است. [۱۴]

سیستم پایش وضعیت توربو ژنراتور در شکل ۵۱۶-۲ نشان داده شده است که اندازه گیری های زیر انجام می شود.

- **تخلیه جزئی:** این اندازه گیری در ابتدای کلافهای استاتور با استفاده از حسگرهای خازنی انجام می شود.
- **ارتعاشات مطلق:** این اندازه گیری بر روی دو یاطاقان و در دو سر انتهای شینه انجام می‌شود.
- **ارتعاشات نسبی:** اندازه گیری ارتعاشات نسبی شینه ها در دو سر (این کار با استفاده از حسگرهای خازنی اندازه گیری فاصله هوایی انجام می شود).
- **مکان:** ارتعاشات نسبی شفت با اندازه گیری مکان شفت در دو سمت انجام می شود.
- **شار:** اندازه گیری شار فاصله هوایی
- **حرارت:** دمای دو انتهای شینه و سطح استاتور



شکل ۵۱۶-۲: سیستم پایش وضعیت توربو ژنراتور شرکت **VibroSystem**

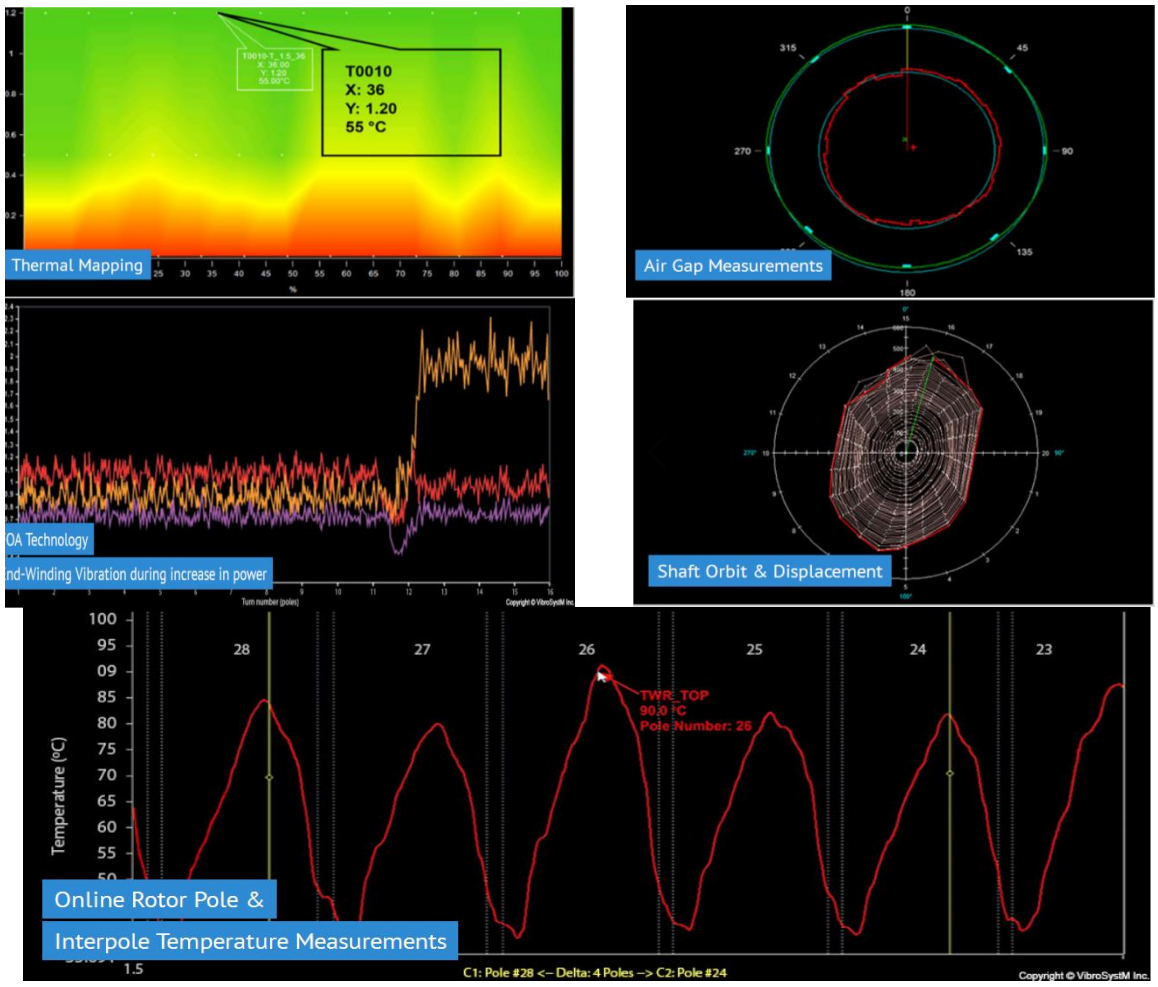
برای سیستم پایش وضعیت هیدرو ژنراتورها علاوه بر اندازه گیری های قبلی اندازه‌گیری های زیر نیز انجام می‌شود.

- **فاصله هوایی:** اندازه گیری فاصله هوایی
- **فشار:** میزان فشار در توربین
- **گردش:** گردش بخار در توربین
- اندازه گیری ارتعاشات و فاصله در نقاط مختلف توربین

سیستم اندازه گیری این شرکت در شکل ۵۱۷-۲ نشان داده شده است. این شرکت نیز از سیستم ماژولار برای اندازه گیری استفاده می کند به این صورت که چندین ماژول با هم یک سیستم اندازه گیری را تشکیل می دهد و اگر نیاز باشد که چندین ماشین با هم به صورت همزمان پایش شوند چندین نمونه از این دستگاه های اندازه گیری با هم یک اتاق پایش را تشکیل می دهد.

شکل ۵۱۷–۲: سیستم اندازه گیری ماژولار شرکت **VibroSystem**

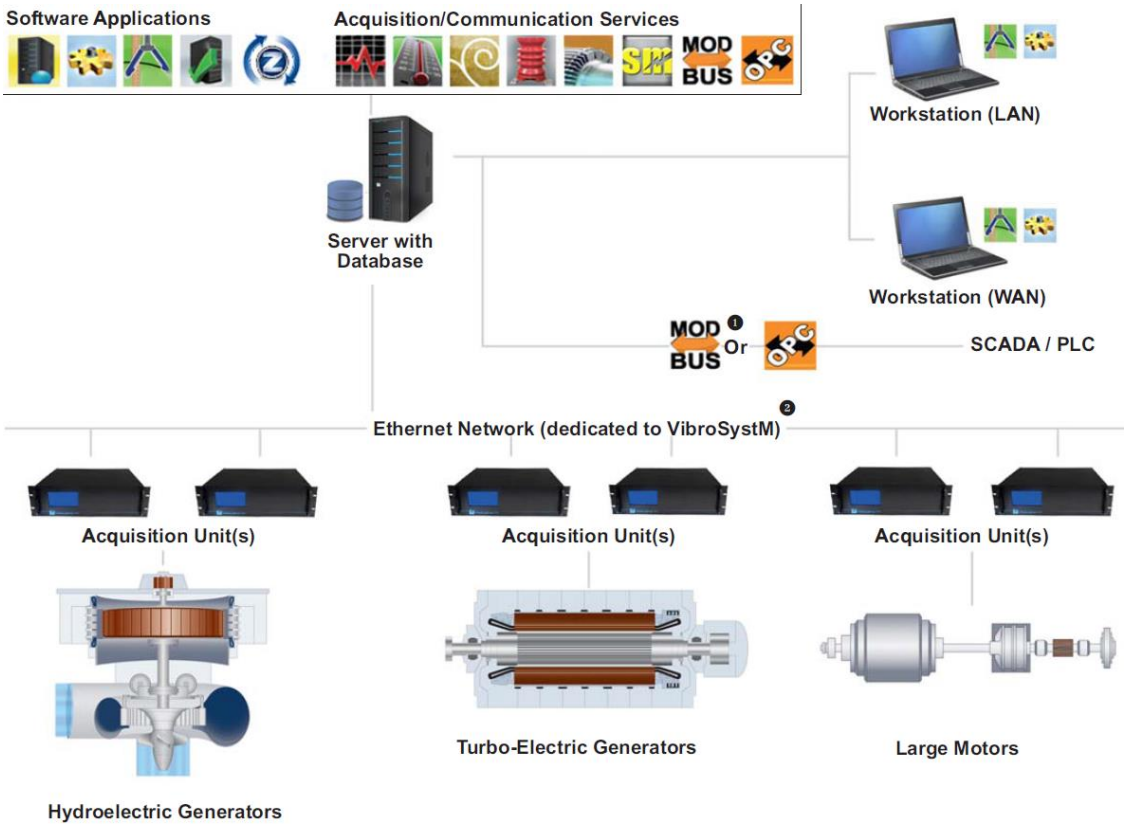
شکل ۵۱۸–۲ اندازه گیری های مختلف (نقشه حرارتی، فاصله هوایی (تشخیص نا هم محوری)، ارتعاشات انتهای شینه با حسگر فیبر نوری، ارتعاشات نسبی شفت (محور شفت با دو حسگر فاصله به فاصله ۹۰ درجه از هم) و شار فاصله هوایی با یک حسگر برای تشخیص اتصال حلقه به حلقه) و تحلیل آنها را نشان می دهد.



شکل ۵۱۸–۲: نرم افزار اندازه گیری پارامترهای مختلف

شکل ۵۱۹–۲ سیستم پایش جامع ماشین های دوار (توربو ژنراتور، هیدرو ژنراتور و موتورهای بزرگ) را نشان می دهد اطلاعات اندازه گیری شده در هر یک از واحدها با استفاده از سیستم هایی مثل SCADA به یک مرکز پایش جامع تر

ارسال می شود که با استفاده از این مرکز کل وضعیت سیستم ارزیابی می شود که می توان از نتایج اطلاعات برای برنامه ریزی شبکه استفاده کرد.



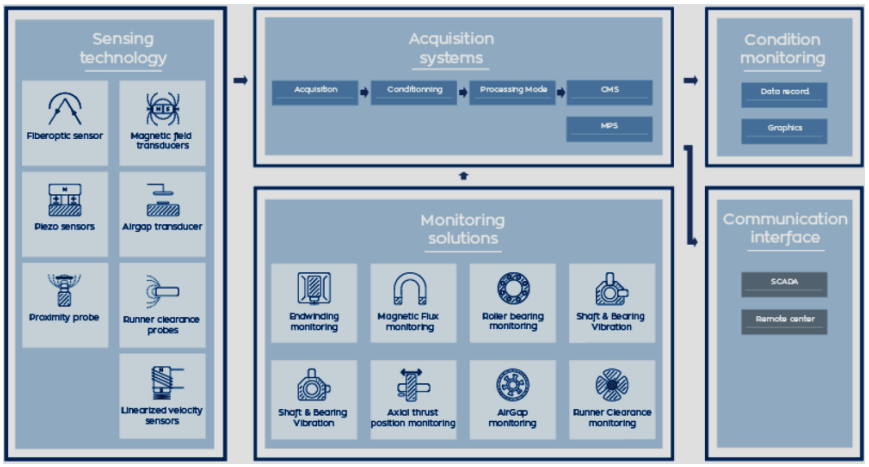
شکل ۵۱۹-۲: سیستم پایش جامع ماشین های دوار

- شرکت MCm

شرکت MCm یکی از فعالترین شرکت ها در زمینه پایش وضعیت ماشین های دوار است این شرکت سوئیسی با بیش از ۱۵ سال سابقه کار در این زمینه سیستم جامع پایش وضعیت را برای ماشین های دوار مختلف ارایه می دهد. این شرکت به صورت تخصصی فقط بر روی سیستم پایش وضعیت ماشین های دوار، از جمله توربو ژنراتور، هیدروژنراتور، توربین های گازی و بخاری و توربین های بادی، که در تولید برق بکار می روند فعالیت می کند و برای موتورها سیستم پایش وضعیت معرفی نمی کند. [۱۵]

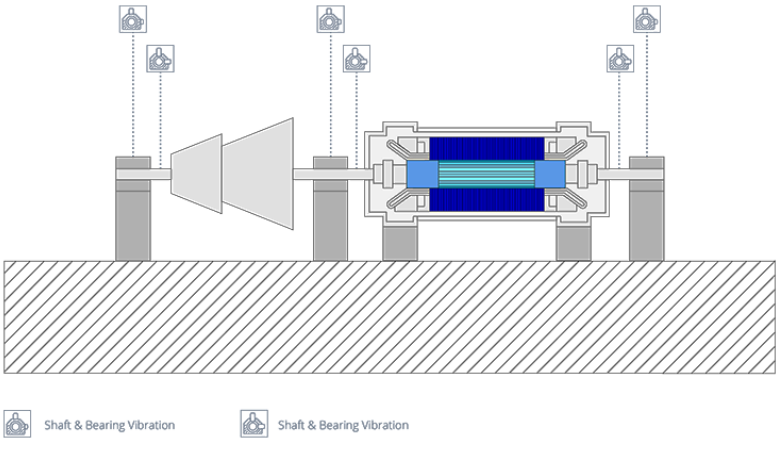
شکل ۵۲۰-۲ ساختار کلی سیستم پایش وضعیت این شرکت را نشان می دهد. بر این اساس سیستم پایش وضعیت را می توان به سه مرحله کلی تقسیم بندی کرد مرحله اول مربوط به حسگرهای مختلفی است که برای اندازه گیری پارامترهای مختلف در ماشین دوار نصب می شوند مرحله دوم سیستم ثبت سیگنال های بدست آمده از حسگرهای نصب شده است که در اینجا باید بر اساس نوع ماشین و هدف پایش ترکیب مناسبی از حسگرهای مختلف برای اندازه گیری انتخاب شود. مرحله سوم تحلیل نرم افزاری سیگنال های ثبت شده برای تشخیص نوع عیب و بررسی روند تغییرات پارامترهای مختلف است در این مرحله اطلاعات را می توان از طریق سیستم SCADA به یک مرکز پایش بالاتر که مجموعی از ماشین ها را پایش می کند فرستاد تا برنامه ریزی مناسب برای بهره برداری از ماشین های مختلف بر اساس

وضعیت موجود آنها انجام شود. در ادامه سیستم پایش وضعیتی که این شرکت برای ماشین های مختلف معرفی کرده است ارایه می شود.



شکل ۵۲۰-۲: ساختار کلی سیستم پایش وضعیت شرکت **MCm**

در مورد حسگرهای مختلف در فصل های قبل به طور مفصل بحث شد در ادامه ترکیب مناسب این حسگرها برای پایش وضعیت ماشین های مختلف آمده است. اولین سیستم مورد بررسی توربین های گازی و بخاری است. سیستم پایش وضعیت پیشنهادی در شکل ۵۲۱-۲ نشان داده شده است بر این اساس برای پایش وضعیت توربین های گازی و بخاری فقط از اندازه گیری ارتعاشات شفت و یاطاقان در سه مکان مختلف استفاده می شود. اندازه گیری ارتعاشات مطلق یاتاقان با استفاده از حسگرهای شتاب سنج پیزوالکتریک انجام می شود برای اندازه گیری ارتعاشات نسبی شفت نیز از حسگرهای فاصله جریان گردابی استفاده می شود که اگر هدف بدست آوردن محور شفت باشد باید دو تا از این حسگرها به زاویه ۹۰ درجه نسبت به هم بر روی بدنه یاطاقان و در فاصله چند میلی متری از شفت نصب شوند.

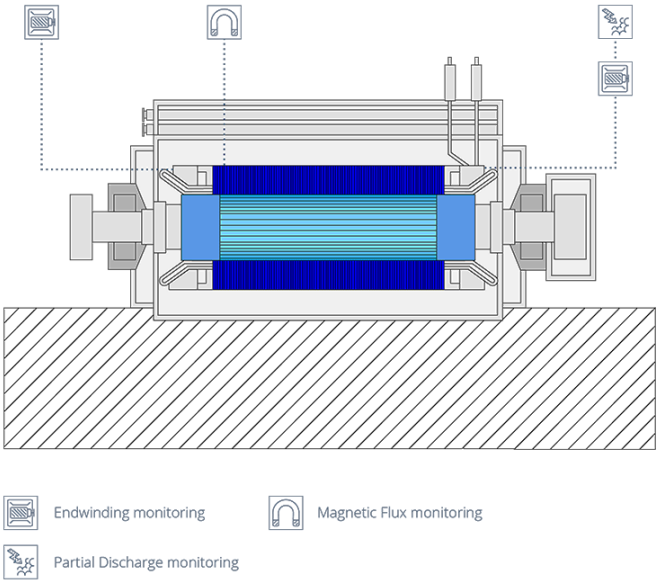


شکل ۵۲۱-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت **MCm** برای توربین های گازی و بخاری

سیستم پایش وضعیت توربو ژنراتورها در شکل ۵۲۳-۲ نشان داده شده است که بر اساس آن سه نوع اندازه گیری برای پایش وضعیت این ماشین ها انجام می شود که عبارتند از:

- اندازه گیری تخلیه جزئی با استفاده از کوپلرهای خازنی
- اندازه گیری ارتعاشات شینه ها در دو سر با استفاده از حسگرهای شتاب سنج فیبر نوری

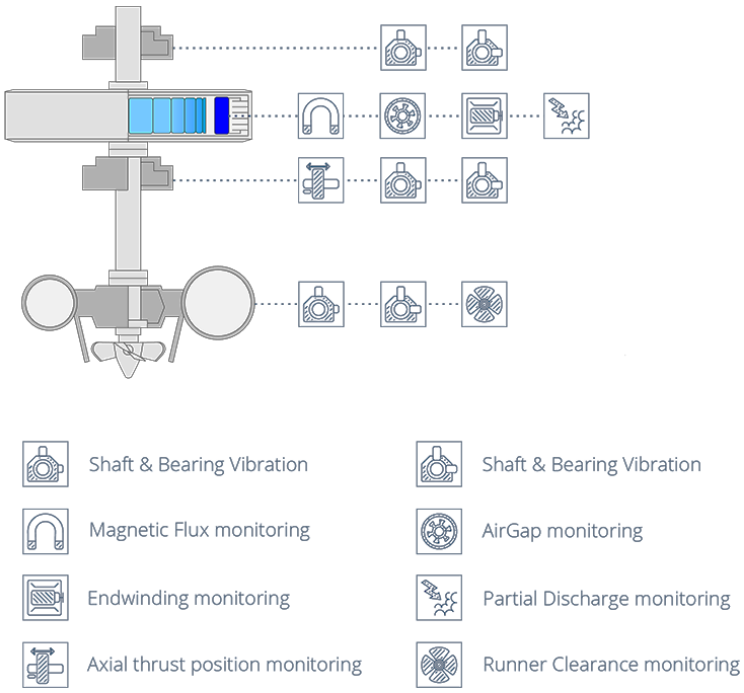
- اندازه گیری شار فاصله هوایی با یک حسگر اثر هال



شکل ۵۲۲-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت **MCm** برای توربو ژنراتورها

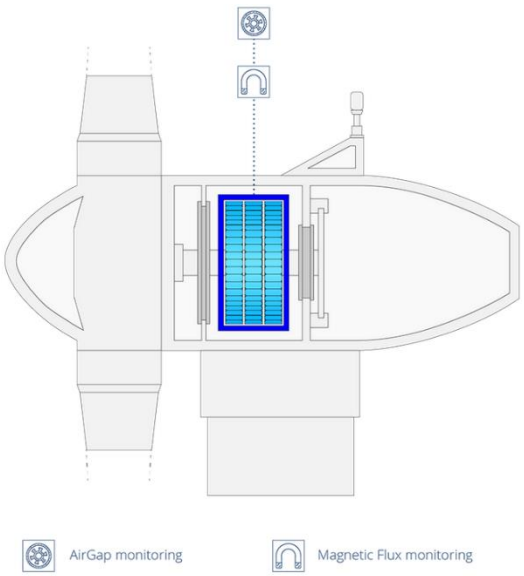
پیچیده ترین سیستم پایش وضعیت مربوط به هیدروژنراتورها است که از تعداد زیادی حسگر برای اندازه گیری پارامترهای مختلف استفاده می شود که این اندازه گیری ها عبارتند از:

- اندازه گیری ارتعاشات یاطاقان و شفت در سه نقطه اتکا
- اندازه گیری فاصله تیغه از رینگ در توربین
- اندازه گیری جابجایی محوری
- اندازه گیری شار فاصله هوایی
- اندازه گیری فاصله هوایی
- اندازه گیری ارتعاشات انتهای سیم پیچ
- اندازه گیری تخلیه جزئی



شکل ۵۲۳-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت **MCm** برای هیدرو ژنراتورها

استفاده از توربین های بادی برای تولید برق روز به روز در حال افزایش است با توجه به ساختار این توربین ها دسترسی به ژنراتور آنها کار آسانی نیست و سیستم پایش وضعیت از دور برای این نوع توربین ها بسیار می تواند مفید باشد که به همین علت پایش وضعیت ژنراتور توربین های بادی در حال گسترش است. سیستم پیشنهادی این شرکت در شکل ۵۲۴-۲ نشان داده شده است که دو اندازه گیری فاصله هوایی و شار فاصله هوایی را برای پایش وضعیت پیشنهاد می کند.



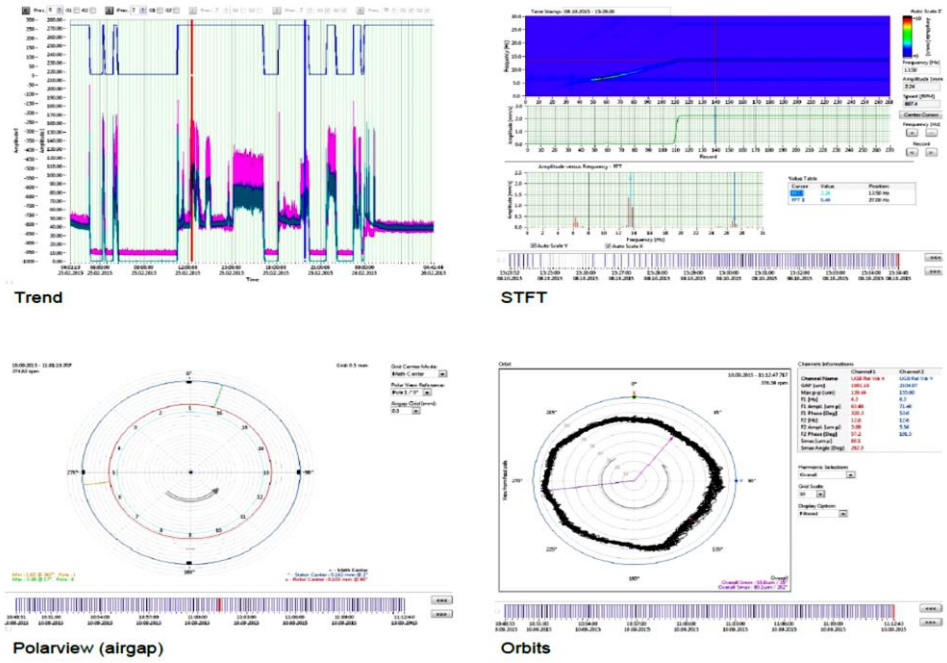
شکل ۵۲۴-۲: سیستم پایش وضعیت شرکت **MCm** برای توربین بادی

این شرکت برای اندازه گیری سیگنال های معرفی شده برای هر ماشین از یک سیستم نمونه برداری قدرتمند با نام Rhino PMS-300 استفاده می کند این سیستم ۳۲ کاناله است و می توان تعداد کانال آن را تا ۶۲ کانال نیز افزایش داد این شرکت برای اندازه گیری تمامی سیگنال ها، ارتعاشات مطلق و نسبی، شار فاصله هوایی، فاصله هوایی و ارتعاشات انتهای سیم پیچ، به جز تجلیه جزئی از این سیستم استفاده می کند. این سیستم به صورت ماژولار ساخته شده است که هر ماژول آن ۴ کانال دارد و با افزایش تعداد ماژول ها می توان تعداد کانال ها را نیز افزایش داد.

شکل ۵۲۵-۲: دستگاه **Rhino PMS-300** برای ثبت سیگنال های مختلف

این شرکت از نرم افزار جامع Orca CMS-500 برای تحلیل تمامی اندازه گیری های انجام شده توسط دستگاه Rhino PMS-300 استفاده می کند. شکل ۵۲۶-۲ امکانات مختلف این نرم افزار را برای اندازه گیری های مختلف نشان می دهد که می توان به مشخصه زمانی، FFT، STFT، Trend و مشخصه مختلف اشاره کرد.

Absolute vibration	Time signal, FFT, waterfall
Relative vibration	Time signal, FFT, waterfall, orbits (raw, 1x, 2x), shaft centerline
Airgap monitoring	Time signal, mingap signature, polarview, pole profile, stator profile
Endwinding monitoring	Time signal, FFT, waterfall
Magnetic flux	Time signal, flux profile, flux signature & deviation, asymmetric field



شکل ۵۲۶-۲: نرم افزار پایش جامع **Orca CMS-500**

- شرکت ABB

سیستم پایش که توسط شرکت ABB با نام تجاری ABB MACHsense-R معرفی شده با پایش ارتعاشات و اندازه گیری دما مطابق شکل ۵۲۷-۲، برای پایش آنلاین موتورها و ژنراتورهای نیروگاهی استفاده می شود. برای اندازه گیری ارتعاشات از ۴ سنسور و برای اندازه گیری دما نیز ۸ سنسور PT-100 بکار گرفته شده است. این سیستم در محل سایت نیروگاه نصب و اطلاعات را از طریق WEB به یک مرکز مانیتورینگ ارسال می کند. [۹۷]

شکل ۵۲۷-۲: سیستم پایش شرکت **ABB**

این سیستم علاوه بر ثبت و ارسال مقادیر دما و ارتعاش، سیگنالهای دور روتور، ولتاژ و جریان سه فاز را نیز اندازه گیری و ارسال می کند. برای تحلیل و پایش عیب نیز از آلگوریتمهایی که توسط مراکز تحقیقاتی شرکت ABB توسعه پیدا کرده استفاده می شود. اغلب خطاها و عیبهایی که در موتورها و ژنراتورهای نیروگاهی رخ می دهد با استفاده از این سیستم قابل کشف و ردیابی است. اما در خصوص جزییات روشهای تشخیص خطا و آلگوریتم اطلاعاتی نداده است.

شکل ۵۲۸-۲: نمونه ای از نصب سنسورهای اندازه گیری شتاب جهت اندازه گیری ارتعاش

- جمع‌بندی

نتایج بررسی های صورت گرفته در این بخش در جدول ۱۷۶-۲ آورده شده است.

جدول ۱۷٦-۲: نتایج مربوط به سیستم‌های جامع پایش شرکت‌های فعال

ABB	Mcm	Vibro-system	BK-vibro	I ris	Siem ens	GE	فناوری
	☑	☑	☑	☑	☑	☑	فناوری اندازه گیری PD
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	اندازه گیری شار مغناطیسی
				☑	☑	☑	اندازه گری ولتاژ شفت
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	آنالیز ارتعاشات ماشین
☑		☑			☑	☑	اندازه گیری دما
☑				☑	☑	☑	تستهای آفلاین
							آنالیز گاز خنک کننده

طبق مطالعات صورت گرفته در این پروژه، مسیر پیش روی سیستمهای پایش وضعیت آنلاین شامل موارد زیر است:

- ارتقاء سخت افزار جهت امکان پایش هم زمان چند تجهیز
- توسعه نرم افزارها جهت کاهش حجم داده، حذف نویز و تشخیص منابع عیب
- توسعه فناوری مربوط به انتقال اطلاعات به مراکز پایش محلی و اصلی تحت پروتکل های امنیت سطح بالا و تحت وب بودن آنها

- یکپارچه شدن مراکز پایش وضعیت محلی به کمک فناوری اینترنت اشیاء و ایجاد مراکز جامع پایش وضعیت جهت دستیابی به یک پایگاه داده قدرتمند

۱۰-۶-۲-۲- بررسی وضعیت فعلی فناوری پایش آنلاین ژنراتور نیروگاهی در کشور و بررسی چالشهای پیشرو توسعه فناوری در کشور

همانطور که گفته شد یکی از بهترین استراتژی های نوین برای مدیریت دارایی های فیزیکی، استراتژی نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط (CBM) است که برای پیاده‌سازی این استراتژی از ابزار پایش وضعیت استفاده می‌شود. بطور خلاصه مهمترین مزایای استراتژی فوق را می توان موارد زیر بر شمرد :

۱- تشخیص به موقع عیب و انجام برنامه ریزی مناسب برای تعمیرات
۲- کاهش هزینه تعمیر تجهیزات و مصرف قطعات یدکی (به دلیل جلوگیری از خرابی های ثانویه و عدم باز شدن دستگاه در موارد غیر ضروری)
۳- کاهش زمان و هزینه های فرصت از دست رفته در پروسه تعمیرات
۴- افزایش قابلیت اطمینان و دسترس پذیری تجهیزات و نیروگاه
۵- افزایش بهره وری (با کاهش فرصت های از دست رفته) و بهبود دانش فنی در مجموعه
۶- افزایش طول عمر تجهیزات و واحد نیروگاهی
۷- امکان تحلیل و ریشه یابی عیوب و رفع نمودن عوامل مربوط به رخداد عیب

از اینرو در برخی از واحدهای نیروگاهی کشور، سیستم‌های پایش وضعیت ژنراتور نظیر دستگاههای اندازه گیری PD ، دما و ارتعاشات نصب هستند، اما به دلیل وجود برخی از چالشها که در این فصل به آن پرداخته میشود، نتوانسته است در تشخیص عیب و مدیریت عمر ژنراتور بصورت بهنگام و سریع بکار گرفته شود. برای آگاهی از وضعیت فناوری پایش وضعیت ژنراتور تیروگاههای کشور، پرسشنامه ای (پیوست الف) تهیه و برای همه نیروگاههای بالای ۱۰۰ مگاوات ارسال گردید. هدف از ارسال پرسشنامه آگاهی از آخرین وضعیت فناوری پایش آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی، عیوب متداول رخداده در ژنراتور و چالشهای پیش روی پیاده سازی فناوری پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها بوده است. علاوه بر ارسال پرسشنامه، پیگیری تلفنی نیز از کارشناسان الکتریک در نیروگاههای مورد مکاتبه جهت رفع ابهامات موجود در خصوص چگونگی تکمیل پرسشنامه صورت پذیرفت. کلیه مکاتبات صورت پذیرفته و پاسخ نیروگاهها در قالب پیوست ب آورده شده است. در ادامه آخرین وضعیت فناوری پایش آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی در کشور معرفی و بیان می شود.

۱۱-۶-۲-۲- بررسی وضعیت فناوری پایش آنلاین ژنراتور در واحدهای بخار منتخب

نیروگاههایی که نسبت به تکمیل پرسشنامه اقدام نمودند در جدول ۱۷۷-۲ آورده شده است.

جدول ۱۷۷-۲: مشخصات واحدهای نیروگاهی مورد مطالعه در بخش بخار

ردیف	نام نیروگاه	ظرفیت (MW) و تعداد واحدها	شرکت سازنده
۱	رامین اهواز	6×315 MW	Electrosila
۲	شهید سلیمی نکا	4×440 MW	ABB
۳	اسلام آباد اصفهان	2×320 + 1×120	Ansaldo
۴	بیستون کرمانشاه	2×320	Ansaldo
۵	شهید مفتح همدان	4×250	میتسوبیشی ژاپن

۶	شهید منتظری اصفهان	8×250	تکنوپروم اکسپورت

که در ادامه در خصوص وضعیت فعلی فناوری پایش آنلاین و پتانسیل هایی که در نیروگاههای مختلف برای ایجاد یک مرکز پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بصورت محلی وجود دارد بررسی می شود.

- نیروگاه رامین اهواز

ژنراتورهای واحدهای نیروگاه رامین اهواز توسط شرکت Electrosila روسیه طی سالهای ۱۳۵۸ تا ۱۳۷۸ نصب و به شبکه برق ایران متصل شدند. ولتاژ نامی ژنراتور ۲۰ کیلو ولت و سیستم خنک کنندگی ژنراتور، گاز هیدروژن و آب می باشد. بیشترین ساعت کارکرد واحد مربوط به واحد یک با ۲۰۰ هزار ساعت – ۵ اورهال اساسی و کمترین ساعت کارکرد مربوط به واحد ۶ با ۱۳۲ هزار ساعت–۲ اورهال اساسی است.

در حال حاضر سیستم پایش ژنراتور در نیروگاه رامین اهواز شامل مجموعه ای از حسگرهای ارتعاشات و دما است. حسگرهای ارتعاشات بر روی یاتاقانهای توربین و ژنراتور نصب می باشند و بیشتر کارکرد حفاظتی دارند. دمای قسمتهای مختلف ژنراتور نظیر شینه های مربوط به فازهای مختلف ، هسته، دمای سیال خنک کننده توسط حسگرهای RTD اندازه گیری می شود اما قابلیت ثبت روند تغییرات بصورت اتوماتیک وجود ندارد.

- نیروگاه شهید سلیمی (نکا)

ژنراتورهای واحدهای بخار نیروگاه شهید سلیمی نکا توسط شرکت ABB نصب و از سال ۱۳۵۸ به شبکه برق ایران متصل شدند. ولتاژ نامی ژنراتور ۲۱ کیلو ولت و سیستم خنک کنندگی ژنراتور، گاز هیدروژن و آب است. ساعت کارکرد متوسط این واحدها حدود ۲۵۵ هزار ساعت است و از زمان نصب تا کنون ۹ اورهال برای هر واحد بخار انجام شده است.

سیستم اندازه گیری آنلاین پیوسته تخلیه جزیی شرکت KES کانادا بر روی ژنراتور هر ۴ واحد بخاری نصب می باشد. اندازه گیری تخلیه جزیی بصورت دوره های ۳ ماهه انجام می شود و تا کنون عیوب ماشین نظیر شکستگی و لقی گوه ها در قسمت انتهای شینه و کرونا در سیم پیچ های استاتور با استفاده از روش اندازه گیری تخلیه جزیی تشخیص داده شده است. حسگرهای مختلف دما و ارتعاشات نیز که در قسمتهای مختلف ماشین نصب شده اند بیشتر کارکرد حفاظتی دارند و مقادیر آنها توسط اپراتور در فواصل زمانی مشخص اندازه گیری و بصورت غیر اتوماتیک ثبت میشوند.

- نیروگاههای اسلام‌آباد اصفهان و بیستون کرمانشاه

سازنده ژنراتورهای واحدهای بخار نیروگاه اصفهان و بیستون کرمانشاه شرکت ایتالیایی آنسالدو است. ولتاژ نامی ژنراتور ۲۰ کیلو ولت و سیستم خنک کنندگی ژنراتور، گاز هیدروژن و آب می باشد. بیشترین ساعت کارکرد واحد مربوط به واحد ۴ نیروگاه اصفهان با ۲۴۱ هزار ساعت – ۹ اورهال اساسی است. ساعت کارکرد واحد ۵ نیروگاه اصفهان نیز حدود ۲۱۸ هزار ساعت–۵ اورهال اساسی است.

در حال حاضر سیستم پایش ژنراتور در نیروگاه فوق الذکر شامل مجموعه ای از حسگرهای دما و ارتعاشات است. سیستم اندازه گیری ارتعاشات شامل حسگرهای ادی کارنت(غیر تماسی) و روش اندازه گیری نیز بروش نسبی و سنسورهای تماسی با روش اندازه گیری مطلق است. همچنین دمای قسمتهای مختلف ماشین نظیر سیم‌پیچ (۵۴ عدد RTD)، هسته، دمای سیال خنک کننده در ورودی و خروجی توسط RTD اندازه گیری و نشان داده می شود اما قابلیت ثبت روند تغییرات بصورت اتوماتیک وجود ندارد. بدلیل بالا بودن عمر ژنراتور سطح کرونا ، تخلیه جزیی و ارتعاشات در مجموعه توربین و ژنراتور بالا می باشد.

- نیروگاه شهید مفتح همدان

ژنراتورهای واحدهای نیروگاه شهید مفتح همدان توسط شرکت میتسوبیشی ژاپن طی سالهای ۱۳۷۲ الی ۱۳۷۴ نصب و به بهره برداری رسیدند. ولتاژ نامی ژنراتور ۱۹ کیلو ولت و سیستم خنک کنندگی ژنراتور، گاز هیدروژن است. ساعت کارکرد متوسط این واحدها حدود ۲۲۰ هزار ساعت است و از زمان نصب تا کنون ۴ اورهال برای هر واحد بخار انجام شده است.

در حال حاضر سیستم اندازه گیری ارتعاشات توربو ژنراتور که بر روی یاتاقانهای دو طرف ژنراتور و اکسایتر نصب میباشد شامل سه سنسور از نوع خازنی برای هر یاتاقان است. سیستم اندازه گیری دما نیز شامل مجموعه ای از حسگرهای RTD , TC است که دمای سیم پیچ استاتور (۶ نقطه)، دمای گاز هیدروژن خروجی از سیم پیچ (۶ نقطه)، دمای انتهای هسته استاتور (۷ نقطه)، دمای رتور ژنراتور، دمای گاز ورودی و خروجی کولرها، دمای آب کولرها، دمای یاتاقانها، دمای روغن یاتاقانها اندازه گیری و ثبت می شود. سایر تجهیزات پایش وضعیت ژنراتور شامل انواع حسگرهای جابجایی، خمش، فاصله هوایی شفت ژنراتور و توربین نیز وجود دارد. اغلب این حسگرها از نوع مغناطسی هستند.

از مهمترین عیوب ژنراتور می توان به شل شدگی نخبندیهای سر کلافها و بالا رفتن دمای داخل ژنراتور بعلت مشکلاتی که معمولا در سیستم خنکاری بوجود می آید نام برد. عیب مربوط به شل شدگی نخبندیهای سر کلافها در بازدیدهای دوره ای و اورهال توسط رزین و نخبندی رفع می شود. عیب مربوط به بالارفتن دمای داخل ژنراتور نیز معمولا قبل از بروز خطا از طریق پایش سیستم دما تشخیص و رفع عیب میشود.

- نیروگاه شهید منتظری اصفهان

سازنده ژنراتورهای واحدهای بخار نیروگاه شهید منتظری اصفهان شرکت روسی تکنوپروم اکسپورت است. ولتاژ نامی ژنراتور ۱۵.۷۵ کیلو ولت و سیستم خنک کنندگی ژنراتور، گاز هیدروژن و آب می باشد. واحد های مربوط به فاز ۱ طی سالهای ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۷ به بهره برداری رسیدند. چهار واحد نیز طی سالهای ۱۳۷۷ تا ۱۳۷۸ به شبکه متصل شدند. واحدهای فاز یک تا کنون ۷ اورهال اساسی را پست سر گذاشته اند.

در حال حاضر سیستم پایش ژنراتور در نیروگاه فوق الذکر شامل مجموعه ای از حسگرهای دما و ارتعاشات است. از مهمترین عیوبی که تاکنون در ژنراتورها رخ داده می توان به عیوب عایقی، لرزش بیش از اندازه، نشتی هیدروژن در آب استاتور و وقوع خطای اتصال به زمین اشاره کرد.

- سایر واحدهای بخار

واحدهای نیروگاهی شازند اراک و بندر عباس نیز برای تشخیص عیوب مربوط به عایق ژنراتور، از سیستم اندازه گیری تخلیه جزئی شرکت KES استفاده می کنند. در نیروگاه شازند با توجه به تشکیل گروه پایش وضعیت، بصورت منظم وضعیت عملکرد ژنراتورهای واحدهای بخار بررسی و تحلیل می شود.

۱۲-۶-۲-۲- بررسی وضعیت فناوری پایش آنلاین ژنراتور در واحدهای گازی منتخب

نیروگاههایی که نسبت به تکمیل پرسشنامه اقدام نمودند در جدول ۱۷۸-۲ آورده شده است.

جدول ۱۷۸-۲: مشخصات واحدهای نیروگاهی مورد مطالعه در بخش گاز

ردیف	نام نیروگاه	ظرفیت (MW) و تعداد واحدها	شرکت سازنده
۱	نیروگاه شهید سلیمی نکا	2×144 MW	زیمنس
۲	نیروگاه گیلان	6×144 MW	زیمنس
۳	نیروگاه قم	4×128.5 MW	میتسوبیشی
۴	نیروگاه کاشان	2×160 MW	پارس
۵	نیروگاه کرمان و سایر واحدهای گازی مدل V.94.2	8×160 MW	پارس

که در ادامه در خصوص وضعیت فعلی فناوری پایش آنلاین و پتانسیل هایی که در نیروگاههای مختلف برای ایجاد یک مرکز پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بصورت محلی وجود دارد بررسی می شود.

- واحد گازی نیروگاه شهید سلیمی (نکا) و نیروگاه گیلان

ژنراتورهای واحدهای گازی نیروگاه شهید سلیمی (نکا) و گیلان مشابه بوده و توسط شرکت زیمنس نصب و به ترتیب در سالهای ۱۳۶۹ و ۱۳۷۱ به شبکه برق ایران متصل شدند. ولتاژ نامی ژنراتور ۱۰.۵ کیلو ولت و سیستم خنک کنندگی ژنراتور، آب است. ساعت کارکرد متوسط این واحدها حدود ۱۶۵ هزار ساعت است و از زمان نصب تا کنون ۶ اورهال برای هر واحد بخار انجام شده است.

سیستم اندازه گیری آنلاین پرتابل تخلیه جزیی PDA-6D شرکت KES کانادا بر روی ژنراتور همه واحد گازی نکا و گیلان نصب می باشد. در نیروگاه نکا اندازه گیری تخلیه جزیی بصورت دوره های ۳ ماهه انجام می شود و تا کنون لقی گوه ها در قسمت انتهای شینه و کرونا در سیم پیچ های استاتور با استفاده از روش اندازه گیری تخلیه جزیی تشخیص داده شده است. حسگرهای مختلف دما و ارتعاشات نیز که در قسمتهای مختلف ماشین نصب شده اند بیشتر کارکرد حفاظتی دارند و مقادیر آنها توسط اپراتور در فواصل زمانی مشخص اندازه گیری و بصورت غیر اتوماتیک ثبت میشوند.

لازم به ذکر است که علی رغم پیگیری صورت گرفته از نیروگاه گیلان، پاسخی از ایشان در خصوص وضعیت ژنراتور و نحوه استفاده از سیستم تخلیه جزیی نصب شده بر روی ژنراتورها در یافت نشد.

- واحدهای گازی نیروگاه سیکل ترکیبی قم

ژنراتورهای واحدها گازی نیروگاه سیکل ترکیبی قم توسط شرکت میتسوبیشی ژاپن نصب و از سال ۱۳۷۲ به شبکه برق ایران متصل شدند. ولتاژ نامی ژنراتور ۱۳.۸ کیلو ولت و سیستم خنک کنندگی ژنراتور، هوا و آب است. مهمترین عیوب ژنراتور پیری عایق استاتور و بالا بودن سطح ارتعاشات در ماشین است. با توجه به حساسیت نیروگاه در خصوص وضعیت ژنراتورهای واحدهای گاز و بخار و همچنین تجربه سوختن سیم پیچی استاتور ژنراتور یکی از واحدهای نیروگاه، تجهیزات مربوط به اندازه گیری PD متعلق به شرکت KES بر روی ژنراتور واحدها نصب گردید. با توجه به وجود کار گروه مانیتورینگ در نیروگاه و انجام نمونه برداری دوره ای، نتایج PD با همکاری کارشناسان نیروگاه و شرکتهای مشاور تحلیل و بررسی می شود. همچنین با توجه به بالا بودن سطح PD و ارتعاشات و پیش بینی بروز عیب، یک ست سیم پیچی کامل استاتور از جانب نیروگاه تهیه شده است.

علاوه بر نصب دستگاه اندازه گیری PD، دمای هسته و سیم پیچی استاتور و همچنین میزان ارتعاشات یاتاقانهای دو سمت ژنراتور پایش می شود.

- واحدهای گازی مدل V.94.2

در حال حاضر سهم عمده ای از واحدهای گازی شبکه شامل واحدهای گازی V.94.2 است که توسط شرکت مپنا طی دو دهه اخیر در قسمتهای مختلف کشور نصب و بهره برداری شده اند. ژنراتورهای این واحدها با توان ۱۶۰ مگاوات و ولتاژ ۱۵.۷ توسط شرکت پارس ژنراتور و تحت لیسانس شرکت زیمنس آلمان ساخته شده است. سیستم خنک کنندگی ژنراتور هوا و آب میباشد.

در حال حاضر بر روی ژنراتورهای واحدهای کرمان و دماوند تجهیزات PD مربوط به شرکت KES نصب شده و برای پایش وضعیت عایقی ژنراتور از آنها استفاده می شود. با توجه به بررسی های صورت گرفته مشکلات عایقی مربوط به سیم پیچی استاتور، شل شدگی گوه ها در انتهای شینه و مشاهده کرونا از مهمترین عیوبی است که در اکثر ژنراتورهای واحدهای مذکور مشاهده شده است.

در حال حاضر سیستم اندازه گیری ارتعاشات توربو ژنراتور که بر روی یاتاقانهای دو طرف ژنراتور و اکسایتر نصب میباشد شامل دو نوع سنسور اندازه گیری ارتعاشات (نسبی و مطلق) است که بر روی ۴ یاتاقان و بدنه ماشین نصب می شود. تمام سیگنالهای اندازه گیری شده توسط ماژول VM600 آنالیز و با نزخ یک نمونه در ثانیه نمایش داده می شود. سیستم اندازه گیری دما نیز شامل مجموعه ای از حسگرهای RTD و ترموکوپل است که دمای سیم پیچ استاتور (۸ نقطه)، دمای آب کولرها و دمای روغن یاتاقانها اندازه گیری و ثبت می شود.

۱۳-۶-۲-۲- معرفی چالشهای فناوری پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاههای کشور

همانطور که گفته شد می توان برای فناوری پایش وضعیت آنلاین ژنراتور سه مرحله الف–پایش وضعیت تک ماشینه، ب–پایش وضعیت چند ماشینه (مرکز پایش محلی) و ج– ایجاد مراکز پایش وضعیت مرکزی را در نظر گرفت. این فناوری در سطح نیروگاههای کشور در سطح مرحله اول قرار داشته و تعداد محدودی از واحدهای نیروگاهی مجهز به سیستمهای پایش آنلاین هستند. با این وجود بدلیل برخی چالشهای فنی امکان استفاده از این پتانسیل جهت تشخیص عویب ماشین و جلوگیری از خسارتهای مالی ناشی از آن وجود ندارد. با توجه به مطالعات صورت گرفته و استعلام از کارشناسان و متخصصین حوزه ژنراتورهای نیروگاهی محدودیتها و چالشهای اصلی که منجر به عدم توسعه فناوری فوق در سطح نیروگاههای کشور می شود در دو بخش قابل تفکیک است. بخش اول مربوط به مسائل کلان و مدیریتی است که می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- عدم وجود نگرانی برای بروز خطا در ژنراتورها در نیروگاه (عدم درک خطرات عایقی ژنراتورها شامل پیری و ...) از سوی مالک نیروگاه.
- نامناسب بودن اوضاع اقتصادی حاکم بر نیروگاهها که مانع از سرمایه گزاری در این حوزه می شود
- عدم اعتماد به شرکتهای داخلی برای پشتیبانی فنی و خدمات مشاوره
- عدم وجود یک ارزیابی فنی – اقتصادی دقیق برای توجیه ضرورت بکارگیری تجهیزات پایش آنلاین

بخش دوم نیز شامل موارد فنی و کارشناسی است که می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- عدم آشنایی صحیح با اصول عملکرد ژنراتورهای نیروگاهی و دلایل بروز عیبهای مختلف در آن
- وجود پیچیدگی در استفاده از تجهیزات پایش آنلاین بهمراه تحلیل داده. راحتی کارکرد با هر تجهیزی سبب عملیاتی شدن آن میشود که متاسفانه در زمینه تخلیه جزئی کارکرد و تحلیل نتایج آن پیچیده است.
- عدم قطعیت در تحلیل داده، تشخیص عیب و پیش بینی بروز خطا
- عدم وجود خدمات سوپروایزی (دوره های آموزشی جهت آگاهی از مشخصات فنی و رابط کاربری تجهیزات نصب شده در نیروگاهها بطور مناسب و مفید برگزار نمی شود.)

- عدم کالیبره دقیق دستگاه و یا رعایت نکردن سایر الزامات فنی (عدم انتخاب طول مناسب کابل رابط و ...)

- جمع‌بندی

همانطور که در بخشهای قبل مشاهد گردید، علی رغم وجود پتانسیل بالقوه جهت نصب و بهره برداری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور ، بدلیل وجود چالشهای فنی و اقتصادی که در فصل بعد بطور مفصل به آن پرداخته می شود، واحدهای نیروگاهی اندکی از مزایا و قابلیتهای سیستمهای فوق استفاده می کنند. این در حالیست که در دنیا امروزه استفاده از سیستمهای پایش آنلاین ژنراتور نه به عنوان یک سیستم جانبی بلکه به عنوان یکی از ملزومات مهم در زمان نصب و بهره برداری از واحد نیروگاهی مورد توجه قرار می گیرد. بطور کلی با بررسی تاریخچه پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی می توان چرخه عمر فناوری آنرا مطابق زیر بیان کرد :

مرحله اول : پایش وضعیت تک ماشینه با نصب تجهیزات بر روی یک ژنراتور

مرحله دوم : توسعه سخت افزاری و نرم افزاری و ایجاد شبکه های محلی برای پایش وضعیت چند ژنراتور مربوط به یک نیروگاه و یا چند نیروگاه هم جوار

مرحله سوم : غلبه بر چالشهای فنی انتقال داده های پر حجم با استفاده از فناوری فیبر نوری و اینترنت اشیاء و ایجاد مراکز جامع پایش وضعیت آنلاین

طبق بررسی های صورت گرفته، در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته دنیا، فناوری پایش وضعیت آنلاین ژنراتور به ترتیب در مرحله دو و سه قرار دارد و با سرعت در حال توسعه می باشد. این در حالیست که فناوری فوق در کشور هنوز در مرحله اول قرار دارد و با سرعت کمی در حال توسعه است.

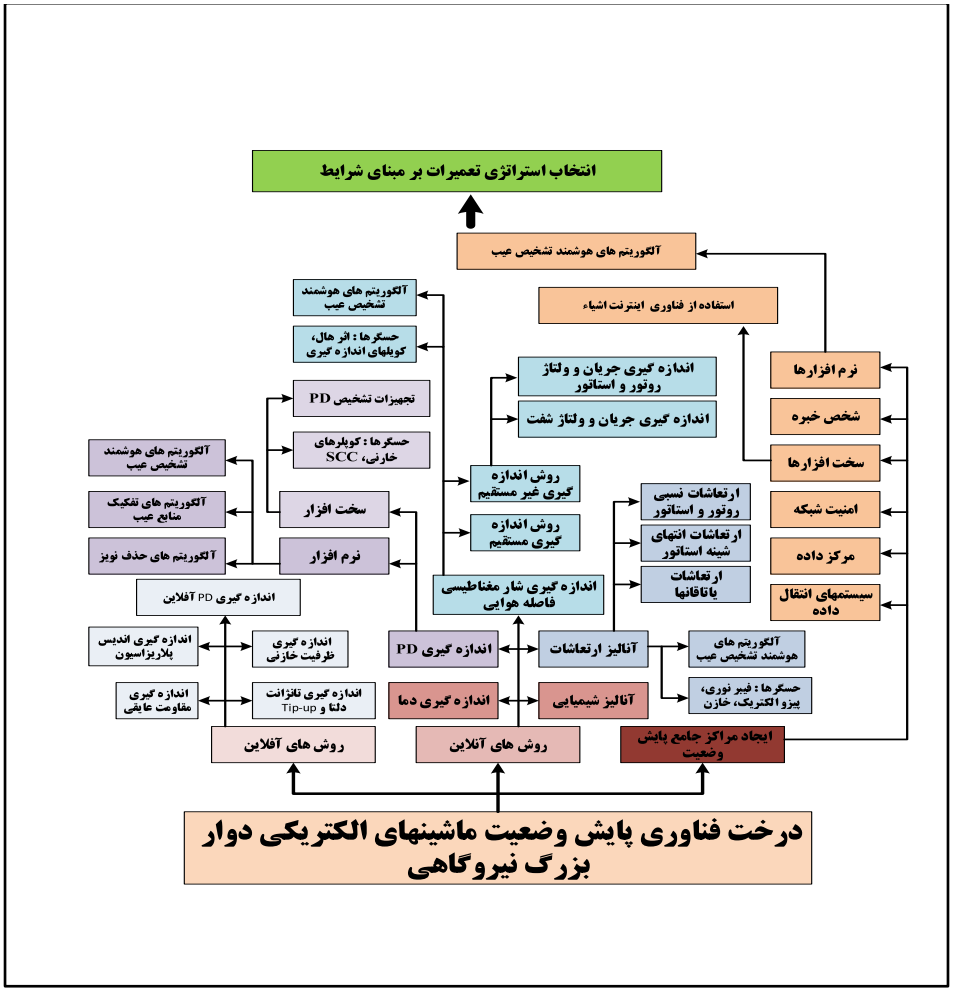
وضعیت فعلی فناوری پایش آنلاین ژنراتور که در قالب نصب تجهیزات در نیروگاههای کشور مطابق جدول ۱۷۹-۲ است.

جدول ۱۷۹-۲: نتایج مربوط به تجهیزات پایش آنلاین نصب شده بر روی ژنراتور نیروگاههای کشور

شماره	نام نیروگاه	اندازه گیری PD	اندازه گیری ارتعاشات	فاصله هوایی
۱	نیروگاه حرارتی بندر عباس	PDA-KES	-	-
۲	نیروگاه شهید سلیمی (نکا)- واحدهای بخار، گاز و سیکل ترکیبی	PDA-KES	-	-
۳	نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند	PDA-KES	-	-
۴	نیروگاه سیکل ترکیبی گیلان	PDA-KES	-	-
۵	نیروگاه گازی ری	PDA-KES	-	-
۶	نیروگاه سیکل ترکیبی قم	PDA-KES	-	-
۷	نیروگاه حرارتی شازند	PDA-KES	-	-
۸	نیروگاه سیکل ترکیبی کرمان	PDA-KES	-	-

۱۴-۶-۲-۲- درخت فناوری، نتیجه گیری و ارایه پیشنهاد

در شکل ۵۲۹-۲ درخت فن آوری پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی ترسیم شده است.



شکل ۵۲۹-۲: درخت فن اوری پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی

- فناوری‌های اندازه‌گیری PD

طبق بررسی های صورت گرفته در میان تمامی روشهای آنلاین پایش وضعیت ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ که در فصل قبل فناوری آن مورد بررسی قرار گرفت، فناوری اندازه گیری پالسهای تخلیه جزئی بیشتر مورد توجه صنایع و نیروگاهها قرار گرفته است. با توجه به سطح بالا بودن فناوری مربوط به حسگرها و تجهیزات اندازه گیری بیشتر فعالیتهای پژوهشی مرتبط با فناوری فوق الذکر که در قالب مقالات چاپ و گزارشهای عملی بررسی گردید، مختص به انجام مطالعات تئوریک و توسعه مدلهای فرکانس بالای ماشین بوده است. با این وجود انجام پروژه های با هدف ساخت حسگرهای خازنی و تجهیزات اندازه گیری آنلاین توسط شرکتهای دانش بنیان داخلی صورت گرفته است.

از طرف دیگر پتانسیل استفاده از این فناوری در بسیاری از نیروگاهها و صنایع داخلی نظیر مس سرچشمه، مجتمع های تولید سیمان و پتروشیمی ها بدلیل نصب کوپلرهای خازنی وجود دارد. اما به دلایلی که در زیر به آن پرداخته می شود عملا در بسیاری از نیروگاهها مورد استفاده قرار نمی گیرند:

- فراگیر نشدن انجام تستهای ارزیابی وضعیت عایقی در همه نیروگاهها و صنایع مرتبط با صنعت ماشینهای الکتریکی دوار
- عدم وجود دستورالعمل یکسان جهت انجام آزمایشها
- عدم توجه به کیفیت دستگاهها و تجهیزات فنی

- ضعف تحلیل نتایج تست بدلیل عدم وجود پایگاه داده قدرتمند

لازم به ذکر است در این پروژه فناوری PD تنها در ماشینهای دوار بزرگ نیروگاهی با هدف پایش عیوب عایقی استاتور بررسی شد. با توجه به اینکه در سالهای اخیر تکنولوژی درایو و استفاده از اینورتر در موتورهای القایی بزرگ توسعه پیدا کرده است نیاز به انجام فعالیتهای پژوهشی در زمینه پایش وضعیت آنلاین ماشینهای الکتریکی تغذیه شده با درایو احساس می شود و انجام آن باید مورد توجه قرار گیرد.

لذا با توجه به موارد گفته شده اولویتهای تحقیقاتی زیر در زمینه فناوری اندازه گیری سیگنالهای تخلیه جزیی پیشنهاد می شود :

- ایجاد یک پایگاه مرکز داده قدرتمند با استفاده از داده های تخلیه جزیی نیروگاههای کشور با هدف توسعه سیستمهای پایش عیب
- بررسی فناوری اندازه گیری تخلیه جزئی در الکتروموتورهای تحت تغذیه با درایو و ژنراتورهای دارای سیستم تحریک استاتیک

- روش‌های الکتریکی (پایش شار مغناطیسی فاصله هوایی)

مباحث تئوریک مربوط به این فناوری در قالب پروژه های تحقیقاتی در سطح دانشگاه های کشور در دست انجام است. با توجه به محدودیتهایی که پیاده سازی این فناوری بر روی ماشینهای الکتریکی بزرگ نظیر ژنراتورهای نیروگاهی دارد، در اکثر مراکز تحقیقاتی بیشتر با تمرکز بروی انجام مطالعات تشخیص عیوب رتور بر روی الکتروموتورهای کم توان انجام می شود.

طبق تحقیقات صورت گرفته علی رغم اینکه در دنیا از این روش به عنوان یکی از روشهای معمول در پایش وضعیت عملکردی ماشینهای بزرگ استفاده می شود، در نیروگاهها و صنایع مرتبط داخلی مورد استفاده قرار نگرفته است. یکی از محدودیتهای فوق به دلیل مهاجم بودن این فناوری بدلیل نصب سنسور در فضای داخل ماشین است. هر چند شرکتهایی مانند IRIS با استفاده از اندازه گیری جریان و ولتاژ دو فاز ماشین، بصورت غیر مستقیم شار مغناطیسی فاصله هوایی را پایش می کنند. لذا پایش شار فاصله هوایی ماشین با استفاده از روشهای غیر مهاجم می تواند مورد توجه قرار گیرد.

لذا با توجه به موارد گفته شده اولویتهای تحقیقاتی زیر در زمینه فناوری اندازه گیری شار مغناطیسی فاصله هوایی پیشنهاد می شود :

- طراحی و ساخت سیستم اندازه گیری شار فاصله هوایی (با استفاده از روشهای غیر مستقیم نظیر اندازه گیری جریان و ولتاژ استاتور) شامل سخت افزار و نرم افزار پایش عیب و تشخیص وضعیت عملکردی
- طراحی و ساخت دستگاه اندازه گیری ولتاژ شفت شامل سخت افزار و نرم افزار پایش عیب و تشخیص وضعیت عملکردی
- انجام مطالعات تشخیص عیب و پایش وضعیت بر روی ژنراتورهای نیروگاهی با هدف دستیابی به نرم افزار پایش وضعیت روتور بر مبنای تحلیل شار مغناطیسی فاصله هوایی

- آنالیز ارتعاشات

استفاده از فناوری اندازه گیری ارتعاشات در تشخیص عیوب ماشینهای دوار مکانیکی سابقه ای طولانی دارد. با این وجود استفاده از این فناوری جهت پایش عیوب ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ در سالهای اخیر بشدت مورد توجه قرار گرفته است. در داخل کشور مطالعات گسترده ای در خصوص تشخیص عیوب توربین های نیروگاهی صورت می پذیرد. اما تاکنون مطالعات مستقلی که بتواند بصورت خاص بر روی تشخیص عیوب ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ متمرکز شود، انجام نشده است.

لذا با توجه به موارد گفته شده اولویتهای تحقیقاتی زیر در زمینه فناوری آنالیز ارتعاشات پیشنهاد می شود:

- طراحی و ساخت دستگاه آنالیز ارتعاشات شامل سخت افزار و نرم افزار پایش عیب و تشخیص وضعیت عملکردی
- انجام مطالعات تشخیص عیب و پایش وضعیت بر روی ژنراتورهای نیروگاهی با هدف دستیابی به نرم افزار پایش وضعیت رتور بر مبنای تحلیل ارتعاشات ماشین

- پایش دما

طبق بررسی های صورت گرفته حسگرهای اندازه گیری دما بر روی قسمتهای مختلف ژنراتورهای نیروگاهی نصب شده اند. با وجود این پتانسیل در نیروگاه اغلب بدلیل عدم ثبت روند تغییرات دما در یک بازه چند ماه وبه دنبال آن عدم تفسیر اطلاعات، از این قابلیت در نیروگاهها استفاده نمی شود.

لذا با توجه به موارد گفته شده اولویتهای تحقیقاتی زیر پیشنهاد می شود:

- ایجاد یک پایگاه مرکز داده در نیروگاه با استفاده از داده های دمای قسمتهای مختلف ماشین به عنوان یک روش مکمل در کنار روشهای اصلی پایش وضعیت
- پژوهش در زمینه پایش عیوب رتور با استفاده از اندازه گیری دقیق و مستقیم دمای قسمتهای مختلف روتور

- ایجاد مراکز جامع پایش وضعیت ژنراتور

نقشه راه ایجاد مراکز پایش وضعیت در سطح نیروگاههای کشور بطور کلی شامل گام های زیر است :

گام اول : ایجاد سیستم های پایش وضعیت محلی توربوژنراتورها در سطح نیروگاههای منتخب

برای اجرای این مرحله لازم است تا در ابتدا چهار نیروگاه به عنوان نیروگاههای پایلوت انتخاب شوند. طبق مطالعات صورت گرفته نیروگاههای دماوند (۱۸ ژنراتور)، و نکا (۷ ژنراتور)، شازند اراک (۴ واحد) بدلیل تنوع و تعدد ژنراتورها و همچنین نصب کوپلرهای PD ، با کمترین هزینه مناسب ترین واحدهای نیروگاهی برای اجرای طرح فوق می باشند. در این مرحله مطابق با ساختار تک ماشینه که قبلا بصورت مفصل به آن پرداخته شد، تجهیزات مربوط به اندازه گیری ارتعاشات انتهای شینه بر روی ژنراتور واحد نصب می شود. سپس داده های اندازه گیری شده PD، ارتعاشات و دما بصورت متمرکز و کاملا همزمان توسط کارتهای اکتساب اطلاعات A/D بر روی یک حافظه در محل نیروگاه ذخیره و پردازشهای لازم جهت حذف نویز و تحلیل عیب بر روی آنها صورت می پذیرد. با تجمیع و پردازش داده های اندازه گیری شده در این مرحله امکان ایجاد و توسعه نرم افزارهای پایش عیب بهمراه آلگوریتمهای هوشمند پیش بینی خطا توسط شرکتهای دانش بنیان و کارشناسان خبره وجود خواهد داشت که در واقع می توان از آن به عنوان مهمترین دستاورد این مرحله نام برد.

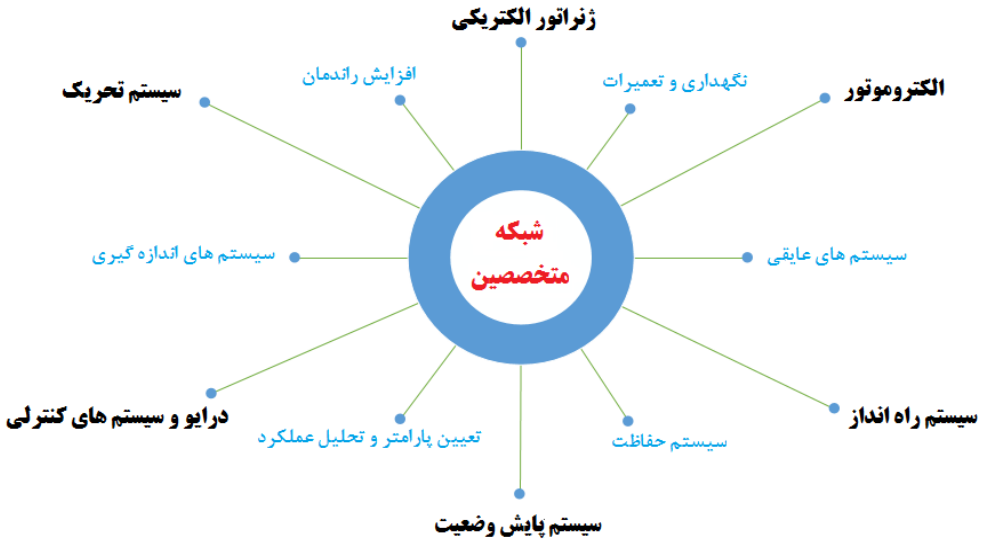
گام دوم : ایجاد مرکز جامع پایش وضعیت توربوژنراتورهای نیروگاهی با تجمیع داد های مراکز محلی

بعد از اجرای موفق گام اول و با پیاده سازی سیستم پایش وضعیت در نیروگاههای منتخب، امکان ارسال داده های مربوط به سه نیروگاه منتخب به یک مرکز از راه دور از طریق شبکه فیبر نوری (MPLS و یا OPGW) وجود خواهد داشت. در صورت استفاده از سرورهای مطمئن و امن شرکت مادر تخصصی برق حرارتی و یا پژوهشگاه نیرو می توان بطور قابل ملاحظه ای در هزینه های مربوطه صرفه جویی نمود.

در واقع با راه اندازی مرکز جامع پایش از راه دور توربوژنراتورهای نیروگاهی بصورت پایلوت و ارایه گزارشهای مفید و موثر در خصوص پیش بینی عیب و صرفه جویی صورت گرفته در هزینه های تعمیرات می تواند موجب ترغیب سایر نیروگاهها برای سرمایه گذاری و نصب سیستم های فوق در نیروگاه شود. با افزایش تعداد توربو ژنراتورها و غنی تر شدن بانک داده امکان توسعه و بهبود نرم افزارها و آلگوریتمهای تحلیل عیب و پیش بینی خطا فراهم می شود.

۳-۲- شناسایی پتانسیل‌های پژوهشگاه نیرو و شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی از منظر منابع انسانی، تجهیزات و زیرساخت‌های آزمایشگاهی و کارگاهی

در این بخش به معرفی قابلیت‌ها و توانمندی‌های پژوهشگاه و شرکت برق حرارتی از منظر منابع انسانی، توانایی مالی و دانشی و سازمانی و تجهیزات و آزمایشگاه‌ها خواهیم پرداخت. در این راستا، ابتدا قابلیت‌های پژوهشگاه نیرو از منظر متخصصین و آزمایشگاه‌های مرتبط با موضوع مذکور ارائه می‌گردد. سپس پتانسیل‌های شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی از طریق بررسی شرکت‌های زیرمجموعه، شرکت‌های تولید و مدیریت تولید برق و شرکت‌های تعمیرات نیروگاهی شناسایی و ارائه خواهند شد. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته و با در نظر داشتن تابع هدف که تجهیزات الکتریک نیروگاه می‌باشد، شبکه متخصصین و نخبگان در شش حوزه اصلی و زیربخش‌های مرتبط که در شکل زیر نشان داده شده است فعالیت دارند.



شکل ۵۳۰-۲ : تجهیزات الکتریک نیروگاه و حوزه‌های مرتبط

۱-۳-۲- گروه‌های پژوهشی، مراکز توسعه و رشد فناوری پژوهشگاه نیرو

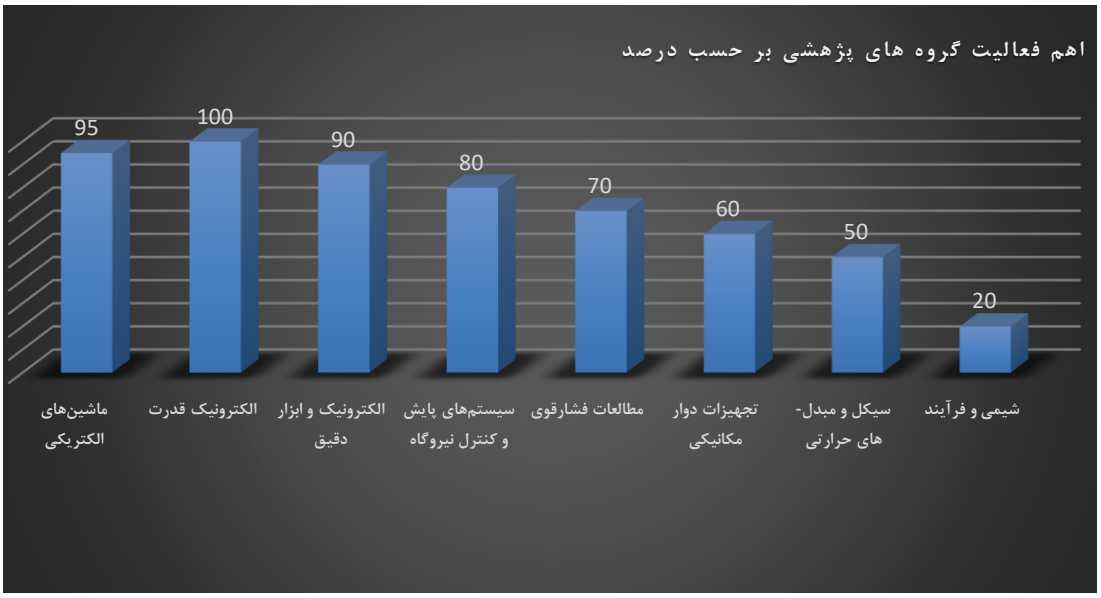
پژوهشگاه نیرو در ۱۱ حوزه مختلف کاری دارای گروه‌های مختلف پژوهشی می‌باشد که فهرست کلیه گروه‌های پژوهشی فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه در جدول ۱۸۰-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۸۰-۲ : گروه‌های پژوهشی فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	گروه‌های پژوهشی	تجهیزات الکتریک نیروگاه					
		ژنراتور الکتریکی	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت
۱	ماشین‌های الکتریکی	*	*	*	*	*	*
۲	الکترونیک قدرت			*	*	*	*
۳	الکترونیک و ابزار دقیق						*
۴	سیستم‌های پایش و	*		*			*

	کنترل نیروگاه						
۵	مطالعات فشارقوی	❊					❊
۶	تجهیزات دوار مکانیکی	❊	❊				❊
۷	سیکل و مبدل‌های حرارتی	❊					❊
۸	شیمی و فرآیند	❊					❊

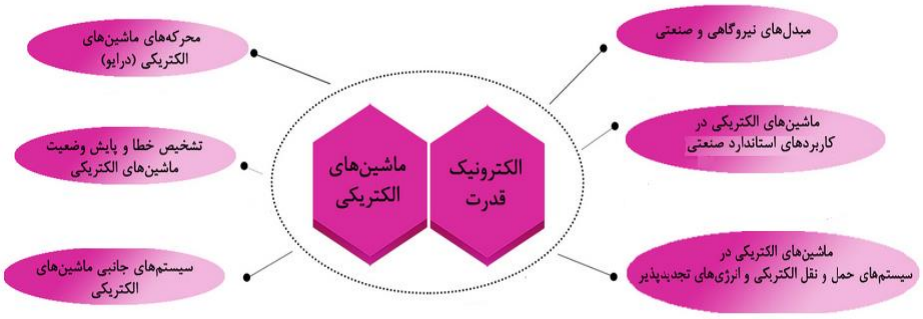
در ادامه حوزه‌های کاری مرتبط با موضوع پروژه معرفی و شرح مختصری از اهداف و فعالیت‌های هر حوزه و گروه‌های پژوهشی زیر مجموعه آن‌ها ارائه شده است. همچنین متخصصین در حوزه‌های مذکور برای هر گروه پژوهشی به تفکیک آورده شده است. در شکل ۵۳۱-۲ نمودار سهم مشارکت گروه‌های پژوهشی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه قابل مشاهده است.



شکل ۵۳۱-۲ : نمودار سهم مشارکت گروه‌های پژوهشی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

۲-۳-۲- حوزه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی

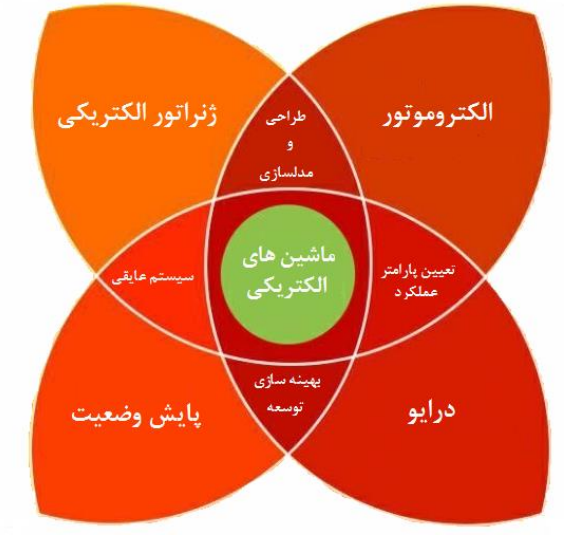
فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی و محورهای تخصصی هر گروه در شکل ۵۳۲-۲ ارائه شده است.



شکل ۵۳۲-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی

۱-۲-۳-۲- گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی

گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی با انجام فعالیت‌های تحقیقاتی در خصوص طراحی، مدلسازی و ساخت ماشین‌های الکتریکی، ارزیابی وضعیت عایقی ماشین‌های الکتریکی ولتاژ متوسط و ولتاژ بالا، تعیین پارامترهای دینامیکی اجزاء واحدهای نیروگاهی، و همچنین سیاست پژوهی، آینده پژوهی و تدوین اسناد راهبردی در حوزه ماشین‌های الکتریکی در راستای تحقق اهداف کلان گروه در این حوزه گام برمی‌دارد. شکل ۵۳۳-۲ اهم فعالیت‌های این گروه را ارائه می‌دهد. همچنین این گروه دارای آزمایشگاه مجهز ماشین‌های الکتریکی می‌باشد.



شکل ۵۳۳-۲ : عمده فعالیت‌های گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	سهراب امینی ولاشانی	*	*				*	رئیس مرکز توسعه فناوری الکتروموتورهای پیشرفته
۲	مهدی علی‌احمدی	*	*				*	مدل‌سازی، طراحی و تحلیل ماشین‌های الکتریکی، روش‌های ارزیابی وضعیت عایقی ماشین‌های الکتریکی دوار فشارقوی
۳	علیرضا قائم‌پناه	*	*				*	طراحی و نمونه سازی ماشین‌های الکتریکی، پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی بزرگ
٤	رضا نصیری زرندی	*	*			*		طراحی و مدلسازی انواع ماشین‌های الکتریکی، مطالعه و آینده پژوهی در حوزه ماشین‌های الکتریکی پربازده، طراحی و مدلسازی درایوهای الکترونیک قدرت، آنالیز عددی و تحلیلی ماشین‌های الکتریکی، سیستم‌های پیشرانه در خودروهای برقی
٥	حمیدرضا پیرو دین		*			*		درایو ماشین‌های الکتریکی، الکترونیک قدرت، طراحی و ساخت مگادرایوهای صنعتی، طراحی و ساخت درایوهای تحمل پذیر خطا
٦	حسین عزیزی مقدم	*	*			*		طراحی، مدلسازی ، بهینه‌سازی و ساخت ماشین‌های الکتریکی، طراحی و ساخت سیستم‌های درایو ماشین‌های الکتریکی و انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت، طراحی و ساخت و توسعهٔ سیستم‌های تست ماشین - درایو چند منظوره و تجهیزات ابزار دقیق مرتبط با آن
۷	ایمان صادقی	*	*			*	*	پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار، مطالعات

								دینامیک و شناسایی پارامترهای دینامیکی اجزاء نیروگاه، عایق‌های فشارقوی، طراحی موتورهای الکتریکی
۸	ارسلان حکمتی	*	*	*	*	*	*	طراحی و ساخت ماشین‌های الکتریکی، پایش وضعیت تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها
۹	امین بیرامی ایناللو	*	*			*		ماشین‌های الکتریکی، مبدل‌های الکترونیک قدرت

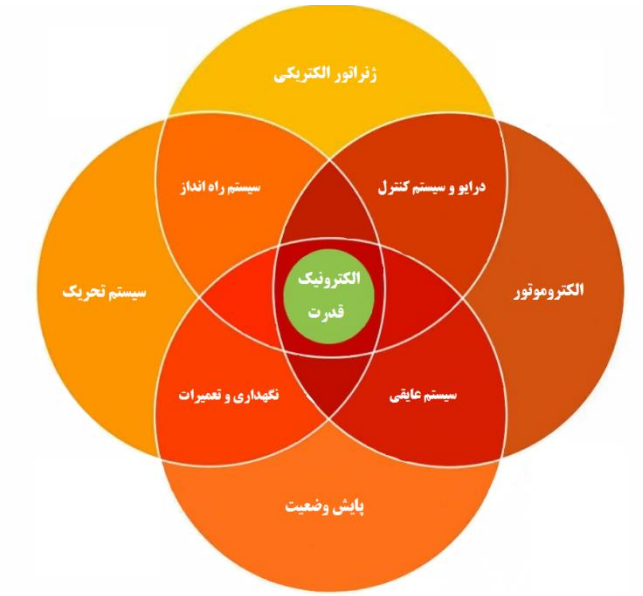
مشخصات متخصصین و اعضای گروه ماشین‌های الکتریکی که در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه در حال فعالیت هستند به تفکیک ارائه شده است.

جدول ۱۸۱-۲ : متخصصین گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	سهراب امینی ولاشانی	*	*				*	رئیس مرکز توسعه فناوری الکتروموتورهای پیشرفته
۲	مهدی علی‌احمدی	*	*				*	مدل‌سازی، طراحی و تحلیل ماشین‌های الکتریکی، روش‌های ارزیابی وضعیت عایقی ماشین‌های الکتریکی دوار فشارقوی
۳	علیرضا قائم‌پناه	*	*				*	طراحی و نمونه سازی ماشین‌های الکتریکی، پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی بزرگ
٤	رضا نصیری زرندی	*	*			*		طراحی و مدلسازی انواع ماشین‌های الکتریکی، مطالعه و آینده پژوهی در حوزه ماشین‌های الکتریکی پربازده، طراحی و مدلسازی درایوهای الکترونیک قدرت، آنالیز عددی و تحلیلی ماشین‌های الکتریکی، سیستم‌های پیشرانه در خودروهای برقی
٥	حمیدرضا پیرو دین		*			*		درایو ماشین‌های الکتریکی، الکترونیک قدرت، طراحی و ساخت مگادرایوهای صنعتی، طراحی و ساخت درایوهای تحمل پذیر خطا
٦	حسین عزیزی مقدم	*	*			*		طراحی، مدلسازی ، بهینه‌سازی و ساخت ماشین‌های الکتریکی، طراحی و ساخت سیستم‌های درایو ماشین‌های الکتریکی و انواع مبدل‌های الکترونیک قدرت، طراحی و ساخت و توسعهٔ سیستم‌های تست ماشین - درایو چند منظوره و تجهیزات ابزار دقیق مرتبط با آن
۷	ایمان صادقی	*	*			*	*	پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار، مطالعات دینامیک و شناسایی پارامترهای دینامیکی اجزاء نیروگاه، عایق‌های فشارقوی، طراحی موتورهای الکتریکی
۸	ارسلان حکمتی	*	*	*	*	*	*	طراحی و ساخت ماشین‌های الکتریکی، پایش وضعیت تجهیزات الکتریکی نیروگاه‌ها
۹	امین بیرامی ایناللو	*	*			*		ماشین‌های الکتریکی، مبدل‌های الکترونیک قدرت

۲-۲-۳-۲- گروه پژوهشی الکترونیک قدرت

گروه پژوهشی الکترونیک قدرت در زمینه‌های تحقیقاتی و پژوهشی و همچنین طراحی و ساخت تجهیزات الکترونیک مورد نیاز صنعت برق کشور فعالیت می‌کند. در این گروه تجهیزاتی نظیر جبران‌کننده‌های استاتیک توان راکتیو، تحریک کننده‌های استاتیک ماشین‌های الکتریکی سنکرون، سیستم‌های راه‌انداز استاتیکی و کنترل دور موتورها، سیستم‌های انتقال توان الکتریکی با جریان مستقیم(HVDC) و ادوات انعطاف‌پذیر در شبکه‌های انتقال و توزیع (FACTS) به منظور استفاده در سیستم قدرت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و طراحی و پیاده‌سازی شده است. هم اکنون گروه پژوهشی الکترونیک قدرت یکی از زیر مجموعه‌های معاونت پژوهشی پژوهشگاه نیرو می‌باشد. شکل ۵۳۴-۲ اهم فعالیت‌های این گروه را ارائه می‌دهد.



شکل ۵۳۴-۲ : حوزه‌های مختلف تحت پوشش گروه پژوهشی الکترونیک قدرت

متخصصین این گروه پژوهشی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه در جدول ۱۸۲-۲ ارائه شده است.

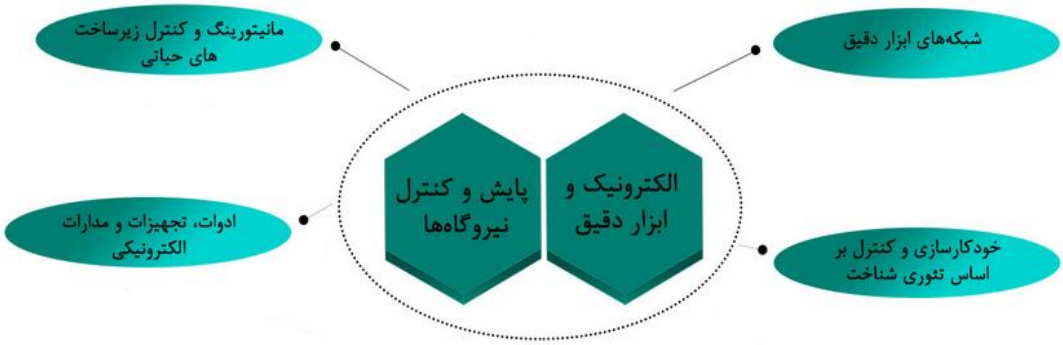
جدول ۱۸۲-۲ : متخصصین گروه پژوهشی الکترونیک قدرت در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	مهدی بابایی رگنی	*	*			*		درایوهای موتورهای الکتریکی، مبدل‌های چندسطحی، ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت، ادوات FACTS و بهسازهای کیفیت توان
۲	محمد مرامی ساران	*	*	*		*		مبدل‌های الکترونیک قدرت، مبدل‌های سوئیچینگ و رزونانسی، منابع تغذیه ولتاژ بالا
۳	سعید محقق دولت‌آبادی	*	*	*		*		مبدل‌های الکترونیک قدرت، تولید پراکنده خورشیدی، مدیریت مصرف انرژی در ساختمان
٤	سعید حاتمی	*	*	*		*		سیستم‌های تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون، مبدل‌های الکترونیک قدرت نیروگاهی، HVDC و ادوات FACTS، منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده
٥	حسن ابراهیمی‌راد		*			*	*	سیستم‌های کنترل دور موتور، موتورهای القایی پربازده، تجهیزات الکترونیک قدرت، پایداری سیستم‌های الکترونیک قدرت، کیفیت توان
٦	بهروز عارضی			*				الکترونیک قدرت، رله و حفاظت، سیستم‌های تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون، مبدل‌های الکترونیک قدرت، خودرو برقی و ایستگاه‌های شارژ خودرو برقی

۷	بنفشه همدانی		*			*		الکترونیک قدرت، درایو
۸	احسان هاشم‌زاده			*			*	مبدل‌های الکترونیک های قدرت، ادوات FACTS و بهساز کیفیت توان، سیستم‌های تحریک نیروگاهی
۹	سارا لالی				*			انجام شبیه‌سازی و ساخت آزمایشگاهی مرتبط با مبدل‌های الکترونیک قدرت

۳-۳-۲- حوزه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق

فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق و محورهای تخصصی هر گروه در شکل ۵۳۵-۲ ارائه شده است.



شکل ۵۳۵-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق

۱-۳-۳-۲- گروه پژوهشی الکترونیک و ابزار دقیق

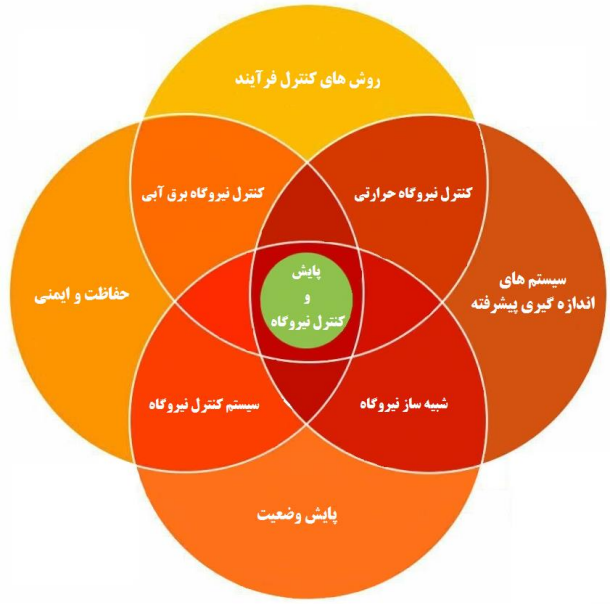
این گروه پژوهشی، فعالیت خود را در سال ۱۳۷۷ با نام گروه پژوهشی الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق و با تاکید بر پروژه‌های طراحی و ساخت دستگاه‌های الکترونیکی مورد نیاز صنعت برق کشور آغاز نمود. در سال ۱۳۹۳، گروه پژوهشی الکترونیک، کنترل و ابزار دقیق، با تغییر نام به "گروه پژوهشی ابزار دقیق"، فعالیت‌های خود را به صورت ویژه بر موضوع ابزار دقیق صنعت برق کشور متمرکز نمود. هم‌اکنون گروه پژوهشی ابزار دقیق، یکی از زیرمجموعه‌های معاونت پژوهشی پژوهشگاه نیرو می‌باشد. جدول ۱۸۳-۲ مشخصات متخصصین و اعضای فعال گروه الکترونیک و ابزار دقیق در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه را نشان داده است.

جدول ۱۸۳-۲ : متخصصین گروه پژوهشی الکترونیک و ابزاردقیق در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	مریم امیرآبادی فراهانی						*	عیب‌یابی، طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری و آنالیز روغن ترانسفورماتور
۲	ندا یاوری						*	طراحی و ساخت سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته نیروگاه، طراحی و ساخت ترانس نوری
۳	مرتضی مظفری						*	طراحی و ساخت سیستم‌های اندازه‌گیری پیشرفته نیروگاه، طراحی و ساخت ترانس نوری

۲-۳-۳-۲- گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه

گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه در سال ۱۳۸۹ پس از انحلال گروه الکتریک و تجمیع با بخش‌هایی از گروه بهره‌برداری نیروگاه با هدف اجرای پروژه‌های کاربردی و ارائه خدمات آزمایشگاهی به بخش کنترل و ابزار دقیق صنعت برق و بخصوص نیروگاه‌ها تشکیل گردید. شکل ۵۳۶-۲ فعالیت‌های این گروه در حوزه‌های مختلف کاری را نشان می‌دهد.



شکل ۵۳۶-۲ : حوزه‌های مختلف تحت پوشش گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه

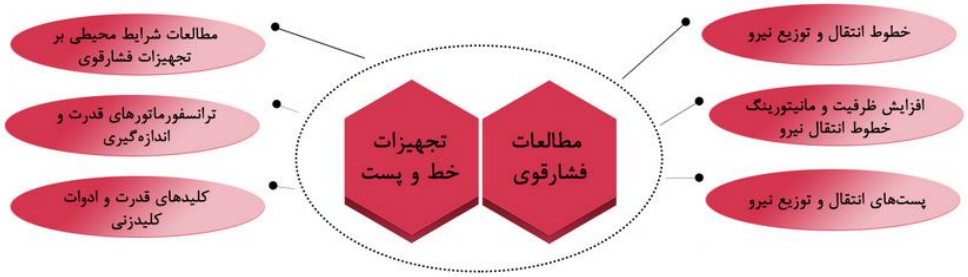
در جدول ۱۸۴-۲ مشخصات متخصصین این گروه که در راستای اهداف پروژه در حال فعالیت هستند، نمایش داده شده است.

جدول ۱۸۴-۲ : متخصصین گروه پژوهشی پایش و کنترل نیروگاه در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	محمد ابراهیم سربندی فراهانی						*	**رئیس مرکز** مرکز توسعه فناوری، بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات واحدهای نیروگاهی (O&M) ، **تست و پایش نیروگاه**
۲	جوانه ضیاتبری			*			*	**طراحی و ساخت سیستم تحریک استاتیک، ارتقا سیستم پایش واحدهای گازی**
۳	حمیدرضا خالصی						*	**طراحی و پیاده‌سازی نرم‌افزار سیستم پایش، مانیتورینگ و حفاظت نیروگاه**
٤	رامین فخری اسفستانی						*	**پایش وضعیت نیروگاه حرارتی، سیستم کنترل و افزایش راندمان نیروگاه**
٥	سید علی سلامتی	*		*			*	**پایش وضعیت، تخمین پارامتر سیستم ژنراتور و اکسایتر بیش از ٤٠ نیروگاه**
٦	علی بخشی	*	*				*	**پایش و کنترل نیروگاه، سیستم حفاظت ژنراتور و ترانسفورماتور، تعیین پارامتر عملکردی**
۷	علی پوره	*		*				**مدل‌سازی دینامیکی سیستم تحریک و ژنراتور واحد گازی – زیمنس**
۸	محمد احمدی						*	**طراحی نرم‌افزار پایش، سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ**

٤-۳-۲- حوزه مطالعات شبکه‌های فشارقوی

حوزه مطالعات فشارقوی از بدو تاسیس پژوهشگاه نیرو در پژوهشکده انتقال و توزیع نیرو فعالیت خود را آغاز نموده و بعنوان یک گروه پیشرو با انجام پروژه‌های حیاتی برای صنعت برق، سعی بر آن دارد تا رسالت اصلی خود به عنوان یکی از متولیان اصلی تحقیقات در زمینه علوم فشارقوی در کشور را به انجام رساند. فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه مطالعات شبکه‌های فشارقوی و محورهای تخصصی هر گروه در شکل ۵۳۷-۲ ارائه شده است.



شکل ۵۳۷-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه مطالعات شبکه‌های فشارقوی

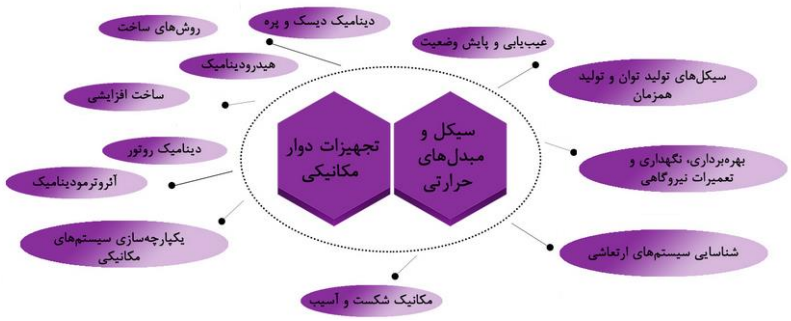
این گروه در حوزه مطالعات، طراحی و راه‌اندازی، تهیه و تدوین استاندارد تجهیزات فشارقوی در حال فعالیت است. همچنین راه‌اندازی آزمایشگاه‌های مرجع فشارقوی، کلید فشارضعیف، پیرسازی مقره‌های پلیمری و اتصال کوتاه، قدمی هر چند کوتاه لیکن استوار برای خدمت‌رسانی به شرکت‌های تولیدی (جهت بهبود کیفیت) و صنعت برق (کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، کاهش ساعت قطعی و انرژی توزیع نشده و بهبود ضریب اطمینان شبکه) از عمده خدمات این گروه می‌باشد. هم اکنون گروه فشارقوی با بهره‌گیری از کارشناسان با تجربه و متخصص آماده ارائه خدمات تحقیقاتی و آزمایشگاهی در زمینه تجهیزات عایقی و فشارقوی در صنعت برق کشور می‌باشد. در جدول ۱۸۵-۲ مشخصات اعضای گروه مطالعات فشارقوی ارائه شده است.

جدول ۱۸۵-۲ : متخصصین گروه پژوهشی مطالعات فشار قوی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	حسین کرمی	*	*				*	طراحی و ساخت ژنراتور شار محوری، پایش وضعیت آنلاین
۲	حمید جهانگیر	*					*	تخلیه جزئی
۳	مهدی گودرزی						*	

۵-۳-۲- حوزه مکانیک نیروگاه

فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه مکانیک نیروگاه‌ها و محورهای تخصصی هر گروه در شکل ۵۳۸-۲ ارائه شده است.



شکل ۵۳۸-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه مکانیک نیروگاه‌ها

۱-۵-۳-۲- گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی

با آغاز فعالیت پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۶، گروه مکانیک فعالیت خود را در زیرمجموعه پژوهشکده تولیدنیرو آغاز نمود. محورهای فعالیت این گروه در زمینه انجام تحقیقات کاربردی، ارائه خدمات مهندسی و ساخت تجهیزات مکانیکی نیروگاه‌ها می‌باشد. جدول ۱۸۶-۲ متخصصین این گروه که در راستای اهداف پروژه در حال فعالیت هستند را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۸۶-۲ : متخصصین گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	اصغر نجفی						*	ارتعاشات و آکوستیک
۲	جفعر آقایاری	*	*				*	ارتعاشات، مطالعات دینامیکی و طراحی ماشین‌آلات دوار
۳	سعید باب						*	تحلیل و آنالیز ارتعاشات
٤	مسعود آسایش	*					*	عیب‌یابی توربوماشین با آنالیز ارتعاشات
٥	مهدی آقاامینی	*					*	پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات دوار (توربوژنراتور)، نگهداری و تعمیرات
٦	مهدی خاقانی	*	*				*	ارتعاشات تجهیزات دوار
۷	مهدی هاشمی	*	*				*	تحلیل عملکرد روتور انواع توربوژنراتور، ارتعاشات، افزایش راندمان الکتروموتور

۲-۵-۳-۲- گروه پژوهشی سیکل و مبدل‌های حرارتی

گروه پژوهشی سیکل و مبدل‌های حرارتی از زمان تشکیل پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۶ فعالیت‌های خود را تحت نام بهره‌برداری از سیستم‌های نیروگاهی و به عنوان بخشی از پژوهشکده تولید نیرو آغاز کرده است. گروه سیکل و مبدل‌های حرارتی به واسطه فعالیت خود در زمینه تجهیزات نیروگاهی، ارتباط مستقیم با شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، شرکت‌های تولید نیروی برق، نیروگاه‌های حرارتی و شرکت‌های فعال در زمینه ساخت، تعمیرات و بهینه‌سازی تجهیزات نیروگاهی دارد. متخصصین فعال این گروه در حوزه تجهیزات الکتریک در جدول ۱۸۷-۲ ارائه شده است.

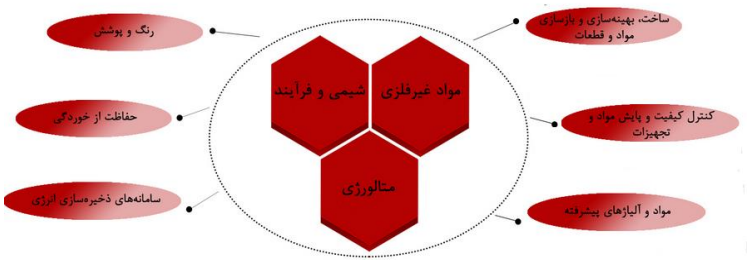
جدول ۱۸۷-۲ : متخصصین گروه پژوهشی سیکل و مبدل¬های حرارتی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	محمد ابراهیم سرآبندی						*	نگهداری و تعمیرات نیروگاه، افزایش راندمان و عمر واحدهای نیروگاهی
۲	فرشته رحمانی						*	بازتوانی کامل نیروگاه سیکل ترکیبی
۳	علی محرمی						*	O&M نیروگاه
٤	حمید معصومی						*	نگهداری و تعمیرات، افزایش راندمان و عمر

								واحدهای نیروگاهی
۵	اکبر نمازی تجرق						*	نگهداری و تعمیرات نیروگاه، افزایش راندمان

٦-۳-۲- حوزه شیمی و مواد

با توجه به اهمیت علوم و مهندسی شیمی در صنعت برق در سال ۱۳۸۰ با تاسیس حوزه شیمی و مواد، این گروه پژوهشی با همکاری کارشناسان خبره و متخصص و آزمایشگاه‌های مجهز خود، انجام امور پژوهشی در زمینه‌های مختلف شیمی و فرآیند در صنعت برق را بر عهده دارد. فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه شیمی و مواد و محورهای تخصصی هر گروه در شکل ۵۳۹-۲ ارائه شده است.



شکل ۵۳۹-۲ : فهرست گروه‌های پژوهشی مرتبط با حوزه شیمی و مواد

گروه پژوهشی شیمی و فرآیند با همکاری کارشناسان خبره و متخصص و آزمایشگاه‌های مجهز خود، انجام امور پژوهشی در زمینه‌های مختلف شیمی و فرآیند در صنعت برق را بر عهده دارد. از مهمترین اهداف این گروه می‌توان به توسعه دانش فنی ساخت مواد شیمیایی و تجهیزات مورد استفاده درصنعت برق، توسعه روش‌های بهره‌برداری نیروگاه‌ها، افزایش راندمان حرارتی، توسعه دانش فنی مانیتورینگ تجهیزات صنعت برق با استفاده از روش‌های شیمیایی و نهایتاً کاهش وابستگی علمی، فنی و تجهیزاتی به خارج از کشور و حرکت در جهت خودکفایی صنعت برق اشاره نمود. متخصصین گروه پژوهشی شیمی و فرآیند در جدول ۱۸۸-۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱۸۸-۲ : متخصصین گروه پژوهشی شیمی و فرآیند در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	عباس یوسف‌پور	*	*				*	روغن و روانکارها، حفاظت ژنراتور، پایش وضعیت، طراحی و ساخت اندازه‌گیر دمای سیم‌پیچ با حسگر فیبر نوری
۲	سهیلا دلیریان سرابی						*	

همچنین جدول ۱۸۹-۲ متخصصین گروه انرژی‌های تجدیدپذیر و سایر متخصصین پژوهشگاه نیرو که در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه در حال فعالیت هستند را نمایش می‌دهد.

جدول ۱۸۹-۲ : متخصصین پژوهشگاه نیرو در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه

ردیف	متخصصین	حوزه فعالیت متخصصین						توضیحات
		ژنراتور	الکتروموتور	سیستم تحریک	سیستم راه‌انداز	درایو	پایش وضعیت	
۱	سید ابوالفضل موسوی ترشیزی	*						توربوماشین، موتور دیزل
۲	سید سعید ضیایی طباطبایی	*	*					طراحی و ساخت موتور، میکروژنراتور
۳	عباس بحری						*	پایش وضعیت و عیب‌یابی با آنالیز ارتعاشات،

							پارامترهای دینامیکی یاتاقان‌های غلتشی	
٤	علی هاشمی	*					طراحی و ساخت میکروژنراتور	

۷-۳-۲- آزمایشگاه‌های مرجع -پژوهشگاه نیرو

با توجه به تعدد کارخانجات و مراکز ساخت و تولید تجهیزات الکتریک نیروگاه در کشور و همچنین حجم بالای واردات این کالاها به کشور، لزوم انجام آزمون بر روی این محصولات جهت تطابق مشخصات و عملکرد تجهیزات مذکور با استانداردهای معتبر ضروری می‌باشد. از این رو پژوهشگاه نیرو با تاسیس و راه‌اندازی آزمایشگاه‌های مرجع قدمی در جهت این هدف برداشته است. در ادامه به معرفی آزمایشگاه‌های مرتبط با حوزه تجهیزات الکتریکی نیروگاه پرداخته شده است.

۱-۷-۳-۲- آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی

آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی با هدف کمک به انجام و ارتقاء فعالیت‌های پژوهشی و مهندسی مرتبط با اهداف کاری گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی دوار و همچنین ارایه خدمات فنی و مهندسی در زمینه‌های مرتبط، در سال ۱۳۸۲ فعالیت خود را آغاز نمود. در جداول زیر زمینه‌های تحقیقاتی، تجهیزات، آزمون‌ها و مشخصات نمونه‌های ساخته شده توسط این آزمایشگاه ارائه شده است.

جدول ۱۹۰-۲ : زمینه‌های تحقیقاتی و فعالیت‌های آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	طراحی و توسعه ماشین‌های الکتریکی پربازده	- ماشین‌های الکتریکی آهن‌ربای دائم - ماشین‌های الکتریکی رلوکتانسی - ماشین‌های الکتریکی القایی پربازده - مولدهای پربازده با ساختار نوین - ماشین‌های الکتریکی ابررسانا - ماشین‌های الکتریکی مورد استفاده در ذخیره‌سازهای انرژی - ماشین‌های الکترواستاتیکی و پیزوالکتریک
۲	کنترل ماشین‌های الکتریکی	- سیستم‌های درایو با قابلیت تحمل پذیری خطا - طراحی و توسعه سیستم‌های موتور- درایو مدولار (IMMD) با چگالی توان بالا - توسعهٔ الگوریتم‌های کنترلی پیشرفته در زمینه درایو ماشین‌های الکتریکی - هوشمندسازی سیستم‌های موتور- درایو با رویکرد مدیریت بهینه مصرف - مگا درایوهای مورد استفاده در موتورهای الکتریکی ولتاژ متوسط توان بالا - طراحی و توسعه درایو موتورهای الکتریکی با کاربرد خاص - توسعه آزمایشگاه‌های تست سیستم‌های موتور- درایو - تدوین استانداردهای تست و دستورالعمل‌های ممیزی انرژی سیستم‌های درایو - سیستم موتور-درایو یکپارچه
۳	سیستم‌های جانبی ماشین‌های الکتریکی	- سیستم‌های تعلیق مغناطیسی فعال و غیرفعال شامل سیستم تعلیق خودرو و سیستم تعلیق ریلی - سیستم‌های یاتاقان مغناطیسی و ابررسانا - سیستم‌های گیربکس مغناطیسی - سیستم‌های کوپلینگ مغناطیسی
٤	تشخیص خطا و پایش وضعیت ماشین‌های الکتریکی	- ارزیابی وضعیت و عمرسنجی ماشین‌های الکتریکی بزرگ - روش‌های تشخیص و مدل‌سازی خطا در ماشین‌های الکتریکی

جدول ۱۹۱-۲ : تجهیزات و امکانات آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی

ردیف	نام دستگاه	مشخصات فنی
۱	Power meter	۱۰ A ۶۰۰ V
		۳۰۰ A ۶۰۰ V
۲	دستگاه اندازه گیری کیفیت توان	Power quality analyzer Hioki 3196

۳	**Digital Megger MIT 1020**	-
٤	**Digital LCR meter Hioki 3522**	-
٥	**اسیلوسکوپ چهار کاناله**	Tektronix TDS 2014
٦	**گوس متر**	Lake Shore 410
۷	**ترمومتر مادون قرمز**	Raytek MX6
۸	**دستگاه اندازه‌گیری رطوبت، دما و فشار سیال**	Testo 454
۹	**دستگاه اندازه‌گیری ارتعاش**	-
۱۰	**Digital Stroboscope**	Testo 475
۱۱	**دورسنج آنالوگ**	–
۱۲	**مجموعه موتور-درایو و ژنراتور**	**- موتور القایی ٥٥ کیلو وات با درایو** **- ژنراتور سنکرون ٥٠ کیلو ولت آمپر** **- ژنراتور سنکرون ٤٤ کیلو ولت آمپر**
۱۳	**بار خازنی و بار سلفی**	٥٠ کیلو وار

جدول ۱۹۲-۲ : آزمون‌های قابل انجام و توانمندی‌های آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی

ردیف	عنوان	شماره استاندارد
۱	**آزمون حرارتی افزایش دمای هر سیم‌پیچ**	ISIRI 3772
۲	**تعیین دمای هر یاتاقان**	ISIRI 3772
۳	**دی الکتریک ومقاومت عایقی**	ISIRI 3772
٤	**افزایش سرعت**	ISIRI 3772
٥	**عملکرد موتور در بار نامی برای موتورهای کوچک**	ISIRI 3772
٦	**تعیین ضریب ولتاژ و جریان هارمونیکی**	IEEE115 و ISIRI 3772
۷	**عملکرد کموتاتور**	ISIRI 3772
۸	**بارداری کوتاه مدت در یک بار برای ژنراتور(۳۰دقیقه)**	ISIRI 3772 - IEEE115
۹	**عملکرد بلند مدت در بار نامی برای ژنراتور(۱۸۰ دقیقه)**	ISIRI 3772 - IEEE115

جدول ۱۹۳-۲ : نمونه‌های ساخته شده توسط آزمایشگاه تحقیقاتی ماشین‌های الکتریکی

ردیف	نمونه محصول ساخته شده
۱	**استاتور و روتور موتور سوئیچ رلوکتانس (کاربرد در کولر آبی)**
۲	**درایو موتور سوئیچ رلوکتانس (کاربرد در کولر آبی)**
۳	**موتور سوئیچ رلوکتانس (کاربرد در کولر آبی)**
٤	**ژنراتور سنکرون آهنربای دائم پرسرعت**
٥	**ژنراتور شار متقاطع** **Transverse flux permanent magnet generator**
٦	**موتور سنکرون رلوکتانس (کاربرد در کولر آبی)**

۲-۷-۳-۲- آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

آزمایشگاه الکترونیک صنعتی برای کمک به انجام و ارتقای فعالیت‌های پژوهشی و مهندسی مطابق با محورهای تحقیقاتی گروه و در راستای پاسخگویی به نیاز تحقیقاتی، تجهیز و راه‌اندازی شده است. جداول زیر زمینه‌های تحقیقاتی، تجهیزات، آزمون‌های قابل انجام توسط این آزمایشگاه را ارائه کرده است.

جدول ۱۹۴-۲ : زمینه‌های تحقیقاتی و فعالیت‌های آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	**طراحی و توسعه مدارات الکترونیک قدرت و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی و نیمه صنعتی**	**- جبران‌سازهای استاتیک توان راکتیو** **- سیستم‌های تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون** **- سیستم‌های درایو دور موتورهای القایی**

		- سیستم‌های گاورنر دیجیتال
۲	انجام تست‌ها و آزمون‌های عملکردی سیستم‌ها	- کنترل موتور AC و DC - بالاست لامپ‌های تخلیه، لامپ‌های فلورسنت، چراغ‌های LED و لامپ‌های تخلیه - آزمایشگاهی اینورتر یکسوساز شامل بلوک‌های: اینورتر، یکسوساز، مجموعه‌های بار، بلوک‌های اندازه‌گیری و بلوک‌های کنترلی - آزمایشگاه‌های الکترونیک: اسپکتروم آنالایزر، لاجیک آنالایزر، RLCمتر، اسیلوسکوپ حافظه‌دار

جدول ۱۹۵-۲ : تجهیزات و امکانات آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

ردیف	نام دستگاه	مشخصات فنی
۱	اسیلوسکوپ	OX 2000
		OX 8100
۲	اسیلوسکوپ پرتابل	OX 5100
۳	لاجیک آنالایزر	LA5000/LA4000
٤	پروب ولتاژ بالا	P6015A
٥	LCRمتر پرتابل	B131
٦	اسپکتروم آنالایزر	SR770
۷	فانکشن ژنراتور	HM2-8131
۸	مولتی‌متر	MX 26
۹	کلمپ جریان	A100
۱۰	کلمپ جریان انبری	C173
۱۱	مولتی‌متر	189
۱۲	وات متر انبری	Analyst 2060
۱۳	ROM/SRAM امولاتور	WICE-8MA
۱٤	پروب ولتاژ بالا	HVP-40
۱٥	آمپرمتر انبری	DCM 2000 R
۱٦	تاکومتر دستی	TM-5000
۱۷	ترمومتر تماسی	ESCORT-20
۱۸	ترمومتر غیرتماسی	8812
۱۹	کلمپ جریان	3275
۲۰	تستر زمین	E1610
۲۱	پروب ولتاژ بالا دیفرانسیلی	P5210
۲۲	منبع تغذیه DC	GPS-3030DD
۲۳	منبع تغذیه DC ولتاژ بالا	GPR-100H05D
۲٤	منبع تغذیه دوبل	GPS-3303
۲٥	واریاک تک فاز	20VT201
۲٦	واریاک سه فاز	20VT203
۲۷	اسپکتروم آنالایزر	TR 4171
۲۸	اسیلوسکوپ ۱۰۰ MHz	PM 3065
۲۹	اسیلوسکوپ ٦۰ MHz	PM 3335
۳۰	اسیلوسکوپ ٤۰ MHz	PM 3309
۳۱	فانکشن ژنراتور GW	GFG-8050
۳۱	فانکشن ژنراتور GW	GFG-813
۳۲	منبع تغذیه تک	JPS-403D
۳۳	منبع تغذیه دوبل	JPS-302D
۳٤	واریاک سه فاز	20VT203
۳٥	واریاک سه فاز موتوردار	ESS 320
۳٦	واریاک تک فاز	2010
۳۷	ایپرام اریزر	JER-121A
۳۸	پروگرامر	ALL-11C

۳۹	امولاتور	8051
٤٠	مولتی‌متر دیجیتال	8510
٤١	مولتی‌متر	DM 950
٤٢	وات متر	DW-6060
٤٣	میگر	3123
٤٤	Q متر	MQ-1601
٤٥	فرکانس متر	PM6666
٤٦	پالس ژنراتور	PM5705
٤٧	مولد برق اضطراری UPS	BU1024
٤٨	مولتی‌متر دیجیتال	8506A
٤٩	LCR متر	50-3522

جدول ۱۹۶-۲ : آزمون‌های قابل انجام در آزمایشگاه الکترونیک صنعتی

ردیف	عنوان	شماره استاندارد
۱	آزمون قطعات الکترونیک قدرت شامل تریستور، IGBT، MOSFET، دیود و...	IEC 60747
۲	آزمون مبدل‌های الکترونیک قدرت شامل یکسوساز، اینورتر، چاپر و سیکلوکانورتر	IEC 60146
۳	آزمون بالاست‌های الکترونیکی لامپ‌های فلورسنت	ISIRI 6196-ISIRI 6195
٤	آزمون منابع تغذیه غیرقابل قطع (UPS)	ISIRI -ISIRI 7027 62040
٥	آزمون شارژرهای باتری	-
٦	آزمون سیستم‌های تحریک استاتیک ژنراتور سنکرون	IEEE 421
۷	آزمون سیستم‌های درایو دور موتورهای القایی	IEC 61800
۸	آزمون درایو موتورهای سوییچ رلوکتانس	-
۹	آزمون انواع مختلف کنترل‌کننده‌های استاتیک توان راکتیو (SVC)، شامل TCR، TSC، ASVC	IEEE 1303

۳-۷-۳-۲- آزمایشگاه مرجع فشارقوی

آزمایشگاه فشارقوی پژوهشگاه نیرو در سال ۱۳۷۵ با هدف ارائه خدمات به فعالیت‌های تحقیقاتی و همچنین انجام آزمون‌های تجهیزات فشارقوی مورد استفاده در صنعت برق جهت حصول اطمینان از کیفیت و عملکرد مناسب آنها تاسیس شد. این آزمایشگاه با انجام آزمون‌های بسیار بر روی تجهیزات فشارقوی و کسب تجربه مناسب جهت انجام آزمون به یکی از آزمایشگاه‌های فعال در صنعت برق کشور تبدیل شده است و آمادگی ارائه هرگونه خدمات مشاوره‌ای یا فنی به سازندگان، مصرف کنندگان و شرکت‌های برق را دارا می‌باشد. جدول‌های زیر دامنه فعالیت، تجهیزات و توانمندی انجام آزمایش‌های مربوطه در آزمایشگاه مرجع فشارقوی را نشان داده است.

جدول ۱۹۷-۲ : دامنه فعالیت آزمایشگاه مرجع فشارقوی پژوهشگاه نیرو

ردیف	نام تجهیز	دامنه فعالیت	استاندارد
۱	مقره‌های سرامیکی و شیشه‌ای	آزمون‌های عایقی، ترمومکانیکی، الکترومکانیکی و...	IEC 60383-1
۲	مقره آویزی/کششی کامپوزیتی	آزمون‌های عایقی، مکانیکی، موادی و...	IEC 61109
۳	مقره اتکایی خط کامپوزیتی	آزمون‌های مکانیکی، موادی و...	IEC 61952
٤	تابلو فشار متوسط	آزمون‌های عایقی، جریانی	IEC 62271-200
٥	تابلو فشار ضعیف	آزمون‌های عایقی، جریانی	IEC 61439
٦	کلید قدرت	آزمون‌های عایقی، جریانی	IEC 62271-100
۷	سکسیونر	آزمون‌های عایقی، جریانی	IEC 62271-102
۸	ترانس ولتاژ	آزمون‌های عایقی	IEC 60044-2
۹	کلیه تجهیزات فشارقوی	آزمون‌های عایقی	استانداردهای مرتبط
۱۰	یراق‌آلات پست و خطوط انتقال	کرونا و RTV	IEC 61284

۱۱	ترانس‌های توزیع	آزمون‌های نوعی و جاری	IEC 60076

جدول ۱۹۸-۲ : تجهیزات آزمایشگاه مرجع فشارقوی پژوهشگاه نیرو

ردیف	نام دستگاه	مشخصات فنی
۱	Data Logger	ثبات دما و رطوبت
۲	Impulse Generator	۴۰۰ KV ،۲۰ KJ
۳	Measuring Bridge	اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی
٤	Power Frequency Transformer	۸۰۰ KV ،۸۰۰ KVA
٥	Power Frequency Transformer	۲۰۰ KV ،٥۰ KVA
٦	Partial Discharge Meter	اندازه‌گیری تخلیه جزئی
۷	Megogmmeter	تا ٤ TΩ
۸	Oven	تا ٤۰۰ درجه سانتیگراد
۹	Artificial Rain Generator	-
۱۰	Cable Test System	تا ٦۳ KV
۱۱	Semiautomatic Dielectric Test Set	تا ۹۰ KV
۱۲	Impulse Voltage Generator	۱۸۰ KJ،۱۸۰۰ KV
۱۳	منبع تغذیه ۳ فاز تست ترانس	٦۰ A ،۲۰۰۰ V
۱٤	دستگاه اندازه‌گیری مقاومت سیم‌پیچ	٥۰ A
۱٥	دستگاه اندازه‌گیری نسبت تبدیل ترانس	٥۰ A

جدول ۱۹۹-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه مرجع فشارقوی پژوهشگاه نیرو

ردیف	عنوان	شماره استاندارد
۱	تعیین ولتاژ پایداری ضربه صاعقه	IEC60060-1
۲	تعیین ولتاژ پایداری فرکانس قدرت خشک	IEC60060-1
۳	اندازه‌گیری استقامت عایقی	IEC60243-1
٤	اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی	IEC60250
٥	اندازه‌گیری ظرفیت خازنی	IEC60250
٦	اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری الکتریکی (عدد دی الکتریک)	IEC60250
۷	اندازه‌گیری مقاومت ویژه حجمی	IEC60093
۸	اندازه گیری مقاومت عایقی	-
۹	آزمون‌های جریان بالا تا سقف ٥ کیلو آمپر	-
۱۰	اندازه‌گیری تخلیه جزئی	IEC60273
۱۱	آزمون‌های جاری ترانس‌های توزیع	IEC 60076
۱۲	آزمون‌های کرونا و RTV	IEC 61284
۱۳	آزمون الکترومکانیکال مقره‌های سرامیکی	IEC 60383
۱٤	آزمون ترمومکانیکال مقره‌ها	IEC 60383 - IEC 62217

۴-۷-۳-۲- آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک

آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک در سال ۱۳۸۲ در پژوهشگاه نیرو تاسیس گردید. هم اکنون این آزمایشگاه یکی از مجهزترین آزمایشگاه‌های کشور در زمینه آزمون‌های ارتعاشی و صوتی می‌باشد. این آزمایشگاه به تجهیزات اندازه‌گیری و آنالیز صوت و ارتعاشات و یک شبیه‌ساز عیوب مکانیکی و یک دستگاه آزمون ریگ بالانس مجهز شده است. تجهیزات اندازه‌گیری صوت این آزمایشگاه شامل انواع میکروفن و دوربین صوتی می‌باشد. آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک با تجربیات

موفق اندازه‌گیری ارتعاش و صوت در نیروگاه‌ها و صنایع مختلف آماده ارائه خدمت به صنعت برق و دیگر صنایع و محققین می‌باشد. دامنه فعالیت این آزمایشگاه شامل آنالیز ارتعاشات، آنالیز مودال و تعیین فرکانس طبیعی و آنالیز آکوستیک است.

جدول ۲۰۰-۲ : تجهیزات آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک

ردیف	نام دستگاه	مشخصات فنی
۱	آنالیز کننده چهار کاناله	B&k Pulse-B3560
۲	شیکر الکترومکانیکی	B&K
۳	دستگاه جمع‌آوری داده‌های ارتعاشی	MOVILOG2
٤	دستگاه آزمون ریگ بالانس	–
٥	شبیه ساز عیوب مکانیکس در ماشین‌های دوار	–
٦	مجموعه سنسورهای ارتعاشی، نیروسنج دینامیکی، میکروفون، چکش مودال	–
۷	دوربین آکوستیکی	Norsonic 848

جدول ۲۰۱-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه ارتعاشات و آکوستیک

ردیف	عنوان	استانداردهای مرجع
۱	تعیین فرکانس‌های طبیعی قطعات و اجزای مکانیکی	– استاندارد IEC 61897 – استاندارد IEC-61854 – استاندارد IS/ISO 2953:1999 – استاندارد IEEE 1665
۲	آنالیز مودال تجربی	
۳	عیب‌یابی ماشین‌های دوار با آنالیز ارتعاشات	
٤	تعیین توزیع صوتی و منابع صوت با استفاده از دوربین صوتی	
٥	تحلیل مودال حین کارکرد (OMA)	
٦	تعیین تغییر شکل حین کارکرد (ODS)	
۷	بالانس تجهیزات دوار	
۸	انجام آزمون‌های ارتعاشی یراق‌آلات خطوط انتقال نیرو	

۵-۷-۳-۲- آزمایشگاه سوخت و روغن

کنترل کیفیت سوخت و روغن مورد استفاده در صنعت برق، در افزایش طول عمر تأسیسات و تجهیزات و جلوگیری از وقفه در تولید برق نقش بسیار مهمی دارد. در همین راستا آزمایشگاه سوخت و روغن پژوهشگاه نیرو با سابقه‌ی طولانی یکی از مجهزترین آزمایشگاه‌ها در این زمینه می‌باشد.

آزمایشگاه سوخت و روغن در رابطه با تعیین مشخصات فنی و کنترل کیفیت سوخت‌ها و روغن‌های مورد استفاده در صنعت برق و ارائه نظرات کارشناسی و همچنین ارائه خدمات آزمایشگاهی به پروژه‌های تحقیقاتی در دست انجام مربوط به صنعت برق فعالیت می‌نماید. جدول‌های زیر زمینه‌های فعالیت، تجهیزات و آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه مرجع سوخت و روغن را نشان داده است.

جدول ۲۰۲-۲ : دامنه فعالیت آزمایشگاه سوخت و روغن

ردیف	زمینه فعالیت
۱	بررسی و تجزیه و تحلیل وضعیت روغن‌های عایقی
۲	تعیین مشخصات فنی و ویژگی‌های روغن‌های عایقی ترانسفورماتور
۳	آنالیز و شناسایی انواع گازهای محلول موجود در روغن و تجزیه و تحلیل علل ایجاد گازهای تولید شده
٤	بررسی و تعیین روغن مناسب سر ریز بر روی روغن‌های عایقی ترانسفورماتور
٥	تعیین نوع و پایه روغن‌های عایقی

٦	اندازه‌گیری جرم مولکولی روغن‌های عایقی
۷	تعیین معادل روغن‌های توربین
۸	بررسی و تعیین روغن مناسب جهت سرریز و یا جایگزینی روغن‌های توربین
۹	تعیین میزان کشش سطحی روغن در برابر آب
۱۰	اندازه‌گیری ویسکوزیته سینماتیکی مایعات شفاف و تیره
۱۱	تعیین ترکیبات فورفورال در روغن‌های عایقی

جدول ۲۰۳-۲ : تجهیزات آزمایشگاه سوخت و روغن

ردیف	نام تجهیزات
۱	دستگاه‌های آنالیز
۲	انواع ویسکومتر
۳	دستگاه‌های لازم جهت کنترل کیفیت روغن‌های صنعتی (شامل روغن توربین، هیدرولیک، کمپرسور،گیربکس، دیزل، موتور و...)
٤	دستگاه‌های لازم جهت کنترل کیفیت و اندازه‌گیری خواص سوخت‌های مایع و جامد
٥	دستگاه‌های اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی و الکتریکی روغن‌های عایقی

جدول ۲۰۴-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه سوخت و روغن

ردیف	عنوان	شماره استاندارد
۱	تقطیر محصولات نفتی	ASTM D 86
۲	تعیین نقطه احتراق و نقطه اشتعال به وسیله دستگاه کلیولند (Cleveland Open Cup)	ASTM D 92
۳	تعیین نقطه اشتعال به وسیله دستگاه پنسکی- مارتنز (Pensky- Martense Closed Cup)	ASTM D 93
٤	تعیین نقطه اشتعال به وسیله دستگاه کاپ بسته مقیاس کوچک (Small Scale Closed-Cup)	ASTM D 3278
٥	تعیین میزان آب و رسوب در نفت خام با استفاده از سانتریفیوژ	ASTM D 96
٦	تعیین نقطه ریزش محصولات نفتی	ASTM D 97
۷	آزمایش تعیین خوردگی مس در محصولات نفتی بوسیله آزمون تغییر رنگ نوار مسی	ASTM D 130
۸	روش استاندارد برای تعیین میزان باقیمانده کربن محصولات نفتی	ASTM D 189
۹	نفوذپذیری مخروط در گریس‌های روانسازی	ASTM D 217
۱۰	تعیین نقطه آنیلین و نقطه آنیلین مخلوط محصولات نفتی و حلال‌های هیدروکربنی	ASTM D 611
۱۱	تعیین مشخصه (کف کنندگی) روغن‌های روانسازی	ASTM D 892
۱۲	تعیین مشخصه اکسیداسیون روغن‌های معدنی حاوی بازدارنده	ASTM D 943
۱۳	تعیین کشش سطحی روغن در برابر آب متد ورق و حلقه (Plate & Ring Method)	ASTM D 971
١٤	تعیین ضریب انعکاس و پراکندگی انعکاس مایعات هیدروکربنی	ASTM D 1218
١٥	تعیین مقدار اسیدیته محصولات نفتی به روش پتانسیومتری	ASTM D 664
١٦	تعیین مشخصه مقاومت گریس‌های روانکاری در برابر شستشو با آب	ASTM D 1264
۱۷	تعیین وزن مخصوص (Specific Gravity) توسط هیدرومتر	ASTM D 1298
۱۸	تعیین رنگ محصولات نفتی	ASTM D 1500
۱۹	تعیین گرمای احتراق سوخت‌های هیدروکربنی مایع بوسیله بمب کالریمتر	ASTM D 240
۲۰	اندازه‌گیری ویسکوزیته سینماتیکی و دینامیکی و دانسیته در مایعات شفاف و تیره	ASTM D 7042
۲۱	تعیین خاکستر محصولات نفتی	ASTM D 482
۲۲	تعیین مشخصه پیشگیری از رسوب (Rust Preventing) روغن‌های توربین بخار در حضور آب	ASTM D 665
۲۳	آنالیز گازهای حل شده در روغن‌های عایقی الکتریکی بوسیله‌ی گاز کروماتوگرافی	ASTM D 3612
٢٤	تعیین پایداری برشی روغن‌های موتور	ASTM D 6278
٢٥	تعیین نقطه افتادن گریس‌های روان کننده	ASTM D 2265
٢٦	تعیین نقطه جوش خنک‌کننده‌های موتور (Engine Coolants)	ASTM D 1120
۲۷	تعیین قلیاییت ذخیره خنک‌کننده‌ها و ضد رسوب‌های موتور(Engine Coolants & Anti Rusts)	ASTM D 1121
۲۸	تعیین ویسکوزیته ایندکس محصولات نفتی	ASTM D 2270
۲۹	تعیین PCB در مایعات عایقی بوسیله گازکروماتوگرافی	ASTM D 4059
۳۰	تعیین میزان آب در محصولات مایع نفتی با دستگاه کارل فیشر	ASTM D 1744
۳۱	تعیین پایداری اکسیداسیون روغن‌های عایقی و معدنی	ASTM D 2440
۳۲	تعیین خصوصیت آزادسازی هوا برای محصولات نفتی	ASTM D 3427

۳۳	تعیین ولتاژ شکست مایعات عایقی	IEC 156
۳٤	تعیین فاکتور پراکندگی، مقاومت و نفوذپذیری در روغن‌های عایقی الکتریکی	IEC 247
۳۵	تعیین مقدار سولفور در محصولات نفتی به روش بمب	ASTM D 129
۳٦	تعیین مقدار و نوع آنتی‌اکسیدان (Antioxidant) در روغن‌های عایقی	IEC 6066
۳۷	تعیین نقطه انجماد ضد یخ	ASTM D 1177
۳۸	تعیین مشخصه قابلیت جدایش آب (Water Seperability) در محصولات نفتی	IP 19
۳۹	تعیین کلاس و گرید روغن‌های روان کننده	ASTM D 2422
٤۰	تعیین ترکیبات فورفورال در روغن‌های عایقی	IEC 1198
٤۱	تعیین میزان کربن، هیدروژن و نیتروژن موجود در مواد جامد و مایع بوسیله CHN	ASTM D 5291

۶-۷-۳-۲- آزمایشگاه مرجع رله و حفاظت

آزمایشگاه مرجع رله و حفاظت در سال ۱۳۸۱ با هدف انجام آزمون‌های عملکردی و دقتی رله‌های حفاظتی براساس IEC 60255و محصولات جانبی مرتبط همچون ترانس‌های جریان راه‌اندازی شده است و قادر به انجام آزمون‌های عملکردی و تعیین دقت برای رله‌ها اولیه و ثانویه یک یا دو کمیتی می‌باشد. جدول‌های زیر زمینه‌های فعالیت، تجهیزات و آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه مرجع رله و حفاظت را نشان داده است.

جدول ۲۰۵-۲ : دامنه فعالیت آزمایشگاه رله و حفاظت

ردیف	زمینه فعالیت‌ها
۱	انجام آزمون‌های نوعی بر روی تجهیزات فشار ضعیف از جمله: انواع رله‌های حفاظتی،پنجره آلارم، ترانس جریان، کنتاکتور، کلید اتوماتیک، کلید فیوز، انواع ترانسدیوسر، فیوز کاردی، انواع میترهای آنالوگ، باطری شارژر و منابع تغذیه
۲	آزمون رله‌های تعمیر شده و تعیین مشخصه عملکرد واقعی و مقایسه با مشخصه عملکرد اصلی آن‌ها
۳	کالیبراسیون دستگاه‌های تستر موجود در شرکت‌های برق منطقه‌ای
٤	اندازه‌گیری مقاومت و امپدانس (راکتانس) در حد دقت چند میکرو اهم
۵	کالیبراسیون نشان‌دهنده‌های ولتاژ و جریان و تعیین صحت عملکرد آن‌ها
٦	اندازه‌گیری مقاومت‌های عایقی و مقاومت‌های بسیار بالا تا مقدار حداکثر ۵ ترا اهم
۷	تزریق جریان‌های بالای AC تا مقدار حداکثر ۲۰ کیلوآمپر تحت ولتاژ تقلیل یافته ۳/٦ ولت و ۷ کیلوآمپر تحت ولتاژ ۱۰ ولت

جدول ۲۰۶-۲ : تجهیزات آزمایشگاه رله و حفاظت

ردیف	تجهیزات
۱	RELAY TEST SET
۲	STEP UP TRANSFORMER
۳	PHASE ANGLE METER
٤	POWER SUPPLY
۵	RELAY TEST SET
٦	DIGITAL TIMER
۷	POWER MULTI METER
۸	POWER SUPPLY
۹	100MHz OSCILOSCOPE
۱۰	DDS FUNCTION GENERATOR
۱۱	2MHZ FUNCTION GENERATOR
۱۲	ELECTRONIC PHASE SHIFTER
۱۳	PROGRAMMBLE VOLTAGE SOURCE
۱٤	DIELECTRIC STRENGTH TESTER
۱۵	LCR METER

RELAY TEST UNIT	١٦
PRIMARY CURRENT INJECTION	١٧
100MHz A/D OSCILOSCOPE	١٨
AC/DC CLAMP POWER METER	١٩
HIGH POWER TEST SYSTEM	٢٠
MEGGER	٢١
DIGITAL HI TESTER	٢٢
DIGITAL MULTI METER	٢٣
DIGITAL THERMOMETER	٢٤
5MHz FUNCTION GENERATOR	٢٥
DATA LOGGER	٢٦
TRANSFORMER POLARITY TESTER	٢٧
3 Phase Variac	٢٨
1 Phase Variac	٢٩
LASER TERMOMETER	٣٠
DIGITAL CALIPER	٣١
Torque meter	٣٢

جدول ٢٠٧-٢ : تجهیزات/ مواد مورد آزمون به انضمام استاندارد مربوطه

ردیف	نام تجهیز/مواد	شماره استاندارد
١	کلید و تابلوهای فشار ضعیف (کلید فیوز)	IEC60947-3
٢	کلید و تابلوهای فشار ضعیف (کنتاکتور)	IEC60947-4-1
٣	کلید و تابلوهای فشار ضعیف (کلید اتوماتیک)	IEC60947-2
٤	ترانس‌های جریان براساس استاندارد	IEC60044-1
٥	ترانسدیوسرهای اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی	IEC60688
٦	فیوزهای فشار ضعیف (الزامات عمومی)	IEC60269
٧	پایه فیوزهای فشار ضعیف (الزامات عمومی)	IEC60269
٨	رله‌های الکتریکی اندازه‌گیر و حفاظت (آزمون‌های نوعی عمومی)	IEC60255
٩	نشان دهنده آنالوگ و تجهیزات جانبی آن	IEC60051-9
١٠	منبع تغذیه ولتاژ ضعیف	IEC61204
١١	آلارم‌های چند پنجره	IEC 60839-1-3
١٢	باطری شارژرها بر اساس استاندارد	NEMA PE5

٧-٧-٣-٢- آزمایشگاه ترموهیدرولیک

آزمایشگاه تحقیقاتی ترموهیدرولیک به منظور انجام پژوهش در پدیده‌های دینامیک سیالات و انتقال حرارت با تکیه بر کاربردهای نیروگاهی و صنعتی راه اندازی شده است. آزمایشگاه مبدل‌های حرارتی با هدف به اجرا درآوردن پروژه‌های تحقیقاتی- تجربی در زمینه انواع مبدل‌های حرارتی مورد استفاده در نیروگاه و سایر بخش‌های صنعت طرح‌ریزی گردیده است. جداول زیر تجهیزات و آزمایش‌های قابل انجام توسط این آزمایشگاه را ارائه کرده است.

جدول ۲۰۸-۲ : تجهیزات و امکانات آزمایشگاه ترموهیدرولیک

ردیف	نام دستگاه	مشخصات فنی
۱	کارت جمع‌آوری داده‌ها National Instruments	PCI-6034E
۲	مالتی پلکسر	AMUX-64T
۳	دبی سنج گردابه ساز ۱۰۰-۰ kg/h	Rosemount 8800 A
٤	دبی سنج توربینی	12-0m3/h
٥	ترانسدیوسر فشارOmega 15-0 bar	PX605
٦	ترانسدیوسر فشار Omega 10-0 bar	PX605
۷	ترموکوپل	milivolt
۸	فشار سنجUCC	PTD,010111
۹	فشار سنج	Pakkens
۱۰	فشار سنج	Impertal(FLA)
۱۱	فشار سنجAB	RCHG 3-100
۱۲	دماسنج جیوه‌ای	L/W
۱۳	دماسنج جیوه‌ای	GDR
۱٤	دماسنج جیوه‌ای	JAKO
۱٥	موتور سه‌فاز	موتوژن ۳ کیلو وات
۱٦	دور کنترل‌کننده	کیلو وات 5/3
۱۷	وات متر	Lutron
۱۸	واریاک	برنا الکترونیک
۱۹	Slip Ring	MICHIGAN SCIENTIFIC
۲۰	ترموکوپل Omega	K نوع
۲۱	فن	گریز از مرکز
۲۲	دستگاه ثبات چند منظوره (مولتی فانکشن)	Delta Ohm
۲۳	پروب‌های اختلاف فشاری	PP473مدلS1
۲٤	پروب‌های سرعت هوا درون لوله پیتوت	AP473S1
۲٥	پروب‌های ترکیبی رطوبت نسبی و دما	HP475AC

جدول ۲۰۹-۲ : آزمایش‌های قابل انجام توسط آزمایشگاه ترموهیدرولیک

ردیف	عنوان آزمایش
۱	شبیه سازی فیزیکی و بررسی عملکرد خنک کن روغن توربین نیروگاه گازی ری
۲	مطالعه مبدل‌های پوسته- لوله‌ای و صفحه‌ای جهت تعیین ضریب انتقال حرارت کلی، افت فشار و کارایی آن‌ها
۳	تاثیر هندسه مجموعه لوله‌های با اشکال و هندسه‌های مختلف بر روی راندمان
٤	بررسی انتقال حرارت در ژنراتورهای اتصال کوتاه در حالت دائم
٥	تست فشار و دبی نازل‌های فاگ

۸-۳-۲- شرکت‌های فعال در حوزه تجهیزات الکتریک (مرکز رشد پژوهشگاه نیرو)

مرکز رشد پژوهشگاه نیرو از سال ۱۳۹۲ و زیر نظر معاونت فناوری در حال فعالیت می‌باشد. مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی در جهت اهداف ارائه شده در شکل ۵۴۰-۲ در حال حرکت است.

شکل ۵۴۰-۲ : اهداف و ماموریت¬های مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی

در همین راستا، این مرکز برای پیشبرد اهداف خود از شرکت‌های دانش بنیان حمایت می‌نماید. برخی از شرکت‌های تحت حمایت این مرکز که در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه فعالیت می‌نمایند در جدول ۲۱۰-۲ ارائه شده است.

جدول ۲۱۰-۲ : شرکت‌های تحت حمایت مرکز توسعه فناوری صنعت برق و انرژی پژوهشگاه نیرو

ردیف	شرکت	مدیر عامل	نوع فعالیت	شرح خدمات
۱	لیان آریاتش صبا	فراز خطیر	پایش وضعیت	طراحی و تولید سیستم مانیتورینگ ارتعاشات عیب‌یابی ماشین‌آلات دوار از قبیل توربین، ژنراتور، موتور و... با استفاده از روش FMEA
۲	الکترونیک آگاهان نواندیش	مسعود یکرنگ	پایش وضعیت	دستگاه آزمون فنی به روش آلتراسونیک (UT) طراحی، ساخت، عیب‌یابی و راه‌اندازی دستگاه‌های پیشرفته الکترونیکی و ابزار دقیق
۳	هوشمند پایش صنعت رادمان	احمد نادری	سیستم پایش و کنترل	کارت‌های حافظه، طراحی و ساخت ذخیره‌ساز داده‌های نیروگاهی
٤	فن‌آوران صنعت لوتوس	مهدی صدری	درایو و الکترونیک قدرت	طراحی و ساخت درایو IGBT مورد استفاده در مبدل‌های ولتاژ متوسط طراحی و ساخت انواع منابع تغذیه شارژر و اینورتر و تجهیزات الکترونیک قدرت
٥	مبتکر صنعت پژوه	جمشید فلاح	حفاظت الکتروموتور	طراحی و ساخت و تولید انبوه رله دیجیتال حفاظت الکتروموتورهای سه فاز
٦	آیریانیک	مجتبی اخوات	پایش وضعیت	سیستم مانیتورینگ وضعیت عایقی قابل حمل بازرسی و آشکارسازی تخلیه جزئی در شینه‌های ماشین‌های فشارقوی و ترانسفورماتور

۹-۳-۲- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، با قریب به ۱۲۹ نیروگاه دولتی و خصوصی در ۲۸ استان با ظرفیت (نامی) تولید برق ۶۸۳۸۸ مگاوات در سراسر کشور، مسئولیت ساماندهی فعالیت‌های تصدی دولت در زمینه‌ی تولید نیروی برق حرارتی متصل به شبکه انتقال و فوق‌توزیع برق کشور، راهبری شرکت‌های زیر مجموعه و برنامه‌ریزی، مدیریت توسعه و بهره‌برداری از نیروگاه‌ها را برعهده دارد. این مجموعه با همکاری شرکت‌های زیر مجموعه سابقه اجرایی در زمینه تعمیرات تخصصی و اساسی، بازسازی، نوسازی، ساخت قطعات و تجهیزات اصلی نیروگاه و نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات نیروگاهی و صنعتی برای نیروگاه‌های گازی، بخار، سیکل ترکیبی را دارد. در جدول زیر مدیران این شرکت ارائه شده است.

جدول ۲۱۱-۲ : مدیران شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی مرتبط با حوزه تحقیقاتی پروژه

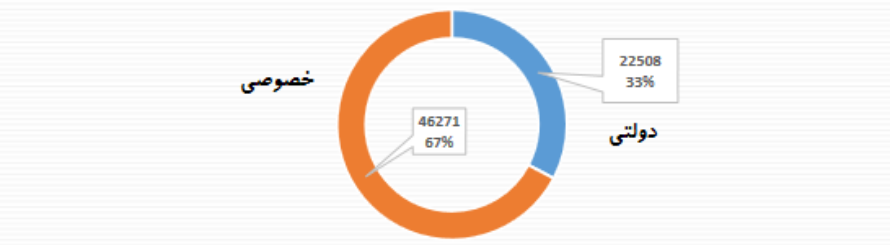
ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	سوابق
۱	محسن طرز طلب	مدیرعامل - رئیس هیئت مدیره	- معاون برنامه‌ریزی و نظارت شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران - مجری طرح‌های رودبار لرستان-چمشیر و پارسیان شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران - عضو هیات مدیره شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران
۲	ناصر اسکندری	معاون راهبری تولید	- معاون توسعه مدیریت و منابع انسانی شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی - مدیرکل هوشمندسازی و فناوری‌های نوین شرکت توانیر - مدیرعامل شرکت توزیع نیروی برق البرز - مدیرعامل شرکت برق منطقه‌ای زنجان - مدیرعامل شرکت توزیع نیروی برق زنجان - عضو هیئت مدیره شرکت برق منطقه‌ای زنجان - رئیس هیئت مدیره شرکت داده پردازی زنجان - مسئول شاخه برق جهاد دانشگاهی اهواز
۳	حمیدرضا عظیمی	معاون توسعه طرح‌ها	- معاون برنامه‌ریزی شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی - رئیس هیئت مدیره شرکت تولید نیروی برق یزد - عضو هیئت مدیره شرکت‌های تولید نیروی برق شاهرود و سیستان و بلوچستان - مشاور مدیرعامل شرکت تولید نیروی برق حرارتی - مدیر امور برنامه‌ریزی، قراردادها و تامین منابع مالی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران
٤	امیر دودابی نژاد	معاون برنامه‌ریزی و توسعه مدیریت	- معاون توسعه مدیریت و منابع انسانی شرکت مادرتخصصی تولید نیروی برق حرارتی - مجری طرح‌های نیروگاهی خصوصی شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی مدیر دفتر بهره‌وری و معاون آموزش و بهینه‌سازی سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا) - معاون فنی و استانداردهای سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)
٥	محمود صادقی	مجری طرح‌های نیروگاهی گازی	- معاونت برنامه‌ریزی و بازرگانی و کنترل پروژه طرح‌های نیروگاهی گازی
٦	بهنام خائفی‌نژاد	مجری طرح‌های نیروگاهی بخاری	مدیر طرح توسعه نیروگاه رامین اهواز - مدیر طرح توسعه نیروگاه شازند - معاون فنی و مهندسی طرح‌های نیروگاهی بخار
۷	حمید سرداری	مجری طرح‌های نیروگاهی بیع متقابل	- کارشناس فنی طرح BOT - مدیر طرح نیروگاه‌های خصوصی٤ - مجری طرح‌های بیع متقابل، سرپرست دفتر فنی و نظارت
۸	علیرضا نصراللهی	مجری طرح‌های نیروگاهی سیکل ترکیبی	- مجری طرح‌های نیروگاه سیکل ترکیبی - بازتوانی نیروگاه‌های حرارتی - نیروگاه زغال سنگ سوز طبس و نیروگاه خورشیدی حرارتی یزد، - مدیر طرح نیروگاه‌های گازی کرمانشاه، سنندج، نیروگاه الحیدریه نجف اشرف در کشور عراق - مدیر پروژه های مخازن استراتژیک نیروگاه‌های سنندج، کرمانشاه، ری، مخزن بتنی دفنی همدان - مدیر طرح توسعه ساخت داخل و انتقال تکنولوژی ساخت پره‌های توربین گازی
۹	روح‌الله اسپنانی	مجری طرح‌های نیروگاهی خصوصی	- مدیر طرح نیروگاه‌های خصوصی سازمان توسعه برق ایران - مدیرکل دفتر قراردادها، بازرگانی و اعتبارات اسنادی شرکت مادر تخصصی برق حرارتی - عضو هیئت مدیره شرکت تولید نیروی برق شهید رجایی - مجری طرح توسعه نیروگاه‌های ری و طرشت - مجری طرح نیروگاه‌های خصوصی

در جدول زیر به همراه نمودار مربوطه ظرفیت نامی نیروگاه‌های حرارتی کشور به تفکیک نوع نیروگاه نشان داده شده است.

جدول ۲۱۲-۲ : ظرفیت نامی نیروگاه‌های حرارتی کشور به همراه نمودار مربوطه

ظرفیت نامی نیروگاه های حرارتی کشور

نوع نیروگاه	تحت مالکیت بخش دولتی				تحت مالکیت بخش خصوصی و صنایع				جمع تعداد نیروگاه ها	جمع تعداد واحدها	جمع ظرفیت (مگاوات)
	ظرفیت (مگاوات)	تعداد نیروگاه	تعداد واحد	سهم (درصد)	ظرفیت (مگاوات)	تعداد نیروگاه	تعداد واحد	سهم (درصد)			
بخاری	۱۱۲۴۱	۱۴	۵۶	٪۷۱.۰	۴۵۸۸	۱۱	۴۶	٪۲۹.۰	۲۵	۱۰۲	۱۵۸۲۹
گازی	۵۵۵۸	۲۵	۱۰۸	٪۲۵.۰	۱۶۶۹۸	۴۶	۱۶۵	٪۷۵.۰	۷۱	۲۷۳	۲۲۲۵۷
سیکل ترکیبی	۵۷۰۹	۵	۳۹	٪۱۸.۶	۲۴۹۸۵	۲۸	۱۶۸	٪۸۱.۴	۳۳	۲۰۷	۳۰۶۹۳
جمع	**۲۲۵۰۸**	**۴۴**	**۲۰۳**	**٪۳۲,۷**	**۴۶۲۷۱**	**۸۵**	**۳۷۹**	**٪۶۷,۳**	**۱۲۹**	**۵۸۲**	**۶۸۷۷۹**



۲-۳-۱۰- شرکت‌های تولید نیروی برق حرارتی

در جدول ۲۱۳-۲ شرکت‌های تولید نیروی برق حرارتی ارائه شده است.

جدول ۲۱۳-۲ : شرکت‌های تولید نیروی برق حرارتی

ردیف	عنوان سایت	آدرس سایت
۱	شرکت تولید نیروی برق آذربایجان	http://azarbaijan.tpph.ir
۲	شرکت تولید نیروی برق بندرعباس	http://bandarabbas.tpph.ir
۳	شرکت تولید نیروی برق اصفهان	http://esfahan.tpph.ir
٤	شرکت تولید نیروی برق زاهدان	http://zahedan.tpph.ir
٥	شرکت تولید نیروی برق فارس	http://fars.tpph.ir
٦	شرکت تولید نیروی برق خراسان	http://khorasan.tpph.ir
۷	شرکت تولید نیروی برق لوشان	http://lowshan.tpph.ir
۸	شرکت تولید نیروی برق شهید مفتح	http://mofateh.tpph.ir
۹	شرکت تولید نیروی برق شهید رجایی	http://rajaei.tpph.ir
۱۰	شرکت تولید نیروی برق رامین	http://ramin.tpph.ir
۱۱	شرکت تولید نیروی برق شهید سلیمی	http://salimi.tpph.ir
۱۲	شرکت تولید نیروی برق شاهرود	http://shahrood.tpph.ir
۱۳	شرکت تولید نیروی برق شازند	http://shazand.tpph.ir
١٤	شرکت تولید نیروی برق تهران	http://tehran.tpph.ir
١٥	شرکت تولید نیروی برق یزد	http://yazd.tpph.ir

۱-۱۰-۳-۲- شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها)

در جدول ۲۱۴-۲ شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها) ارائه شده است. این شرکت‌ها شامل نیروگاه‌های حرارتی (بخاری، گازی و سیکل ترکیبی) هستند. شرکت‌های منتخب درج شده در جدول، شامل شرکت‌های دولتی می‌باشد.

جدول ۲۱۴-۲ : شرکت‌های مدیریت تولید نیروی برق (نیروگاه‌ها)

ردیف	عنوان سایت	آدرس سایت
۱	شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان شرقی	http://www.tpgmco.ir
۲	شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان غربی	http://www.azarw-ppt.ir
۳	شرکت مدیریت تولید برق اصفهان	http://www.isfahanps.ir
٤	شرکت مدیریت تولید برق اهواز (رامین)	http://www.raminpower.ir
٥	شرکت مدیریت تولید برق بعثت	http://www.besatpower.ir
٦	شرکت مدیریت تولید برق بیستون	http://www.bisotounps.ir
۷	شرکت مدیریت تولید برق تبریز	http://www.tpgmco.ir
۸	شرکت مدیریت تولید برق جنوب فارس	http://www.sfpgmc.co.ir
۹	شرکت مدیریت تولید برق جنوب غرب ایران (آبادان)	http://www.wspgm.co.ir
۱۰	شرکت مدیریت تولید برق چابهار	http://www.kzrec.co.ir
۱۱	شرکت مدیریت تولید برق خلیج فارس	http://www.pgpgm.ir
۱۲	شرکت مدیریت تولید برق خیام	http://www.khayam-ccpp.ir
۱۳	شرکت مدیریت تولید برق دماوند	http://www.dpgm.ir
١٤	شرکت تولید و بهره‌برداری سد و نیروگاه دز	http://www.dezdam.co.ir
١٥	شرکت مدیریت تولید برق سیستان و بلوچستان (ایرانشهر)	http://sbpower.ir/
١٦	شرکت مدیریت تولید برق شازند اراک	http://www.shazandtpp.ir
۱۷	شرکت مدیریت تولید برق شهید بهشتی لوشان	http://www.loshanpgmc.ir
۱۸	شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی	http://www.rajaeepowerplant.ir
۱۹	شرکت مدیریت تولید برق شهید مدحج (زرگان-اهواز)	http://www.sabaswg.ir
۲۰	شرکت مدیریت تولید برق شهید محمد منتظری (اصفهان)	http://www.esfahanmps.ir
۲۱	شرکت مدیریت تولید برق شهید مفتح	http://www.mtpp.ir
۲۲	شرکت مدیریت تولید برق ری	
۲۳	شرکت بهره‌برداری نیروگاه طرشت	http://www.tpp.ir
٢٤	شرکت مدیریت تولید برق طوس	http://www.tpgm.ir
٢٥	شرکت مدیریت تولید برق فارس	
٢٦	شرکت مدیریت تولید برق قم	http://www.gccpp.ir
۲۷	شرکت مدیریت تولید برق کردستان	
۲۸	شرکت مدیریت تولید برق گیلان	
۲۹	شرکت مدیریت تولید برق غرب	
۳۰	شرکت مدیریت تولید برق مشهد	http://www.megmc.ir
۳۱	شرکت مدیریت تولید برق منتظر قائم	http://www.sepedco.com

۳۲	شرکت مدیریت تولید برق نکا	http://www.nekapowerplant.ir
۳۳	شرکت مدیریت تولید برق زرند	http://www.zarkpp.ir
۳٤	شرکت مدیریت تولید برق کرمان	http://www.kpp.co.ir
۳٥	شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان	http://www.hpgmc.ir
۳٦	شرکت مدیریت تولید برق یزد	http://www.ypgmc.co.ir
۳۷	شرکت مدیریت نیروگاه‌های گازی خراسان	http://www.khgpp.ir

۲-۱۰-۳-۲- پیمانکاران بازدید و سرویس ژنراتور مورد تایید شرکت برق حرارتی

جدول ۲۱۵-۲ شرکت‌های زیر مجموعه شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی که در حوزه پایش و سرویس ژنراتورهای نیروگاهی مورد تایید این شرکت می‌باشند را ارائه کرده است.

جدول ۲۱۵-۲ : پیمانکاران بازدید و سرویس ژنراتور مورد تایید شرکت مادر تخصصی برق حرارتی

ردیف	نام شرکت	ظرفیت مورد نظر	تاریخ اعتبار
۱	مدیریت تولید برق شازند	بدون محدودیت	۱٤۰۱/۱۲/۹
۲	تعمیرات نیروگاهی ایران	بدون محدودیت	۱٤۰۱/۱۲/۹
۳	مدیریت تعمیرات نیروی برق اصفهان	بدون محدودیت	۱٤۰۱/۱۲/۹
٤	مدیریت تولید برق اصفهان	بدون محدودیت	۱٤۰۱/۱۲/۹
٥	مدیریت تولید برق شهید مفتح	بدون محدودیت	۱٤۰۱/۱۲/۹

۳-۱۰-۳-۲- شرکت تعمیرات نیروگاهی

شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران عضو شرکت‌های تابعه شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی است که بیش از ربع قرن در زمینه مشاوره، طراحی، تعمیرات اساسی، بازتوانی و نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات نیروگاه فعالیت داشته است. این شرکت در حوزه بخش‌های مکانیک، الکتریک، بالانس، مهندسی معکوس، نصب و اورهال، تامین قطعات و تجهیزات توانایی ارائه خدمات را دارد. اعضای اصلی این شرکت در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۲۱۶-۲ : تیم رهبری شرکت تعمیرات نیروگاهی

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت
۱	عبدالرسول پیشاهنگ	مدیرعامل
۲	اصغر حکیمی	معاونت فنی، مهندسی و تحقیقات
۳	محمدباقر لطفی	معاونت الکتریک
٤	مسعود ولی‌زاده	معاونت مکانیک
٥	مهدی قرائی	معاونت پروژه‌ها

شرکت تعمیرات نیروگاهی خدماتی نظیر: مهندسی، تعمیرات و گسترش فعالیت‌های تخصصی در حوزه مکانیک، الکتریک، نصب و اورهال نیروگاه‌ها از طریق بکارگیری تکنولوژی‌های نوین را در کارنامه خود دارد. شرح فعالیت‌های این شرکت در حوزه‌های مذکور و برخی از پروژه‌های انجام شده در جداول زیر ارائه شده است.

جدول ۲۱۷-۲ : شرح فعالیت‌های شرکت تعمیرات نیروگاهی

ردیف	فعالیت‌ها
۱	تعمیرات اساسی و دوره‌ای انواع تجهیزات سبک و سنگین نیروگاهی به همراه تمامی تست‌های کنترلی دمونتاژ و مونتاژ انواع توربین‌های گازی و بخار با ظرفیت و کلاس‌های مختلف
۲	مهندسی معکوس انواع تجهیزات نیروگاهی و ساخت انواع پره توربین و قطعات سبک و سنگین
۳	خدمات آزمایشگاهی مواد، تعیین عمر باقیمانده، تست و عیب‌یابی مخرب و غیرمخرب مواد و قطعات
٤	اندازه‌گیری دقیق انواع قطعات با استفاده از آزمایشگاه‌های مجهز اندازه‌گیری دقیق CMM

۵	تعمیر، بازسازی، ساخت و تامین انواع قطعات نیروگاهی دوار و ثابت
٦	بازسازی، ساخت و تعمیرات اساسی انواع ترانس و ژنراتور با ظرفیت‌های مختلف
۷	تست عملکرد انواع ترانس High Voltage در آزمایشگاه فشارقوی
۸	بالانس دینامیک انواع تجهیزات دوار شامل انواع توربین، کمپرسور، ژنراتور در ابعاد و اندازه‌های مختلف
۹	اجرای همزمان بیش از ۱۵پروژه مختلف در محل سایت کارفرماها در خارج از شرکت

جدول ۲۱۸-۲ : پروژه‌های انجام شده توسط شرکت تعمیرات نیروگاهی

ردیف	عنوان پروژه	محل انجام
۱	تأمین ۳ کویل فشارقوی و ٦ کویل فشارضعیف ترانس اصلی واحد MVA ٤۰۰	نیروگاه رامین اهواز
۲	خرید یک دستگاه روتور ژنراتور ۱۵۰ مگاواتی واحد بخار GE	نیروگاه منتظر قائم
۳	تعمیرات اساسی ٤ دستگاه ترانسفورماتور قدرت و فوق‌توزیع	برق منطقه‌ای خوزستان
٤	ساخت و تعویض شینه‌های ژنراتور	نیروگاه سیکل ترکیبی قم
۵	تعمیرات اساسی و RI واحد ۱ گازی	نیروگاه ترکیبی خوی
٦	تعمیرات اساسی واحد ۱ بخار نیروگاه خوی	شرکت مدیریت تولید برق آذربایجان غربی
۷	تعمیرات اساسی واحد ۲ بخار	نیروگاه رامین
۸	تعمیرات اساسی ترانسفورماتور قدرت	نیروگاه‌های نکا، دماوند، رامین اهواز، انجیرک
۹	تعمیر اساسی و باز پیچی روتور ژنراتور	نیروگاه بخار بندرعباس

وجود تجهیزات کارآمد متناسب با نیاز صنایع نیروگاهی در کنار توان فنی و تجربه پرسنل، این شرکت را تبدیل به قطب خدمات مهندسی تعمیر و نگهداری نیروگاه‌ها در منطقه نموده است. تجهیزات موجود در دو بخش الکتریک و مکانیک در جداول زیر ارائه شده است.

جدول ۲۱۹-۲ : تجهیزات معاونت الکتریک شرکت تعمیرات نیروگاهی

ردیف	تجهیزات و امکانات
۱	انواع تجهیزات کویل پیچی افقی و عمودی جهت انواع ترانس با ظرفیت‌های مختلف
۲	تجهیزات کشش، شکل‌دهی و نورد سرد انواع سیم و اتصالات مسی
۳	کوره VPDP جهت رطوبت‌گیری عایق‌های active part با ظرفیت وزنی ۳۰۰ تن
٤	تجهیزات کامل تعمیرات اساسی انواع ژنراتورها و ترانسفورماتورهای قدرت
۵	تجهیزات کامل ساخت شینه استاتور و روتور ژنراتور
٦	آزمایشگاه مجهز فشارقوی به همراه تجهیزات تخصصی مربوطه جهت تست عملکرد ترانس و ژنراتور
۷	تجهیزات کامل ساخت شینه و انواع ژنراتور نیروگاهی و با ظرفیت‌های مختلف
۸	کوره VPI جهت تزریق رزین برای ساخت کویل‌های استاتور

جدول ۲۲۰-۲ : تجهیزات معاونت مکانیک و ساخت شرکت تعمیرات نیروگاهی

ردیف	تجهیزات و امکانات
۱	انواع ماشین‌آلات و تجهیزات ماشین‌کاری سبک و سنگین با ظرفیت‌های ابعادی و وزنی متنوع جهت هر نوع ماشین‌کاری
۲	تجهیزات بالانس دینامیک جهت بالانس انواع تجهیزات دوار تا وزن ۸۰ تن با امکان تامین شرایط خلا
۳	تجهیزات دمونتاژ و مونتاژ انواع توربین، کمپرسور و ژنراتور
٤	تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته مواد و تست‌های مخرب و غیرمخرب
۵	تجهیزات اندازه‌گیری دقیق CMM در دو نوع ثابت و پرتابل
٦	تجهیزات ردیف چینی و مومنتوم‌گیری انواع پره جهت نصب در توربین و کمپرسور
۷	ماشین‌آلات فرز CNC شامل دستگاه‌های سه محور، چهار محور و پنج محور

۱۱-۳-۲- متخصصین به تفکیک نیروگاه و شرکت‌های تولید نیروی برق

در این بخش نخبگان و متخصصین فعال در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه به تفکیک شرکت‌های تولید نیروی برق و نیروگاه‌ها بررسی و به تفکیک ارائه شده است.

جدول ۲۲۱-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق لوشان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	مهرداد علی غلامی	الکتروموتور سیستم تحریک سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	مدیر دفتر فنی تولید	نصب، راه‌اندازی و انجام تست‌های مربوط به الکتروموتور طراحی مدارات کنترل و فرمان الکتروموتور راه‌اندازی و انجام تست‌های سایتی از جمله اولیه و ثانویه ژنراتور، ترانسفورماتور، سیستم تحریک و سیستم راه‌انداز نصب، راه‌اندازی و تست‌های رله‌های حفاظتی پست و ژنراتور و ترانسفورماتور نصب، راه‌اندازی و انجام تست‌های شارژ و دشارژ باتری‌خانه نصب، راه‌اندازی و انجام تست‌های سوئیچگیر و ماشین‌های DC

جدول ۲۲۲-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایرانشهر

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	نوید عرب‌نژاد	الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	رئیس اداره شیفت بهره‌برداری رئیس اداره تعمیرات الکتریک	تعمیر انواع الکترو موتورهای ۴۰۰ و ٦ کیلوولت و تعویض بلبرینگ و سرویس نصب و راه اندازی تعداد ۷۲ عدد درایو ۱۳۲ کیلوولت مربوط به برج‌های خنک کن اورهال ٤ واحد نیروگاه سرویس و تست های الکتریک تعمیر و نگهداری تحریک و نصب یونترال ۵۰۰۰، ABB, ZAT و اشکودا رله‌های آلستوم تعمیر و نگهداری ترانس‌های ABB با ظرفیت ۲۰ و ۵۰ مگاولت‌آمپر باتری های ۵۰۰ آمپر ساعت ۲ ولتی و ۲ ولتی ۱۸۰۰ آمپر ساعت باس ٤۸ ولت سیستم شارژ UPS وارتا

جدول ۲۲۳-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه اصفهان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	امید آقامحمدی ورنوسفادرانی	الکتروموتور	مسئول الکتریک کارشناس الکتریک	
۲	عبدالحسین جمالی هندری	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور	مسئول اتاق فرمان رئیس اداره تعمیرات تجهیزات فشار قوی	تست و راه‌اندازی الکتروموتور تعمیر و تست‌های الکتریکی ژنراتور تست و تنظیم رله‌های حفاظتی ژنراتور، ترانسفورماتور و الکتروموتور تست‌های الکتریکی و راه‌اندازی ترانسفورماتور تست، عیب‌یابی و مانیتورینگ ژنراتورها و موتورهای الکتریکی تعمیرات مربوط به ذغال‌ها و رینگ‌های لغزنده
۳	امیرحسین زارع چاوشی	الکتروموتور ژنراتور سیست حفاظت ترانسفورماتور	کارشناس الکتریک رئیس اداره تعمیرات تجهیزات حفاظت و رلیاژ	تست و راه‌اندازی الکتروموتور تست‌های الکتریکی ژنراتور تست و تنظیم رله‌های حفاظتی ژنراتور، ترانسفورماتور و الکتروموتور تست‌های الکتریکی و راه‌اندازی ترانسفورماتور
٤	مهدی غیور نجف‌آبادی	الکتروموتور	تکنسین تعمیرات الکتریک کارشناس تعمیرات تجهیزات فشار ضعیف	
۵	مهدی قنبریان علویجه	الکتروموتور	بهره برداری الکتریک -واحدهای ۳۲۰ مگاواتی رئیس اداره فشار ضعیف	تست و راه‌اندازی و تعمیرات موتورهای فشار ضعیف

جدول ۲۲۴-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه ایسین بندرعباس

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	علیرضا ملایی کشکویی	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور	مدیریت تولید برق خلیج فارس نیروگاه سیکل ترکیبی ایسین	تست، راه‌اندازی و تعمیرات روتین الکتروموتور تست و راه‌اندازی ژنراتور تست‌های ثانویه سیستم حفاظت تعمیرات روتین و تست حفاظت ترانسفورماتور
۲	فرخ ناظر گهکانی	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور	سرپرست تعمیرات الکتریک نیروگاه سیکل ترکیبی ایسین کارشناس الکتریک نیروگاه گازی خلیج فارس	تعمیرات الکتریکی و سیم‌پیچی الکتروموتور تعمیرات روتین ژنراتور تست‌های ثانویه سیستم حفاظت تست‌ها و تعمیرات روتین ترانسفورماتور
۳	مقداد بهرام‌زاده	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور	مهندس شیفت نیروگاه سیکل ترکیبی ایسین کارشناس الکتریک امور مهندسی و برنامه‌ریزی	نصب، راه‌اندازی و پایش الکتروموتور بهره‌برداری و پایش ژنراتورهای هواخنک و تست‌های روتین آشنایی با حفاظت‌های موجود در نیروگاه و رله‌های UM۷ و UT۷ زیمنس بهره‌برداری، تصفیه فیزیکی روغن، تست‌های روغن و گازکروماتورگرافی ترانس

جدول ۲۲۵-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه بعثت

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	رضا قهرمانی	الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور باتری‌خانه	مدیر امور الکتریک مدیر پروژه سیستم تحریک	تعمیرات و نگهداری موتورهای LV و MV سرپرست کارگاه نصب درایوهای واحد ۱ و ۲ مدیر پروژه و ناظر تعمیرات ژنراتور واحدهای بخاری نیروگاه مدیر پروژه سیستم تحریک واحد ۲ نصب سافت‌استارتر چاه‌های عمیق نوسازی حفاظت باس MV نیروگاه و نصب رله‌های نیومریکال مدیر پروژه و ناظر تعمیرات اساسی ترانسفورماتورهای نیروگاهی تعویض باتری‌های دوست باتری‌خانه

جدول ۲۲۶-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، نیروگاه هسا

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	قربانعلی حیدری	سیستم‌های کنترل و حفاظت	کارشناس ابزار دقیق	

جدول ۲۲۷-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق آذربایجان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	محمد قویدل وحید	الکتروموتور - درایو	کارشناس دفتر فنی تولید	

جدول ۲۲۸-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه، شرکت تولید نیروی برق سهند

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات

۱	سولماز بابایی عجبشیر	سیستم پایش سیستم حفاظت	کارشناس کنترل و ابزار دقیق کارشناس فنی	

جدول ۲۲۹-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید رجایی

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	میثم درخشان	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک ترانسفورماتور	- عضو کارگروه تخصصی برق و کنترل نیروگاه رامین - عضو کمیته الکتریک نظام پیشنهادها نیروگاه رامین - عضو تیم ممیزی و ارزیابی داخلی سیستم‌های مدیریتی و مدل‌های تعالی سازمانی نیروگاه رامین - عضو تیم ممیزی داخلی نیروگاه شهید رجایی	
۲	حمیدرضا نظری	الکتروموتور سیستم تحریک سیستم DC باتری‌خانه	- کارشناس بخش R&D شرکت موج نیکان - کارشناس تعمیرات الکتریک نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی	
۳	محمد آقاداداش‌پور	الکتروموتور سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور باتری‌خانه	- مدیر امور تعمیرات الکتریک نیروگاه بخار - رئیس اداره تعمیرات توربوژنراتور و بویلر الکتریک	- سرویس و نگهداری الکتروموتور - نصب و راه‌اندازی سافت‌استارتر برای الکتروموتورهای ۴۰۰ ولت - تست رله‌های حفاظتی - تست‌های الکتریکی ترانسفورماتور - تست ظرفیت باتری‌ها
٤	حمیدرضا صفایی‌زاده	ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- مدیر امور تعمیرات الکتریک نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی - عضو و دارای پروانه اشتغال بکار پایه یک سازمان نظام مهندسی ساختمان استان قزوین - عضو کمیته تخصصی الکتریک ستاد شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی - عضو کمیته تخصصی الکتریک نظام پیشنهادات شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیسیون معاملات و مناقصات شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته فنی بازرگانی شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته ممیزی داخلی شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته تخصصی الکتریک آموزش شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته ایمنی شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته قطعات استراتژیک شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی	
٥	مرتضی زمزمی	سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- کارشناس الکتریک نیروگاه بخار شهید رجایی - مهندس پایه دو نظام مهندسی ساختمان استان قزوین	
٦	فرزاد رحمتی	الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم پایش سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- کارشناس الکتریک اداره تعمیرات الکتریک شرکت مهندسی نیروی تهران (مهنیرو) - معاون اداره تعمیرات الکتریک ولتاژ بالا و حفاظت و تحریک نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی - کارشناس ارشد الکتریک معاونت مهندسی و برنامه ریزی نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی - رئیس گروه الکتریک نیروگاه بخار شهید رجایی - رئیس گروه الکتریک نیروگاه های بخار و سیکل ترکیبی شهید رجایی - عضو هیأت مدیره انجمن علمی مهندسین برق و الکترونیک ایران – شاخه قزوین - عضو علی البدل هیأت مدیره و کارشناس پایه یک سازمان نظام مهندسی ساختمان استان قزوین - عضو هیأت مدیره انجمن صنفی کارفرمایی مهندسان برق و	- تست‌های الکتریکی و عیب‌یابی الکتروموتور - آشنایی با نصب و راه‌اندازی و نحوه عملکرد درایو - تست‌های الکتریکی و عیب‌یابی ژنراتور - عیب‌یابی سیستم تحریک - عیب‌یابی سیستم پایش از طریق تحلیل منحنی ارتعاش و ترموگرافی - نصب و تست سیستم حفاظت - تست‌های الکتریکی ترانسفورماتور - نصب، راه‌اندازی و عیب‌یابی سیستم DC - نصب، راه‌اندازی، احیاءسازی باتری‌های نیکل- کادمیوم

			الکترونیک استان قزوین - مشاور حفاظت فنی وزارت تعاون، رفاه و امور اجتماعی - کارشناس سازمان ملی استاندارد ایران-نظارت بر اجرای استاندارد در رشته تخصصی برق و الکترونیک - کارشناس رسمی دادگستری در رشته برق، ماشین و تأسیسات کارخانجات - عضو کمیته پیشنهادها در شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته تحقیقات و مدیریت دانش در شرکت مدیریت تولید برق شهید رجایی - عضو کمیته فنی الکتریک شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی	

جدول ۲۳۰-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شهید مفتح

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	ابوالفضل کاظم‌پور	الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- مدیر فنی شرکت الیاف صنعتی ایران - تعمیرات الکتریک نیروگاه شهید مفتح	- تعمیرات و نگهداری الکتروموتورهای ۴۰۰ ولت و ۶/۶ کیلوولت - کنترل دور الکتروموتورهای جریان متناوب و مستقیم - حفاظت‌های ژنراتور - عیب‌یابی و تست سیستم‌های تحریک ژنراتور - سیستم‌های راه‌انداز الکتروموتورهای جریان مستقیم و متناوب - تست و تنظیم انواع رله‌های حفاظتی - تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت - آشنایی با شارژر و اینورترها - آشنایی با انواع باتری‌ها و تعمیرات و نگهداری آن‌ها
۲	حسنعلی شالودگی	الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- کارشناس تعمیرات الکتریک - کارشناس معاونت مهندسی	
۳	رضا اسکندرزاده	الکتروموتور ترانسفورماتور	- کارشناس الکتریک نیروگاه شهید مفتح	
۴	محمدرضا فرخ‌زادی	الکتروموتور درایو ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- کارشناس تعمیرات توربوژنراتور - رئیس اداره تعمیرات توربوژنراتور و بویلر	
۵	نبی شعبانی	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه		

جدول ۲۳۱-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه شیروان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	مهدی شاکری	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم راه‌انداز سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه		

جدول ۲۳۲-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه طرشت

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	امیرحسین حسن آهی	الکتروموتور ترانسفورماتور	- رئیس اداره شیفت بهره‌برداری - معاون مهندسی و برنامه‌ریزی نیروگاه طرشت	

جدول ۲۳۳-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه یزد

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	وحید مروستی	الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش ترانسفورماتور باتری‌خانه	- کارشناس بهره‌برداری مولدهای گاز و بخار نیروگاه یزد - کارشناس مهندسی بخش الکتریک نیروگاه یزد	
۲	حمید تقوی	سیستم پایش ترانسفورماتور	- شرکت مدیریت تولید برق یزد - شرکت برق منطقه‌ای یزد	
۳	علی موحدنسب	الکتروموتور درایو سیستم تحریک سیستم DC	- شرکت الکتروکویر - نیروگاه یزد معاونت مهندسی - معاونت بهره‌برداری	
٤	محمد فلاح‌نژاد	سیستم تحریک سیستم حفاظت	- کارشناس نظارت الکتریک دفتر مهندسی نیروگاه یزد	
٥	مهدی دهقانی	باتری‌خانه		
٦	محمد حیدری	الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش	- کارشناس مسئول تعمیرات الکتریک	
۷	مهدی خادمی	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم	- شرکت الکتروکویر یزد - کارشناس بهره‌برداری - کارشناس تعمیرات الکتریک	

		حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه		
۸	مسعود غفوریان	الکتروموتور سیستم پایش	- کارشناس مسئول تعمیرات الکتریک - مدیر امور تعمیرات الکتریک	
۹	سیدروح‌الله میرنژاد	ژنراتور سیستم تحریک ترانسفورماتور	- کارشناس دفتر مهندسی - کارشناس بهره‌برداری	

جدول ۲۳۴-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه زاهدان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	پیمان پودینه	الکتروموتور ژنراتور سیستم تحریک سیستم حفاظت ترانسفورماتور	-کارشناس مسئول تعمیرات دوره‌ای الکتریک - رئیس گروه الکتریک و ابزار دقیق دفتر فنی ستاد	- انواع الکتروموتورهای نیروگاه بخاری ایرانشهر - انجام اورهال استاتور و روتور ژنراتور - سیستم تحریک دینامیک و استاتیک - بهینه‌سازی و تعویض رله‌های قدیمی با رله‌های نیومریکال - تست‌های PM ترانس‌های اصلی و مصرف داخلی نیروگاه‌ها

جدول ۲۳۵-۲ : متخصصین حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاهی، نیروگاه خراسان

ردیف	نام و نام خانوادگی	تخصص	سوابق	توضیحات
۱	مهدی مظلومی گل	الکتروموتور سیستم پایش سیستم حفاظت ترانسفورماتور	- تکنسین الکتریک در شرکت نصب و تعمیرات نیروگاه‌های خراسان - تکنسین الکتریک در شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا - کارشناس الکتریک شرکت مدیریت تولید برق نیروگاه‌های گازی خراسان	
۲	مهدی شرفی	الکتروموتور ژنراتور سیستم پایش سیستم حفاظت ترانسفورماتور باتری‌خانه	- کارشناس تعمیرات الکتریک - کارشناس دفتر فنی و نظارت	
۳	محمد احمدی‌فر	الکتروموتور ژنراتور سیستم حفاظت ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- کارشناس فنی شرکت مهام شرق - رئیس اداره تعمیرات الکتریک	
٤	عباس جوکار	الکتروموتور سیستم پایش ترانسفورماتور سیستم DC باتری‌خانه	- تکنسین الکتریک - کارشناس الکتریک شرکت مدیریت تولید نیروگاه‌های گازی خراسان	

۳-ارکان هدف‌ساز (چشم‌انداز، اهداف، راهبردها و اقدامات)

۱-۳- مقدمه

چشم‌انداز عبارت است از تصویری مطلوب و آرمان قابل دسترس در حوزه فناوری که در یک افق زمانی بلندمدت و متناسب با مبانی ارزشی جامعه تعیین می‌گردد. بیانیه چشم‌انداز ، تصویری از وضعیت ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات آن در نیروگاه حرارتی، در افق زمانی ۵ ساله (سال ۱۴۰۵) را بیان می‌نماید و به عنوان راهنما و چراغ هدایت توسعه این فناوری‌ها عمل می‌کند. بیانیه چشم انداز به نحوی تنظیم گردیده است که چالش‌های راهبردی و هدف‌های تعیین شده کیفی در سند، ارتباط مستقیم و معناداری با یکدیگر داشته باشند؛ نیازهای کشور در حوزه صنعت نیروگاه حرارتی، در حال و آینده در نظر گرفته شده است.

۲-۳- ادبیات تدوین چشم‌انداز

چشم‌انداز عبارتست از تصویر مطلوب (شفاف، واقعی، جذاب و قابل قبول) و آرمان قابل دستیابی در حوزه فناوری که در یک افق زمانی بلندمدت و متناسب با مبانی ارزشی جامعه تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر چشم‌انداز، بیان صریح سرنوشتی است که فناوری به سوی آن حرکت می‌کند و تصویر آینده‌ای است که کشور در جستجوی خلق آن است.

بیانیه چشم‌انداز تصویری از وضعیت یک کشور است، زمانی که به اهداف و راهبردهای خود در یک بازه‌ی زمانی دست یافته باشد. این بیانیه به نحوی تنظیم می‌شود که چالش‌های راهبردی و هدف‌های تعیین شده کیفی در سند، ارتباط مستقیم و معناداری با یکدیگر داشته باشند؛ نیازهای جامعه را در آینده و حال، به‌عنوان هماهنگی بین جامعه و تصویر آینده در بیان کلمات و جملات یکسان نماید؛ و از کلمات و جملات آرمانی، قابل دست یافتنی، ارزشی، مقدس و نهادینه برای عبارت‌پردازی سند استفاده نماید.

چشم‌انداز فناوری اگر به صورت دقیق، جامع و آینده‌نگرانه تعریف شده باشد، می‌تواند مسیر توسعه فناوری را همواره هدفمند و جهت دار نماید و مانند چراغی در افق بلندمدت، فراروی کنش‌گران مختلف (دولت، صنعت، دانشگاه) قرار گیرد. آگاهی کامل سیاست‌گذاران به چشم‌انداز فناوری نیز می تواند آنها را در اتخاذ تصمیمات کلیدی و سیاست‌های اثرگذار یاری دهد.

از منظر چشم‌انداز، اکثر مدل‌های تدوین راهبرد ملی دارای گام تدوین چشم‌انداز مشخص و صریح می‌باشند. لکن برخی مدل‌ها نیز وجود دارند که به مراتب به وجود چنین عنصری در برنامه‌ریزی راهبردی ملی اشاره نکرده ولی به تدوین اهداف بلندمدت پرداخته‌اند. ضرورت تدوین چشم‌انداز در اسناد ملی توسعه فناوری از این بابت است که تعهد، انگیزه، هیجان و انرژی را در میان کنش‌گران دخیل در توسعه فناوری افزایش داده و مقصدی را برای رسیدن ترسیم می‌نمایند. چشم‌انداز یک رکن جهت‌ساز کلان، ساده، و قابل انتقال را ترسیم کرده تا راهنمای گام‌های مختلف انتخاب، اکتساب، و سیاست‌گذاری فناوری باشد.

در ادبیات مدیریت راهبردی، چشم‌انداز بر اساس مدل‌های مختلفی (به‌عنوان بخشی از فرایند تدوین راهبرد) تعریف شده است. اگرچه غالب این مدل‌ها برای تدوین راهبرد در سطح بنگاه طراحی شده‌اند، اما می‌توان نتایج حاصل از بررسی این تعاریف متفاوت را برای طراحی چشم‌انداز در سطح ملی استفاده نمود. برای این منظور، در زیر چهار نوع از مدل‌های تدوین راهبرد بنگاه که به تعریف چشم‌انداز پرداخته‌اند، و نیز چهار بیانیه چشم‌انداز استفاده شده در اسناد ملی دیگر کشورها بررسی می‌گردد. از بررسی این تعاریف و مطالعات تطبیقی، ویژگی‌های چشم‌انداز توسعه فناوری در سطح ملی استخراج می‌گردد.

۱-۲-۳- چشم‌انداز در مدل‌های تدوین راهبرد بنگاه

در این قسمت، به بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز که در ادبیات بنگاهی توسعه پیدا کرده‌اند پرداخته می‌شود. بررسی این مدل‌ها به کسب بینش نسبت به چگونگی چشم‌انداز پردازی در سطح ملی کمک می‌کند.

۱-۱-۲-۳- مدل دیوید

بر اساس این مدل، بیانیه چشم‌انداز در بنگاه‌ها بر اساس پاسخ به سوال «ما چه می‌خواهیم بشویم و به کجا می‌خواهیم برسیم؟» توسعه داده می‌شود. بیانیه چشم‌انداز باید کوتاه، و ترجیحا یک جمله باشد، و از همه ذینفعانی که ممکن است ورودی و اطلاعاتی برای تدوین آن در اختیار داشته باشند، استفاده شود. برای مثال، چشم‌انداز یک موسسه حسابداری مدیریت عبارتست از:«رهبری جهانی در آموزش، تایید کننده و گواهی دهنده، و اجرای حسابداری مدیریت و مدیریت مالی».

براساس نظر دیوید، چشم‌انداز به‌عنوان یکی از فرایندهای ابتدایی در تدوین راهبرد، بعنوان ورودی‌های اولیه و عناصر بالادست در تمام قدم‌های این فرآیند نقش ایفا می‌نماید (دیوید، ۱۳۸۱). تدوین چشم‌انداز نیز با بررسی محیط داخل و خارج و نیز با دریافت بازخورد از تمام مراحل برنامه‌ریزی راهبردی صورت می‌پذیرد.

۲-۱-۲-۳- مدل پاتریک لوئیس

چشم‌انداز به سوال«چه چیزی می‌خواهیم ایجاد کنیم» پاسخ می‌دهد و یک تصویر ایده آل، واحد و جذاب از آینده ترسیم می‌نماید. چشم‌انداز تصویر جذابی از وعده‌هایی است که شور و اشتیاق و هیجان را در افراد و هنگام کار القا و الهام می‌کند. به زبان ساده چشم‌انداز مشترک، یک تصویر شفاف و مورد تائید ذینفعان می‌باشد که آینده را مشخص می‌کند.

به منظور مشخص و روشن نمودن و نیز تعریف فردای جدید، چشم‌انداز ساختاری را که راهنمای تمام تصمیم‌گیری‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و کارها باشد، فراهم می آورد. چشم‌انداز برای رسیدن به آینده‌ای که معمولا کمی دورتر از دسترس می‌باشد، بر روی قوت‌های سازمانی و منابعی که باید توسعه بیابند تمرکز می کند. چشم‌انداز یک نیروی محرک است که باعث یک تلاش و جستجوی بی پایان برای موفقیت و برتری می شود.

۳-۱-۲-۳- مدل آلیسون

در این مدل، چشم‌انداز تصویر راهنمای موفقیت است . بیانیه چشم‌انداز به سوال«موفقیت چگونه است و شبیه چیست؟» جواب می دهد. چشم‌انداز باید گروه‌ها را به مبارزه و چالش بطلبد تا قابلیت‌هایشان را گسترش دهند و به اهدافشان برسند.

آلیسون در فرآیندی که برای مدیریت راهبردی طراحی نموده است، جایگاهی مشابه با دیوید برای تدوین ماموریت و چشم‌اندز قائل شده‌اند. او معتقد است که پس از کسب آمادگی و حصول مقدمات اولیه برنامه‌ریزی، اولین گام در فرآیند اصلی تدوین استراتژی (بعنوان رکن جهت‌ساز) باید تدوین چشم‌انداز مطلوب و آرمان باشد.

از نظر وی، بیانیه چشم‌انداز موثر باید هم چشم‌انداز داخل و هم چشم‌انداز خارجی را در نظر بگیرد. چشم‌انداز خارجی بر روی اینکه اگر بنگاه به اهدافش برسد جهان چگونه بهبود می یابد، تغییر می‌کند و متفاوت می‌شود، تمرکز دارد. هنگامی که چشم‌انداز خارجی بیان نمود که بنگاه چگونه برنامه‌ای برای تغییر جهان دارد، چشم‌انداز داخلی تعیین می‌شود.

در این مدل پیش‌نویس بیانیه چشم‌انداز با ایده‌ها و نگرشی که از بحث‌ها و گفتگوها بیرون می آید و نیز احساس و بینش مشترکی که از مسیر(جهت) و انگیزه ایجاد می شود، آغاز می‌گردد. تمامی ذینفعان باید در طوفان فکری ابتدایی و نیز بعضی از گفتگوها حاضر باشند.

۴-۱-۲-۳- مدل مک‌میلان

چشم‌انداز تصویر ذهنی قوی از آنچه که ما در آینده می خواهیم بشویم، می‌باشد. چشم‌انداز ریشه در واقعیت دارد اما روی آینده تمرکز می نماید. تدوین چشم‌انداز، فرآیندی شامل روشن نمودن ارزش‌ها، تمرکز بر روی ماموریت و گسترش افق با استفاده از بیانیه چشم‌انداز می باشد. تدوین چشم‌انداز، راه و روش‌های خلاقانه برای چالش‌های کسب و کار فراهم می‌آورد و جرقه ارزیابی و یادگیری پیوسته در سازمان را بوجود می‌آورد.

از نظر وی دلایل تدوین چشم‌انداز سازمان عبارتند از: هماهنگی و متناسب کردن کار افراد مختلف، کمک به همه برای تصمیم‌گیری، ایجاد اصول و پایه‌ای برای برنامه ریزی کسب و کار، به چالش کشیدن اوضاع راحت و غیر ایده‌آل شرایط فعلی، و ایجاد رفتارهای متناجس و موافق در افراد به صورت قابل توجه.

۲-۲-۳- نمونه‌هایی از چشم‌اندازهای سایر فناوری‌ها

درکنار بررسی مدل‌هایی که در به‌صورت تئوریک بر موضوع تدوین چشم‌انداز تمرکز داشتند، در این قسمت به چشم‌اندازهای موجود در اسناد راهبردی داخلی و خارجی پرداخته می‌شود. آشنایی با این بیانیه‌ها و نیز مولفه‌های مورد توجه در هر یک می‌تواند به تعیین ویژگی‌های چشم‌انداز توسعه یک فناوری در سطح ملی کمک نماید.

۱-۲-۲-۳- چشم‌انداز بخش انرژی باد

جمهوری اسلامی ایران پیشتاز در نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های بادی بومی و توسعه فناوری و کسب و کارهای دانش‌بنیان رقابت‌پذیر در منطقه، به طوری که در افق ۱۴۰۴ بتواند بر اساس شاخص‌های دستیابی به فناوری در این زمینه برترین کشور در منطقه قلمداد گردد.

۲-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری نانو

برای تحقق چشم‌انداز بیست‌ساله جمهوری اسلامی ایران، جنبش نرم‌افزاری و بهبود سطح، کیفیت، و امنیت زندگی مردم، در افق ده‌ساله، جمهوری اسلامی ایران کشوری است توسعه یافته در فناوری نانو:

- با زیرساخت‌های بومی و پیشرفته و دارای سهم برتر منابع انسانی متخصص
- دارای تعاملات داخلی و بین‌المللی موثر و سازنده
- مولد ارزش افزوده‌ی اقتصادی حاصل از فناوری نانو
- دارای توان رقابت در سطح جهان

۳-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری پیل سوختی

با اتکا به خداوند متعال و در راستای تحقق چشم‌انداز بیست ساله کشور و با تلاش نظام‌مند ذی‌نفعان این فناوری در یک دوره پانزده ساله، جمهوری اسلامی ایران بر مبنای شاخص‌های بین‌المللی توسعه فناوری، جزء پنج کشور توسعه یافته، توانمند و صاحب فناوری قاره آسیا و اولین کشور منطقه در زمینه طراحی، تولید، ارتقاء و بکارگیری فناوری پیلهای سوختی راهبردی خواهد شد.

۴-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری سلول‌های بنیادی

با الهام از اهداف سند چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ و در راستای ارتقای سطح زندگی و سلامت جامعه، ایران کشوری توسعه یافته در زمینه‌ی علم و فناوری سلول‌های بنیادی و زیرساخت‌های بومی، و دارای سهم موثر در تولید دانش و فناوری، توسعه سرمایه انسانی و فیزیکی، ایجاد ارزش افزوده، افزایش توان رقابت و تعامل در سطح جهانی خواهد بود.

۵-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری اطلاعات

فناوری اطلاعات عامل پیشران در توسعه ملی دانش پایه، خلق‌کننده ارزش، فراهم‌کننده فرصت‌های امن و عادلانه برای همه ایرانیان؛ شکل‌دهنده مدیریت دانش و جامعه شبکه‌ای هوشمند متکی بر هویت ایرانی–اسلامی و کانون پیشرفته‌ی فناوری اطلاعات در منطقه جهت نیل به اهداف چشم‌انداز ۱۴۰۴ هجری شمسی است.

۶-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری‌های زیستی

- ارتقای سطح علمی و دانش فنی زیست‌فناوری کشور و کسب سهم علمی شایسته در عرصه جهانی
- ارتقای سهم شایسته زیست‌فناوری در توسعه بخش کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت و درمان، صنعت و معدن
- کسب مقام پیشتازی در زیست‌فناوری در سطح منطقه
- بهبود کمی و کیفی فرآورده‌های کشاورزی اعم از گیاه، دام، و طیور برای رسیدن به خودکفایی نسبی
- همکاری با جامعه جهانی برای توسعه زیست‌فناوری در کشور و استفاده صلح‌آمیز از این فناوری نوین

۷-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری نانو در آفریقای جنوبی

ساخت جامعه‌ای کامیاب که به‌دنبال بهره‌برداری از علم و فناوری برای دستیابی به منافع پایدار و برابر در میان اعضای خود است.

۸-۲-۲-۳- چشم‌انداز توسعه خودروهای الکتریکی در کانادا

تا سال ۲۰۱۸، ۵۰۰۰۰۰ دستگاه خودروی الکتریکی در جاده‌های کانادا خواهد بود. این خودروها باید از لحاظ قطعات داخلی و ساخت و تولید، بومی باشند، حتی بیشتر از سایر وسایل نقلیه تولیدی کانادا در سال ۲۰۰۸.

۹-۲-۲-۳- چشم‌انداز فناوری پیل سوختی در ایالات متحده

دستیابی به آینده‌ای روشن برای ملت، که در آن انرژی حاصل از هیدروژن و فناوری پیل‌سوختی، نیرویی پاک، کافی، مطمئن، اقتصادی، و به‌عنوان جزء جدایی ناپذیری از تمام صنایع و بخش‌ها در کلیه مناطق کشور باشد.

۱۰-۲-۲-۳- چشم‌انداز انرژی هیدروژن و فناوری پیل سوختی در چین

در چشم‌انداز کشور چین، گذار به اقتصاد هیدروژنی در سه مرحله زیر صورت می‌گیرد:

- تحقیق و توسعه و پروژه‌های نمایشی (تا سال ۲۰۲۰): حمایت کامل دولت از تحقیق و توسعه در انرژی هیدروژن و فناوری پیل‌سوختی
- ورود به بازار (۲۰۲۰–۲۰۵۰): دستیابی جامعه به انرژی هیدروژن و فناوری پیل‌سوختی به‌صورت کاربردی
- اقتصاد هیدروژنی (۲۰۵۰ و بعد): فراهم آوردن انرژی هیدروژن و فناوری پیل‌سوختی به‌صورت قابل رقابت با سایر گونه‌های انرژی و مورد قبول جامعه

۳-۳- روش پیشنهادی ترسیم چشم‌انداز توسعه فناوری

با بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز بنگاهی و نیز کسب آگاهی از مطالعات تطبیقی صورت پذیرفته، ترسیم افق چشم‌انداز در پنج مرحله‌ی زیر به انجام می‌رسد:

۱) تدوین اصول ارزشی

اصول ارزشی، اصول، باورها و ارزش‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، و فناورانه هستند که بر نوع نگاه به توسعه فناوری تاثیر می‌گذارد. در واقع این اصول به عنوان خط‌قرمزهایی هستند که از اعتقادات و باورهای کنش‌گران و ذینفعان توسعه فناوری برخاسته و ابعاد چشم‌انداز را شفاف و مرزبندی می‌کند. به‌عبارت دیگر چشم‌انداز باید با درنظرگیری ملاحضات این اصول ترسیم گردد. از ویژگی‌های اصول ارزشی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

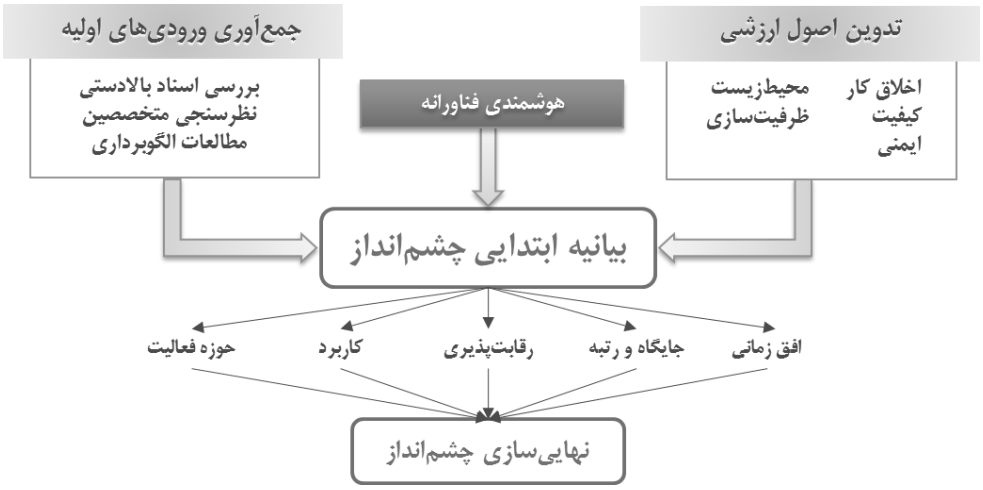
- اصولی اساسی و اعتقادین هستند که به‌خاطر اهمیت ذاتی و نه توجیه اقتصادی دنبال می‌شوند

- بیانگر ارزش‌هایی هستند که زودگذر نبوده و تا چند دهه آینده نیز پایدار تلقی می‌شوند
- اصولی هستند که حتی اگر سبب محرومیت از رقابت هم شوند، باز هم ترک نمی‌شوند
- اعتقاداتی هستند که به نسل‌های بعدی نیز منتقل می‌شوند

استخراج این اصول ارزشی بر پایه نظرات جمعی بوده و قالب و یا چارچوب از پیش‌تعیین شده و مشخصی را نمی‌توان برای آن‌ها ارائه داد. اما به‌منظور جهت‌دهی نظرات جمعی در شناسایی اصول ارزشی، می‌توان با تکیه بر ادبیات بنگاهی تدوین چشم‌انداز و نیز با بررسی اصول ارزشی ملی– فناورانه تدوین شده در اسناد دیگر، به استخراج ۵ محور اصلی که اصول ارزشی می‌توانند بر حول آن‌ها شکل بگیرند پرداخت. اصول ارزشی بر ۵ محور اصلی زیر تدوین می‌گردد:

- اخلاق کار در صنعت: مجموعه باورها و ارزش‌های بنیادی که راهنمای تصمیمات و رفتار در ارتباط با ذینفعان صنعت است.
- کیفیت: تعریف ارائه شده از کیفیت و حد مطلوب آن برای فناوری (مطابقت محصول با نیاز مصرف‌کننده، پیروی از استانداردها و خصوصیات لازم، ارائه محصول با ویژگی‌های مطلوب همراه با قیمت قابل قبول).
- ایمنی: شرایطی است که ذینفعان را از عوامل مضری که می‌تواند سلامتی آن‌ها را به خطر بیاندازد، مصون نگاه می‌دارد (موارد فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، و استرس‌زا).
- محیط‌زیست: مجموعه باورها و ارزش‌ها پیرامون توجه به حفظ محیط‌زیست از طریق رعایت ضوابط و استانداردهای زیست‌محیطی.
- ظرفیت‌سازی: میزان توجه و اهمیت به ظرفیت‌های دانشی، انسانی، و فناورانه در زمینه توسعه فناوری و تلاش در جهت رشد و توسعه آن‌ها.

با توجه به ویژگی‌های ذکر شده و نیز بر مبنای محورهای پنج‌گانه مطرح شده در بالا، باید مجموعه‌ی اصول ارزشی تدوین شده و در چشم‌انداز ترسیمی نیز با درنظرگیری ملاحظات آن‌ها ترسیم شود.



شکل ۱–۳: روش‌شناسی چشم‌اندازپردازی

۲) جمع‌آوری ورودی‌های اولیه ترسیم چشم‌انداز

جمع‌آوری ورودی‌های لازم برای ترسیم چشم‌انداز از راه‌های زیر صورت می‌پذیرد:

- بررسی اسناد بالادستی: پیش از شروع هر بحث دیگر تدوین چشم‌انداز، ضروری است تا با بررسی اسناد بالادستی، طرح‌ها و راهبردهای کلان تدوین شده در سطوح بالاتر، و اصول ارزشی توسعه فناوری موجود در

جامعه، تصویری از بستر فعلی و نگاه‌های آینده پیرامون فناوری حاصل گردد. این تصویر در شکل‌دادن به مولفه‌های چشم‌انداز نقش مهمی بر عهده دارد.

- نظرسنجی کارشناسی: بیان یک نتیجه بر پایه یک مجموعه شواهد یا انتظارات از آینده که از اطلاعات و منطق افراد آشنا با موضوع مورد نظر حاصل می‌شود، یکی دیگر از راه‌های تامین ورودی‌های لازم برای ترسیم افق چشم‌انداز است. اندیشه‌ها و تفکرات خبرگان حوزه فناوری از آینده پیش رو سهم قابل توجهی در ترسیم چشم‌انداز دارد.
- مطالعات الگوبرداری: استفاده از تجارب دیگر کشورها در زمینه توسعه فناوری‌های راهبردی روشی دیگر در ترسیم چشم‌انداز است. در این زمینه می‌توان از آینده‌های ترسیم شده در سایر کشورها، مانند هدف‌گذاری‌های بلندمدت، حوزه‌های کاربردی قابل تاکید، و غیره برای تعیین افق چشم‌انداز داخلی بهره برد.

۳) تدوین بیانیه اولیه چشم‌انداز

بیانیه اولیه چشم‌انداز توسط تحلیل‌گران و مشاوران تهیه می‌شود. در این مرحله بر مبنای ورودی‌های حاصل از مراحل قبل (هوشمندی فناورانه، اطلاعات اولیه، اصول ارزشی)، به ترسیم افق چشم‌انداز در چارچوب اصول ارزشی تدوین شده پرداخته می‌شود. با بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز بنگاهی و نیز با بهره‌گیری از مطالعات تطبیقی تدوین چشم‌انداز، لازم است تا به مولفه‌های ضروری چشم‌انداز و نیز ویژگی‌های افق چشم‌انداز در سطح ملی توجه شود. بر این اساس، ویژگی‌های یک چشم‌انداز توسعه فناوری در سطح ملی به شرح زیر است:

- تدوین چشم‌انداز باید با بررسی محیط داخل و خارج و نیز با دریافت بازخورد از تمام مراحل برنامه‌ریزی راهبردی صورت گیرد.
- چشم‌انداز باید به تصویری شفاف و مورد تایید همه ذینفعان منجر شود.
- چشم‌انداز باید در رسیدن به آینده‌ای که معمولا کمی دورتر از دسترس می باشد، بر روی قوت ها و منابعی که باید توسعه بیابند تمرکز کند.
- در تدوین چشم‌انداز هم باید بر چگونگی تغییر محیط در خارج (چشم‌انداز خارجی) و نیز تصویر مطلوب در محیط داخل (چشم‌انداز داخلی) تمرکز صورت پذیرد.

۴) تایید و نهایی‌سازی بیانیه اولیه چشم‌انداز

چشم‌انداز تعریف شده توسط تحلیل‌گران و مشاوران در مرحله قبل باید برای نهایی شدن به تایید کمیته راهبری مسئول توسعه فناوری، متشکل از خبرگان صنعت، دولت و دانشگاه برسد. این تایید علاوه بر نمایش صحت آینده ترسیم شده، به همگرا شدن نظرات خبرگان در مورد هریک از مولفه‌های آینده فناوری نیز منجر می‌شود.

۵) دریافت بازخورد از سایر مراحل

ترسیم چشم‌انداز باید در تعامل با گام‌های بعدی صورت پذیرد. به‌عبارت دیگر، چشم‌انداز تعریف شده در این بخش بدون دریافت بازخورد از سایر گام‌ها می‌تواند ماهیتی خارج از واقعیت و غیرعملیاتی داشته باشد. بنابراین در این گام لازم است تا چشم‌انداز اولیه تعریف شده با انجام هر گام (تعیین راهبردهای کلان، تحلیل عملکرد، و وضع سیاست‌ها) مورد بازنگری قرار گرفته و تغییرات لازم در مولفه‌های آن صورت پذیرد.

۴-۳- هدف‌گذاری کلان

یکی دیگر از گام‌های اساسی در تعیین جهت‌گیری‌های کلان، تدوین اهداف توسعه در راستای چشم‌انداز تعریف شده است. این هدف‌گذاری در سطح کلان به‌منظور شفاف نمودن مسیر نیل به چشم‌انداز انجام می‌گیرد. در حقیقت اهداف مذکور، پاسخگوی یک سؤال اساسی است با عنوان "برای رسیدن به چشم‌انداز در افق زمانی تعیین شده، به چه مقاصدی باید دست

یافت؟". با تعیین این اهداف در مسیر دستیابی به چشم‌انداز، کنش‌گران دخیل در نظام توسعه فناوری، اهدافی بلندمدتی را دنبال می‌کنند و در نتیجه، برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و فعالیت‌های خود را براساس آن به‌صورت دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر انجام دهند.

در مدل پیشنهادی برای تدوین اسناد راهبردی توسعه فناوری، تدوین اهداف با دو رویکرد بالا–به–پایین و پایین–به–بالا صورت می‌پذیرد. رویکرد بالا–به–پایین رویکردی هدف محور است که به‌دنبال ترسیم یک آینده‌ی مطلوب برای توسعه فناوری است. در طرف مقابل، رویکرد پایین–به–بالا نگاهی مسئله‌محور[a] به توسعه فناوری دارد. با استفاده از این رویکرد ترکیبی، از یک طرف همراستایی اهداف با چشم‌اندازهای کلان ملی و سایر ارکان جهت‌ساز بالادستی حفظ شده، و از طرف دیگر، تمام مسایل و مشکلات موجود در مسیر توسعه فناوری نیز مورد هدف تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند. در این بخش، فرایند تدوین اهداف کلان با نگاهی بالا–به–پایین صورت می‌گیرد. این اهداف در راستای چشم‌انداز و با تعریف حوزه‌های هدف مشخص می‌شوند. علاوه بر حوزه‌های هدف که بیان‌کننده ابعاد اهداف تعریف شده است، کیفیت آن‌ها نیز باید با مشخص نمودن ویژگی‌های اهداف معین شود. به‌منظور تعیین کردن حوزه‌ها و ویژگی‌های ضروری هدف، همانند تدوین چشم‌انداز، به بررسی هدف‌گذاری در سطح بنگاه، مطالعات تطبیقی داخلی و مطالعات تطبیقی خارجی پرداخته می‌شود.

۵-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی

در این فصل ابتدا به ارائه مصاحبه‌های انجام‌شده با خبرگان حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی پرداخته خواهد شد. این مصاحبه‌ها در قالب یک پرسشنامه و به صورت جلسات آنلاین برگزار شدند. سوالات موجود در پرسشنامه الکتروموتور به قرار زیر بودند:

۱) آیا میزان بازرسی‌های دوره‌ای و برنامه نگهداری الکتروموتورهای نیروگاهی در حد مطلوب است؟ میزان بازرسی مطلوب برای الکتروموتورهای ولتاژ پایین و متوسط با طول عمرهای مختلف چقدر باید باشد؟ پیشنهاد شما در مورد شرایط بازرسی برنامه نگهداری این تجهیزات چیست؟

۲) با توجه به اهمیت و سرعت و کیفیت تعمیرات الکتروموتور، پیشنهاد شما برای کاهش مدت زمان تعمیرات و بازگشت به مدار چیست؟

۳) اگر بخواهیم مدت زمان بین سرویس‌های دوره‌ای را کاهش دهیم، برای این‌که افزایش نرخ آماده‌به‌کاری داشته باشیم چه پیشنهادی دارید؟

۴) آیا با جایگزینی الکتروموتورهای نیروگاهی موجود به کار رفته در پمپ و فن با الکتروموتورهای پربازده با هدف کاهش مصرف داخلی نیروگاه موافق هستید؟ به نظر شما چه تعداد از الکتروموتورهای موجود در اولویت جایگزینی با الکتروموتورهای پربازده هستند؟ آیا ظرفیت موجود (از نظر تجهیزات و نیروی انسانی) برای جایگزینی داریم؟

۵) در الکتروموتورهایی که در مورد پربازده بودنشان صحبت کردیم، آیا با مجهز کردن الکتروموتورهای موجود به سیستم‌های کنترل دور متغیر (درایو) با هدف کاهش مصرف داخلی و نیروگاه و نرخ خرابی الکتروموتور موافقید؟ اگر بله، با چه اولویتی؟

۶) به نظر شما عمق ساخت داخل در حوزه الکتروموتور ولتاژ پایین و ولتاژ متوسط برای کاربرد فن و پمپ نیروگاه از نظر دانش فنی چقدر است و تا سال ۱۴۰۵ چقدر می‌توان این دانش را افزایش داد؟

[a] Issue-based

۷) در صورتی که بخواهیم یک الکتروموتور را از خارج تهیه کنیم تا جایگزین الکتروموتورهای موجود شود، چه فاکتورهایی مد نظر شماست که در نسل قبلی وجود نداشته؟ (توسعه تکنولوژی مد نظر)
۸) آیا زنجیره تأمین مطمئنی برای فراهم‌کردن اجزای الکتروموتور در صورت خرابی وجود دارد؟ آیا در حال حاضر یا تا سال ۱۴۰۵ امکان تأمین میسر خواهد بود؟ پیشنهاد شما برای فراهم شدن این زنجیره تأمین مطمئن چیست؟
۹) به نظر شما میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی از ساخت الکتروموتورهای مورد نیاز در نیروگاه‌های کشور چقدر است؟ خرید از داخل نسبت به خرید از خارج چقدر صرفه اقتصادی دارد؟ صادرات هم می‌توان داشت؟
۱۰) در صورتی که بخواهیم یک الکتروموتور را از خارج تهیه کنیم تا جایگزین الکتروموتورهای موجود شود، چه فاکتورهایی مد نظر شماست که در نسل قبلی وجود نداشته؟ (توسعه تکنولوژی مد نظر)
۱۱) به نظر شما چشم‌انداز مطلوب برای الکتروموتور از زاویه دید توسعه فناوری، توسعه بازار، افزایش عمر و ... در ۵ سال آینده چه مواردی است؟ به عبارت دیگر، اگر بخواهیم ۵ سال آینده را برای الکتروموتور داخلی در نظر بگیریم، باید به چه نقطه‌ای برسیم؟

سوالات این پرسشنامه در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی با دسته‌بندی در ۴ دسته به شکل زیر، مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

۱) مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی (سوالات ۱ و ۲ و ۳)
۲) مبحث جایگزینی الکتروموتورهای فرسوده موجود با نوع پربازده و استفاده از درایو (سوالات ۴ و ۵)
۳) مبحث عمق ساخت داخل، میزان صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز تا سال ۱۴۰۵ (سوالات ۶، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۱)
۴) مبحث زنجیره تأمین قطعات موردنیاز (سوال ۸)

خبرگانی که در این حوزه با آن‌ها مصاحبه شد، مطابق زیر معرفی می‌شوند:

- دکتر مرادی (شرکت توان مبدل باختر)
- دکتر توحیدی (نیروگاه رامین اهواز)
- مهندس قهرمانی (نیروگاه بعثت)
- مهندس قربانی (نیروگاه ری)

در انتها و پس از جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، خلاصه‌ای از اهداف و اقدامات فنی و غیرفنی ضروری در این حوزه ارائه خواهند شد.

۳-۵-۱- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی الکتروموتورها

۳-۵-۱-۱- دکتر مرادی

در مورد وضعیت تعمیر و نگهداری الکتروموتورهای نیروگاهی، در سالیان گذشته این رویه کمی بهتر شده، اما به طور کلی در کشور ما نزدیک به فاجعه است. متأسفانه مدیران بالادست چندان اعتقاد و اشرافی به برنامه‌های تعمیر و نگهداری ندارند. توجه به این برنامه‌ها در سال‌های اخیر کمی بهتر شده و کم‌کم در حال جا افتادن است، اما هنوز هم بسیار کم است.

افزایش قیمت انرژی شاید بتواند به جلب توجه بیشتر نسبت به این موضوعات کمک کند. برنامه‌های تعمیر و نگهداری موتورهای ولتاژ متوسط کمی بهتر است، اما برای موتورهایی که توان پایینی دارند، تقریباً هیچ برنامه تعمیر و نگهداری اجرا نمی‌شود مگر این‌که آن موتور مشکلاتی پیدا کند و این مشکلات ملموس باشند.

البته جا انداختن توجه به بحث تعمیر و نگهداری با جبر قابل حصول نیست و بهتر است با اقدامات آموزشی، تداوم آن و برآورد خسارت در صورت عدم توجه به تعمیر و نگهداری، سعی در جلب توجهات کرد.

همچنین به نظر من بهتر است برخی تست‌های جدید مانند آنالیز جریان نیز به تست‌های روتین موجود برای موتورها اضافه شود. به عنوان مثال در حال حاضر هیچ‌کس جرأت انجام تست High-Pot روی موتورها را ندارد چون ممکن است آسیب ببینند. فقط در برخی موارد خود سازنده‌ها به عنوان یک تست روتین این آزمون را انجام می‌دهند. این تست برای کسی ارزشمند است که بخواهد اطمینان حاصل کند که موتور در پروسه تولید از کار نمی‌افتد. تست تانژانت دلتا هم که برای موتورهای ولتاژ پایین اصلاً انجام نمی‌شود و برای موتورهای ولتاژ بالا نیز نه دیده‌ام کسی انجام دهد و نه کسی از من خواسته است. تنها تست‌هایی که در حال حاضر انجام می‌شوند، تست مقاومت عایقی و اندیس پلاریزاسیون هستند که البته همین تست‌ها هم به صورت محدود انجام می‌گیرند. در حال حاضر وضعیت تست‌هایی دیگری مانند آنالیز ارتعاشات بهتر شده است، اما اصلاً کافی نیست. در بسیاری موارد موتور داغ می‌شود اما کسی اهمیت نمی‌دهد و وقتی سوخت و از کار افتاد، حالا به فکر بایپس‌کردن موتور می‌افتند. یکی از اصلی‌ترین دلایل افزایش دمای موتور، گرد و خاکی است که وارد آن می‌شود. یعنی اگر موتور باز و گردگیری شود، می‌توان جلوی بسیاری از مشکلات این چنینی را گرفت.

سیستم‌های مانیتورینگ نیز بسیار حائز اهمیت هستند. در حال حاضر اصلاً سیستم مانیتورینگی برای الکتروموتورها وجود ندارد. مشکل دیگری که در تعمیر و نگهداری وجود دارد، عدم انجام تحلیل ترند است. تحلیل ترند به این معناست که به عنوان مثال بررسی شود ارتعاش یا دمای موتور نسبت به سال گذشته چه تغییراتی داشته است. تمام این کارها نیاز به بستری دارد که داده‌ها جمع‌آوری و تحلیل شوند و همچنین سیستم‌های آلارم وجود داشته باشند. در حال حاضر چنین سیستم‌هایی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. مانیتورینگ آنلاین وضعیت موتورها به قدری حائز اهمیت است که در برخی کشورها دیده شده در صورت بالارفتن دمای موتور، به صورت خودکار به مدیر بالادستی پیامکی ارسال می‌شود. اما در کشور ما به عنوان مثال من به شرکتی سر زدم که کارشناس چون در مضیقه مالی بوده، اجازه داده موتور بسوزد.

در مورد نرخ خرابی الکتروموتورها، در حال حاضر اکثر مشکلات (شاید بیش از ۵۰ درصد مشکلات) در موتورها به مشکلات بیرینگ آن‌ها مربوط می‌شود. در مرحله بعد استاتور آن‌ها دچار مشکل می‌شود. علی‌رغم نبود اطلاعات و آمار دقیق، می‌توان ادعا کرد معمولاً در موتورهای کوچک خرابی بیشتری داریم، چون تعمیر و نگهداری آن‌ها بیشتر نادیده گرفته می‌شود. بهترین روش برای کاهش نرخ خرابی، توجه بیشتر و دقیق‌تر به موضوع تعمیر و نگهداری است.

یک پیشنهاد برای کاهش نرخ خرابی و زمان بازگشت به مدار این است که شرکت‌های فعال در این زمینه ارزیابی شوند؛ یعنی مشخص شود کدام شرکت توانایی و علم انجام تعمیر و نگهداری دارند. شرکت‌های تعمیراتی باید از نظر حرفه‌ای تأیید صلاحیت شده باشند. همچنین به کسی که موتورش را برای تعمیر می‌برد باید این آگاهی را داد که این موتور باید استانداردهایی را گذرانده باشد. به عنوان مثال موتور مذکور باید تعدادی آزمون را با موفقیت بگذراند و باید گزارش‌های خاصی را داشته باشد. همچنین پروسه تعمیرات باید توضیح داده شود و نیز باید بیان شود که برای تعمیرات از چه روش و موادی استفاده شده است. در صورتی که نظام تأیید صلاحیت وجود داشته باشد و همچنین آموزش‌هایی داده شود که در صورت تحویل‌گرفتن یک موتور، باید تست‌های خاصی روی آن انجام شود و موتور بتواند آزمون‌ها را با موفقیت بگذراند، می‌توان نرخ خرابی‌ها را کاهش داد.

برای افزایش زمان آماده به کاری موتورها و کاهش مدت زمان بین تعمیرات دوره‌ای، مانیتورینگ بسیار حائز اهمیت است. همچنین داشتن نظام داده‌برداری بسیار کمک‌کننده خواهد بود. شاید قراردادن سیستم مانیتورینگ آنلاین برای موتورهای بزرگ‌تر از اهمیت بیشتری برخوردار باشد، اما برای موتورهای کوچک‌تر که تجهیز به سیستم مانیتورینگ آنلاین لزومی ندارد و به صرفه هم نیست، می‌توان برخی تست‌ها و نظارت‌های روتین مانند ارتعاش‌سنجی که هزینه‌ی آن‌چنانی ندارند را انجام داد.

۲-۱-۵-۳- دکتر توحیدی

در مورد نرخ خرابی، به طور کلی می‌توان گفت بیشتر خرابی‌ها در الکتروموتورهای نصب‌شده به صورت عمودی و الکتروموتورهای برج‌های خنک‌ساز فاز اول و دوم نیروگاه رخ می‌دهد. الکتروموتور برج‌های خنک‌کن به دلیل بالابودن رطوبت، دچار پوسیدگی بدنه می‌شود و ورود رطوبت به مجموعه استاتور و موتور و کاهش ایزولاسیون و آسیب به سیم‌پیچ را در پی خواهد داشت. به عنوان راهکاری برای کاهش این نرخ خرابی، ما در نیروگاه رامین تا جایی که امکان‌پذیر بوده است، بدنه الکتروموتورهای مذکور را به فایبرگلاس تبدیل کرده‌ایم. با توجه به این‌که برج‌های خنک‌کن برای خنک‌کردن خود موتور هم فن دارند، فنی داخل خود موتور تعبیه شده که به صورت بادبزن آن را خنک می‌کند. بدنه صاف و مسطح است و از بیرون شیاردار نیست. این پوسته را از فایبرگلاس ساخته‌ایم، در خروجی‌ها هم از مقره‌های کائوچویی بلندتر استفاده کرده‌ایم و باعث شده‌ایم پایداری واحد بیشتر و خرابی کمتر شود.

پیشنهاد من برای کاهش نرخ خرابی این است که برای الکتروموتورهای نصب عمودی، بهتر است استحکام مکانیکی کیفیت بهتری داشته باشد. الکتروموتورهایی در نیروگاه‌ها نصب هستند که مستقیماً با رطوبت سر و کار دارند. ما در الکتروموتورهای برج‌های خنک‌کننده که ۱۱۰ دور می‌چرخند، بدون گیربکس روی آن‌ها پروانه نصب است و وظیفه خنک‌کنندگی را برعهده دارند، از به کارگیری بدنه‌ی فایبرگلاس به نتیجه رسیدیم. این بدنه‌ها قبلاً فلزی بودند. آن را تکه تکه عوض کرده و به فایبرگلاس تبدیل کردیم. چون پوسیدگی به وجود نمی‌آمد، به نتیجه رسیدیم و اکنون بدنه الکتروموتورها وضعیت بهتری دارند.

از سویی دیگر پیشنهاد می‌شود بدنه طوری طراحی شود که از نظر کد IP رطوبت وارد بدنه الکتروموتور نشود. اگر سازنده‌ها قصد طراحی در این زمینه داشته باشند، بدنه الکتروموتور باید به صورت یکپارچه ساخته شده و طوری طراحی شود که در برابر پوسیدگی مقاوم باشد. یک شرکتی روسی که برای ما الکتروموتور آورده بود (۱۳–۱۴ سال قبل)، آن‌ها را رنگ زده بود. اینجا در اهواز که رطوبت بالاست، رطوبت بین رنگ و پوسته نفوذ می‌کرد و باعث افزایش پوسیدگی می‌شد. با چند شرکت صحبت کرده و اعلام کردیم که برنامه بازسازی بدنه الکتروموتورها را داریم. تعدادی پیشنهاد رسید و در نهایت به این نتیجه رسیدیم که از نظر فنی و اقتصادی، فایبرگلاس گزینه بهتری است که به نتیجه هم رسید.

در مورد راهکارهای کاهش مدت زمان تعمیرات و بازگشت به مدار، باید به این نکته توجه داشت که وقتی الکتروموتور آسیب می‌بیند، عمده مشکل موجود این است که قادر به تأمین قطعات یدکی مورد نیاز برای تعمیر نیستیم. اگر شرایط طوری باشد که بتوانیم قطعه‌ی آسیب‌دیده را تأمین کنیم، برای تعمیر الکتروموتورهای رزین‌ریچ مشکلی نداریم ولی تعمیر الکتروموتورهای VPI را نمی‌توانیم در نیروگاه انجام دهیم. در واقع تنها محدودکننده‌ی ما در تعمیرات، تأمین قطعات است. اگر به سمتی برویم که بتوانیم قطعات را در داخل بسازیم، حداقل در الکتروموتور و ژنراتور می‌توانیم سرعت عمل تعمیرات خود را بالا ببریم.

اگر برخی قطعات خاص وجود داشته باشد، زمان تعمیرات و بازگشت به مدار می‌توان تا حد بسیار قابل توجهی کاهش یابد. به عنوان مثال در نیروگاه ما بیرینگ‌ها، شین‌های یدکی، عایق‌های نومکسِ زیر شین‌ها و در الکتروموتورهای در معرض رطوبت، فایبرگلاس لازم برای بدنه به صورت یک لیست وجود دارد و به صورت خودکار شارژ می‌شود، اما پروسه خرید آن‌ها کمی زمان‌بر است.

در رابطه با راهکاری برای کاهش مدت زمان بین سرویس‌های دوره‌ای و افزایش نرخ آماده به کاری الکتروموتورها، اگر حین بهره‌برداری از یک الکتروموتور آن را از نظر دما، ویبره، رطوبت، موقعیت و شرایط کاری مورد بررسی قرار دهیم و پیش از این‌که حادثه‌ای رخ دهد، آن را از مدار خارج کرده و الکتروموتور رزرو را وارد کنیم، تعمیرات میان‌دوره‌ای، آسیب به تجهیزات، هزینه نگهداری و غیره بسیار کمتر می‌شود. البته سابقه داشته‌ایم در الکتروموتورهای عمودی پایش وضعیت انجام شده، اما در کسری از ثانیه الکتروموتور دچار مشکل شده و بیرینگ بالای الکتروموتور عملاً نابود شده است؛ به عبارتی دیگر

ماده تحمل‌کننده وزن الکتروموتور کم آورده است. اما در الکتروموتورهای افقی چنین مشکلی نداریم. به طور خلاصه مهم‌ترین پارامتر برای اصلاح این زمان‌بندی، تقویت سیستم پایش است.

۳-۱-۵-۳- مهندس قهرمانی

وضعیت بازرسی‌های دوره‌ای در جاهای مختلف متفاوت است. به عنوان مثال بازرسی‌های دوره‌ای برای الکتروموتورهای ولتاژ متوسط اعداد و ارقام معقولی دارد، اما برای الکتروموتورهای ولتاژ پایین به بازرسی‌های چشمی توسط بهره‌بردار محدود می‌شود. برای الکتروموتورهای ولتاژ پایین عمدتاً به این صورت است که فقط بررسی می‌شود آیا آن موتور صدای ناهنجار و غیرعادی تولید می‌کند یا خیر. یا این‌که دمای موتور بیش از حد بالا رفته است یا خیر. اما در مورد موتورهای ولتاژ متوسط چون قیمت بیشتری دارند، بازرسی‌های دقیق‌تر و حساس‌تری انجام می‌شود. در موتورهای ولتاژ متوسط، مقادیر الکتریکی مانیتور می‌شوند. سنجش میزان ارتعاش الکترموتورها می‌تواند در منظم‌کردن برنامه‌های بازرسی بسیار موثر باشد. تجهیزات ارزان‌قیمتی که کار با آن‌ها هم ساده است برای اندازه‌گیری میزان ارتعاشات وجود دارد، اما خیلی از شرکت‌ها به بهانه این‌که پرسنل برای کار با آن تجهیز آموزش ندیده‌اند، از خرید خودداری می‌کنند. برای این بازرسی‌ها باید برنامه مدونی وجود داشته باشد. شرکت‌هایی، تجهیزات اندازه‌گیری و افراد مجرب در این حوزه را در اختیار دارند. می‌توان از چنین شرکت‌هایی نیز کمک گرفت. بهترین سناریویی که می‌توان پیشنهاد کرد همین کار است.

در مورد نرخ خرابی، بالاترین نرخ خرابی مربوط به موتورهایی است که وضعیت بار متغیر دارند. برای هر موتور یک دیوتی سایکل تعریف می‌شود که معمولاً نه در هنگام سفارش موتور و نه در هنگام استفاده، به آن توجه نمی‌شود. مثلاً یک دیوتی سایکل مختص کمپرسورها استفاده می‌شود (دیوتی سایکلs6). گاهی دیده شده که موتورهایی با دیوتی سایکل متفاوت برای این منظور استفاده می‌شوند. همین اشتباه باعث می‌شود موتور خارج از شرایط طراحی کار کند و آسیب ببیند. بسیار مهم است که به نوع موتور و کاربردی که از آن می‌گیریم توجه شود. سابقه داشته با موردی مواجه شدیم که موتوری با دیوتی سایکل s4 در محلی با کاربرد پیوسته مورد استفاده قرار گرفته بود. در دیوتی سایکل s4 یک بازه استراحت ۸ ساعته برای الکترموتور تعریف شده است. در نتیجه به دلیل کاربرد و استفاده اشتباه، این موتورهای آلمانی علی‌رغم کیفیت بالایی که دارند، نرخ خرابی بالایی هم از خود نشان می‌دهند.

در مورد راهکار کاهش زمان تعمیرات و بازگشت به مدار، عموماً دو نوع تعمیرات برای هر نوع موتوری داریم. یک مورد تعمیرات سبک است که عمدتاً به بیرینگ و بخش مکانیک موتور مربوط می‌شود. بیرینگ‌های موتورها در بازار ایران موجود است و مشکلی از این بابت وجود ندارد. نوع دوم تعمیرات، تعمیرات سنگین موتورهاست که عمدتاً ناشی از سوختن موتورها اتفاق می‌افتد. در این مورد باید بررسی شود که آیا نیاز به تعمیر وجود دارد یا بهتر است تعویض انجام گیرد. اگر موتورهای ولتاژ پایین (مخصوصاً کمتر از ۴۰ کیلووات) سوختند، جایگزین‌کردن آن موتور با یک موتور IE3 یا حتی IE2 با همان توان در ۶ ماه یا شاید کمتر از ۶ ماه اختلاف قیمت را جبران خواهد کرد. دلیل این موضوع میزان انرژی مصرفی کمتر در الکتروموتورهای IE2 و IE3 است.

۴-۱-۵-۳- مهندس قربانی

تعمیر و نگهدرای الکتروموتورها در بعضی نیروگاه‌ها اصلاً وضعیت مناسبی ندارد. برای رسیدن وضعیت الکتروموتورها به شرایط مطلوب، انجام تست‌هایی اعم از مقاومت عایقی، امپدانس، High-Pot، ولتاژ بالا و ... پیشنهاد می‌شود.

الکتروموتورهایی که در معرض روغن قرار دارند (مثلاً در نیروگاه ری الکتروموتورهای Cooling Air Fan داریم که زیر اتاق توربین قرار دارند. زیر اتاق توربین روغن چکه می‌کند که باعث می‌شود الکتروموتور زود خراب شود یا سیم‌پیچ آن بسوزد و نرخ خرابی بالا رود)، معمولاً بیشتر آسیب می‌بینند. این نوع الکتروموتورها ناگزیر نرخ خرابی بالایی دارند و متأسفانه

هر سال ۲-۳ بار سوختن سیم‌پیچ را تجربه می‌کنند. البته خوشبختانه این الکتروموتورها فشار ضعیف هستند و تعمیر یا تعویض آن‌ها هزینه کلانی در پی نخواهد داشت.

در مورد پیشنهاد برای کاهش زمان تعمیرات و بازگشت به مدار، به نظر من داشتن تجهیز یا قطعات رزرو و یدک می‌تواند به کاهش نرخ خرابی و بازگشت به مدار کمک شایانی کند. همچنین پیشنهاد می‌شود CT و PT و RTDها در هر اورهال و سرویس دوره‌ای تست شوند، چرا که این تجهیزات تأثیر بسزایی در حفاظت الکتروموتور دارند.

۲-۵-۳- مبحث جایگزینی الکتروموتورهای فرسوده موجود با نوع پربازده و استفاده از درایو

۱-۲-۵-۳- دکتر مرادی

مسئله جایگزینی الکتروموتورها، مسئله‌ی سرمایه‌گذاری است. اگر نظر من را بخواهید، معتقدم باید همه را تعویض کرد، مخصوصاً با افزایش حدود ۴ برابری قیمت برق صنایع که به تازگی اجرایی شده است. اگر این جایگزینی منجر به ۵ درصد کاهش مصرف هم شود، قطعاً موثر خواهد بود. اما موضوع سرمایه‌گذاری اولیه مطرح است.

در مورد تجهیز الکتروموتورها به سیستم‌های کنترل دور یا درایو، مشکل اساسی این است که در این صورت نیروگاه وابستگی پیدا می‌کند. از سویی دیگر، قراردادن درایو روی یک موتور قطعاً دلایل مختلفی دارد. یکی از این دلایل، نحوه ورود موتور به مدار است. دلیل دیگر، کنترل سرعت آن است. خیلی از موتورهایی که در نیروگاه‌ها هستند اساساً نیازی به کنترل سرعت ندارند چون با سرعت ثابت کار می‌کنند. اگر نوسان سرعتی هم داشته باشند، بسیار کم است. مگر در حالتی که ادعا شود درایو به این دلیل مورد نیاز است که موتور در هنگام ورود به مدار جریان زیادی از شبکه نکشد. خود درایو هم تجهیز گران‌قیمتی است و طبعاً با خود مسئله تعمیر و نگهداری اضافه می‌کند. موضوع ایجاد وابستگی هم که پیش‌تر به آن اشاره شد، مطرح است. اما در هر صورت اگر توجیه فنی (چه از منظر کنترل سرعت و چه از منظر نحوه ورود موتور به مدار) وجود داشت، باید درایو تهیه و نصب شود، چون از چند جنبه مفید است. هم باعث کاهش تلفات می‌شود، هم مسائل کنترل سرعت را اصلاح می‌کند و هم به راه‌اندازی کمک خواهد کرد.

۲-۲-۵-۳- دکتر توحیدی

من با جایگزینی الکتروموتورهای فرسوده موجود با نوع پربازده موافق هستم. به عنوان مثال، الکتروموتور خنک‌کن آب کولرهای ژنراتور یک الکتروموتور ۴۰۰ ولت ۲۵۰ کیلووات است که حدود ۲۷۰-۲۸۰ آمپر جریان می‌کشد. اگر بتوان آن را با الکتروموتور پربازده جایگزین کرد، نتیجه‌ی خیلی خوبی خواهد داشت. با توجه به این‌که بحث دما مطرح است، بیشتر مشکلات ما روی الکتروموتورهای بویلر و الکتروموتورهای ۴۰۰ ولت با جریان بالاست. اگر بتوان این موارد را در اولویت قرار داد خیلی خوب است. منتها ما از نظر فضای نصب محدودیت داریم و الکتروموتور پربازده باید به گونه‌ای طراحی شده باشد که بتواند روی استند موتور قبلی قرار بگیرد. اگر قرار است الکتروموتور پربازده در نیروگاه نصب شود، پیشنهاد ما این است که یاتاقان مربوط به نگهدارنده شفت روتور از الکتروموتور فاصله داشته و به پوسته بدنه استاتور نچسبیده باشد، چون هم بحث تعمیرات مطرح است و هم اگر نشت روغنی داشته باشیم، وارد استاتور نشود. مورد بسیار حائز اهمیت دیگر این است که درپوش اطراف دو سمت استاتور در الکتروموتور به صورت یک تکه نباشد و چهار تکه باشد که هم برای بازدید ظاهری الکتروموتور بتوانیم آن را باز کنیم و بازدید را انجام دهیم و هم دمونتاژ راحت‌تر صورت گیرد. اگر این موارد در الکتروموتورهای پربازده مورد توجه قرار گیرند، نتایج خوبی به دنبال خواهد داشت. چون مصرف داخلی هر واحد ما در ۲۴ ساعت حدود ۳۲۰ مگاوات است، یعنی چهار واحد نیروگاه ما در ۲۴ ساعت، ۱۲۸۰ مگاوات مصرف دارند.

اولویت ما برای جایگزینی الکترموتورها، مدت زمان در مدار بودن الکتروموتور، کاری که انجام می‌دهد و موقعیتی که در نیروگاه نصب شده، است.

در مورد تجهیز موتورها به درایو، با توجه به توان الکتروموتورها و مدت زمانی که در مدار هستند (استارت کمی داریم؛ یعنی موتور را یک بار راه‌اندازی می‌کنیم و ممکن است ۳ ماه در مدار باشد)، از این جهت به نظر می‌رسد از نظر اقتصادی صرفه نداشته باشد. از طرفی بعضی الکتروموتورها با وجود اینکه مدت زمان کمی در مدار هستند، اما به حدی جریان زیاد می‌کشند که تمام کولرهای اتاق فرمان خاموش می‌شوند، روشنایی واحد دچار فلیکر می‌شود و به طور ملموس هم قابل مشاهده است. در این موارد اگر بتوان درایو نصب کرد خیلی خوب است، ولی به نظر می‌رسد درایوی در چنین سطح توانی بسیار هزینه‌بر باشد. درایوی که بتواند موتور ۸ مگاوات با جریان ۸۷۵ آمپر و ولتاژ ۶ کیلوولت را کنترل فرکانس و ولتاژ کند، نه از نظر ریالی به صرفه به نظر می‌رسد و نه ما فضای فیزیکی برای نصبش را داریم (فضای کلیدخانه بسیار محدود است). اما در مجموع طرح خوبی است. ما در نیروگاه رامین همراه با برخی الکتروموتورهای air heater از درایو استفاده کردیم و راضی هم هستیم.

۳-۲-۵-۳- مهندس قهرمانی

با جایگزینی الکتروموتورهای فرسوده موجود با نوع پربازده موافق هستم، اما نکته مهمی وجود دارد و آن این که باید محاسبات اقتصادی دقیقی صورت گیرد. وقتی موتور سیم‌پیچی مجدد شود، ۵ تا ۱۰ درصد کاهش بازدهی خواهد داشت. اما در موتوری که در حال کار است، هر چقدر ولتاژ و توان آن بالاتر باشد، توجیه اقتصادی جایگزینی کاهش می‌یابد. به همین دلیل طرح جایگزینی برای موتورهای با توان بیش از ۲۰ یا ۴۰ کیلووات، به صرفه نخواهد بود و در برخی موارد بازگشت سرمایه از ۵ سال هم تجاوز خواهد کرد. اما برای موتورهای کوچک (زیر ۱۰ کیلووات) اگر جایگزینی انجام شود، صرفه اقتصادی خواهد داشت.

با استفاده از درایو هم موافقم، اما متأسفانه در نیروگاه ما یکی از بدترین تجربه‌های نیروگاهی اتفاق افتاده است. درایوهایی که نصب شده به خاطر ضعف در مهندسی فرایند طراحی عملاً به عنوان سافت‌استارتر استفاده می‌شوند و هیچ کاربرد کنترل دوری ندارند. در نیروگاه بعثت به جای این‌که ابتدائاً مهندسی صورت گیرد، بعد خرید انجام شود و بعد ادامه کار، اول خرید انجام شده است. زمانی که از درایو استفاده می‌کنید، باید مشخص باشد که محدوده تغییر دور موتور در چه حد است. آیا بیش از ۵۰ درصد تغییر دور داریم یا بیشتر از این عدد. اگر تغییر سرعت مد نظر شما از مقدار خاصی بیشتر باشد، موتورهای معمولی قادر به پاسخگویی نیستند، چون موتور دچار مشکل خنک‌کاری می‌شود. باید مطمئن شویم که موتور مد نظر ما قابلیت نصب درایو را دارد. نمی‌شود تمام موتورها را بدون چنین بررسی به درایو مجهز کرد. همچنین از آن‌جایی که استفاده از درایو به تولید هارمونیک منجر می‌شود، باید بررسی شود که آیا شبکه بالادست توان تحمل این میزان هارمونیک را دارد یا خیر. یا موردی دیگری که باید مورد بررسی قرار گیرد این است که آیا موتور توانایی تحمل پالس‌های سوزنی ناشی از درایو را دارد یا خیر. در مواردی مشاهده شده که موتور به دلیل عدم توانایی تحمل این پالس‌ها، سوخته است. استفاده از درایو در پمپ‌ها باعث ایجاد مشکلاتی خواهد شد، اما در فن‌ها مشکل خاصی ایجاد نمی‌شود.

۳-۲-۵-۴- مهندس قربانی

با توجه به این‌که واحدها همیشه در مدار هستند، اگر بتوان از الکتروموتورهای با راندمان بیشتر استفاده کرد تا مصرف داخلی نیروگاه کاهش یابد، بسیار خوب است.

در مورد اولویت جایگزینی، بستگی به نوع واحد (از نظر بخاری یا گازی بودن) دارد. داشتن الکتروموتورهای باکیفیت و با راندمان بالا به عنوان CW پمپ و بویلر پمپ در واحدهای بخار بسیار مناسب است.

در مورد استفاده از درایو، در نیروگاه‌ها درایو بیشتر در راه‌اندازی کمک‌کننده است تا بهره‌برداری مداوم. البته باید سنجیده شود که آیا استفاده از درایو صرفه اقتصادی خواهد داشت یا خیر. ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که ما معمولاً در راه‌اندازی اولیه موتورها مشکل خاصی نداریم.

۳-۵-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز حوزه الکتروموتور تا سال ۱۴۰۵

۱-۳-۵-۳- دکتر مرادی

من معتقدم پتانسیل تولید داخلی در کشور ما وجود دارد ولی این‌که این پتانسیل چقدر به بار بنشید به مسائل مختلفی بستگی دارد. متأسفانه در حال حاضر در برخی کارخانه‌ها موتورهایی تولید می‌شوند که مدتی کار می‌کنند و بعداً به مشکلات زیادی برمی‌خورند. من احساس می‌کنم از نقطه مطلوب فاصله داریم.

اگر بخواهیم به وضعیت ساخت داخل از ۰ تا ۱۰۰ نمره بدهیم شاید بتوان نمره ۳۰ یا ۴۰ داد. کارخانه‌های مختلف موتورهایی باید کیفیت‌های مختلف می‌سازند، اما به نظر من به طور متوسط نمره‌ای زیر ۵۰ و در حدود ۳۰ یا ۴۰ نمره می‌گیرند. من بعید می‌دانم تا سال ۱۴۰۵ این نمره به ۵۰–۶۰ هم برسد.

در مورد ویژگی‌های مهم هنگام خرید موتور، خوشبختانه هنگام خرید خیلی از مسائل عمومی (مثلاً اینکه بار موتور چقدر است) مورد توجه قرار می‌گیرند. اما به برخی موارد مانند نوع کاربرد موتور توجهی نمی‌شود. نوع کاربرد یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تصمیم‌گیری است.

ما در حال حاضر می‌توانیم الکتروموتورهای ولتاژ پایین و ولتاژ متوسط را تولید کنیم، اما چشم‌انداز مطلوب تا سال ۱۴۰۵ این است که در آینده الکتروموتورهایی تولید کنیم که کمتر بهره‌بردار را دچار مشکل کنند. یعنی حتی اگر بازدهی IE1 یا IE2 داشت، به گونه‌ای باشد که بهره‌برداری مشکلات پس از نصب نداشته باشد، موتور مرتباً مورد بازدید قرار نگیرد، مرتباً برای تعمیر از مدار خارج نشود و به طور خلاصه، Maintenance Free باشد.

۲-۳-۵-۳- دکتر توحیدی

الکتروموتورهایی که از شرکت‌هایی داخلی می‌خریم، تا زمانی که نو هستند خیلی خوب کار می‌کنند. اما بعد از این‌که اولین تعمیرات را انجام می‌دهیم، با توجه به این‌که بدنه از جنس آلومینیوم است (به خاطر خنک‌کاری و انتقال حرارت از چنین فناوری استفاده می‌شود)، عملاً برای تعمیراتشان دچار مشکل می‌شویم. به عنوان مثال به محض اینکه اجازه می‌دهیم موتور دما بگیرد و می‌خواهیم مس را از شیار خارج کنیم، عایق بین لمینت‌های هسته از بین می‌رود یا بعد از سیم‌پیچی‌شدن مجدد، دمای موتور بالا می‌رود. اگر به سمتی برویم که این الکتروموتورها از نظر کیفیت هسته، بدنه و پوسته بهتر شوند، چیزی کمتر از موتورهای ABB و زیمنس نداریم.

در الکتروموتورهای ۶ کیلوولت به تولید داخل نمره‌ی ۶۰ از ۱۰۰ می‌دهیم. به عنوان مثال جمکو دو الکتروموتور ۶ کیلوولت برای ما ساخت و ما هر دو را پس فرستادیم، چون بعد از یک سال کار مشکلات بسیار زیادی داشتند؛ از جمله این‌که پایداری واحد را از بین بردند. اما در الکتروموتورهای ۴۰۰ ولت نمره‌ی ۸۰ از ۱۰۰ مناسب است. نیروگاه ما با موتوژن و الکتروژن کار می‌کند و از الکتروموتورهای آن‌ها تا زمانی که نو هستند، راضی هستیم. فقط زمانی که به اولین تعمیرات یا سیم‌پیچی مجدد برسند، مشکلات ما آغاز می‌شود و در آن نقطه ترجیح می‌دهیم الکتروموتور را تعویض کنیم، نه تعمیر.

در مورد میزان صرفه‌جویی ارزی، متأسفانه سازنده‌هایی که ما با آن‌ها سر و کار داشته‌ایم معمولاً متریال اولیه را وارد می‌کنند و فقط مونتاژ انجام می‌دهند. به نظر من اگر تصمیم به ساخت داخل الکتروموتور باشد، باید فکر و پشتوانه‌ای داشته باشد که شرکت‌های سازنده داخلی اجازه داده شود قطعات را بسازند، هزینه ساخت را کنترل کنند و در نهایت به تولید انبوه برسانند.

ما در مناقصه‌ها موردی داشته‌ایم که یک شرکت چینی یک‌سوم قیمت شرکت ایرانی قیمت داد و با کیفیت بسیار بهتر محصول می‌فروخت. می‌شد از طرف شرکت برق حرارتی حمایتی از شرکت ایرانی صورت گیرد (چه از نظر وام، مالیات،

کاهش بیمه پرداختی روی قراردادها) که هزینه‌های شرکت پایین بیاید. در برخی از کشورهای خارجی چنین طرحی پیاده شده است که به عنوان مثال به سازنده گفته می‌شود اگر این محصول ساخته شد و به نتیجه مطلوب رسید، شرکت مربوطه امسال از پرداخت مالیات معاف خواهد بود. حمایت یعنی همین؛ اگر تولید مناسب داشته باشید، معاف از مالیات هستید، یا مالیات کمتری پرداخت می‌کنید و یا طرح‌های مشابه این چنینی.

در مورد ویژگی‌های مهم هنگام خرید الکتروموتور، معمولاً الکتروموتورهای نصب‌شده در نیروگاه‌ها سنسور دما دارند که محدود به یاتاقان‌های موتور است. نباید چنین باشد. در الکتروموتورهای جدید در تمام شیارها (یا یکی در میان)، ایده این است که این سنسورها در سیم‌پیچ‌ها و حتی در هسته قرار بگیرند. از سویی دیگر بحث PD الکتروموتور مطرح است. لازم است تا الکتروموتورهای جدید مجهز به سیستم تحلیل PD آنلاین باشند. به نظر می‌رسد داشتن همین دو ویژگی سنجیدن دقیق دماها و تخلیه‌های جزئی برای الکتروموتور کفایت می‌کند.

در مورد چشم‌انداز مطلوب تا سال ۱۴۰۵، به نظر من اگر حمایت‌هایی که بیان شد اتفاق بیفتد و پس از آن رقابت نیز شکل بگیرد و هزینه‌های تولید کاهش یابد، قطعاتی که توسط شرکت‌های داخلی تولید می‌شود به مراتب بهتر از شرکت‌های خارجی است. البته من با حمایت بیش از حد نیز موافق نیستم. حمایت باید تا حدی باشد و بعد از آن باید رقابت ایجاد شود تا انحصار شکل نگیرد.

در کشور ما همین الان هم شین الکتروموتور تولید داخل وجود دارد که از نوع روسی و اروپایی بهتر است. ما محصولی را از روسیه خریدیم، موقع نصب متوجه شدیم این محصول اصلاً با تجهیز موردنظر، سازگار ندارد. نه می‌دانستیم شرکتی که از آن خرید کرده‌ایم کجاست و چه شرکتی است و آن شرکت ادعا می‌کرد که محصولی که فروخته سازگاری دارد. اما وقتی خرید از شرکت داخلی انجام شود، سازنده در کنار خریدار است. موقع نصب اگر گفتیم فلان محصول با تجهیز ما سازگاری ندارد، خودش دست به کار می‌شود و سازگاری که مدعی آن است را پیاده می‌کند. ضمانت بهتری دارد و دسترسی بسیار بهتری دارد.

از نظر من حمایت یعنی تشویق به انجام کار. یعنی سیاست‌گذار به شرکت سازنده بگوید اگر این الکتروموتور را ساختی، بابت این قرارداد از پرداخت مالیات معاف هستی. اگر این الکتروموتور را برای چند شرکت دیگر ساختی، ما تا ده نوع را از شما می‌خریم، به شرطی که کیفیت هر نوع از نوع قبلی بهتر باشد و پوئن‌هایی از این دست. متأسفانه الان حمایت‌ها به وام و پول نقد و موارد این چنینی تبدیل شده‌اند. شرکت پول و وام را می‌گیرد و کاری که قرار بوده انجام بدهد را هم انجام نمی‌دهد و ما می‌مانیم و طلب سنگینی از شرکت مذکور.

مثلاً معافیت را می‌توان به این صورت اعمال کرد که برق حرارتی به سازنده بگوید به ازای مالیاتی که شرکت سازنده متعهد به پرداخت آن است، به قرارداد شرکت اضافه شود. همچنین بازاری تضمینی وجود داشته باشد، مشروط به اینکه هر محصول از محصولی قبلی بهتر باشد. در ادامه می‌توان در پروسه صادرات و بازاریابی نیز حمایت‌هایی از شرکت سازنده انجام داد.

۳-۳-۵-۳- مهندس قهرمانی

به نظر من دانش فنی ساخت داخل الکتروموتورها وجود دارد. تقریباً تمام الکتروموتورهای صنعتی در داخل قابل ساخت هستند. البته کیفیت‌ها بالا و پایین دارد. به عنوان مثال ما در حدود ۱ سال است با توربوژنراتور شاهرود درگیری داریم. موتوری از آن‌ها تهیه کرده‌ایم که وقتی بدون بار است درست کار می‌کند، اما وقتی زیر بار نامی می‌رود از موتور ۵۰ سال کارکرده‌ی ما هم ارتعاش بیشتری دارد. با این حال پیمان‌کار مدعی است از این بهتر نمی‌تواند کاری انجام دهد.

بزرگترین مشکل در ساخت الکتروموتورها (مخصوصاً الکتروموتورهای توان بالا) تأمین ورق هسته است. چیزی که باعث می‌شود کلاس الکتروموتور از IE2 به IE3 ارتقا یابد، بهبودبخشیدن جنس ورق‌های هسته است. همچنین در موتورهایی که

از شمش مسی استفاده می‌شود، کیفیت این شمش‌ها بسیار اهمیت دارد. اگر این دو بخش به خوبی تأمین شوند، مشکلی در ساخت داخل الکتروموتور در هر سطح توانی وجود ندارد.

وضعیت تا ۵ سال آینده هم منوط به تأمین مواد اولیه است. اگر این مواد تأمین شوند، سازنده‌ها به راحتی می‌توانند در این حوزه پیشرفت کنند.

در مورد میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی از ساخت داخل، باید به این نکته توجه کرد که ساخت موتور چند قسمت عمده دارد. یکی قیمت ورق هسته است که قیمت بین‌المللی دارد. قسمت مس است که آن هم تقریباً نرخ بین‌المللی دارد. چیزی که احتمالاً می‌تواند باعث به صرفه شدن الکتروموتورهای ساخت داخل شود، هزینه نیروی انسانی است. همچنین بخش کیسینگ و بدنه که فولادی غیرتخصصی است می‌تواند به تفاوت قیمت منجر شود، اما این دو مورد که عرض کردم، کمتر از ۲۰ درصد قیمت موتور را شامل می‌شوند. ما در همین ۲۰ درصد می‌توانیم رقابت کنیم، به شرطی که خودمان را با برندهای بسیار قدرتمند حوزه الکتروموتور در دنیا مقایسه نکنیم.

در مورد ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید الکتروموتور، مهم است که بدانیم موتوری برای کار جدید خریداری می‌شود یا قرار است جایگزین یک موتور قدیمی شود. این دو با هم فرق دارند. اگر موتور برای کار جدیدی خریداری می‌شود، مواردی چون نمودار بار موتور و سایر مشخصه‌های از این دست و همچنین ضریب بهره‌برداری و دیوتی سایکل مناسب با کاری که مد نظر است، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. اگر بنا بر جایگزینی موتوری قدیمی با یک موتور جدید باشد، علاوه بر موارد مذکور، باید به مشخصات ابعادی و سیستم خنک‌سازی موتور هم توجه کنیم. نکته مهم دیگر این است که اسناد فنی موتور به صورت کامل از سازنده گرفته شود. تهیه موتور از شرکت‌های دارای رزومه و معتبر هم بسیار موثر خواهد بود. همچنین اگر اسناد مناقصه در نیروگاه قبل از اینکه وارد فاز اجرا شوند، از فیلتر کمیته فنی و بازرگانی عبور کنند، بسیاری از مشکلات حل خواهند شد. متأسفانه هیچ نظارتی هم روی شرکت‌های حاضر در مناقصات وجود ندارد.

چشم‌انداز مطلوب تا سال ۱۴۰۵ این است که اولاً توانسته باشیم یک موتور ۱۰۰ کیلووات یا بالاتر با استاندارد مصرف انرژی IE3 یا IE4 تولید کنیم. تکنولوژی‌های جدیدی در حال ورود به بازار هستند. به عنوان مثال موتورهای سنکرون مورد استفاده در خودروهای برقی که چیزی بین مغناطیس دائم و بدون جاروبک هستند. به نوعی رلوکتانسی هدایت‌شونده هستند. یکی از بازارهای مصرف بزرگ به زودی خودروهای برقی خواهد بود. ثانیاً اگر شرکتی بتواند در حوزه ساخت این موتورها فعالیت کند، می‌تواند چشم‌انداز مناسب و قابل توجهی باشد.

۴-۳-۵-۳- مهندس قربانی

برخی شرکت‌های داخلی در حوزه ساخت داخلی موتورها پیشرفت‌های خوبی داشته‌اند. اگر حمایت‌های بیشتری هم از آن‌ها صورت گیرد می‌توانند موتورهای حساس‌تر و پرکاربردتر هم بسازند تا خرید خارجی انجام نشود.

هنگام خرید الکتروموتور لازم است به جنس هسته، کد IP بسته به محلی که قرار است موتور در آن مورد استفاده قرار گیرد، کلاس عایقی سیم‌پیچ‌ها، جریان راه‌اندازی و ... توجه شود.

تا امروز پیشرفت‌های خوبی در حوزه الکتروموتور و ژنراتور صورت گرفته و تا ۵ سال آینده می‌توان پیشرفت‌های بیشتری هم داشت.

٤-٥-٣- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز الکتروموتورها

۱-۴-۵-۳- دکتر مرادی

ما در زمینه تأمین قطعات مشکل داریم. نه فقط برای نیروگاه‌ها، بلکه برای تولیدکننده‌ها نیز مشکل زنجیره تأمین داریم. بعضی قطعات را باید از خارج خرید. مثلاً نمی‌توان کارخانه‌ای برای تولید بیرینگ احداث کرد. ساخت بیرینگ به علم مواد

بستگی دارد. البته بعضی از عایق‌ها، رزین و سایر قطعات که امکان ساخت در داخل دارند، از نظر زنجیره تأمین در وضعیت قابل قبولی هستند.

در بحث زنجیره تأمین مشکل دیگری به نام تقلب هم وجود دارد. مثلاً در همان حوزه بیرینگ، امکان تشخیص این‌که محصول خریداری شده اصل است یا تقلبی، وجود ندارد.

در تأمین بیرینگ‌ها، سنسورهای حرارتی، سنسورهای ارتعاشی، مشکلات جدی داریم. نظام کنترل کیفیت مواد اولیه هم مشکل دارد.

۳-۵-۴-۲- دکتر توحیدی

ما عملاً برای تأمین تمام تجهیزات و قطعات به جز بیرینگ الکتروموتورها، مشکل خاصی نداریم. اگر بتوان به سمتی رفت که این بیرینگ‌ها نیز به طریقی ساخته شوند، عملاً در بحث تعمیرات الکتروموتور از نظر داخلی خودکفا می‌شویم.

۳-۵-۴-۳- مهندس قهرمانی

زنجیره تأمین در موتورهای ولتاژ پایین کامل است.

۳-۵-۴-۴- مهندس قربانی

خوشبختانه در زمینه الکتروموتور و ترانسفورماتور، قطعات ساخت داخل به خوبی قابل تأمین هستند و مشکلی نداریم.

۳-۵-۵- اهداف در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی

با جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اهداف کلان در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی در موارد زیر قابل خلاصه‌سازی هستند:

- نظام‌مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری الکتروموتورهای ولتاژ ضعیف و ولتاژ متوسط در نیروگاه‌ها
- افزایش کیفیت الکتروموتورهای ساخت داخل
- کاهش مصرف داخلی نیروگاه‌ها

۳-۵-۶- اقدامات لازم در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی

با توجه به اهداف تعریف‌شده برای صنعت الکتروموتورهای نیروگاهی و همچنین جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اقدامات لازم جهت نیل به این اهداف در دو دسته اقدامات فنی و غیرفنی قابل ارائه هستند که در این زیربخش ارائه خواهند شد.

۳-۵-۶-۱- اقدامات فنی در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی

مهم‌ترین اقدامات فنی لازم در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- آموزش مناسب کارشناسان نیروگاه در نحوه نگهداری از الکتروموتور و انجام بازرسی‌های دوره‌ای
- برآورد خسارت حاصله در صورت عدم توجه به مبحث تعمیر و نگهداری به منظور ایجاد فرهنگ‌سازی
- تعیین لیست تست‌های ضروری الکتروموتورهای ولتاژ پایین و متوسط و الزام نیروگاه به انجام آن جهت جلوگیری از تصمیمات سلیقه‌ای مدیران نیروگاه
- تجهیز الکتروموتورهای بزرگ نیروگاه به سیستم مانیتورینگ، ایجاد نظام داده‌برداری و انجام تحلیل ترند
- ارزیابی شرکت‌های فعال در حوزه تعمیر نگهداری و تایید صلاحیت حرفه‌ای
- ایجاد ساختاری (نظیر انجام تست در آزمایشگاه و ...) جهت تشخیص بیرنیگ تقلبی از اصل موجود در بازار در زمان خرید

- ارزیابی بدنه الکتروموتورها در نواحی مرطوب به خصوص در برج‌های خنک‌کن که رطوبت بالایی دارند و طراحی مجدد آن به صورت یکپارچه و از جنس فایبرگلاس
- مطالعه و بررسی الکتروموتورهای ولتاژ پایین که در معرض روغن قرار دارند به منظور ایجاد تمهیداتی جهت کاهش نرخ خرابی
- اولویت‌بندی برای جایگزینی الکترموتورها با پربازده براساس مدت زمان در مدار بودن الکتروموتور، کاری که انجام می‌دهد و موقعیت نصب (در مناطق جنوبی به دلیل بالا بودن دما اولویت استفاده از الکتروموتور پربازده بر روی الکتروموتورهای بویلر و الکتروموتورهای ۴۰۰ ولت جریان بالا (نظیر الکتروموتور خنک‌کن آب کولرهای ژنراتور که یک الکتروموتور ۴۰۰ ولت ۲۵۰ کیلووات است که در حدود ۲۷۰–۲۸۰ آمپر جریان می‌کشد) است. بهتر است در طراحی این نوع کاربری با توجه به فضا و استند موجود، بدنه به صورت ۴ تکه باشد و یاتاقان مربوط به نگهدارنده شفت روتور از الکتروموتور فاصله داشته و به پوسته بدنه استاتور نچسبیده باشد)
- تعیین حداقل مشخصات فنی الکتروموتور نیروگاه ها در زمان سفارش خرید (به طور مثال خرید الکتروموتور های مجهز به PD آنالایزر و سنسور دما بر روی تمام شیارها یا یکی در میان)
- جایگزینی الکتروموتورهای سوخته کمتر از ۴۰ کیلووات و موتورهای در حال کار کمتر از ۱۰ کیلووات با الکتروموتور پربازده

۲-۶-۵-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی

مهم‌ترین اقدامات غیرفنی لازم در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- فرهنگ‌سازی در بین مدیران بالادست نیروگاه، جهت ایجاد اهمیت بازبینی و تست‌های دوره‌ای
- حمایت و الزام شرکت‌های الکتروموتورساز جهت بالا بردن کیفیت محصول (بهبود کیفیت ورقه‌های هسته، شمش‌های مسی و پوسته)، به گونه‌ای که بعد از اولین تعمیرات، الکتروموتور همچنان عملکرد و کیفیت مناسب داشته باشد. به عبارتی maintenance free باشد.
- حمایت مناسب به دور از انحصاری گری از شرکت های سازنده نه در قالب پرداخت وام و پول بلکه نظیر کاهش مالیات، کاهش بیمه پرداختی روی قراردادها، خرید محصول و ... (مثلاً معافیت مالیاتی را می‌توان به این صورت اعمال کرد که شرکت برق حرارتی به ازای مالیاتی که شرکت سازنده متعهد به پرداخت آن است، به قرارداد شرکت اضافه کند. همچنین بازاری تضمینی وجود داشته باشد، مشروط به اینکه هر محصول از محصولی قبلی بهتر باشد)
- ایجاد رویه و قانون برای عدم استفاده از الکتروموتور برای کاربری که برای آن طراحی نشده است
- ایجاد یک دیتابیس جامع از قطعات یدکی الکتروموتور به خصوص نوع VPI از جمله بیرینگ، سنسور حرارت و سنسور ارتعاش، موجود در انبار نیروگاه
- ایجاد رویه‌ای برای اینکه قطعات یدکی الکتروموتور همواره در انبار موجود باشد و در صورت مصرف سریعاً جایگزین گردد
- ایجاد نظارت بر روی شرکت-های حاضر در مناقصات و خرید و از شرکت‌های دارای رزومه و معتبر. همچنین اینکه اسناد مناقصه قبل از اینکه وارد فاز اجرا شوند، از فیلتر کمیته فنی و بازرگانی نیروگاه عبور کنند.

۶-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی

در این بخش ابتدا به ارائه مصاحبه‌های انجام‌شده با خبرگان حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی پرداخته خواهد شد. این مصاحبه‌ها در قالب یک پرسشنامه و به صورت جلسات آنلاین برگزار شدند. سوالات موجود در پرسشنامه توربوژنراتور به قرار زیر بودند:

۱) میزان بازرسی‌های دوره‌ای و برنامه نگهداری ژنراتورهای نیروگاهی در حد مطلوب است؟ میزان بازرسی‌های دوره‌ای برای ژنراتورهای با عمرهای مختلف باید چقدر باشد؟ پیشنهاد شما در این حوزه چیست؟
۲) از نظر شما چه تعداد از ژنراتورهای موجود نرخ خرابی بالایی دارند؟ پیشنهاد شما برای کاهش نرخ خرابی و عوامل تأثیرگذار بر خرابی‌ها چیست؟
۳) با توجه به اهمیت سرعت و کیفیت تعمیرات ژنراتور پیشنهاد شما برای کاهش زمان تعمیرات و زمان بازگشت به مدار چیست؟
۴) انجام چه اقداماتی را برای کاهش مدت‌زمان بین سرویس‌های دوره‌ای و افزایش نرخ آماده به کاری ژنراتور پیشنهاد می‌کنید؟
۵) آیا با برنامه افزایش طول عمر ژنراتور (اصلاح و نوسازی سیم‌پیچ، هسته، اجزای مکانیکی و غیره) با هدف رساندن توان خروجی به مقدار اولیه‌ای که در زمان ساخت نیروگاه داشته، موافقید؟ چه تعداد از ژنراتورهای موجود نیاز به برنامه نوسازی دارند؟ با توجه به ظرفیت‌های موجود در کشور (نیروی انسانی و تجهیزات) چه تعداد از این ژنراتورها قابل نوسازی هستند؟ آیا این تعداد کافی خواهد بود؟
۶) آیا با برنامه افزایش ظرفیت ژنراتورهای نیروگاهی با هدف افزایش توان و افزایش ساعت آماده به کار و طول عمر ژنراتورها موافقید؟ به نظر شما چه تعدادی از ژنراتورها این قابلیت را دارند؟ آیا متخصصین داخلی قابلیت اجرای این طرح‌ها را دارند؟ این اجرا در سال روی چه تعدادی از ژنراتورها امکان‌پذیر است؟ راهکار شما برای افزایش ظرفیت ژنراتورهای نیروگاهی چیست؟
۷) به نظر شما طراحی چند درصد ژنراتورهای نیروگاهی موجود با شرایط بهره‌برداری سازگاری دارد؟ آیا با بومی‌سازی ژنراتورهای سازگار با اقلیم کشور موافق هستید؟ آیا ظرفیت لازم برای بومی‌سازی این ژنراتورها وجود دارد؟
۸) عمق ساخت داخل در حوزه ژنراتورهای داخلی چقدر است؟ تا ۵ سال آینده چقدر خواهد شد؟
۹) میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی از ساخت ژنراتور در داخل کشور چقدر است؟ میزان صادرات ارزی چقدر خواهد بود؟
۱۰) در صورت خرید ژنراتور، فاکتورهایی که باید مورد توجه قرار گیرد و حداقل مشخصات فنی ژنراتور چه مواردی هستند؟
۱۱) آیا زنجیره تأمین مطمئنی برای تهیه اجزای ژنراتور در داخل کشور وجود دارد؟ آیا امکان تأمین در داخل کشور در حال حاضر یا طی ۵ سال آینده میسر خواهد بود؟ پیشنهاد شما برای ایجاد یک زنجیره تأمین مطمئن برای اجزای ژنراتور چیست؟
۱۲) به نظر شما چشم‌انداز مطلوب تا ۵ سال آینده برای ژنراتورها از نظر توسعه فناوری، توسعه بازار، افزایش عمر و افزایش قابلیت اطمینان چیست؟

سوالات این پرسشنامه در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی با دسته‌بندی در ۶ دسته به شکل زیر، مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

۱) مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی توربوژنراتورها (سوالات ۱، ۲، ۳ و ۴)
۲) مبحث نوسازی و افزایش ظرفیت تربوژنراتورها (سوالات ۵ و ۶)
۳) مبحث سازگاری توربوژنراتورهای مورد استفاده با اقلیم (سوال ۷)

۴) مبحث عمق ساخت داخل، میزان صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز مطلوب صنعت توربوژنراتور تا سال ۱۴۰۵ (سوالات ۸ و ۹ و ۱۲)
۵) مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید توربوژنراتور (سوال ۱۰)
۶) مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز توربوژنراتورها (سوال ۱۱)

خبرگانی که در این حوزه با آن‌ها مصاحبه شد، مطابق زیر معرفی می‌شوند:

- مهندس پورفارسی
- مهندس شالودگی (نیروگاه شهید مفتح همدان)
- مهندس قربانی (نیروگاه ری)
- مهندس رحیمی (نیروگاه رودشور)

در انتها و پس از جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، خلاصه‌ای از اهداف و اقدامات فنی و غیرفنی ضروری در این حوزه ارائه خواهند شد.

۳-۶-۱- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی توربوژنراتورها

۳-۶-۱-۱- مهندس پورفارسی

در نیروگاه‌ها بازرسی‌های دوره‌ای به اورهال‌ها ختم می‌شود (حدود ۴ سال یک بار). مگر این‌که حادثه‌ای پیش بیاید و بازرسی و تعمیرات زودتر از برنامه داشته باشیم. به طور کلی برای ژنراتورهایی که عمر زیادی دارند یا کیفیت خوبی ندارد، بازدیدهای دوره‌ای هر ۲ سال یک بار و برای ژنراتورهای معمولی و با سن پایین، هر ۴ سال یک بار پیشنهاد می‌شود و مطلوب است. من با ۵ نوع ژنراتور از برندهای مختلف سر و کار داشته‌ام که از نظر ساختمان و کیفیت با هم متفاوت بوده‌اند. به همین دلیل نمی‌توان برای این ۵ نوع ژنراتور یک دستورالعمل ثابت ارائه کرد.

در ژنراتورهای بین ۲۵ تا ۳۰ سال حدود ۲۰ درصد نرخ خرابی داریم. این ژنراتورها اغلب دچار مشکلاتی می‌شوند. بنابراین باید حتماً تست تانژانت دلتا و بازدیدهای بصری اعم از بررسی آسیب‌دیدگی نخ‌ها، بررسی میزان نشتی روغن در ژنراتور، بررسی اندازه خاک در ژنراتور، بررسی وجود نشتی آب و غیره بسیار حائز اهمیت هستد.

پیشنهاد من برای کاهش نرخ خرابی این است که افراد متخصص و خبره که ژنراتور و اجزای آن را خوب می‌شناسند، در طراحی وارد هستند، متریال را خوب می‌شناسند، ساخت شینه را خوب بشناسند، با تست‌های ژنراتور آشنا باشند و بدانند هر تستی به چه منظوری و چگونه انجام می‌شود و با حوصله و صبر همه موارد را در داخل ژنراتور، روی ژنراتور، زیر ژنراتور و به طور کلی تمام بخش‌های آن مورد بررسی قرار دهند. همچنین نظام تأیید صلاحتی وجود داشته باشد که هر کس که قصد ورود به ژنراتور و بررسی آن را داشت، یک گواهی مانند گواهینامه رانندگی داشته باشد. معاونت مهندسی نیروگاه‌ها معمولاً باید چنین کاری را انجام دهد. پیمان‌کارهایی که وارد کشور می‌شوند، آشنایی و تجربه چندانی ندارند. باید افراد خبره‌ای از ژنراتور بازدید که تمام موارد اعم از خوردگی، کرونا، مشکلات نخ‌ها و غیره را ببینند و در یک نگاه تشخیص دهد. بعد از تشخیص عیب دلیل ایجاد عیب را هم اعلام کند و راهکاری برای رفع آن ارائه دهد.

اصلی‌ترین عیوبی که در بخش استاتور مشاهده کرده‌ایم به پاره‌شدن نخ‌ها یا براکت‌های نگهدارنده هادی‌ها در بخش اورهنگ مربوط می‌شوند. لازم است فرد تعمیرکننده اسپیسرها را مورد بررسی قرار دهد و میزان فاصله بین هادی‌ها را بررسی کند. مواردی که عرض کردم اغلب به شکل معمولی و ساده قابل مشاهده نیستند و برای بررسی‌کردن این موارد باید کمی حوصله به خرج داد. تست گوه نیز حائز اهمیت است. بسیار مهم است افرادی که تست گوه انجام می‌دهند، به دفتر فنی مراجعه کنند و با آچار ۱۶ آن‌ها را به صورت تصادفی چک کند که مشکلی نداشته باشند. نظافت نیز از مسائل

حائز اهمیت است. همچنین در برخی موارد پدیده کرونا مشاهده شده است. دلیل پیش آمدن کرونا هم نزدیک‌شدن هادی‌ها به یکدیگر و برخورد با هم بوده است. در این موارد آثار تخریب عایق مشاهده می‌شود.

در بخش روتور چون دینامیک است باید حتماً اسپیسرهای بخش زیر رینگ‌ها بازدید شوند. لازم است در ژنراتورهای با بیش از ۲۰ سال سن، رینگ‌ها هر ۴ سال یک بار خارج شوند و داخل رینگ‌ها مورد بررسی قرار گیرند. اعوجاج شینه‌های زیر حلقه نگهدارنده نیز یکی دیگر از مشکلات مهم است. باید بررسی شود که اسپیسرها از جای خود حرکت نکرده و هادی‌ها دچار اعوجاج نشده باشند.

در مورد راهکارهای کاهش زمان تعمیرات و سرعت بازگشت به مدار، عمده‌ترین چالش ما این بوده که در انبار لوازم یدکی داشته باشیم. بنابراین داشتن لوازم یدکی اضطراری به افزایش سرعت بازگشت به مدار کمک شایانی می‌کند. دومین نکته‌ی کمک‌کننده به افزایش سرعت تعمیر مدار این است که پیمان‌کار تعمیرات تراکم کار نداشته باشد. در بازدیدهای داغ (۲۰–۳۰ روز)، زمان خوبی است که به داخل ژنراتور نگاهی بیندازیم و اشکالات احتمالی را رفع کنیم. همچنین در اورهال‌ها باید مشکلات اساسی که منجر به کاهش میزان تولید می‌شوند (اعم از گرفتگی داکت‌ها و مشکلاتی در سیستم خنک‌سازی) رفع شوند. بین اورهال‌ها زمان خوبی است که تست‌ها مختلف روی ژنراتور انجام شوند.

البته دستورالعمل خاصی وجود دارد که مثلاً بین دو اورهال بعضی مشکلات بررسی و رفع شوند، وجود ندارد. این به مهارت و زرنگی متخصصین نیروگاهی بستگی دارد. مثلاً خارج کردن روتور ژنراتور توربین گازی ۱۰ روز طول می‌کشد. بنابراین در یک بازه ۲۰–۳۰ روزه کارهای بسیار زیادی می‌توان روی آن انجام داد.

۲-۱-۶-۳- مهندس شالودگی

برای بازرسی‌های دوره‌ای زمان‌خاصی وجود دارد. اگر ۴۵۰۰۰ ساعت از زمان کارکرد ژنراتور گذشته باشد، اورهال انجام شود. البته این به شرطی است که حادثه‌ای در این بین رخ نداده باشد. این ساعت کارکرد مطابق با دستورالعمل سازنده است و حدوداً هر ۵ سال یک بار خواهد بود.

عملاً امکان‌پذیر نیست که مدت زمان بین این بازرسی‌ها را کاهش دهیم. اگر بخواهیم براکت‌های ژنراتور را باز کنیم، کوپلینگ‌ها باید باز شوند، از توربین جدا شود و ... که یک پروسه زمان‌بر خواهد بود. باید توجیه و دلیل کافی برای انجام این کار وجود داشته باشد. ما تعمیرات اساسی داریم و تعمیرات میان‌دوره‌ای. تعمیرات میان‌دوره‌ای هر ساله انجام می‌شود که به مدت ۲۰ روز طول می‌کشد. در تعمیرات میان‌دوره‌ای عملاً فرصت چنین کاری برای توربوژنراتور وجود ندارد.

در مورد نرخ خرابی ژنراتورها، دیده شده که در استاتور توربوژنراتورهای میتسوبیشی پودر سفیدی تشکیل می‌شود. ما در نیروگاه خودمان چنین موردی را مشاهده کرده‌ایم. نیروگاه قم هم چنین پدیده‌ای را در ژنراتورها گزارش کرده است. تشکیل این پودرهای سفید می‌تواند ناشی از تخلیه جزئی باشد و یا ناشی از تشدید و رزونانس. ما در نیروگاه خودمان بررسی کردیم و با انجام تست‌های ضربه و مودال به این نتیجه رسیدیم که علت این پدیده، رزونانس است. بعد از انجام این تست‌ها، مشاهده شد که فرکانس‌های طبیعی نزدیک فرکانس‌های ۵۰ و ۱۰۰ هرتز وجود دارد. برای حل این مشکل باید اصلاح نخ‌بندی در انتهای سیم‌پیچ انجام شود. این پدیده تا به حال منجر به خودی خود منجر به خطا نشده، اما اگر ادامه پیدا کند این احتمال وجود دارد که بالاخره خطایی ایجاد شود. ما هم تلاش خواهیم کرد که این مشکل را در نیروگاه مفتح حل کنیم.

در مورد کاهش زمان تعمیر و افزایش سرعت بازگشت به مدار، باید به این نکته توجه کرد که برنامه‌های تعمیرات اگر در قالب برنامه مدون تعمیرات اساسی باشند، زمان مشخصی دارند. این زمان در حدود ۳ ماه است. با این حال ما سعی می‌کنیم این مدت زمان را به ۸۰ یا ۷۵ روز کاهش دهیم. اما اگر تعمیرات مربوط به موارد ناشی از خطا در ژنراتور مد نظر باشد، بحث متفاوتی است. زمان تعمیرات و تعویض شینه نسبت به تعمیرات خود استاتور و هسته بسیار کمتر است. اگر بخواهیم

مدت‌زمان تعمیر شینه را هم کاهش دهیم، نیروگاه‌ها باید از قبل شینه یدک داشته باشند یا اگر شینه یدک ندارند، کار ابعادبرداری و تهیه مدارک ساخت شینه‌های یدک و همچنین تست‌های روتین و تخلیه جزئی مربوط به شینه را انجام داده باشند که به سرعت بتوانند شینه یدک تهیه کنند. انجام ابعادبرداری و ساخت شینه و انجام تست‌های مربوطه حدود ۵–۶ ماه زمان می‌برد. اگر این مراحل از قبل انجام شده باشد، سرعت تعمیر به حدود ۲ ماه کاهش خواهد یافت.

۳-۱-۶-۳- مهندس قربانی

طبق تجربیات من بعضی نیروگاه‌ها مانند شهید رجایی و نکا توان فنی بالایی دارند، اما برخی نیروگاه‌ها که بهتر است اسمی از آن‌ها نبریم، بسیار ضعیف هستند. ما در نیروگاه‌ها باید حداقل در اورهال‌ها تست‌های روتین ژنراتور و الکتروموتورها را انجام دهیم. من با نیروگاه‌هایی سر و کار داشته‌ام که توان مگر زدن (تست مقاومت عایقی) در آن وجود نداشت، چه برسد به تحلیل نتایج.

برخی تست‌های روتین که باید حتماً حین اورهال انجام شوند عبارتند از: تست‌های مقاومت عایقی، تلفات عایقی، High-Pot، تست شار نامی یا تست ۴ درصد. همچنین نتایج تست در هر اورهال باید نسبت به اورهال قبلی مورد ارزیابی قرار گیرند تا نرخ خرابی ژنراتور از نظر ثابت‌بودن یا صعودی‌بودن مشخص شود.

ژنراتورهای واحدهای فیات معمولاً نرخ خرابی بالایی دارند. از سویی دیگر واحدهای هیتاچی که با آن‌ها برخورد داشته‌ام، ژنراتورهای خوب و ایده‌آلی داشته‌اند و تا به حال با خرابی در ژنراتورهای هیتاچی مواجه نشده‌ام. نیروگاه‌های مجهز به ژنراتورهای میتسوبیشی هم نسبتاً خوب هستند. مواردی بوده که حادثه‌ای برای آن‌ها رخ داده، اما این حادثه به نوعی بود که می‌شد از وقوع آن پیشگیری کرد.

برای کاهش نرخ خرابی پیشنهاد می‌شود حین اورهال و بازدیدهای دوره‌ای سیم‌پیچ‌های ژنراتور بازدید شوند، تست‌های گوه انجام شوند و همچنین انجام تست‌های روتین که در سوال قبل به آن‌ها اشاره شد می‌تواند به کاهش نرخ خرابی کمک شایانی کند.

با توجه به تجربه شخصی، واحدهای بزرگ معمولاً ۳–۴ ماه اورهال دارند. اما واحدهای در حدود ۵۵ روز اورهال دارند. کل تعمیرات و سرویس ژنراتور طی ۲ هفته قابل انجام است. مشکلی در زمینه زمان‌بندی تعمیرات ژنراتور وجود ندارد. اگر بخواهیم با سرعت و عجله کار را پیش ببریم، کیفیت پایین خواهد آمد.

در اورهال‌ها همیشه باید تست‌های CT و PT ژنراتورها را انجام داد، مخصوصاً برای ژنراتورهایی که به مدت ۲۰–۳۰ سال است در حال کار هستند. نمونه‌ای در نیروگاه بندرعباس داشتیم که منحنی اشتباع یک CT این واحد از بین رفت، به این معنا که زود به اشباع می‌رفت. همین مشکل باعث شده بود که بالای ۱۰–۲۰ میلیارد (شاید هم بیشتر) خسارت به ژنراتور وارد شود. در حال حاضر ۸۰–۹۰ درصد نیروگاه‌ها از جمله نیروگاه ری این تست‌ها را انجام نمی‌دهند.

به نظر من شرکتی بالادستی مانند برق حرارتی باید نیروگاه‌ها را ملزم کند که در اورهال‌ها تمام تست‌های ضروری ژنراتور و الکتروموتور انجام شوند.

همچنین خازن‌ها و برق‌گیرهایی که پشت ژنراتورها هستند، به نوعی نقش حفاظتی ایفا می‌کنند. اگر در اورهال‌ها این موارد هم تست شوند، بسیار خوب است.

۴-۱-۶-۳- مهندس رحیمی

در حال حاضر در نیروگاه‌ها عرف است که یک بازدید سالیانه انجام می‌شود، اما بازدیدهای دیگری نیز برای سنجش وضعیت توربین و ژنراتورها انجام می‌شود که مدت زمان آن‌ها بسته به عمر توربین و ژنراتور متغیر است. اگر اقدامات تعمیراتی مربوطه در همین بازدیدها به درستی و با دقت انجام شوند، کافی خواهد بود و مشکلی ایجاد نمی‌شود. البته در تعمیرات سالانه کارها سبک‌تر و کمتر هستند.

نرخ خرابی در ژنراتورهای آنسالدو بیشتر روی بخش روتور است. البته در بخش استاتور هم مشکلاتی دیده‌ام. تأکید می‌شود که این مورد را نمی‌توان به تمام ژنراتورها تعمیم داد. یا به عنوان مثالی دیگر، ژنراتورهای قدیمی‌تر (در حدود ۳۰–۴۰ سال عمر) بیشتر مشکلاتی در سیستم عایقی دارند.

برای کاهش نرخ خرابی لازم است که تست‌های استاندارد به درستی انجام شوند. من مشاهده کرده‌ام که در زمینه تست‌های عایقی خیلی اوقات دستورالعمل‌های بهره‌برداری رعایت نمی‌شوند. به این صورت که گاهاً تست‌های عایقی مانند High-Pot که بسیار مهم است را با ابعاد و اندازه‌های مد نظر خودشان انجام می‌دهند. چون روال ثابت و متحدالشکلی وجود ندارد، معمولاً هر نیروگاه به صورت سلیقه‌ای عمل می‌کند، به همین دلیل عمدتاً اطمینانی نسبت به صحت عملکرد تجهیزات وجود ندارد.

مورد دیگر به انتخاب پیمان‌کار انجام‌دهنده تعمیرات بستگی دارد. کیفیت کار این پیمان‌کارها با هم متفاوت است. برخی از این خرابی‌ها می‌توانند ناشی از اشتباهات تعمیراتی پیمان‌کار باشند.

با ایجاد دستورالعمل جامع از سوی برق حرارتی برای انجام تست‌های مربوط به ژنراتور، در کنار دستورالعمل سازنده ژنراتور نیز موافق هستم.

اگر نیاز به تعمیرات ژنراتورها داشته باشیم، نسبت به سال‌های قبل بهتر شده است. من خاطرم هست در سال‌های گذشته خط‌کش کار بخش مکانیک بود، چرا که تأمین قطعات مورد نیاز طول می‌کشید یا آمادگی لازم وجود نداشت، لذا ممکن بود تا ۱۲۰–۱۳۰ روز هم طول بکشد. اما امروزه در حدود ۲۵–۲۶ روز یا حتی کمتر هم می‌تواند واحدها را به مدار برگرداند. البته سرعت بازگشت واحد به مدار به عواملی چون آماده‌سازی لوازم و تجهیزات موردنیاز، نحوه برنامه‌ریزی و شیفت‌بندی کار افراد تعمیرکار و انتخاب زمان تنظیم‌شده با شرکت‌های تعمیراتی بستگی دارد.

۲-٦-۳- مبحث نوسازی و افزایش ظرفیت تربوژنراتورها

۱-۲-۶-۳- مهندس پورفارسی

در واحدهای گازی افت تولید معمولاً ناشی از بخش توربین است، نه ژنراتور. بنابراین اگر روی ژنراتور هزینه کنید و مثلاً خنک‌سازی ژنراتور را بهتر کنید، فایده‌ی چندانی نخواهد داشت چون مشکل اساسی از فرسودگی و مشکلات پیش‌آمده در توربین است. من کمتر موردی دیده‌ام که به دلیل محدودیت و اشکال در ژنراتور به افت توان خروجی رسیده باشند. مگر در حالتی که ایراد اساسی در ژنراتور وجود داشته باشد که البته قابل شناسایی و رفع است. بنابراین اقداماتی اعم از تغییر و نوسازی سیم‌پیچ ژنراتور و کارهایی مانند آن اغلب برای افزایش طول عمر ژنراتور انجام می‌شوند. سیم‌پیچی مجدد منجر به افزایش طول عمر ژنراتور خواهد شد. من شخصاً بالای ۲۰ روتور را سیم‌پیچی مجدد کرده‌ام. در چنین مواردی ژنراتور پیر شده و کیفیت عایق به حدی پایین آمده بود که خطر اتصال کوتاه وجود داشت. به همین دلیل زمانش رسیده بود که سیم‌پیچی مجددی در سیم‌پیچی روتور و در مواردی خاص که بیش از ۴۰–۴۵ سال از طول عمر ژنراتور گذشته، سیم‌پیچی مجدد در استاتور ژنراتور انجام دهیم. این سیم‌پیچی‌های مجدد به معنای افزایش توان خروجی ژنراتور نیست.

من در نیروهای داخلی توان اجرای این طرح را نمی‌بینم. البته منظور انجام سیم‌پیچی مجدد نیست. مثلاً به نظر من در داخل این امکان وجود ندارد که سیستم خنک‌سازی و داکت‌ها بهینه‌سازی شوند یا طراحی به گونه‌ای باشد که از این طریق به افزایش توان ژنراتور منجر شود. لازمه انجام چنین کاری این است که پتانسیل‌ها از نظر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ایجاد و تقویت شود. در حال حاضر بهتر است اولویت در حفظ و نگهداری مناسب ژنراتورهای فعلی و ظرفیت فعلی آن‌هاست.

اجرای طرح ارتقای ظرفیت کار باید دانش، امکانات سخت‌افزار و نرم‌افزار و نفرات مجرب که در این حوزه کار کرده باشند، وجود داشته باشد. در کشورهای خارجی هم افراد مجرب با نرم‌افزار کار می‌کردند و کسی از خودش ادعایی نمی‌کرد.

در نرم‌افزار روی پارامترها مانور می‌دادند، خروجی‌ها را بررسی می‌کردند و به نتیجه می‌رسیدند. در چنین شرایطی هم کار ساده‌تر است، هم اطمینان ادعا بالاتر خواهد بود. من در حال حاضر چنین توانمندی در داخل کشور نمی‌بینم.

۲-۲-۶-۳- مهندس شالودگی

اگر به عنوان مثال سیستم خنک‌سازی توان خروجی ژنراتور را محدود کرده باشد، می‌توان آن را اصلاح کرد. سیستم خنک‌کن ژنراتور ما با گاز هیدروژن است و مشکل خاصی در آن مشاهده نکرده‌ایم. در بحث نوسازی که مد نظر شماست، به احتمال بسیار زیاد محدودکننده‌ی توان خروجی سیستم خنک‌کننده ژنراتور است.

از نظر نیروی انسانی و تخصص تا جایی که اطلاع دارم، ظرفیت اجرای چنین طرحی وجود ندارد. فکر می‌کنم پارس ژنراتور نرم‌افزارهایی دارد و با بررسی‌هایی که انجام می‌دهد، پیشنهاداتی برای اصلاح سیستم خنک‌کننده ژنراتور ارائه می‌کند، ولی به طور عمده خیر.

یکی از روش‌های افزایش ظرفیت ژنراتور (و شاید اصلی‌ترین روش افزایش ظرفیت ژنراتور) این است که سیستم عایقی به گونه‌ای اصلاح شود که اگر روی هر شینه مثلاً ۵ یا ۶ میلی‌متر عایق باشد، بعد از ارتقای سیستم عایق که مثلاً ۲ میلی‌متر است، می‌توان در فضای خالی ایجادشده استرندهای مس به کار برد و سطح مقطع مس را افزایش داد. در صورت انجام چنین اقداماتی می‌توان ظرفیت ژنراتور را افزایش داد. البته با توجه به تعداد زیاد شینه‌های موجود در ژنراتورها از نظر اقتصادی و زمانی و با توجه به میزان افزایش ظرفیتی که حاصل می‌کند، به صرفه به نظر نمی‌رسد. حتی ممکن است بعد از انجام کارهای بیان‌شده، نیاز به انجام تست‌هایی هم باشد که این خود بر هزینه‌ها و پیچیدگی کار می‌افزاید.

از آن‌جایی که از اصلی‌ترین چالش و محدودکننده در ژنراتورها بحث‌های دما و افزایش دماست، بهترین راه افزایش ظرفیت ارتقای سیستم خنک‌سازی است که در آن صورت هم کمتر از ۱۰ درصد افزایش ظرفیت حاصل خواهد شد.

همچنین باید بررسی شود که ببینم چقدر مس قابل اضافه شدن است و با این میزان افزایش مس، چه میزان افزایش ظرفیت قابل حصول است. قبل از انجام هر کاری باید مطالعات لازم در این حوزه انجام شود.

۳-۲-۶-۳- مهندس قربانی

نوسازی و افزایش توان ژنراتور دو بحث مجزا هستند. نوسازی قابل انجام است، اما از آن‌جایی که توان ژنراتور به توان توربین بستگی دارد، افزایش توان ژنراتور بدون افزایش توان توربین عملاً امکان‌پذیر نیست. اما اگر تلفات هسته در ژنراتور بالا باشد یا در تست High-Pot مشاهده شود که جریان نشتی بالا رفته است (که ناشی از ضعف عایقی در شینه‌های ژنراتور است)، می‌توان با تعویض سیم‌پیچ یا هسته، توان ژنراتور را به میزان کارخانه‌ای برگرداند (یا نزدیک کرد).

شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران، فن ژنراتور، توربوژنراتور شاهرود توانایی انجام چنین نوسازی‌هایی را دارند. شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران در این زمینه از بقیه قوی‌تر است.

ما در زمینه طراحی ژنراتور بسیار عقب هستیم. حتی ژنراتورهای V94.2 که مپنا می‌سازد به نوعی کپی از نمونه‌های خارجی هستند. اگر این کارها به شرکت‌های دانش‌بنیان پیشنهاد شود، شاید بتوانند کاری در زمینه طراحی انجام دهند.

۴-۲-۶-۳- مهندس رحیمی

معمولاً در نیروگاه‌ها ژنراتور طوری انتخاب می‌شود که توان خروجی قابل تولیدش از توان خروجی قابل تولید توربین تقریباً ۲۰ درصد بیشتر باشد. یعنی ارتقای مدنظر شما زمانی معنا پیدا می‌کند که توربین توان زیادی تولید کند و ژنراتور قادر به انتقال آن میزان توان نباشد. نکته دیگر اینکه این موضوع مورد به مورد فرق می‌کند. یک بحث اقتصاد مهندسی مطرح است. باید دید هزینه و فایده به چه صورت خواهد شد. در ازای چه مقدار افزایش توان، چه میزان هزینه باید متحمل شویم.

با توجه به اینکه در منحنی قابلیت ژنراتورها معمولاً میزان توان خروجی بیشتری در نظر گرفته می‌شود، به نظر من نیازی نیست که اگر توربین ارتقا یافته بود، ژنراتور را نیز ارتقای ظرفیت دهیم.

۳-٦-۳- مبحث سازگاری توربوژنراتورهای مورد استفاده با اقلیم

۱-۳-۶-۳- مهندس پورفارسی

ژنراتور هم مانند تمام تجهیزات به این صورت است که وقتی شما قصد خرید دارد، مشخصات اقلیمی اعم از دما، رطوبت، ارتفاع از سطح دریا، فشار و ... را به سازنده می‌دهید و سازنده سفارش را برای شما آماده می‌کند. بنابراین شاید بتوان گفت هنگام سفارش به نوعی بومی‌سازی انجام شده است. از طرفی ما مواردی داریم که مثلاً ژنراتور از تهران به بندرعباس برده شده است. چنین کارهایی نباید انجام شود، چون ژنراتوری که برای تهران طراحی شده، در بندرعباس به مشکلاتی بر می‌خورد.

من آمار دقیقی ندارم که چه تعداد از ژنراتورهای نیروگاه‌ها با اقلیم مربوطه سازگاری دارند، اما از این موضوع مطلعم که بسیاری از ژنراتورهای کوچک، به شهرها و استان‌های مختلف منتقل می‌شوند. ما مواردی داشتیم که واحدهایی را به نوشهر، بندرعباس و حتی سیستان و بلوچستان منتقل کردیم. این انتقال‌ها نباید انجام شوند. اصولاً بومی‌سازی موقع خریداری ژنراتور در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳-۶-۳- مهندس شالودگی

تمام تجهیزات نیروگاه ما برای شرایط دمایی از ۴۰- تا ۴۰+ درجه سانتی‌گراد طراحی شده‌اند و با توجه به اقلیم استان همدان، مشکلی از این بابت وجود ندارد. از مناطق دیگر اطلاع خاصی ندارم.

۳-۳-۶-۳- مهندس قربانی

ما در این زمینه مشکلاتی داریم. ژنراتورهای ۲۵ مگاوات هیتاچی ما راندمان لازم را نمی‌دهند، چرا که ارتفاع ۱۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و فشار ۷۶۰ میلی‌متر جیوه است (که برای مکش خوب هوا توسط ژنراتور نیاز است). به دلیل همین ناسازگاری ما از این ژنراتورها به جای ۲۵ مگاوات نهایتاً ۱۷ مگاوات خروجی می‌گیریم. هر چه ارتفاع محل بهره‌برداری از این ژنراتورها به سطح دریا نزدیک‌تر باشد، توان خروجی به ۲۵ مگاوات نامی ادعاشده توسط کارخانه سازنده نزدیک‌تر می‌شود.

اگر بتوانیم هم بومی‌سازی کنیم و هم اقلیم را در نظر بگیریم خیلی خوب خواهد بود، اما همان‌طور که پیش‌تر عرض کردم ما در زمینه طراحی ژنراتور بسیار عقب هستیم.

۴-۳-۶-۳- مهندس رحیمی

من از همه موارد خبر ندارم، اما مواردی که مشاهده کردم این‌طور بوده که از شرایط اولیه خرید ژنراتور و سفارش آن به طراح، دمای محیط، رطوبت، سرعت باد، ارتفاع و .. است. این‌که جایی مشکل داشته باشیم، در ذهنم نیست. البته این موارد هم بیشتر به توربین بستگی دارند تا ژنراتور. تفاوت اقلیم نهایتاً به ۲-۳ درصد کاهش یا افزایش بازدهی منجر می‌شوند.

٤-٦-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز توربوژنراتورها تا سال ۱۴۰۵

۱-۴-۶-۳- مهندس پورفارسی

اگر به ساخت اجزای اصلی و کلیدی ژنراتور اعم از فورجینگ، هسته، کویل‌ها و ... برگردیم، تماماً در داخل کشور در حال انجام است. البته فورجینگ از اروپا وارد شده و تراش می‌خورد، اما در باقی مواردی که عرض کردم امکان ساخت در داخل کشور وجود دارد. از سویی دیگر فورجینگ‌های کوتاه برای واحدهای کوچک در ۱۵-۲۰ مگاوات نیز در داخل کشور قابل

ساخته شدن هستند. پارس ژنراتور برای واحد نیروگاهی اسفراین این فورجینگ‌ها را ساخته است. حتی شینه‌ها و استرندها در داخل کشور ساخته می‌شوند. مشکل خاصی در این زمینه وجود ندارد. در مورد حلقه‌های نگهدارنده هم از خارج کشور وارد می‌کنند و تراش می‌دهند. دانش فنی برای ساخت این بخش از ژنراتور نیز وجود دارد، اما از نظر اقتصادی به صرفه نیست.

اگر قصد و امکان سرمایه‌گذاری برای تولید داخل این قطعات وجود داشته باشد، دانش فنی لازم وجود دارد. اما لازم است از منظر اقتصادی و بازار هم مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال در کل اروپا سه کشور فورجینگ و حلقه نگهدارنده می‌ساختند. تمام سازنده‌های ژنراتور این قطعات را از آن سه کشور می‌گرفتند.

ساخت باید کمی تجزیه شود. مثلاً ورق هسته باید وارد شود. فورجینگ‌های بلند باید وارد شوند. اگر این موارد که عرض شد بدون مشکل وارد شود، به سادگی امکان ساخت داخلی ژنراتور وجود دارد.

اگر مسائل اقتصادی کنار گذاشته شود، به سادگی می‌توان دانش فنی تولید کرد، افرادی را برای کارآموزی و کسب تجربه به شرکت‌های پیشرو در این حوزه فرستاد و کارهایی از این دست. در این صورت نتیجه می‌تواند به این صورت شود که طی افق ۱۵ یا ۲۰ ساله، امکان ساخت فورجینگ و حلقه نگهدارنده و غیره نیز وجود داشته باشد. در تدوین این چشم‌انداز مهم است که بررسی شود آیا این کار اقتصادی هست یا خیر. همچنین بحث انتقال تکنولوژی و دانش هم بستگی جدی به شرایط اقتصادی یک کشور و تحریم‌ها دارد.

۳-۶-۴-۲- مهندس شالودگی

من اطلاع دارم که پارس ژنراتور در طراحی و ساخت ژنراتورهای تا سطح توانی ۲۰۰ مگاوات به ۱۰۰ درصد رسیده است. حتی آزمایشگاه‌های پیری‌سازی عایق هم دارد. به عنوان مثال می‌تواند چرخه‌های حرارتی، پیری‌سازی ولتاژی، پیری‌سازی دمایی را انجام دهد. در مورد سطوح توانایی بالاتر اطلاعی ندارم، اما تا ۲۰۰ مگاوات چنین توانایی به شکل کامل وجود دارد.

۳-۶-۴-۳- مهندس قربانی

مپنا در این زمینه پیشرفت‌های خوبی داشته است. اگر کارهای پژوهشی و تحقیقاتی بیشتری انجام دهند، بهتر هم خواهد بود.

صرفه‌جویی ارزی می‌تواند بسیار قابل توجه باشد چرا که نیروی کار در ایران بسیار ارزان‌تر است. همچنین در هزینه حمل و نقل هم صرفه‌جویی می‌شود.

اگر بتوانیم ژنراتورهایی با ورق‌های هسته با کیفیت مناسب بسازیم که تلفات هسته پایین بیاید یا به کلاس عایقی دقت بیشتری داشته باشیم، چشم‌انداز مطلوبی است.

۳-۶-۴-۴- مهندس رحیمی

ما در زمینه ساخت ژنراتورهای V94.2 چندین سال است که به ۱۰۰ رسیده‌ایم. البته در زمینه ژنراتورهای GVPI واردکننده هستیم. در مورد بخش‌های فلزی ژنراتورها در داخل کشور مشکلی نداریم، اما در مورد بخش‌ها عایقی همچنان واردکننده هستیم؛ هم موارد عایقی استاتور و هم روتور. چه عایق‌های کاغذی و چه عایق‌های رزینی و عایق‌های شینه‌های استاتور. در واقع از لحاظ مونتاژکاری در داخل ۱۰۰ هستیم، اما در مواردی که عرض کردم باید واردات صورت گیرد

در مورد چشم‌انداز تا سال ۱۴۰۵ به نظر من بهتر است تمرکز نیروگاه‌ها روی تعمیر و نگهداری بهتر نیروگاه‌ها باشد. این‌که بخواهیم روی ارتقا یا بهبود تجهیزات فعلی متمرکز شویم، در شرایط فعلی کمی سخت و شاید غیرقابل اجرا به نظر می‌رسد. اما با بهره‌برداری، تعمیرات و کنترل بهتر و مناسب‌تر می‌توانیم مواردی که داریم را نگه داریم.

۳-۶-۵- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید توربوژنراتور

۳-۶-۵-۱- مهندس پورفارسی

اولین نکته مهم این است که فردی که قصد خرید دارد، دانش کافی داشته باشد و در غیر این صورت از کمک مشاور بهره بگیرد؛ مشاورهایی که ژنراتور را خیلی خوب بشناسند، سالیان سال با اجزای آن دست و پنجه نرم کرده باشند، فرم‌هایی وجود دارد که باید پر کنند و به سازنده بدهند و متریال‌ها حتماً باید قید شوند. مثلاً در بخش ساخت کویل و هادی‌های استاتور، متریال حتماً باید لایه به لایه مشخص شده باشد. شرایط آب و هوایی محل بهره‌برداری از ژنراتور نیز از دیگر مسائل حائز اهمیت است. جنس هسته و همچنین سیستم خنک‌کنندگی بسیار مهم. خوب است به داخل ژنراتور نیز نگاهی انداخته شود. اگر عایق‌های روتور، عایق‌های دیواره‌ها، اسپیسرها، حلقه‌های نگهدارنده و غیره مورد بررسی قرار گیرند هم خوب است. مشخصات ورقه‌ها و عایق‌های استاتور نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

پایش وضعیت ژنراتورهای فروخته شده، همچنین توجه به فیدبک‌هایی که از خریداران گرفته می‌شود و تلاش برای رفع عیب‌های موجود می‌تواند بسیار مفید باشد. موضوع دیگر بحث تسلط افراد به طراحی ژنراتور باشد.

۲-۵-۶-۳- مهندس شالودگی

انتخاب درست در ابتدا مستلزم این است که اطلاعات کافی در این زمینه داشته باشیم. اگر اطلاعات نداشته باشیم، مجبوریم به توصیه سازنده توجه کنیم. مثلاً مشخص است که خلوص مس به کار رفته در ژنراتور باید بالا باشد. به عنوان مثال ژنراتورهای میتسوبیشی از مس با خلوص بیش از ۹۹ درصد استفاده می‌کنند. اطلاع از خلوص مس بسیار حائز اهمیت است.

همچنین می‌توان از سیستم‌های عایقی استفاده کرد که تا سال‌های سال تلفات کمی داشته باشند، عمر بالایی داشته باشند، PD پایینی داشته باشند، پودر سفید تشکیل ندهند و غیره. اگر در این زمینه اطلاعات کافی نباشد، مجبور می‌شویم به پیشنهادات سازنده توجه کنیم تا مشکلی ایجاد نشود. سفارش‌دادن خود یک تخصص به حساب می‌آید.

ایجاد یک نظام‌نامه برای استانداردسازی ژنراتورهای واردشده یا ساخته‌شده نیز مفید است. مثلاً در حال حاضر هیچ آزمایشگاه مرجعی برای انجام تست‌های روغن ترانسفورماتورها نداریم. روی آزمایشگاه‌های فعال در این حوزه هم هیچ نظارتی وجود ندارد. همه کارها به نوعی سلیقه‌ای پیش می‌روند.

۳-۵-۶-۳- مهندس قربانی

کلاس عایقی شینه‌های ژنراتور، کد IP ژنراتور و جنس هسته فاکتورهای مهمی هستند.

۴-۵-۶-۳- مهندس رحیمی

طبق تجربه خودم می‌توانم از GVPI مثال بزنم. این ژنراتورها برای اولین بار به تعداد تقریباً ۳۰ عدد خریداری شدند (برند آنسالدو). تیپ ساخت آن‌ها به این صورت است که غوطه‌ور در حوضچه رزین می‌شوند و شینه‌ها دانه‌دانه عایق نمی‌شوند. به همین نسبت عایق‌کاری ضعیفی دارند. پیشنهاد من این است که از خرید ژنراتورهای این مدل خودداری شود.

۳-۶-۶- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز توربوژنراتورها

۱-۶-۶-۳- مهندس پورفارسی

برای بررسی زنجیره تأمین، باید ژنراتورها را به دو دسته تقسیم کنیم. دسته اول ژنراتورهایی که در داخل کشور ساخته می‌شوند (مثل V94.2)که سازنده می‌توان قطعات و خدمات پس از فروش آن را تأمین کند. دسته دوم ژنراتورهایی هستند که تنوع طراحی و جنس دارند و توان ساخت داخل آن‌ها نیز وجود ندارد. مثلاً ما ژنراتورهای GE داریم که راندمان سیستم‌های خنک‌کننده‌شان پایین آمده است. متریال به کار رفته توسط GE در اختیار ما نیست، بنابراین حتی اگر تعمیراتی هم صورت گیرد، بازدهی اولیه یا نزدیک به بازدهی اولیه حاصل نمی‌شود. البته در برخی اجزا مثل شینه‌های ژنراتور مشکل

خاصی نداریم و برای ژنراتورهای مختلف قادر به ساخت شینه هستیم. در این بین تحریم‌ها هم می‌توانند برای تأمین برخی قطعات موردنیاز مشکل‌ساز شوند.

۲-۶-۶-۳- مهندس شالودگی

از قطعات مهم ژنراتور می‌توان به شینه و یاتاقان‌ها اشاره کرد. من فکر می‌کنم شرکت‌های داخلی مانند پارس ژنراتور توان ساخت یاتاقان هم اشاره کرد. اما از این‌که تا چه حد این توان را دارند، اطلاعی ندارم. فکر می‌کنم اگر مشکلی که برای ژنراتور پیش می‌آید ناشی از یاتاقان باشد، امکان رفع عیب و تأمین قطعات وجود دارد.

در مورد شینه‌ها، در سال‌های گذشته ژاپنی‌ها به ایران آمدند و به ما پیشنهاد ۱۵۰ میلیون دلار و به نیروگاه شهید رجایی پیشنهاد ۴۵۰ میلیون دلار وام دادند و اصرار داشتند که شینه‌های ژنراتورهایی که عمر بیش از ۲۰ سال دارند، تعویض شوند. چون نرخ خرابی و نرخ تضعیف عایق بعد از ۲۰ سال بسیار سریع است. ما در آن برهه دغدغه‌های دیگری داشتیم که برایمان در اولویت بودند و به همین خاطر این پیشنهاد را نپذیرفتیم، اما نیروگاه شهید رجایی این پیشنهاد ۴۵۰ میلیون دلاری را قبول کرد. در ادامه من اطلاع پیدا کردم که خود شرکت میتسوبیشی جهت سیم‌پیچی مجدد نیروگاه شهید رجایی با شرکت تعمیرات نیروگاهی وارد مذاکره شده بود. به نظر می‌رسد میتسوبیشی در این زمینه توانایی خوبی در شرکت تعمیرات نیروگاهی مشاهده کرده بوده که پیشنهاد انجام سیم‌پیچی مجدد واحدهای نیروگاه شهید رجایی را به آن‌ها ارائه کرد. البته که در ادامه تحریم‌ها تشدید شدند و این کار ملغی شد.

وقتی شرکت ژاپنی با پیشنهاد وام جهت تعویض سیم‌پیچی به ایران آمده بود، هیچ علاقه‌ای نشان نمی‌داد که نتایج تست‌های ما را ببیند و مورد بررسی قرار دهد. نتایج ما حاکی از تخریب، مشکل و یا نیاز به تعویض نشان نمی‌دادند، با این حال شرکت ژاپنی مصر بود که این سیم‌پیچی مجدد صورت گیرد. احساس من این است که شاید این احتمال وجود داشته باشد که تست‌های انجام‌شده در ایران که هم هزینه‌هایی در پی دارند، هم زمان می‌برند و هم تنش‌هایی به ژنراتور وارد می‌کنند، چندان قابل اتکا نیستند. حتی در مواردی مشاهده می‌شود که نتایج تست‌های ما با نتایج تست‌های کارخانه سازنده متناقض هستند. اگر بتوان به طریقی از صحت تست‌های داخلی و نتایج آن‌ها اطمینان حاصل کرد، بسیار مفید خواهد بود.

من فکر می‌کنم اگر مشکلی برای شینه پیش بیاید به طوری که نیاز به تعویض داشته باشیم، در این زمینه کمی با چالش مواجه خواهیم بود. ما باید موقع خرید یک ژنراتور از سازنده خارجی بخواهیم که مدارک فنی کامل آن را هم در اختیارمان قرار دهند. اگر چنین درخواستی از سازنده نکنیم، آن‌ها چنین اطلاعاتی در اختیار ما قرار نمی‌دهند.

ما در حال حاضر در صدد تأمین شینه یدک هستیم، اما اطلاع دارم که شرکت پارس ژنراتور مپنا باید مهندسی معکوس انجام دهد تا به توانایی ساخت شینه برسد.

۳-۶-۶-۳- مهندس قربانی

بله. چنین زنجیره تأمینی وجود دارد. به عنوان مثال شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران در این زمینه فعال است و می‌توان به این شرکت اعتماد و تکیه کرد.

۴-۶-۶-۳- مهندس رحیمی

به نظر من در این زمینه، این زنجیره تأمین تا حدودی انحصاری است. مواردی که ما با آن سر و کار داشتیم، حل شده و هر قطعه‌ای نیاز داشتیم تأمین شده است.

۳-۶-۷- اهداف در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی

با جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اهداف کلان در حوزه الکتروموتورهای نیروگاهی در موارد زیر قابل خلاصه‌سازی هستند:

- نظام‌مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری ژنراتورها
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل
- کاهش تریپ و زمان خروج واحد از مدار
- افزایش توان خروجی واحد

۸-٦-۳- اقدامات لازم در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی

با توجه به اهداف تعریف‌شده برای صنعت ژنراتورهای نیروگاهی و همچنین جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اقدامات لازم جهت نیل به این اهداف در دو دسته اقدامات فنی و غیرفنی قابل ارائه هستند که در این زیربخش ارائه خواهند شد.

۱-۸-۶-۳- اقدامات فنی در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاهی

مهم‌ترین اقدامات فنی لازم در حوزه ژنراتورهای نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- مطالعه و تعیین زمان مشخص برای تعویض و یا عدم تعویض شینه‌ها با توجه به عمر و شرایط آن و برای هر یک انواع ژنراتورهای موجود (تعویض شینه‌های ژنراتور با عمر بالای ۲۰ سال به پیشنهاد شرکت میتسوبیشی)
- مطالعه و بررسی مسئله ایجاد پودر سفید در استاتور ژنراتورهای میتسوبیشی و ارائه و اجرای راهکار برای رفع مسئله
- امکان‌سنجی اقتصادی و دانشی ساخت فوریجنگ‌های بلند و حلقه‌های نگهدارنده و ورقه هسته و ورقه عایقی در داخل کشور در افق ۱۵ تا ۲۰ سال
- شناسایی محدودکننده‌های توان خروجی ژنراتور (نظیر سیستم خنک‌کننده ژنراتورها)
- امکان‌سنجی نوسازی و رفع عوامل محدودکننده توان در ژنراتور
- تعیین حداقل مشخصات فنی ژنراتور نیروگاه‌ها در زمان سفارش خرید (به طور مثال خرید ژنراتورهای های مجهز به PD آنالایزر و سنسور دما بر روی تمام شیارها یا یکی در میان و عدم خرید ژنراتورهای GVPI ، غوطه ور در حوضچه رزین)

۲-۸-۶-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه توربوژنراتورهای نیروگاه

مهم‌ترین اقدامات غیرفنی لازم در حوزه ژنراتورهای نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- الزام نیروگاه‌ها به انجام تست‌های روتین ژنراتور در اورهال
- الزام نیروگاه به ارزیابی نتایج تست در هر اورهال نسبت به اورهال قبلی تا نرخ خرابی ژنراتور از نظر ثابت‌بودن یا صعودی‌بودن مشخص شود
- ایجاد قوانینی به منظور انجام تست‌های ژنراتور مطابق دستورالعمل های مربوطه و جلوگیری از انجام سلیقه‌ای تست‌ها
- تدوین دستورالعمل و زمان مشخص برای انجام بازرسی‌های دوره‌ای انواع ژنراتورها، تعیین لیست تست‌های ضروری ژنراتور و رویه تست
- تدوین قوانینی جهت جلوگیری از انتقال ژنراتور طراحی شده برای یک منطقه به منطقه آب و هوایی دیگر، و اولویت ژنراتورهای جا به جا شده در مناطق مخلف جهت تجهیز به سیستم‌های پایش وضعیت
- ایجاد نظام تأیید صلاحتی برای هر فرد که قصد ورود به ژنراتور و بررسی آن را دارد
- اعتبارسنجی و رتبه‌بندی شرکت‌های فعال در حوزه تست و جلوگیری از انتخاب سلیقه‌ای پیمان‌کاران و آزمایشگاه‌ها

- فرهنگ‌سازی استفاده از افراد با تخصص بالا جهت سفارش خرید ژنراتور و یا بهره‌گیری از مشاور، (پذیرفتن این فرهنگ که سفارش خرید ژنراتور خود یک تخصص است و باید به فرد دارای تخصص بالا محول شود)
- ایجاد یک دیتابیس جامع از قطعات یدکی ژنراتور موجود در انبار نیروگاه
- ایجاد رویه‌ای برای اینکه لوازم یدکی ضروری همواره در انبار موجود باشد و در صورت مصرف سریعاً جایگزین گردد. در صورت عدم وجود قطعه یدکی نسبت به تهیه و یا ساخت آن با ابعادبرداری و تهیه مدارک ساخت و تست‌های مربوطه قبل از نیاز به آن اقدام شود (به طور مثال نیروگاه‌ها باید از قبل شینه یدک داشته باشند یا اگر شینه یدک ندارند، کار ابعادبرداری و تهیه مدارک ساخت شینه‌های یدک و همچنین تست‌های روتین و تخلیه جزئی مربوط به شینه را انجام داده باشند که به سرعت بتوانند شینه یدک تهیه کنند. انجام ابعادبرداری و ساخت شینه و انجام تست‌های مربوطه حدود ۵–۶ ماه زمان می‌برد. اگر این مراحل از قبل انجام شده باشد، سرعت تعمیر به حدود ۲ ماه کاهش خواهد یافت).

۷-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی

در این بخش ابتدا به ارائه مصاحبه‌های انجام‌شده با خبرگان حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی پرداخته خواهد شد. این مصاحبه‌ها در قالب یک پرسشنامه و به صورت جلسات آنلاین برگزار شدند. سوالات موجود در پرسشنامه سیستم‌های راه‌انداز به قرار زیر بودند:

۱) چند درصد نیروگاه‌های گازی کشور به مبدل فرکانس استاتیکی (SFC) برای راه‌اندازی توربین گاز مجهز هستند؟ به نظر شما جایگزینی سیستم راه‌انداز الکتروموتوری با SFC مناسب است؟ با توجه به ظرفیت‌های موجود (از نظر تجهیزات و نیروی انسانی) سالانه چه تعداد جایگزینی امکان‌پذیر است؟

۲) شایع‌ترین علت تریپ و خرابی سیستم‌های راه‌انداز موجود چه مواردی هستند؟ پیشنهاد شما برای کاهش نرخ خرابی چیست؟

۳) با توجه به این‌که عیب‌یابی سریع و کاهش زمان رفع عیب سیستم راه‌انداز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، پیشنهاد شما برای کاهش زمان تعمیر و بازگشت سریع‌تر واحد به مدار چیست؟

۴) عمق ساخت داخل در حوزه سیستم راه‌انداز نیروگاه چقدر برآورد می‌شود؟ به نظر شما تا سال ۱۴۰۵ تا چه میزان قابل افزایش است؟

۵) میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی از ساخت سیستم‌های راه‌انداز در داخل کشور چقدر خواهد بود؟ صادرات می‌توانیم داشته باشیم؟ اگر می‌توانیم، چه میزان صادرات ارزی تخمین می‌زنید؟

۶) در صورت خرید خارجی یا داخلی سیستم‌های راه‌انداز، فاکتورهای فنی که باید مورد توجه قرار بگیرند تا سیستم از قابلیت اطمینان مطلوب و نرخ خرابی پایین، سرعت عملکرد بالا و کنترل‌پذیری مناسب برخوردار باشد، چه مواردی هستند؟

۷) آیا زنجیره تأمین مطمئن برای تهیه اجزا و قطعات سیستم راه‌انداز در داخل کشور وجود دارد؟ آیا امکان تأمین در داخل کشور در حال حاضر یا طی ۵ سال آینده میسر خواهد بود؟ پیشنهاد شما برای ایجاد یک زنجیره تأمین مطمئن چیست؟

سوالات این پرسشنامه در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی با دسته‌بندی در ۵ دسته به شکل زیر، مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

۱) مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی سیستم‌های راه‌انداز (سوالات ۲ و ۳)

۲) مبحث جایگزینی سیستم‌های راه‌انداز موجود با SFC (سوال ۱)

۳) مبحث عمق ساخت داخل، میزان صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز مطلوب صنعت سیستم راه‌انداز تا سال ۱۴۰۵ (سوالات ۴ و ۵)

۴) مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم راه‌انداز (سوال ۶)

۵) مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم راه‌انداز (سوال ۷)

خبرگانی که در این حوزه با آن‌ها مصاحبه شد، مطابق زیر معرفی می‌شوند:

- دکتر بلوکات (نیروگاه ری)
- مهندس جلویان (شرکت بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاه صبا)
- مهندس سلیم‌پور (نیروگاه شهید سلیمی)
- مهندس قیطولی (شرکت کنترل قدرت پارس)
- مهندس قربانی (نیروگاه ری)

در انتها و پس از جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، خلاصه‌ای از اهداف و اقدامات فنی و غیرفنی ضروری در این حوزه ارائه خواهند شد.

۱-۷-۳- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی سیستم‌های راه‌انداز

۱-۱-۷-۳- دکتر بلوکات

بیشترین مشکلاتی که در این حوزه داریم ناشی از فرسودگی خود تجهیزات است. به عنوان مثال دیزل‌ها به نشتی می‌افتند یا سرسیلندرهای آن‌ها به مشکل می‌خورند. حتی ممکن است استارتینگ خود دیزل به مشکل بخورد. در سیستم‌های موتوری هم معمولاً مشکلات زیادی پیش نمی‌آید و همان‌طور که پیش‌تر عرض کردم طی سال‌های گذشته فقط یک مورد خرابی سیستم راه‌اندازی موتوری مشاهده کرده‌ایم.

یک پیشنهاد ساده برای کاهش نرخ خرابی این است که تجهیزات و قطعات یدکی داشته باشیم که اگر مشکلی پیش آمد بتوانیم آن را جایگزین قطعه یا تجهیز معیوب کنیم.

از آن‌جایی قدمت که واحدهای ما (مخصوصاً واحدهای نیروگاهی ری) حدود ۵۰ سال است، اگر هم قطعات و تجهیزات یدکی وجود داشته تا امروز مصرف شده و در حال حاضر قطعه یا تجهیز یدکی چندانی در نیروگاه‌ها موجود نیست. یک راه جایگزین می‌تواند تعویض راه‌اندازهای دیزلی با نمونه‌های جدیدتر است که بتوانیم پشتیبانی و قطعات یدکی آن راه هم داشته باشیم. راه دیگر هم این است که پروژه‌هایی برای شرکت‌های سازنده قطعات یدکی تعریف شود که شروع به ساخت این قطعات کنند.

۲-۱-۷-۳- مهندس جلویان

تریپ‌های سیستم‌های راه‌انداز در راه‌اندازی واحدهای V94.2 یا از نوع خطایی مثل گشتاور می‌آورند. اگر زمان راه‌اندازی از حد خاصی بیشتر باشد، تریپ می‌دهند که از نظر شخص من تریپ بدی نیست. یکی از نوع تریپ‌ها، تداخل بین سیستم تحریک SFC و DCS است. گاهاً مشاهده می‌شود که AP یا CPU سیستم خراب می‌شود و ارتباط بین آن‌ها از دست می‌رود. موردی نیز مشاهده شده که ترنسدیوسرها دچار اشکال شده‌اند. قطعاً خرابی سیستم SFC در راه‌اندازی بسیار کمتر از دیزل‌های راه‌انداز و حتی الکتروموتور خواهد بود.

در مقایسه سیستم‌های دیجیتال و آنالوگ، هزینه‌های خاموشی، خروج اضطراری و بازه تعمیرات در سیستم‌های دیجیتال پایین‌تر است. حال اگر بخواهیم زمان خروج یک SFC دیجیتال موجود را کاهش دهیم، راه پیشنهادی شخص من بومی‌سازی است. یعنی شرکت‌هایی مانند آهار یا مکو این‌ها را بسازند، قطعات داخلی داشته باشند و همچنین آموزش‌های لازم به نیروگاه داده شده باشد.

تعداد واحدهای نیروگاه‌ها معمولاً ۱ واحد نیست چون صرفه اقتصادی ندارد. معمولاً ۲، ۴ یا ۶ واحد نیروگاهی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در نتیجه به صرفه‌ترین حالت این است که برای ۴ یا ۶ واحد ۲ عدد SFC تهیه شود. این SFCها باید قابلیت راه‌اندازی هر ۴ یا هر ۶ واحد را داشته باشند و بتوان از آن‌ها به صورت رزرو استفاده کرد که اگر هر یک از این SFCها دچار مشکل شد، SFC رزرو بتواند تمام واحدها را راه‌اندازی کند. لازمه‌ی این اقدام خرید یک بریکر بیشتر برای برقراری ارتباط بین تجهیزات است. در صورت اجرای این طرح، ۶ راه‌انداز الکتروموتوری یا دیزلی حذف می‌شود و هر ۶ واحد با ۱ عدد SFC قابل راه‌اندازی هستند. ضمناً یک SFC به عنوان رزرو موجود است که اگر خرابی ایجاد شد، مشکلی پیش نیاید.

اگر دسترسی به SFC وجود نداشته باشد و مجبور باشیم از راه‌اندازهای دیزلی یا الکتروموتوری استفاده کنیم، ساده‌ترین راه برای کاهش مدت‌زمان تعمیرات و بازگشت سریع‌تر واحد به مدار، تأمین قطعات یدکی است. همچنین شناسایی نقاط ضعف دیزل‌های راه‌انداز، شناسایی افراد متخصص در نواحی نزدیک نیروگاه و تعمیر و نگهداری و سرویس به موقع راه‌اندازها ساده‌ترین کارهایی است که می‌توان انجام داد.

۳-۱-۷-۳- مهندس سلیم‌پور

واحدهای جدید معمولاً خرابی خاصی ندارند، اما طبق تجربه خودم در نیروگاه‌های مختلف مشکل اصلی این است که اطلاعات فنی سیستم به طور کامل در اختیار بهره‌بردار قرار نمی‌گیرد. اطلاعاتی که در اختیار بهره‌بردار قرار می‌گیرد اغلب بسیار عمومی و کلی هستند و شرکت سازنده یا نصاب از دادن اطلاعات جزئی به بهره‌بردار خودداری می‌کند. همین اتفاق منجر به بروز مشکل در نیروگاه‌ها می‌شود.

یکی از مشکلات فنی که در سیستم‌ها داریم، پیدانشدن برخی کارت‌های سیستم‌های ساخته‌شده توسط شرکت‌های مختلف (مانند زیمنس و ...) است. این مشکل در سال‌های آینده بیشتر هم برجسته خواهد شد. البته شاید برخی قطعات این سیستم‌ها در بازار آزاد پیدا شود، اما خود شرکت بعد از مدتی این قطعات را تأمین نمی‌کند.

در بسیاری از واحدها برای کاهش زمان تعمیرات و بازگشت سریع واحد به مدار راهکاری به این شکل اجرا می‌شود که از SFC به صورت تک استفاده نمی‌شود.

آموزش‌های مناسب و حرفه‌ای در کنار کسب تجربه عملی در کاهش زمان رفع خطا موثر است. معمولاً هنگام برگزاری دوره‌ها و آموزش‌های مربوطه، صحبتی از خطاهای عملی نمی‌شود و پرسنل در این حوزه هیچ اطلاعاتی کسب نمی‌کنند. حضور افرادی که سال‌ها با این سیستم‌ها درگیر بوده‌اند هم می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. اگر نیروگاه‌ها بتوانند اطلاعات و تجربیاتشان را با هم به اشتراک بگذارند هم بسیار خوب است.

۴-۱-۷-۳- مهندس قیطولی

خوشبختانه تا امروز ندیده‌ایم مشکل خاصی در سیستم‌های راه‌انداز وجود داشته باشند. البته بوده مواردی که در راه‌اندازی مشکلاتی داشته‌اند، اما بعد از واردشدن به مدار و حالت بهره‌برداری نرمال، من مشکلی در آن‌ها ندیده‌ام. شاید یک SFC در مدت ۳۰ سال حتی ۲۴ ساعت هم در مدار نبوده باشد. به همین دلیل خرابی چندانی ندارند.

یک پیشنهاد برای کاهش مدت‌زمان تعمیرات و بازگشت سریع‌تر واحد به مدار این است که متخصصینی در حوزه سیستم‌های SFC آموزش دهیم. البته در مپنا تعداد محدودی متخصص وجود دارد ولی طبیعتاً این نفرات محدود نمی‌توانند

جوابگوی رفع عیوب تمام نیروگاه‌های کشور باشند. وجود و تأمین قطعات یدکی هم می‌تواند به کاهش زمان رفع عیب کمک کند.

۵-۱-۷-۳- مهندس قربانی

استارترهای راه‌اندازهای دیزلی بسیار دچار مشکل می‌شوند که علت این است که زغال‌های مورد استفاده مناسب نیستند و اتصال بدنه بین کلکتور و بدنه خود راه‌انداز دیزل ایجاد می‌کنند. در حال حاضر زغال‌های بهتری از برند شینک تهیه می‌کنیم که چنین مشکلی ایجاد نشود. اگر بتوان این زغال‌ها را قبل از نصب روی سیستم راه‌انداز تست کرد، می‌توان از بروز بسیاری از این مشکلات پیشگیری کرد.

ما تا به حال به جز بخش زغال‌ها مشکلی در سیستم راه‌انداز نداشته‌ایم که نیاز به کاهش زمان تعمیر وجود داشته باشد.

۲-۷-۳- مبحث جایگزینی سیستم‌های راه‌انداز موجود با SFC

۱-۲-۷-۳- دکتر بلوکات

از آن‌جایی که سیستم‌های راه‌انداز ما در حال حاضر با چالش‌هایی مواجه هستند (به خصوص که ما در نیروگاه ری با دو نوع سیستم راه‌اندازی مواجه هستیم؛ یا موتوری هستند یا دیزل استارت)، به دلیل فرسودگی و عمر بالای بخش دیزل استارت و نبود تجهیزات (این نوع راه‌اندازها مربوط به حدود ۴۰-۵۰ سال قبل هستند و فناوری قدیمی به حساب می‌آیند)، یکی از نقاط بحرانی ما همین راه‌اندازی‌ها برای واحدهای مجهز به دیزل استارت است. کمبود قطعه و فرسودگی تجهیزات و مسائل این چنینی سبب تریپ‌های مکرر در واحدهای نیروگاهی ما شده‌اند. طبیعتاً اگر این راه‌اندازها با واحدهای نوین مانند SFC جایگزین شوند، بسیاری از چالش‌ها کمتر خواهند شد. ضمن اینکه بحث‌های مکانیکی موجود در راه‌اندازی (سیستم‌های راه‌انداز ما به این صورت هستند که یک راه‌انداز اولیه وجود دارد که می‌تواند الکتروموتور یا دیزل باشد و گشتاور حاصل به صورت نرم از طریق دستگاهی به نام مبدل گشتاور به روتور توربین منتقل می‌شود. این مبدل گشتاور نیز جزو المان‌های حیاتی توربین است و اگر دچار خرابی یا اشکال شود، راه‌اندازی واحد را دچار مشکل می‌کند. ما در سالیان اخیر پیش آمده که در مبدل‌های گشتاور دچار مشکلات عدیده شده‌ایم.

لذا با جایگزینی راه‌اندازهای فعلی با SFC کاملاً موافق هستم.

در کل به نظر می‌رسد جایگزینی در سیستم‌های تحریک استاتیک ساده‌تر است. الان هم بیشتر مشکل‌های راه‌اندازی ما در واحدهایی است که سیستم‌های تحریک استاتیک دارند. واحدهایی که سیستم‌های تحریک دینامیک دارند، موتور استارت هستند و با توجه به سرویس‌های دوره‌ای که انجام می‌شوند، فکر می‌کنم در سالیان اخیر فقط یک مورد مشکل در راه‌اندازی این واحدها مشاهده شده است. دلیل آن هم این بوده رسیدگی‌های کامل در مورد موتور راه‌انداز صورت نگرفته بوده است.

می‌توان یکی از واحدهای مجهز به سیستم استاتیک را به عنوان پایلوت انتخاب کرد و طرح جایگزینی با SFC را روی آن اجرا نمود. در صورتی که موفقیت‌آمیز بود، می‌توان این طرح را روی واحدهای دیگر هم پیاده کرد.

۲-۲-۷-۳- مهندس جلویان

از نظر من SFC قطعاً بهتر از راه‌انداز الکتروموتوری و دیزلی است.

واحدهای زیادی به خصوصی واحدهای GE یا واحدهای قدیمی‌تر یا واحدهای کوچک، دارای سیستم راه‌انداز الکتروموتوری یا دیزلی هستند. از نظر من مطلوب است که به SFC تبدیل شوند. اما یکی از مشکلات صنعت فعلاً اقتصاد است و برای تأمین هزینه این تبدیل، مشکل دارند.

در بحث جایگزینی این‌که تحریک دینامیک یا استاتیک باشد، مشکلی ایجاد نمی‌کند. SFC از سیستم تحریک استقلال نسبی دارد. یک سری سیگنال از جریان تحریک می‌گیرد و به ژنراتور تحویل می‌دهد.

۳-۲-۷-۳- مهندس سلیم‌پور

تقریباً تمام واحدهای گازی که به تازگی راه‌اندازی شده‌اند (حدود ۱۵ سال اخیر) به سیستم راه‌انداز استاتیک مجهز هستند. در نیروگاه‌های قدیمی مانند سیستم GE موجود در نیروگاه شهید رجایی، سیستم راه‌انداز به صورت الکتروموتوری است، اما اکثر نیروگاه‌های جدید با ظرفیت بیش از ۱۰۰ مگاوات به سیستم راه‌انداز از نوع SFC مجهز هستند.

در واحدهای مجهز به راه‌انداز الکتروموتوری، پتانسیل جایگزینی با سیستم SFC وجود دارد، فقط از نظر چیدمان الکتریکی باید بررسی‌هایی صورت گیرد. به عنوان مثال نیروگاه نکا که از سال ۶۸ مورد بهره‌برداری قرار گرفته به سیستم‌های SFC ساخت شرکت AEG مجهز است.

من خودم در ۹۰ درصد نیروگاه‌هایی که از آن‌ها بازدید داشته‌ام، سیستم راه‌انداز SFC دیده‌ام. به طبع مشکلاتی دارند. شاید یکی از دلایل اصلی این باشد که دانش کار با تجهیزات از طرف سازنده و نصاب به بهره‌بردار انتقال پیدا نمی‌کند. داریم سیستم‌هایی که به تازگی نصب می‌شوند و متأسفانه برخی اطلاعات نرم‌افزاری یا بهره‌برداری بسیار جزئی به بهره‌بردار منتقل می‌شوند.

در جایگزینی یک تجهیز، یکی از نکات حائز اهمیت این است که سیستم جدیدتر کاربرپسند باشند. همچنین ایجاد استقلال برای نیروگاه از شرکت‌های بیرونی برای راحتی کار نکته قابل توجه و مهمی است. در کشور ما یکی از مشکلاتی که در حوزه سیستم‌های راه‌انداز (اعم از SFC یا الکتروموتوری) وجود دارد، این است که برای یک تجهیز خاص یک سیستم راه‌انداز به خصوص ساخته می‌شود و در صورت نیاز، قطعات آن به سختی پیدا می‌شوند. به همین دلیل در صورت بروز مشکل، باید دوباره به طور خاص سفارشی به سازنده فرستاده شود تا قطعه یا تجهیز مربوطه را برای نیروگاه تهیه کند. مثلاً کارت‌های الکترونیکی راه‌انداز زیمنس به راحتی در بازار یافت می‌شود. ولی راه‌اندازهایی که سفارشی ساخته می‌شوند، معمولاً باعث ایجاد مشکل برای نیروگاه‌ها می‌شوند.

فکر می‌کنم اگر طرح جایگزینی از نیروگاه‌های مجهز به سیستم راه‌انداز دیزلی آغاز شود، بهتر و ساده‌تر باشد، چون راه‌اندازهای القایی یک موتور دارند و یک سری سیستم هیدرولیک. اما راه‌اندازهای دیزلی استهلاک بیشتری هم دارند.

به طور کلی اگر بنا بر تعویض سیستم راه‌انداز است، باید سیستم تحریک را هم در کنار آن دید. ممکن است لزوماً نیاز به تعویض سیستم تحریک نباشد، اما نمی‌توان بدون در نظر گرفتن سیستم تحریک، سیستم راه‌انداز را تغییر داد. معمولاً پیشنهاد شرکت‌های فعال در این حوزه این است که سیستم‌های تحریک و راه‌انداز با هم طراحی و نصب شوند. ما تجربه‌ای داشتیم که کارت‌های سیستم راه‌انداز در بازار پیدا نمی‌شد. دو سناریو پیش روی ما بود. یک سناریو این‌که سیستم را به‌روزرسانی کنیم و سناریوی دوم این‌که از شرکت‌هایی دعوت کنیم این کارت‌ها را برای ما بسازند. یکی از شرکت‌های که دعوت کردیم، شرکت آهار بود. این شرکت در مهندسی معکوس توانایی خوبی دارند. پیشنهاد اول ما به آن‌ها این بود که سیستم تحریک را نگه داریم و سیستم تغذیه و قدرت SFC را هم نگه داریم، باقی آن را در سیستم کنترل پیاده‌سازی و حل کنیم. در مجموع بعد از مطالعات و بررسی‌هایی که انجام شد، برای خود شرکت آهار به صرفه و ساده‌تر بود که سیستم تحریک و SFC جدیدی به جای سیستم‌های ما بسازند و نصب کنند. با مپنا هم مذاکراتی داشتیم و آن‌ها هم به همین سناریو رسیدند.

به طور کلی پیداکردن قطعات در برخی موارد بسیار دشوار است. ما موردی داشتیم که سیستم راه‌انداز به دلیل پیدانشدن قطعات به مدت ۱ سال و نیم از مدار خارج بود. اما وضعیت در سیستم‌های جدید بهتر است. مثلاً سیستم‌های جدیدتر زیمنس وضعیت بهتری دارند.

۴-۲-۷-۳- مهندس قیطولی

از سال ۱۳۸۰ هر نیروگاه گازی احداث شده، مجهز به سیستم راه‌انداز SFC بوده است. من فکر می‌کنم بالای ۸۰ درصد نیروگاه‌های کشور نیروگاه درایو استاتیکی دارند.

با جایگزینی سیستم‌های موجود با SFC موافق نیستم چون یکی از بزرگترین مزیت‌های سیستم‌های راه‌انداز دیزلی استفاده از آن‌ها در زمان blackout است. اگر این نیروگاه‌ها هم با SFC جایگزین شوند، در زمان blackout با مشکل مواجه خواهیم شد. همچنین تعمیرات و نگهداری ماشین‌هایی که به این نوع راه‌اندازها کوپل می‌شوند به مراتب ساده‌تر از سیستم‌های SFC است.

از سویی دیگر ما دانش تعمیرات و نگهداری سیستم‌های دیزلی و الکتروموتوری را داریم، اما دانش SFC را نداریم. رک عرض کنم که الان یکی از مشکلات ما در کشور این است که اگر مشکلی برای سیستم‌های SFC رخ دهد، افراد خبره و کاربلد در این حوزه نداریم. اگر راه‌انداز دچار مشکل شود، کل واحد از دست می‌رود.

۵-۲-۷-۳- مهندس قربانی

با توجه به شرایط خاص و استراتژیکی که نیروگاه ری دارد و به عنوان Black Start مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین لزوم دادن برق به SFC برای راه‌اندازی، لذا در این نیروگاه عملاً امکان جایگزینی وجود ندارد.

۳-۷-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم راه‌انداز تا سال ۱۴۰۵

۱-۳-۷-۳- دکتر بلوکات

ما در مبدل‌های گشتاور ساخت داخل داشته‌ایم و توانایی ساخت آن وجود دارد.

در زمینه سیستم‌های راه‌انداز در قسمت الکتروموتور حدوداً ۱۰۰ هستیم. شرکت‌هایی مانند جمکو، توربوژنراتور شاهرود و یا حتی فن‌ژنراتور توانایی ساخت دارند. البته ساخت موتورهای مشابه نمونه‌های خارجی و نه طراحی صد در صد موتور از نقطه‌ی صفر. در زمینه دیزل هم در زمینه ساخت تجهیزات جانبی (سرسیلندرها، میل‌لنگ‌ها و ...) اگر پروژه‌ای تعریف شود، بسیار بهتر خواهد بود. به نظر من در این موارد مشکلات خاصی نداریم.

در زمینه مبدل گشتاور هم ۱۰۰ هستیم. اما در حوزه تجهیزات جانبی مانند کلاچ، تولید داخلی نداریم و عملاً صفر هستیم. در این زمینه صرف ندارد که وقت بگذاریم. لذا بهتر است روی بخش‌های دیگر از جمله الکتروموتور، تجهیزات جانبی راه‌انداز دیزلی و مبدل گشتاور متمرکز شویم. البته راه دیگر هم این است که راه‌اندازهای دیزلی را کلاً تعویض کرده و از راه‌اندازهای جدیدتر استفاده کنیم. به عنوان مثال شرکت نیرو مکانیک آسیا در زمینه مبدل گشتاور کارهای باکیفیت و خوبی را انجام می‌دهند.

هم از نظر تغییر تکنولوژی، هم از نظر تأمین و هم از نظر سیاست‌گذاری صنعت برق باید توجه ویژه‌ای به سیستم راه‌انداز شود. در گذشته به عنوان یک تجهیز جانبی به سیستم راه‌انداز نگاه می‌شد که مدت بسیار کوتاهی در مدار می‌آید. اما امروزه سیستم راه‌انداز به یک بخش حیاتی در نیروگاه‌ها (به خصوص نیمی از نیروگاه‌های کشور که قدمت‌دار هستند) تبدیل شده است. به عنوان مثال در زمینه توربین‌ها چنین تغییر سیاستی اتفاق افتاد و نتیجه این شد که به نقطه‌ای رسیدیم که حالا نه تنها قادر به تأمین قطعات با کیفیت برای نیروگاه‌های داخلی هستیم، بلکه به کشورهایی مانند عراق صادرات هم داریم. در زمینه سیستم راه‌انداز هم اگر این تغییر سیاست اتفاق بیفتد، به نظر من تا ۱۰ سال آینده احتمالاً ۱۰ تا ۱۵ کشور خواهیم داشت که بتوانند در بخش‌های مختلف سیستم راه‌انداز اعم از بخش کنترل، بخش الکتریک و بخش مکانیک بتوانند حرفی برای گفتن داشته باشند.

۲-۳-۷-۳- مهندس جلویان

در مورد عمق ساخت داخل ابتدا به صورت خیلی ساده می‌گویم: کامل است. حالا ممکن است بپرسید که آیا تریستور در داخل کشور ساخته می‌شود؟ یا PLC زیمنس در داخل کشور ساخته می‌شود؟ در این نقطه باید پاسخ دهم که لزومی ندارد هر سازنده‌ای، همه چیز را خودش بسازد؛

به اعتقاد من عمق ساخت داخل سیستم‌های راه‌انداز ۱۰۰ است. حتی خود زیمنس هم تمام قطعاتش را نمی‌سازد. اما اگر بخواهیم با جزئیات بحث کنیم، به عنوان مثال تریستور باید از چین یا اروپای غربی وارد شود، ولی بخش‌های کنترلی تماماً در داخل ساخته می‌شوند. شرکت‌های آهار و مکو این توانایی را دارند، می‌سازند و به چند نیروگاه نیز محصولاتی ارائه کرده‌اند.

در حال حاضر با حدود ۵ میلیارد تومن یک SFC ساخته می‌شود. قیمت نمونه مشابه خارجی باید به طور دقیق استخراج شود، اما من ادعا می‌کنم که در صورت ساخت داخل قطعاً صرفه‌جویی اقتصادی مناسبی اتفاق می‌افتد. همچنین برای این محصول بازار بسیار خوبی در خارج از کشور وجود دارد. اگر شرکتی توانایی ساخت SFC داشته باشد به این معناست که سیکلوکانورترها، که یکی از دغدغه‌های مهم حال حاضر کشور ما برای پمپ‌های تغذیه‌کننده بویلرها، فن‌های ACC، پمپ‌های CW و ... به شمار می‌روند، نیز توسط آن شرکت قابل تأمین هستند. چنین توانایی باعث ارزآوری قابل توجهی برای کشور خواهد شد.

سیستم‌ها به قدری قدرتمند شده‌اند که در زمینه سیستم‌های راه‌انداز، کاهش چندصد میلی‌ثانیه‌ای سرعت پاسخ تأثیر چندان قابل توجهی ندارد و در صورت حصول چنین ویژگی برای یک SFC، نمی‌توان از آن به عنوان یک دستاورد بزرگ و مهم یاد کرد. اما به نظر من حالا که توان ساخت داخل این محصول وجود دارد، می‌توانیم به توسعه آن در سایر صنایع مانند نفت و گاز، پتروشیمی، افزایش قدرت، توسعه به VFD و موارد این چنینی فکر کنیم.

۳-۳-۷-۳- مهندس سلیم‌پور

اگر منظور از ساخت داخل شرکتی مثل مپناست، سیستم‌های این شرکت یا ABB است یا زیمنس. البته در حال کار روی سیستم تحریک و SFC مخصوص به خود هم هستند. اطلاعی ندارم که به نتیجه رسیده‌اند یا خیر.

به نظر من در سیستم تحریک شرکت‌های مانند آهار و مپنا حدود ۹۰ درصد پیشرفت داشته‌اند. در زمینه سیستم‌های راه‌انداز آهار در حد مطالعاتی بوده است. به نظر من شاید در حد ۱۰ الی ۲۰، اما باید دید وقتی پروژه‌ای شروع می‌شود به کجا می‌رسند و چقدر از دانش کسب‌شده مطالعاتی قابل پیاده‌سازی عملی است.

به نظر من پروژه‌ای مثل سیستم راه‌انداز، آن‌چنان پروژه فناوری بالایی نیست. بیشتر لاجیکی، کنترل و الکترونیکی است و سیستم بسیار پیشرفته‌ای ندارد. فقط باید سرمایه‌گذاری خوبی در این زمینه صورت گیرد. در حال حاضر سیستم تحریک توسط شرکت آهار ساخته و نصب می‌شود. دانش اصلی حاصل شده است. شاید زودتر از ۱۴۰۵ هم به نقطه‌ی ۱۰۰ درصد برسند، فقط باید از آن‌ها خواسته شود.

در حال حاضر به دلیل پیدانشدن قطعات سیستم‌های تحریک موجود و مشکلاتی که با آن دست به گریبان هستیم، دو راه پیش رو داریم. یک راه این‌که سیستم را تعویض کنیم. راه دوم هم این است که شرکتی این قطعات را بسازد. به نظر من اگر چنین اتفاقی بیفتد، چیزی در حدود نصف قیمت لازم برای تهیه سیستم یا قطعات از خارج کشور تمام خواهد شد.

به نظر من شاید خیلی زودتر از این ۵ سال بتوانیم به بومی‌سازی کامل برسیم تا کمک‌حال نیروگاه‌ها شوند. به عنوان مثال ما با شرکت آهار صحبت‌هایی کرده‌ایم و اعلام آمادگی هم کرده‌اند.

یکی از بحث‌هایی که برای شخص من بسیار مهم است، امکان تأمین قطعات مربوط به سیستم‌های تحریک است. همچنین خدمات پس از فروش مناسب همیشه از دغدغه‌های اصلی من بوده. خیلی مهم است که شرکت‌های فعال در این حوزه دانش و نقشه‌های فنی تجهیزاتشان را در اختیار بهره‌بردار و خریدار بگذارند.

اگر سیستم تحریک و راه‌اندازی در یک نیروگاه نصب شد، انتظار این است که ۳۰ الی ۴۰ سال بدون اشکال اساسی کار کند. ما در کشور واحدی داریم که از سال ۵۸ با سیستم راه‌انداز اولیه‌اش کار می‌کند. به همین دلیل لازم است اگر شرکتی در این حوزه فعالیت کرد، نگاهی بلندمدت همراه با خدمات پس از فروش مناسب داشته باشد.

۴-۳-۷-۳- مهندس قیطولی

متأسفانه در حوزه SFC به اندازه سیستم تحریک جلو نیستیم و من شرکت خاصی را نمی‌شناسم که پیشرفت چندانی در این زمینه داشته باشد. به نظر من عمق ساخت داخل سیستم‌های راه‌انداز SFC در ایران زیر ۱۰ درصد است. البته دانش فنی خیلی پیچیده و عجیبی ندارد که نتوانیم آن را کسب کنم، اما پیشرفت در این زمینه نیاز به تجربه عملی و میدانی هم دارد.

سیستم راه‌انداز یک ماشین ۲۰۰ مگاولت‌آمپر چیزی حدود ۳۵۰ هزار یورو تمام می‌شود. فرض کنید اگر برای یک نیروگاه ۶ واحدی از ۲ راه‌انداز استفاده شود، در صورت استفاده از نمونه‌های داخلی می‌توان چیزی در حدود ۷۰۰ هزار یورو صرفه‌جویی ارزی کرد.

متأسفانه من در این حوزه چشم‌اندازی نمی‌بینم. البته کارهایی در حال انجام است، اما به نظرم به حد رسیدن به راه‌اندازهای نیروگاه‌ها نخواهد رسید. البته باید صبر کرد و دید مکو به کجا می‌رسد.

۵-۳-۷-۳- مهندس قربانی

من شرکت داخلی خاصی را در این زمینه نمی‌شناسم. شاید چنین شرکتی وجود داشته باشد، اما بنده اطلاع و شناختی ندارم. اگر از شرکت‌های دانش‌بنیان حمایت شود، قطعاً می‌توانند به پیشرفت خوبی در این زمینه برسند.

اگر شرکت‌های دانش‌بنیان در راستای مشابه‌سازی و ساخت قطعات یدک برای واحدهای فعال و فرسوده تلاش کنند، می‌تواند مطلوب باشد.

٤-۷-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم راه‌انداز

۱-۴-۷-۳- دکتر بلوکات

اگر بخواهیم SFC اجرا کنیم بحث متفاوتی است، اما اگر بخواهیم تجهیزات یدکی تهیه کنیم، باید مشابه نمونه‌ی موجود خرید کنیم. به عنوان مثال الکتروموتورها و دیزل‌ها مشخصات نامی روی پلاک خود دارند که اگر بنا بر خرید یک موتور یا دیزل یدکی باشد، باید مشابه مشخصات موجود خرید انجام داد. برای سیستم مبدل گشتاور هم تأمین تجهیز یدکی وجود ندارد و باید شروع به ساختن از طریق مهندسی معکوس کنیم.

سیستم‌های ما معمولاً به صورت Over Design طراحی شده‌اند و از حد مورد نیاز بالاتر هم هستند. به نظر من با همین شرایط موجود می‌توان راه‌اندازی را بدون مشکل انجام داد. فقط در مواقع خرابی و آن هم به دلیل نبود تجهیز یا قطعات یدکی، با مشکل مواجه می‌شویم. بیشتر نگرانی ما به همین بخش مربوط می‌شود. از آن‌جایی که سیستم‌های ما قدیمی هستند و همه چیز با هم تنظیم شده است، اگر به عنوان مثل سیستم راه‌انداز راه نوسازی کنیم و سیستم کنترل را بدون تغییر بگذاریم، چالش جدیدی ایجاد می‌شود. اگر بنا بر نوسازی باشد، باید تمام بخش‌ها نوسازی شوند. با تغییر تکنولوژی بسیاری از نگرانی‌ها و مشکلات ما بسیار کم خواهد شد.

۲-۴-۷-۳- مهندس جلویان

کیفیت ساخت، تست‌هایی که باید پاس کند، میزان هارمونیکی که تولید می‌کند، کیفیت قطعات (تریستورها، مدارها، فیلترها و سیستم کنترل)، میزان کاربرپسند بودن و میزان یکپارچه بودن بسیار حائز اهمیت هستند. در مورد یکپارچه بودن، منظور این است که به عنوان مثال زیمنس و GE تفاوت‌هایی دارند، از جمله این‌که GE معمولاً سعی می‌کند تجهیزات را به صورت یکپارچه و فشرده ارائه کند، به طوری که محصول در یک تابلو، با یک نرم‌افزار، با یک لپتاپ و با کارکرد یک نفر نیروی انسانی قابل بهره‌برداری باشد. اما زیمنس علاقه‌ای به این سیستم ندارد. از طرفی پایداری سیستم‌های زیمنس معمولاً بهتر است.

سازگاری با استاندارد IEC 61850 است. البته در اروپا و آمریکا الزام است که محصولات سازنده‌ها باید سازگاری لازم با انواع محصولات را داشته باشند، اما در عمل چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد. گاهاً دیده می‌شود که SFC شرکت زیمنس خریده می‌شود، اما با DCS شرکت ABB سازگاری ندارد. به همین دلیل استاندارد IEC 61850 بسیار مهم است.

۳-۴-۷-۳- مهندس سلیم‌پور

ما همین الان در خرید برخی قطعات مشکل داریم. بنابراین اگر نیاز به خرید قطعه‌ای باشد، باید به بازار آزاد مراجعه کنیم. بازار آزاد هم به گونه‌ای است که اطمینانی در مورد مشخصات فنی و کیفیت آن قطعه وجود ندارد. موردی داشتیم که در بازار آزاد یک کارت کارکرده‌ی بسیار تمیز و در حد نو را به عنوان کارت آکبند و نو به ما فروخته بودند.

در حال حاضر سیستم‌های ساخته‌شده توسط شرکت زیمنس در ۱۰ سال اخیر از منظر مدار و سیستم قدرت هیچ تغییری نکرده‌اند. در این سیستم‌ها، فقط روی بخش کنترل کار شده است. مزیت نسخه‌های جدید این است که کارت‌های الکترونیکی واسط کمتر شده و بیشتر لاجیک‌ها به صورت نرم‌افزاری پیاده‌سازی شده‌اند. مزیت دیگر نمونه‌های جدیدتر این است که مثلاً PLCهای S7 مورد استفاده در آن‌ها، در ایران به سادگی قابل تأمین هستند.

۴-۴-۷-۳- مهندس قیطولی

الزامات فنی خاصی هم در حوزه سیستم‌های راه‌انداز مطرح نیست. طبیعتاً داشتن سیستم عیب‌یابی و مانیتورینگ بهتر، یک مزیت محسوب می‌شود. در عین حال پیچیدگی بیش از حد سیستم هم عیب محسوب می‌شود. سیستم باید قابلیت اطمینان خود را در صنعت ثابت کرده باشد.

۵-۴-۷-۳- مهندس قربانی

در رابطه با این پرسش تخصص و اطلاع خاصی ندارم.

۵-۷-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم راه‌انداز

۱-۵-۷-۳- دکتر بلوکات

بحث ارزیابی کیفیی تأمین‌کنندگان در بخش‌ها مختلف توسط برق حرارتی در حال انجام است. از آن طریق می‌توان یک زنجیره تأمین ایجاد کرد. چه در بخش‌های مکانیکی، چه بخش‌های الکتریکی و چه بخش‌های کنترلی. در این حوزه می‌توان اسنادی را تهیه کرد. هم از جهت تغییر تکنولوژی و هم از جهت تعمیرات، ارزیابی‌هایی در حال انجام است. اگر سیاست‌گذاری خوبی داشته باشیم و اگر مطالعات انجام‌شده به صنعت منعکس شود، چشم‌انداز خوبی خواهد داشت.

۲-۵-۷-۳- مهندس جلویان

از نظر من زنجیره تأمین مناسبی در داخل کشور داریم. لزومی ندارد همه چیز را خودمان بسازیم. هر کشوری باید سراغ ساخت محصولی برود که مزیت رقابتی در آن وجود داشته باشد.

با این وجود در حال حاضر در صنعت نیروگاهی این زنجیره تأمین حتی با وجود شرایط تحریم، وجود دارد. البته که دشواری‌ها بیشتر است و گاهی هزینه‌ها هم بیشتر می‌شود، اما غیرممکن نیست. حتی قطعات آمریکایی هم قابل تأمین هستند، اما با قیمت بیشتری وارد می‌شوند.

از نظر من نیاز نیست n سازنده‌ی داخلی را حمایت کنیم. همان‌طور که در آلمان یک شرکت زیمنس، در ژاپن دو شرکت میتسوبیشی و هیتاچی و در فرانسه یک شرکت آلستوم قدرت اقتصادی در این حوزه دارند، در ایران هم شرکت‌هایی مثل مکو و آهار کفایت می‌کنند. این شرکت‌ها توانمندی لازم برای تأمین قطعات و تجهیزات موردنیاز را دارند، هر چند که برخی قطعات مانند تریستورها را از خارج کشور وارد می‌کنند.

۳-۵-۷-۳- مهندس سلیم‌پور

به عنوان مثال در سیستم‌های زیمادین زیمنس، کارت‌های کنترلی دیگر تولید نمی‌شوند. البته شاید این قطعات در بازار آزاد هم پیدا شوند، اما برای یک نیروگاه بسیار مهم است که قطعات مختلف را از خود سازنده تهیه کند. قطعات یدکی به این صورت هستند که ابتدا تست نمی‌شوند و بعد به انبار منتقل شوند. این قطعات پس از خریداری یک راست به انبار انتقال می‌یابد و شاید ۱۰ سال هم مورد استفاده قرار نگیرند. بنابراین نمی‌توان ریسک خرید قطعات از بازار آزاد را پذیرفت.

بیشتر مشکل‌های موجود در حوزه SFC مربوط به تأمین کارت‌های کنترلی و الکترونیکی است، اما کارت‌های الکترونیکی و کنترلی فقط در SFC کاربرد دارند.

اگر هر نیروگاهی بخواهد مجزا قطعات مورد نیازش را تأمین کند، شاید کارش بسیار سخت‌تر شود. اگر سیستمی وجود داشته باشد که نیروگاه‌های با تیپ‌های مشابه را شناسایی کند و به صورت جمعی قطعات مورد نیاز را برای آن‌ها تأمین کند، بهتر و ساده‌تر خواهد بود. مثلاً شرکت مادر تخصصی برق حرارتی از نیروگاه‌های مجهز به یک تیپ خاص سیستم راه‌انداز بخواهد که کارت‌های مورد نیاز خود را لیست کنند و به صورت جمعی و یک جا آن‌ها را تأمین نماید.

همچنین شاید بد نباشد اگر یک سیستم SFC زیمادین پایلوت یا شبیه‌ساز ایجاد شود که کارت‌ها روی آن مورد آزمایش قرار بگیرند. کارت‌هایی که در این سیستم‌ها استفاده می‌شوند، باید پروگرام شده باشد. تست کردن آن‌ها می‌تواند به حصول اطمینان از صحت برنامه موجود روی آن کارت کمک کند. همچنین برای سیستم‌های راه‌انداز برندهای مختلف می‌توان چنین شبیه‌سازی را ایجاد کرد.

حتی نیاز به شبیه‌ساز هم نیست. می‌توان یک نیروگاه را به عنوان نیروگاه پایلوت در نظر گرفت و تست‌های لازم را انجام داد.

البته کارت‌های سیستم راه‌انداز در صورت وجود خرابی، برای واحد خیلی خطرناک نیستند. کارت‌های دیگری از جمله کارت‌های توربین که بسیار واحد را درگیر می‌کند، از اهمیت بسیار بیشتری برخوردارند. به طور کلی ایجاد نظامی برای تست هر نوعی از این کارت‌ها بسیار مفید خواهد بود.

۴-۵-۷-۳- مهندس قیطولی

زنجیره تأمین خوبی در داخل کشور وجود ندارد. نمونه‌های الکتریکی که در داخل قابل تولید نیستند و واردکردن اجزا و قطعات مورد نیاز از خارج کشور هم دشوار و بعضاً غیرممکن است. تنها راه پیش روی نیروگاه این است که هنگام خرید سیستم برای اولین بار، قطعات یدکی اضافه‌ای از سازنده بگیرد و در انبار داشته باشد تا در صورت بروز مشکل بتواند آن‌ها را جایگزین قطعه معیوب نماید.

۵-۵-۷-۳- مهندس قربانی

زنجیره تأمین مناسبی وجود ندارد. به عنوان مثال ما قطعاتی با سن ۲۰-۳۰ سال داریم که آسیب دیده‌اند و مجبوریم آن‌ها را برای تعمیر ببریم.

حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان برای ایجاد این زنجیره تأمین مطمئن بسیار مفید خواهد بود. همچنین داشتن قطعات یدکی می‌تواند راهکار خوبی باشد.

۶-۷-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی

با جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اهداف کلان در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی در موارد زیر قابل خلاصه‌سازی هستند:

- توسعه به کارگیری سیستم‌های راه‌انداز دیجیتال

- نظام‌مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل
- کاهش تریپ و نرخ خرابی
- بومی‌سازی فناوری ساخت SFC

۳-۷-۷- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی

با توجه به اهداف تعریف‌شده برای صنعت سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی و همچنین جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اقدامات لازم جهت نیل به این اهداف در دو دسته اقدامات فنی و غیرفنی قابل ارائه هستند که در این زیربخش ارائه خواهند شد.

۱-۷-۷-۳- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاهی

مهم‌ترین اقدامات فنی لازم در حوزه ژنراتورهای نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- مطالعه و شناسایی نقاط ضعف راه‌اندازهای دیزلی و تعریف پروژه جهت رفع مشکلات استاترتینگ راه‌اندازهای دیزلی، نشتی دیزل، زغال‌های بی کیفیت و ... و تأمین قطعات یدکی دیزل‌ها
- مطالعه و شناسایی مشکلات مبدل گشتاور و تعریف پروژه جهت رفع مسائلی از قبیل جداشدن فک، کلاچ و فرسودگی آن‌ها و تأمین قطعات یدکی
- مطالعات امکان‌سنجی جایگزینی راه‌اندازهای دیزلی و الکتروموتوری با SFC و تهیه طرح توجیه فنی و اقتصادی
- شناسایی و امکان‌سنجی جایگزینی راه‌اندازهای الکترونیک با دیجیتال
- تدوین حداقل مشخصات فنی خرید سیستم‌های راه‌انداز نظیر تست‌های پاس‌شده، میزان هارمونیک تولیدی، کیفیت قطعات (تریستورها، مدارها، فیلترها و سیستم کنترل)، میزان کاربرپسند بودن و میزان یکپارچه بودن، غیرسفارشی نظیر سیستم‌های زیمنس به منظور تأمین آسان‌تر قطعات یدکی کیفیت ساخت
- ساخت شبیه‌ساز و یا انتخاب یک نیروگاه پایلوت جهت تست عملکرد کارت‌های خریداری‌شده برای SFC به منظور جلوگیری از خرید و نصب کارت های تقلبی

۲-۷-۷-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های راه‌انداز نیروگاه

مهم‌ترین اقدامات غیرفنی لازم در حوزه ژنراتورهای نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- ایجاد الزام برای مدیران نیروگاه جهت انجام سرویس‌های دوره‌ای مطابق دستورالعمل‌های ابلاغی
- تدوین دستورالعمل و برنامه سرویس و نگهداری به موقع راه‌اندازهای دیزلی و الکتروموتوری و SFCها
- ایجاد الزام برای خرید قطعات یدکی سیستم راه‌انداز در زمان خرید اولیه تجهیز
- ایجاد دیتابیس جامع از قطعات یدکی انواع سیستم‌های راه‌انداز موجود در انبار و الزام به وجود همیشگی قطعه یدکی
- برگزاری کلاس‌های آموزشی و تعلیم کارشناسان متخصص عیب‌یابی و تعمیرات سیستم‌های SFC
- الزام شرکت‌های سازنده سیستم راه‌انداز به در اختیار گذاشتن اطلاعات جامع نرم‌افزاری و بهره‌برداری و نقشه‌های فنی از تجهیز خریداری‌شده در قالب شروط قراردادهای خرید تجهیزات و ایجاد استقلال برای نیروگاه از شرکت‌های بیرونی، همچنین تعهد برای خدمات پس از فروش مناسب به میزان حداقل ۳۰ سال
- حمایت از شرکت‌های سازنده داخلی جهت ساخت SFC و تأمین قطعات یدکی نظیر کارت‌های الکترونیکی کنترلی

۳-۸- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی

در این بخش ابتدا به ارائه مصاحبه‌های انجام‌شده با خبرگان حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی پرداخته خواهد شد. این مصاحبه‌ها در قالب یک پرسشنامه و به صورت جلسات آنلاین برگزار شدند. سوالات موجود در پرسشنامه سیستم‌های تحریک به قرار زیر بودند:

۱) شایع‌ترین علت تریپ و خرابی در سیستم‌های تحریک موجود چه مواردی هستند؟ پیشنهاد شما برای کاهش نرخ خرابی چیست؟
۲) با توجه به اینکه عیب‌یابی سریع و کاهش زمان رفع عیب در واحدهای تحت بهره‌برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، پیشنهاد شما برای کاهش زمان تعمیر و بازگشت سریع‌تر واحد به مدار چیست؟
۳) انجام چه اقداماتی را برای کاهش مدت‌زمان بین سرویس‌های دوره‌ای پیشنهاد می‌کنید؟
۴) عمق ساخت داخل در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی چقدر برآورد می‌شود؟ تا سال ۱۴۰۵ چقدر قابل افزایش است؟
۵) به نظر شما میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی از ساخت سیستم‌های تحریک ژنراتور در داخل کشور چه میزان است؟ میزان صادرات ارزی چقدر می‌تواند باشد؟
۶) آیا با جایگزینی سیستم تحریک دینامیک یک واحد نیروگاهی به دلیل فرسودگی یا پاسخ کند با سیستم تحریک استاتیک موافق هستید؟ بهتر است چه تعداد از سیستم‌های تحریک دینامیک موجود با نمونه استاتیک جایگزین شوند؟ آیا ظرفیت این کار در داخل کشور موجود است؟
۷) به نظر شما در صورت خرید خارجی یا داخلی سیستم تحریک استاتیک (برای جایگزینی با سیستم‌های دینامیک یا احداث واحد جدید) چه فاکتورهای فنی باید مد نظر قرار بگیرند تا سیستم قابلیت اطمینان قابل قبولی داشته باشد؟
۸) آیا زنجیره تأمین مطمئنی برای تهیه اجزا و قطعات سیستم تحریک (سنسورها، کارت دیود مانیتورینگ، کارت اسکنر و غیره) در صورت خرابی وجود دارد؟ آیا امکان تأمین در داخل کشور وجود دارد؟ اگر خیر آیا تأمین داخلی این قطعات تا سال ۱۴۰۵ میسر می‌شود؟ اصلاً نیاز به ایجاد چنین زنجیره تأمینی به شکل ساخت داخل وجود دارد؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، پیشنهاد شما برای ایجاد چنین زنجیره تأمین مطمئنی چیست؟
۹) به نظر شما چشم‌انداز مطلوب برای سیستم تحریک از منظر توسعه فناوری، توسعه بازار، عمر و غیره در ۵ سال آینده چیست؟

سوالات این پرسشنامه در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی با دسته‌بندی در ۵ دسته به شکل زیر، مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

۱) مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی سیستم‌های تحریک (سوالات ۱، ۲ و ۳)
۲) مبحث جایگزینی سیستم‌های تحریک موجود با نوع استاتیک (سوال ۶)
۳) مبحث عمق ساخت داخل، میزان صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز مطلوب صنعت سیستم تحریک تا سال ۱۴۰۵ (سوالات ۴ و ۵ و ۹)
۴) مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم تحریک (سوال ۷)
۵) مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم تحریک (سوال ۸)

خبرگانی که در این حوزه با آن‌ها مصاحبه شد، مطابق زیر معرفی می‌شوند:

- مهندس جلویان (شرکت بهره‌برداری و تعمیرات نیروگاه صبا)
- مهندس رئوفی (شرکت اطمینان‌بخش)
- مهندس قیطولی (شرکت کنترل قدرت پارس)

- مهندس کرمانی (نیروگاه اصفهان)
- مهندس قربانی (نیروگاه ری)

در انتها و پس از جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، خلاصه‌ای از اهداف و اقدامات فنی و غیرفنی ضروری در این حوزه ارائه خواهند شد.

۱-۸-۳- مبحث تعمیر و نگهداری و نرخ خرابی سیستم‌های تحریک

۱-۱-۸-۳- مهندس جلویان

در سیستم‌های دیجیتال جدید نرخ تریپ بسیار کم است. تریپ منبع تغذیه یکی از معدود تریپ‌هایی است که رخ می‌دهد. در صورتی که منبع تغذیه بیش از ۵ میلی‌ثانیه قطع شود و در صورتی که مشکلی در UPS وجود داشته باشد، این موارد به تریپ منجر می‌شود. این مشکل البته مربوط به خود سیستم تحریک نمی‌شود. در سیستم تحریک، مواردی مشاهده شده که تریستور سوخته یا مدار مقاومت کروبار آسیب دیده، ولی اگر بررسی شود به این نتیجه می‌رسیم که دلیل مشکل پیش‌آمده، نحوه بهره‌برداری بوده است. همچنین مواردی مشاهده شده که نرم‌افزار دچار مشکل شده است. البته این مورد تریپ به حساب نمی‌آید. به نوعی تأخیر در راه‌اندازی به حساب می‌آید و مشکلات خاموش و روشن کردن واحد باعث خرابی نرم‌افزار شده است. در مواردی دیگر مشاهده شده که کارتی به دلیل مشکلات تغذیه آسیب دیده است. لازم به ذکر است که امکان دارد موارد مذکور در سال یک بار هم برای سیستم‌های تحریک رخ ندهند.

این‌که سیستم‌های تحریک‌های استاتیک، دینامیک یا الکترونیکی به مرور به سیستم‌های تحریک دیجیتال تبدیل شوند، می‌تواند بسیار موثر باشد. تأکید من این است که بهترین راهکار برای کاهش زمان تعمیر، حرکت از سیستم‌های الکترونیکی به سمت سیستم‌های دیجیتال است.

من خودم جایی که مدیریت بر عهده داشته باشم، از تعمیر و سرویس کردن سیستم‌های دیجیتال ممانعت می‌کنم. وقتی سیستم یک سیستم دیجیتال باشد، دلیلی برای چک کردن ۶ ماه یک بار چیزی وجود ندارد.

برای سیستم‌های دینامیک و مواردی که دیود گردان دارند، بازدیدهای دوره‌ای داریم ولی برای سیستم‌های دیجیتال خیر.

نیروگاه‌ها بر اساس گران‌ترین تجهیز سازنده تعمیر می‌شوند. مثلاً در نیروگاه اتمی گران‌ترین تجیهز راکتور است. اگر قرار باشد راکتور نیروگاه اتمی بوشهر هر ۱۰ ماه یکبار باز شود، اگر ژنراتور، توربین، تحریک یا سایر تجهیزات که دوره تعمیراتشان ۶ ماه یک بار است، مورد بررسی قرار نمی‌گیرند. تا ۱۰ ماه تمام نشده باشد، هیچ قطعه‌ای مورد بازبینی و بازرسی و تعمیر قرار نمی‌گیرد. در واحد بخار یا گازی، گران‌ترین تجهیز توربین است. سازنده توربین گاز می‌گوید هر ۲۰۰۰ ساعت یا هر ۴۰۰۰ ساعت یک بار باید بازدید انجام شود و مادامی که توربین در مدار است، کسی حق ندارد سیستم تحریک یا هر قطعه‌ی دیگری را از مدار خارج کند (حتی اگر دستورالعمل سازنده الزام کرده باشد).

۲-۱-۸-۳- مهندس رئوفی

در مورد سیستم‌های دینامیکی شاید ۹۰ درصد و بالاتر، از توقف‌هایی که ناشی از سیستم تحریک پیش می‌آید یا در اجزای متحرک و مکانیکی سیستم تحریک مانند کموتاتورها و زغال‌ها و غیره است، یا در AVRهای مغناطیسی. AVRهای مغناطیسی قدیمی سیستم‌های بسیار دقیق و خوبی هستند ولی وقتی که از حالت اولیه خارج می‌شود، معمولاً در واحدهای نیروگاهی تخصص کافی برای برگرداندن آن‌ها وجود ندارد و ساختار سیستم‌های AVR مغناطیسی به گونه‌ای است که وقتی به هم می‌ریزند، برگرداندن آن به نقطه تعادل اولیه کار دشواری است. من عمدتاً با این خرابی‌ها مواجه شده‌ام.

در بخش ژنراتور اکسایتر که یک مبدل DC است و قسمت کموتاتور آن دچار خوردگی می‌شود، برای این‌که مشکل را حل کنند یک لایه از آن را برمی‌دارند. بدین صورت که روی آن تراش‌کار انجام می‌دهند، قطر کموتاتور کاهش می‌یابد، نقطه‌ی بهینه سیستم تغییر می‌کند و ژنراتور DC از رفتار اولیه دور می‌شود.

در رابطه با سیستم‌های استاتیکی و مرکب عموماً در بوردهای الکترونیک و بخش قدرت (نیمه‌هادی‌ها) آسیب‌هایی مشاهده شده است.

یک مورد خیلی نادر مربوط به عدم رعایت ملاحظات جایگزینی سیستم استاتیکی با دینامیکی در نیروگاه بیستون برخورده بودیم که سیستم تحریک را تغییر داده بودند ولی چون ملاحظات مربوطه رعایت نشده بود، عوارضی روی سیم‌پیچی‌ها ایجاد شده بود.

برای سیستم‌های دینامیکی پیشنهاد خاصی به منظور کاهش نرخ خرابی قابل ارائه نیست. از سال ۹۶-۹۷ میلادی به بعد تقریباً هیچ سیستم تحریک دینامیکی وارد کشور نشده است. این سیستم تقریباً منسوخ شده و عمده‌ی مشکلات هم مربوط به همین سیستم است. در صورتی که این سیستم‌ها با نوع استاتیک جایگزین شوند، بسیاری از مشکلات حل خواهد شد.

من در یکی از واحدهای نیروگاهی داخل تجربه‌ای داشتم که می‌خواستند واحد تحت هیچ شرایطی از مدار خارج نشود. وقتی بررسی انجام دادیم مشاهده شد که تنها راهکار آن‌ها برای حصول اطمینان از خارج نشدن واحد از مدار، تهیه قطعات و تجهیزات یدکی است. دو سیستم به صورت کاملاً موازی طراحی شده بود که اگر یک سیستم دچار مشکلی می‌شد، سیستم دوم به صورت خودکار وارد مدار می‌شد و از خارج شدن نیروگاه از مدار جلوگیری می‌کرد. اگر حساسیت تا این حد بالا باشد که واحد تحت هیچ شرایطی از مدار خارج نشود، این راه‌حل گزینه خوبی است. اگر حساسیت تا این شدت بالا نباشد، یک راهکار این است که عناصر حساس و آسیب‌پذیر خود سیستم تحریک ماژولار باشند. در این صورت می‌توان هر قطعه معیوب را در حدود ۱ دقیقه (و شاید کمتر) تعویض کرد.

اگر هم‌خوانی بین زغال و کموتاتور وجود نداشته باشد، یا زغال بیش از حد خورده می‌شود، یا کموتاتور. بنابراین به نظر من در مورد سیستم‌های تحریک دینامیکی، راهکار این است که در انتخاب این دو قطعه متحرک که نسبت به هم سایش دارند کار کارشناسی صورت بگیرد به طوری که این دو قطعه دینامیک هم‌خوانی مناسبی داشته باشند و سایش بین آن‌ها کاهش یابد. در واحدهای کوچک‌تر (در حدود ۱۰-۱۵ مگاوات) یکی از نکات مطرح در دستورالعمل‌های کنترل دوره‌ای همین نکته است.

۳-۱-۸-۳- مهندس قیطولی

اگر بخواهیم سیستم‌ها را به دو دسته بدون جاروبک و استاتیک تقسیم کنیم. سیستم‌های بدون جاروبک عمدتاً قدیمی‌تر هستند. خرابی این نوع سیستم‌ها بیشتر به PLC، اکسایتر و بعضاً بوردهای الکترونیکی برمی‌گردد. در سیستم‌های استاتیک مشکلاتی در تریستورها و تنظیم ترنسدیوسر می‌تواند منجر به از دست رفتن عملکرد مناسب سیستم تحریک شود.

بهترین دستورالعمل‌ها و بهترین پیشنهادها، همان مواردی هستند که توسط سازنده به خریدار ارائه می‌شوند.

به نظر بنده سرعت تعمیرات این سیستم‌ها به چند عامل از جمله اسناد موجود در سایت نیروگاه، وجود افراد خبره و کاربلد در زمینه پروسه‌های عیب‌یابی و تعمیرات و همچنین وجود قطعات یدکی با کیفیت بستگی دارد. اگر این چند مورد لحاظ شوند، تعمیرات بسیار سریع قابل انجام است.

متأسفانه ما در کشور مواردی داریم که با سیستمی پیش می‌روند که آلارم و خطا دارد! دلیل آن هم عدم وجود افراد خبره و با دانش فنی و عملی است. به عنوان مثال یک سال می‌شود که نیروگاه خلیج فارس با یک سیستم تحریک کار می‌کند و سیستم تحریک دوم در تمام این مدت مشکل داشته است؛ کاری هم برای رفع این مشکل نمی‌توانند انجام دهند چون سیستم ساخت شرکت آلستوم است و PLCهای آن را هم شرکت GE آمریکا تأمین کرده و در حال حاضر به دلیل

تحریم‌های موجود نمی‌توانیم جنس آمریکای داشته باشیم و وحشتی هم در خود نیروگاه‌ها وجود دارد که اگر دستکاری‌ای جهت رفع عیب انجام شود، کل سیستم را از دست بدهند. به همین دلیل ترجیح می‌دهند با خطا و آلارم پیش بروند، اما به افراد تعمیرکننده اجازه‌ی دستکاری سیستم را ندهند.

تمیزکردن بوردها و تابلوهای سیستم تحریک، به کاهش احتمال وقوع چنین خطرات و آسیب‌هایی کمک می‌کند. اگر سالی یک بار چنین کارهایی انجام شود (آن هم در همان بازه تعمیرات سالیانه) به نظر من برای نگهداری مناسب سیستم تحریک کافی است. البته لازمه‌ی این کار این است که تمام دستورالعمل‌های تعمیرات و بهره‌برداری که توسط سازنده ارائه شده‌اند، به شکل دقیق رعایت شوند.

۴-۱-۸-۳- مهندس کرمانی

خرابی‌های شایع در این سیستم‌ها، عملکرد کارت‌های کنترلی هنگام وقوع خطا در شبکه (بعد از ژنراتور) است.

لازم است در هر تعمیرات تمام عملکردهای این کارت‌ها به صورت آفلاین گرفته شوند و تنظیمات مجددی روی آن‌ها صورت گیرد. برخی از قطعات الکترومکانیکی مانند رله‌ها نیز وجود دارند که باید طی بازه‌هایی (مثلاً ۴ ساله) مورد بررسی قرار گیرند و تعویض شوند. هزینه‌ای که خارج‌شدن نیروگاه از مدار یا تریپ ایجاد می‌کند به مراتب بیشتر از قیمت رله‌هاست. اشکالات سیستم‌های خنک‌کن نیز یکی دیگر از اشکالات رایجی است که سیستم‌های تحریک با آن مواجه هستند.

اگر سیستم تحریک قدیمی باشد، گاهاً این امکان وجود دارد که بتوان در کنار سیستم کنترل خودکار، یک سیستم کنترل دستی نیز داشت.

وجود یک سیستم کنترل پشتیبان (دستی) می‌تواند کمک‌کننده باشد که اگر سیستم AVR اصلی از کار افتاد، بتوان واحد را از طریق سیستم دستی کنترل کرد و بدون توقف واحد امکان رفع عیب و اشکال پیش آمده وجود داشته باشد.

همانطور که پیش‌تر عرض شد، کاری که ما در نیروگاه انجام می‌دهیم به این صورت است که در سیستم کنترل حتماً تعدادی رزرو داریم.

در سیستم‌های قدیمی توجه به مدهای کنترل پشتیبان بسیار حائز اهمیت است. خیلی از سیستم‌های قدیمی فقط یک مد کنترلی فعال داشتند و وقتی آن مد فعال بود، دیگر توجهی به عملکرد صحیح مد کنترلی پشتیبان نمی‌شد، در حالی که این موضوع بسیار مهم است. دلیل اهمیت آن است که اگر مد کنترلی اصلی دچار مشکل شود، می‌توان از طریق مد پشتیبان و با نظارت بیشتر از سیستم کنترل استفاده کرد (مخصوصاً در شرایط پیک بار) تا واحد حداقل خروج از مدار را تجربه کند.

تعویض قطعات الکترومکانیکی مانند رله‌ها، کنتاکتورها و ... نیز می‌تواند حائز اهمیت باشد، چرا که گاهاً تریپ یک رله می‌تواند منجر به خروج کامل یک واحد نیروگاهی از مدار شود.

در تعمیرات دوره‌ای، سرویس‌ها از نوع جزئی، بازدید و تمیزکاری هستند.

اگر سرویس خوب انجام شود می‌توان فواصل بین سرویس‌ها را بیشتر کرد. به عنوان مثال موتور فن دمنده‌ی تحریک یا همان مبحث تمیرکاری‌ها و گردگیری‌ها. اگر چنین کارهایی انجام شود، فواصل بین خروج واحد را می‌توان کاهش دهد.

پیشنهاد من این است که بازنگری در دستورالعمل‌های تعمیرات صورت گیرد، به طوری که این سرویس‌ها منحصراً هر ۶ یا ۸ ماه یکبار نباشند و به تدریج انجام شوند. ممکن است دلیل بعضی مشکلاتی که برای نیروگاه‌های پیش می‌آید بسیار ناچیز و کوچک باشد، اما نتایج فاجعه‌بار، سنگین و هزینه‌بری به دنبال داشته باشد. در بازبینی‌ها تدریجی می‌توان از چنین مشکلاتی جلوگیری کرد یا آن‌ها را به حداقل رساند.

۵-۱-۸-۳- مهندس قربانی

گاهی کارت‌های سیستم تحریک گاهی دچار مشکل می‌شوند. همچنین مقاومت‌ها، تریستورها یا دیودهای این سیستم‌ها می‌سوزند. گاهی فیدبک‌هایی که از CT و PT می‌گیرند ممکن است با مشکل مواجه شوند.

برای کاهش زمان تعمیرات باید کارت و تجهیزات یدکی داشته باشیم و دانش فنی پرسنل را هم بالا ببریم. به عنوان مثال در حال حاضر سیستم تحریک به گونه‌ای است که بلوک‌های الکترونیک قدرت دارد. پرسنل با این بلوک‌ها آشنایی ندارند. اگر پرسنل این بلوک‌ها را بشناسند، هم بهتر می‌توانند با سیستم کار کنند و هم به عیب‌یابی و رفع مشکلات کمک قابل توجهی خواهد کرد.

اگر واحد در حال کار باشد، برای کاهش این زمان لازم است قطعه یدکی داشته باشیم. اگر قطعه یدکی نداشته باشیم، در اورهال‌ها باید تمام کارت‌ها را به قسمت آزمایشگاه ابزار دقیق ببریم تا مقاومت‌ها و دیودهای آن‌ها چک شوند.

۲-۸-۳- مبحث جایگزینی سیستم‌های تحریک موجود با نوع استاتیک

۱-۲-۸-۳- مهندس جلویان

لزوماً تمام سیستم‌های تحریک دینامیک بد نیستند. حتی از یک ظرفیتی به بالا مثل ۷۰۰–۸۰۰ مگاولت‌آمپر به بالا اصلاً نمی‌توان زغال گذاشت چون زغالی وجود ندارد که بتواند این میزان جریان شدید تحریک را به روتور منتقل کند. در چنین ظرفیت‌هایی باید از سیستم تحریک دینامیک استفاده کرد و گریزی نیست. خود سیستم‌های تحریک دینامیک نیز دسته‌بندی‌های مختلف دارند. از نظر من، مایل هستم سیستم تحریک دینامیک به استاتیک تبدیل شود، اما آیا من می‌توانم به عنوان مثال در نیروگاه رامین اهواز که روتور ساخت روسیه است، یک سیستم تحریک و اسلیپ رینگ مناسب نصب کنم؟ منظور این است که در تبدیل سیستم‌های تحریک دینامیک به استاتیک محدودیت‌هایی وجود دارد که گاهاً جدی هستند. برای حل آن‌ها نیاز به مطالعات یک گروه مهندس مکانیک است که فرکانس‌های طبیعی ناشی از حذف اکسایتر اصلی و حضور اسلیپ رینگ را محاسبه کنند.

اگر مثلاً لیستی از ۲۰ واحد داشته باشیم که کاندید برای اجرای طرح جایگزینی باشند، از این واحدها می‌خواهیم معیارها و تعداد خرابی‌ها، زمان خروج، زمان تعمیرات، تعداد خروج و تعمیرات، فراوانی خرابی سیستم‌های خود را به ما بدهند. حالا ما خودمان یک شاخص اضافه می‌کنیم. مثلاً فرض کنید یک واحد ۲۵ مگاواتی و یک واحد ۳۲۰ مگاواتی تعداد خرابی‌های زیادی را گزارش کرده‌اند. من در چنین شرایطی واحد ۳۲۰ مگاواتی را در اولویت قرار می‌دهیم چون برای شبکه واحد مهم‌تری است.

در واقع باید سیستم امتیازدهی متشکل از هزینه‌های تعمیر و نگهداری، اهمیت برای شبکه، شدت و میزان عیوب و ... ایجاد کنیم.

۲-۲-۸-۳- مهندس رئوفی

حتی اگر سیستم فرسوده هم نباشد، ذاتاً سیستم‌های تحریک دینامیکی چند پله‌ای و حتی دینامیکی‌های گردان به دلیل پاسخ کند (که در شبکه مشکل‌ساز می‌شود)، صد در صد با جایگزینی این سیستم‌ها با نوع استاتیک موافق هستیم. سرعت و کیفیت پاسخ و دقت در نگه‌داشتن ولتاژ در سیستم‌های تحریک استاتیکی به مراتب بهتر از سیستم‌های دینامیکی است.

بنابراین به نظر من نه تنها باید سیستم‌های دینامیکی را با سیستم‌های استاتیکی جایگزین کرد، بلکه پیشنهاد می‌شود سیستم‌های استاتیک قدیمی‌تر هم با سیستم‌های استاتیکی مدرن جایگزین شوند.

البته ما واحدهایی داریم که به سیستم گردان مجهز هستند و به بوبین‌های تحریک دسترسی نداریم. در این نیروگاه‌ها محدودیت وجود دارد و نمی‌توان در این زمینه کار خاصی برای این واحدها انجام داد. در این واحدها یکسوساز گردان در داخل نصب شده که به سیم‌پیچی تحریک متصل است و توسط یک ژنراتور کمکی میدان تحریک ایجاد می‌شود. در این واحدها لختی ذاتی وجود دارد و برای اعمال هر گونه تغییر، باید ساختار ژنراتور تغییر کند که کار دشواری است.

آمار بنده (تا ۷–۸ سال پیش) این است که چیزی بین ۵۵ تا ۶۰ واحد مجهز به تحریک دینامیکی داریم که قابل تبدیل به سیستم استاتیک هستند و هیچ محدودیت فنی‌ای در این زمینه نداریم. اما تعداد واحدهای زیادی داریم که به سیستم تحریک گردان مجهز هستند و برای چنین واحدهایی امکان جایگزینی وجود ندارد.

اگر بودجه محدودی برای جایگزینی وجود داشته باشد، پیشنهاد من شروع از واحدهایی است که در شبکه واحد پایه نیستند و مانور زیادی دارند. مثلاً شروع از واحدهای زیر ۱۰۰ مگاوات می‌تواند نقطه مناسبی باشد.

۳-۲-۸-۳- مهندس قیطولی

با این جایگزینی موافقم. اما به نظر من از نظر عملی امکان‌پذیر نیست. به این دلیل در صورت جایگزینی باید تغییرات زیادی باید روی روتور انجام گیرد. در صورت تعویض پوئن‌های زیاد بسیار قابل توجهی هم حاصل نمی‌شود که بخواهیم تعویض را در اولویت‌های اصلی نیروگاه قرار دهیم.

۴-۲-۸-۳- مهندس کرمانی

جایگزینی هزینه‌بر است. وقتی سیستم تحریک تغییر کند، طراحی روتور ژنراتور نیز باید عوض شود. من فکر نمی‌کنم در داخل کشور استقبال چندانی از این موضوع بشود، چون بسیار هزینه‌بر است. اما از لحاظ پاسخ‌دهی سیستم، مدل استاتیک با دینامیک اصلاً قابل مقایسه نیست.

من توصیه می‌کنم در مواردی که از نظر مکانیکی مقدور است، تعویض صورت گیرد. دو مدل استاتیک و دینامیک از نظر الکتریکی و فنی اصلاً قابل مقایسه نیستند، اما به دلیل مشکلات مکانیکی و هزینه‌هایی که در پی این کار ایجاد می‌شود، چندان عملی به نظر نمی‌رسد.

۵-۲-۸-۳- مهندس قربانی

اگر سیستم تحریک دینامیک خوب کار می‌کند، دلیلی ندارد بخواهیم آن را به استاتیک تبدیل کنیم و هزینه اضافی متحمل شویم. تا امروز در این زمینه با مشکل چندانی هم مواجه نشده‌ایم. البته لازم به ذکر است که به عنوان مثال در نیروگاه ری در این ۴۰ و اندی سال حتی دیودها و فیوزهای سیستم تحریک مورد بررسی قرار نگرفته‌اند.

اگر تمام این راهکارها انجام شوند و تست‌ها به موقع و صحیح اجرا شوند، نیازی به تعویض سیستم تحریک وجود ندارد.

۳-۸-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم تحریک تا سال ۱۴۰۵

۱-۳-۸-۳- مهندس جلویان

بیش از ۷–۸ سال قبل به دانش ساخت سیستم تحریک رسیده‌ایم. سیستم‌های تحریک خوبی هم ساخته شده است. اما ذکر این نکته نیز حائز اهمیت است که قطعات سیستم تحریک ساخت داخل اعم از تریستور، خازن، کروبار، IC و ... وارداتی هستند.

بهتر است هزینه‌های وایرینگ کاهش یابد، سیستم‌ها وایرلس شوند و مسائلی از این دست. طبیعتاً هر چه بتوانیم بر ساخت داخل بیفزاییم تا وابستگی به خارج کاهش یابد و همچنین اقتصادی‌تر شدن، کاربرپسندتر شدن، یکپارچه‌ترشدن و ... بهتر خواهد بود.

باید برای سازنده‌های سیستم تحریک الزاماتی تعیین کنیم که به فراخور دانش فنی تحویل‌گیرنده توضیحات لازم را ارائه کنند. اگر منِ تحویل‌گیرنده ندانم محصولی که تهیه کرده‌ام چه ویژگی‌هایی دارد، چه نرم‌افزارهایی دارد و ...، سازنده هم آن‌ها را تحویل نخواهد داد و عملاً وابستگی به شرکت سازنده ایجاد می‌شود. ما سیستم‌های تحریکی در ایران داریم که هر وقت خراب می‌شوند، به شدت وابسته هستیم.

به عنوان در حال حاضر شرکت مکو بعضاً بداخلاقی‌هایی در بعضی نیروگاه‌ها می‌کند و نرم‌افزارهای مربوطه را تحویل نمی‌دهد. این کار عملاً Troubleshooting نیروگاه را وابسته به خود و در دست خود نگه داشته است. اگر مشکل نرم‌افزاری در نیروگاه پیش بیاید، کارشناس مربوطه عملاً نمی‌تواند کاری از پیش ببرد و باید به سوپروایزر مکو اطلاع دهد تا آن‌ها به نیروگاه مراجعه کنند و مشکل را رفع نمایند. متأسفانه چنین بی‌اخلاقی‌هایی توسط برخی شرکت‌های خارجی مانند زیمنس و آلستوم هم رخ داده است. وجود الزاماتی که سازنده را مجبور کند نرم‌افزارها، کارت‌ها، کابل‌ها و تمام تجهیزات رابط را تحویل دهند، بسیار مفید است.

۲-۳-۸-۳- مهندس رئوفی

سیستم تحریک استاتیک دو بخش کنترل و قدرت دارد. در بخش کنترل کارهای زیادی صورت گرفته است. شرکت‌های زیادی را می‌شناسم که در حوزه ساخت کار کرده‌اند. اما در مجموع کارهایی که تا به امروز در داخل کشور و در حوزه بخش کنترل سیستم‌های تحریک صورت گرفته، حرفه‌ای نبوده است. نکته دیگر این است که تأمین سیستم‌های تحریک ساده است. درست مانند شرکت‌هایی مثل آنسالدو و شرکت‌های فعال در این حوزه در ایران کرده‌اند، قابل انجام است. مثلاً شرکتی مانند Rainpower که شرکتی کانادایی در حوزه ساخت سیستم‌های تحریک است، سیستم را نظر ابعاد در حد یک کیس کامپیوتر پیاده‌سازی کرده است. بعلاوه، تمام پروتکل‌های ارتباطی و آپشن‌های پیچیده AVR را در محصول خود گنجانده و به لینک دقیق و خوبی هم برای SCADA مجهز است. امروزه در کشور ما اغلب نیروگاه‌هایی که به سیستم تحریک استاتیک مجهز هستند، با دیسپاچینگ ارتباط ندارند یا اگر دارند فعال نیست. بنابراین از طریق مرکز کنترل خاصی روی این نیروگاه‌ها نداریم و از طریق SCADA نمی‌توانیم آن‌ها را تحت کنترل بگیریم. اما پیشنهاد این است که محصولات سازنده‌های خوب بین‌المللی با قیمت مناسب و رقابتی، مجهز به آپشن‌ها و امکانات خوب خریداری شوند.

منظور از موارد مذکور این بود که رسیدن به چنین تکنولوژی و امکاناتی برای تولیدکنندگان داخلی زمان بسیار بیشتری از ۵ سال می‌طلبد و ضمناً از نظر فنی و اقتصادی هم صرف نمی‌کند، چرا که در دنیا به سادگی قابل خریداری است و قیمت چندانی هم ندارد.

از سوی دیگر بخش قدرت را داریم که حجم عمده کار سیستم تحریک است و همچنین ساخت داخل آن به طور ۱۰۰ درصد امکان‌پذیر است. الان مجموعه‌هایی مانند جهاد دانشگاهی و ... کارهای قدرتی کم‌نقصی ارائه می‌کنند. اگر این بخش قدرت تولید داخل با بخش کنترلی که از خارج خریداری می‌شود تطابق خوبی پیدا کند، به نظر من امکان پشتیبانی داخلی و خدمات پس از فروش بهتری هم فراهم خواهد شد، به سادگی در بحث ساخت داخل می‌گنجد.

در زمینه قدرت سیستم تحریک به نظر من هیچ مشکلی وجود ندارد و ۱۰۰ از ۱۰۰ هستیم.

بخش کنترل سیستم تحریک چیزی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد قیمت سیستم است. اگر کل قیمت سیستم را ۱۰۰ درصد فرض کنیم، باید در بدترین حالت ۱۵ درصد قیمتش را بابت سیستم کنترل صرف کنیم. نیمه‌هادی‌ها هم حدود ۱۰ درصد قیمت کل را شامل می‌شوند. بنابراین در مجموع حدود ۲۵ درصد قیمتی که برای خرید سیستم تحریک پرداخته می‌شود، مربوط به واردات است. پس به عبارتی در صورت ساخت داخل می‌توان حدود ۷۵ درصد صرفه‌جویی ارزی داشت.

کیفیت انرژی الکتریکی تحویلی به مشتری تا حد زیادی به سیستم تحریک تولیدکننده برمی‌گردد. بنابراین توجه به این بحث ضرورت دارد. حتی آسیب‌هایی که در بعضی تجهیزات پایین‌دست نیروگاه‌ها رخ می‌دهد به دلیل سیستم تحریک است. با قاطعیت عرض می‌کنم که سیستم‌های تحریک نیاز به تغییر و تحولاتی دارند. متخصصین می‌توانند با عدد و رقم هم لزوم این مسائله را تأیید کنند.

اگر بتوانیم تا ۵ سال آینده ۲۰ درصد انرژی تولیدی را تحت کنترل سیستم مرکزی بگیریم، به نقطه بسیار خوبی رسیده‌ایم؛ منظور این است که در این میزان انرژی تولیدی به سیستم‌های تحریک استاتیک کنترل‌پذیر از دیسپاچینگ دست یافته باشیم.

۳-۳-۸-۳- مهندس قیطولی

پیشرفت‌های خوبی در این زمینه حاصل شده و من خودم دو شرکت را می‌شناسم که در این حوزه فعال هستند. مپنا و مکو این را انجام داده‌اند (برای ژنراتورهای قدرت بالا). و از قضا کار خوب و باکیفیت هم انجام داده است.

شرکت آهار هنوز روی سیستم‌های تحریک استاتیکی بزرگ کاری انجام نداده است. آهار بیشتر روی بخش قدرت و AVR سیستم‌های تحریک بدون جاروبک متمرکز است. در سیستم‌های تحریک بدون جاروبک معمولاً بخش قدرت بسیار کوچک است. اما در سیستم‌های استاتیک ممکن است تا ۲۰۰۰ یا ۳۰۰۰ آمپر جریان از تریستورهای بخش قدرت عبور کند.

در هر صورت تمام مشکلی که داریم، عدم اعتماد به ساخت داخل است. این مشکل در بسیاری از نیروگاه‌های ما وجود دارد. مثلاً نیروگاه پتروشیمی بندر امام قصد تعویض سیستم‌های تحریکش را دارد. از مکو پیشنهادهایی به این نیروگاه شد، اما نپذیرفت و تمایل به برندهای خارجی مانند زیمنس و ABB وجود داشت.

من به شرکت مکو نمره بالای ۷۰–۸۰ از ۱۰۰ می‌دهم.

من این قدرت را در شرکتی مثل مکو می‌بینم که تا سال ۱۴۰۵ به ۱۰۰ از ۱۰۰ برسد و این موضوع باعث افتخار است. دو مزیت مهم در وجود چنین پتانسیل داخلی وجود دارد: یک این‌که قیمت تمام‌شده نسبت به نمونه خارجی بسیار کمتر می‌شود و دو این‌که تحریم‌های بین‌المللی هیچ اثری روی این بخش از صنعت نخواهند گذاشت. این تیم آن‌قدر با دانش شده که حتی اگر مشکلی هم برای تجهیزات پیش بیاید، طراحی را تغییر دهد.

می‌توانیم برای تأمین نیاز داخلی کشور به خودکفایی برسیم، اما نمی‌توانیم روی صادرات حساب خاصی باز کنیم.

تا جایی که می‌دانم برای یک سیستم تحریک استاتیک با جریانی در حدود ۲۰۰۰ آمپر چیزی بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ هزار یورو هزینه خواهد داشت. البته این قیمت مربوط به ایتالیاست و از زیمنس پایین‌تر است. البته سیستم تحریک بدون جاروبک ارزان‌تر تمام می‌شود.

من با پتانسیلی که در شرکتی مانند مکو می‌بینم، اگر حمایت‌های مناسب صورت گیرد به نظر من بازار داخل را در اختیار خواهد گرفت. نیازی به فعالیت تعداد زیادی شرکت در این زمینه وجود ندارد. همین که یک یا دو شرکت در زمینه ساخت و طراحی سیستم‌های تحریک کار کنند، برای تأمین نیاز داخل کافی است.

همچنین به نظر من بهتر است فکر جدی برای نیروگاه‌های قدیمی و سیستم‌های تحریکشان شود. در برخی موارد AVR معنای خودش را از دست داده و سیستم به صورت دستی کنترل می‌شود. به عنوان مثال در نیروگاه بعثت دیدیم که اپراتور با دست سیستم نیروگاه را کنترل می‌کرد. حل این مشکلات بودجه چندانی هم نیاز ندارد. اعتماد به تولید داخل می‌تواند به ارتقای سیستم‌های قدیمی موجود کمک شایانی کند.

۴-۳-۸-۳- مهندس کرمانی

اگر سنگ‌اندازی‌ها کاهش یابد، اگر تشویق‌هایی (مثلاً معافیت‌های مالیاتی) برای شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی درنظر گرفته شود، فکر می‌کنم عمق ساخت داخل در این حوزه بین ۶۰ تا ۷۰ درصد تخمین زده شود. همچنین فکر می‌کنم تا ۵ سال آینده به ۱۰۰ درصد برسیم. البته به جز تأمین برخی قطعات، چون برخی قطعات مانند کلیدهای نیمه‌هادی باید از خارج کشور وارد شوند. منظور من طراحی و ساخت سیستم‌های تحریک بود. ما در کشور بیشتر تأمین قطعات داریم تا ساخت آن‌ها.

من بسیار امیدوار و مطمئن هستم که در ۵ سال آینده در زمینه سیستم تحریک کاملاً خودکفا خواهیم بود، اما لازم است مدیران کمی دید بازتر داشته باشند، استقبال بیشتری کنند و پذیرش بیشتری نسبت به تولید داخل داشته باشند. حمایت

مدیران بالادستی نیز مستلزم است. یعنی مثلاً اگر ما در نیروگاه اصفهان ریسکی را متقبل می‌شویم، در آینده بابت نتیجه‌ی آن ریسک مواخذه نشویم. همین الان هم در مسیر خودکفایی هستیم و به نظر من تا ۵ سال آینده ۱۰۰ درصد خودکفا شده‌ایم.

خواهش من از مدیران نیروگاهی و بالادستی این است که با دید باز به این موضوع نگاه کنند و پذیرش ساخت داخل را در خود تقویت کنند.

به نظر من معافیت‌های مالیاتی (علی‌رغم وجود موانعی در این مسیر) یا برخی تشویق‌ها برای شرکت‌های فعال در حوزه ساخت داخل می‌تواند کمک‌کننده باشد.

۵-۳-۸-۳- مهندس قربانی

من فکر می‌کنم چندان توانایی ساخت نداشته باشیم. البته شرکت مکو در این زمینه فعال است، ولی فکر نمی‌کنم توانایی‌شان چندان چشم‌گیر باشد.

اگر از شرکت‌های دانش‌بنیان پشتیبانی شود، در زمینه ساخت داخل این سیستم‌ها می‌توان به پیشرفت خوبی دست پیدا کرد.

٤-۸-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم تحریک

۱-۴-۸-۳- مهندس جلویان

استانداردهای IEEE 421/2 و IEEE 421/5 به عنوان نظام‌نامه الزاماتی برای یک سیستم تحریک یا گاورنر بیان شده‌اند که اگر به طور مختصر و ساده همین دو استاندارد را پاس کند، کافی است.

ما سازندگانی داریم که انصافاً سیستم‌های تحریک خوبی تولید می‌کنند. به همین خاطر فقط شاخص‌هایی مانند سرعت پاسخ و از این جنس باقی می‌ماند که می‌توان برای ارتقای آن‌ها تلاش کرد.

درست است که شاید نتوانیم سیستم تحریک آب‌خنک بسازیم (که البته در حال حاضر در تلاش هستیم برای نیروگاه اصفهان بسازیم)، اما چون نهایتاً تعداد تریستورهای سری و موازی کم و زیاد می‌شوند، برای بحث ارتقای توان هم مشکل چندانی وجود نخواهد داشت. در SFC در این زمینه مشکلاتی داریم ولی در سیستم تحریک خیر.

۲-۴-۸-۳- مهندس رئوفی

روزه از پردازنده‌های بسیار قدرتمند و سریع در سیستم تحریک استفاده می‌شود. در نتیجه بسیاری از پارامترهای تحریک اعم از دمای انتهای روتور، دمای سیم‌پیچ‌ها، دمای خود ژنراتور، جریان‌های خروجی ژنراتور، توان راکتیو و .... در کسری از ثانیه توسط سیستم کنترل قابل پردازش هستند و بر اساس تحلیل، تصمیم دقیقی قابل اتخاذ است. همچنین در سیستم‌های جدید چیزی در حدود ۲۷–۲۸ سیگنال آنالوگ وارد می‌شود و سیستم بر اساس آن‌ها تصمیم‌گیری می‌کند، درحالی‌که این عدد در سیستم‌های قدیمی در حدود ۵–۶ سیگنال بیشتر نبوده است.

به طور خلاصه به نظر من هر چه سیگنال‌های ورودی به سیستم تحریک که پردازش می‌شوند بیشتر باشد، با دقت و قابلیت اطمینان بیشتری عمل خواهد کرد. همچنین سرعت پاسخ از دیگر فاکتورهای مهم یک سیستم تحریک به شمار می‌رود.

۳-۴-۸-۳- مهندس قیطولی

هنگام خرید یک سیستم تحریک اولاً مهم است که سازنده، سازنده جدیدی نباشد. ما در نیروگاه با تولید سر و کار داریم. یک ساعت عدم تولید می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری برای شبکه برق، کشور، صنعت و خود نیروگاه در پی داشته باشد. نکته دوم توابعی است که سیستم‌های تحریک باید داشته باشند. محدودیت‌های مربوطه نیز باید مورد توجه قرار گیرند.

اما در مورد ارتقا، فقط در بخش کنترل می‌توانیم ارتقا داشته باشیم. همچنین این‌که سیستم تحریک جدید امکانات مانیتورینگ بیشتری در اختیار قرار دهد. مثلاً سیستم‌های تحریک آنسالدو تاریخچه‌ای از تمام سیگنال‌های دریافتی و ارسالی تا ۴ سال قبل را در دسترس قرار می‌دهند. اگر چنین امکاناتی در اختیار باشند، عیب‌یابی و تعمیر بسیار سریع‌تر و راحت‌تر خواهد شد. سفارشی‌نبودن کارت‌ها هم نکته حائز اهمیتی است. مثلاً ABB کارت‌هایی می‌سازد که اگر از کار بیفتند، پیداکردن کارت جایگزین برای آن بسیار دشوار خواهد بود. اما زیمنس چنین مشکلی ندارد، چون سیستم‌هایش مبتنی بر PLC هستند و ساده‌تر در دسترس قرار می‌گیرند.

۴-۴-۸-۳- مهندس کرمانی

از منظر فناوری این سیستم‌های باید مجهز به PSS باشند و پاسخ‌های زمانی مطلوبی ارائه دهند.

از نظر عملیاتی پارامترهای جریانی، دمایی و تمام محدودکننده‌های عملکردی سیستم تحریک بسیار اهمیت دارند. اگر عملکردها مختل شوند، روتور ژنراتور و یا سوختن سیم‌پیچ آن را در پی خواهد داشت.

نکته دیگری که لازم است بیان شود این است که سیستم‌های جدید دارای PSS، به یک کامپیوتر درونی مجهز هستند که عیب‌یابی اشکالات موجود که پیش‌تر بیان در شد کارت‌های سیستم‌های آنالوگ پیش می‌آیند را ساده‌تر می‌کند. سیستم‌های جدید به نوعی حالت خودکنترلی دارند و ورودی‌ها و خروجی‌های یک عملکرد سیستم را کنترل می‌کنند. اگر هر کدام از حد نرمال خود خارج شدند، به بهره‌بردار هشدار می‌دهند.

۵-۴-۸-۳- مهندس قربانی

اگر شار مغناطیسی که یک سیستم تحریک القا می‌کند کیفیت بالایی داشته باشد، کفایت می‌کند.

۵-۸-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم تحریک

۱-۵-۸-۳- مهندس جلویان

قطعات برخی سیستم‌های تحریک ساخت داخل که قابل تأمین و پشتیبانی است و قطعات برخی سیستم‌های تحریک خارجی مانند زیمنس، ABB و آلستوم قاعدتاً باید از خود شرکت سازنده تأمین شوند.

بهتر است تمرکز بومی‌سازی روی ساخت محصولات استراتژیک و حیاتی باشد. المان‌های حیاتی در زمینه سیستم تحریک وجود دارند که اگر بتوان آن‌ها را ساخت داخل کرد شرایط بهتری خواهیم داشت، اما با این حال هم در حال حاضر تمام قطعات مورد نیاز سیستم‌های تحریک از داخل و خارج به شکل ۱۰۰ درصد قابل تأمین است.

مثلاً بریکرFCB تجهیز استراتژیکی است. تهیه این بریکرها سخت است و کم پیدا می‌شوند. همچنین در زمینه ساخت ترنسدیوسرها هنوز ورود چندانی نکرده‌ایم و حمایتی از شرکت‌های فعال در این زمینه رخ نداده است. بهتر است شرکت‌های سازنده سیستم تحریک را با آن‌ها لینک کنیم تا بتوانیم ترنسدیوسرهای قابل اعتمادی هم برای آن‌ها بسازیم. همچنین برخی مقاومت‌ها و خازن‌های خاص.

۲-۵-۸-۳- مهندس رئوفی

در حال حاضر شرکت‌هایی در داخل داریم که علی رغم استعدادهایی که دارند، متاسفانه یا خوشبختانه به کپی‌کردن قطعات روی آورده‌اند. ما از این شرکت‌ها نتیجه خوبی گرفته‌ایم. در بحث قطعات ریز و حتی بوردهایی که بحث‌های نرم‌افزاری دارند این کار شدنی است، اما در زمینه تحریک وقتی به جایی می‌رسیم که پردازنده سفارشی است، به بن‌بست می‌خورد. اگر پردازنده عمومی برای این کار استفاده شده باشد، ممکن است ویژگی‌هایی داشته باشند که برای واحد نیروگاهی دست و پا گیر شود. در مورد پردازنده‌های سفارشی و خاص هم امکان کپی‌کاری چه از نظر سخت‌افزاری و چه نرم‌افزاری وجود ندارد.

در نتیجه به نظر من در بحث تأمین قطعات در بخش کنترل با فرض این‌که امکان تأمین از داخل وجود ندارد، باید چندین قطعه یدکی در دسترس داشت.

در بحث ابزار دقیق و قدرت، خوشبختانه اگر امکان ساخت قطعه خاصی در داخل فراهم نشده باشد هم از طریق کپی‌کردن یا روش‌های دیگر قابل تأمین است.

پیشنهاد من این است که برای بخش کنترل از همان ابتدا چند قطعه اضافه به عنوان یدک تهیه کنیم؟ ولی برای بخش قدرت و ابزار دقیق می‌توان به تولید داخل تکیه کرد.

۳-۵-۸-۳- مهندس قیطولی

امروزه تمام سیستم‌های تحریک دیجیتال شده‌اند. نمی‌توانیم این سیستم‌ها را بسازیم. اما اگر بتوانیم از بوردهایی که در بازار به وفور یافت می‌شوند برای جایگزینی با برخی کارت‌ها استفاده کنیم، بسیار مفید است.

۴-۵-۸-۳- مهندس کرمانی

زنجیره تأمین خوبی وجود دارد، اما سختی و پیچیدگی‌هایی نیز مطرح است. به طور کلی این امکان در کشور وجود دارد. هر نیروگاه و هر صنعتی نیز برای خود تأمین‌کننده‌های رسمی و غیررسمی می‌شناسد.

حتی در مواردی که تأمین‌کننده‌ی رسمی قادر به تهیه برخی اجزا و قطعات نباشد می‌توان به تأمین‌کننده‌های غیررسمی که حتی شاید فعالیت مستقیمی در حوزه نیروگاه نداشته باشند، اما به دلیل کانال‌هایی که دارند قادر به تهیه برخی اجزا و قطعات مورد نیاز هستند، ارتباط برقرار کرد.

۵-۵-۸-۳- مهندس قربانی

فکر می‌کنم زنجیره تأمین خوبی وجود ندارد. تا جایی که خاطرم هست به عنوان مثال دیودهای قدرت سیستم تحریک یا از قبل در انبار به عنوان یدکی ذخیره شده‌اند، یا در صورت نبود در انبار، از خارج کشور خریداری می‌شوند.

البته در زمینه کارت‌ها می‌توان برخی را در داخل تأمین کرد.

۶-۸-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی

با جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اهداف کلان در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی در موارد زیر قابل خلاصه‌سازی هستند:

- توسعه به کارگیری سیستم‌های تحریک دیجیتال
- نظام‌مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی با اولویت ساخت داخل به خصوص در بخش قدرت سیستم‌های تحریک
- کاهش تریپ و نرخ خرابی

۷-۸-۳- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی

با توجه به اهداف تعریف‌شده برای صنعت سیستم‌های تحریک نیروگاهی و همچنین جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اقدامات لازم جهت نیل به این اهداف در دو دسته اقدامات فنی و غیرفنی قابل ارائه هستند که در این زیربخش ارائه خواهند شد.

۳-۸-۷-۱- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی

مهم‌ترین اقدامات فنی لازم در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- مطالعه و امکان‌سنجی جایگزینی تحریک دینامیک با استاتیک و تعیین ملاحظات مربوطه
- انجام مطالعات امکان‌سنجی ساخت بریکرهای FCB سیستم تحریک
- تدوین حداقل مشخصات فنی برای خرید سیستم‌های تحریک استاتیک جدید، نظیر امکانات مانیتورینگ، سرعت پاسخ، اخذ تاییدیه های استانداردهای IEEE 421/2 و IEEE 421/5
- تجهیز واحدهای حساس نیروگاه به سیستم تحریک رزرو و در واحدهای با حساسیت کمتر، ماژولار نمودن عناصر حساس و آسیب‌پذیر سیستم تحریک
- تجهیز سیستم‌های تحریک استاتیک به اسکادا و فعال‌سازی آن به منظور کنترل‌پذیری واحد از دیسپاچینگ
- شناسایی خرابی AVR در نیروگاه‌ها و کنترل دستی نیروگاه و انجام اقدامات لازم جهت رفع عیب

۳-۸-۷-۲- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاه

مهم‌ترین اقدامات غیرفنی لازم در حوزه سیستم‌های تحریک نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- ایجاد الزام برای مدیران نیروگاه جهت انجام سرویس‌های دوره‌ای مطابق دستورالعمل‌های ابلاغی
- تدوین دستورالعمل و برنامه بازدید دوره‌ای و تعمیر و نگهداری برای سیستم‌های تحریک دینامیک، و توجه به این نکته که نیروگاه‌ها بر اساس گران‌ترین تجهیز سازنده تعمیر می‌شوند،
- تدوین دستورالعمل و برنامه بازدید و نگهداری سیستم تحریک استاتیک خصوصا بردهای الکترونیک و بخش قدرت
- برگزاری کلاس‌های آموزشی و تعلیم کارشناسان متخصص عیب‌یابی و تعمیر
- الزام شرکت‌های سازنده سیستم تحریک به در اختیار گذاشتن اطلاعات جامع نرم‌افزاری و بهره‌برداری و نقشه‌های فنی از تجهیز خریداری‌شده در قالب شروط قراردادهای خرید تجهیزات و ایجاد استقلال برای نیروگاه از شرکت‌های بیرونی، همچنین تعهد برای خدمات پس از فروش مناسب به میزان حداقل ۳۰ سال
- ایجاد دیتابیس جامع از قطعات یدکی انواع سیستم‌های تحریک موجود در انبار و الزام به وجود همیشگی قطعه یدکی
- ایجاد الزام برای خرید قطعات یدکی سیستم تحریک در زمان خرید اولیه تجهیز
- حمایت از شرکت‌های سازنده داخلی از طریق معافیت مالیاتی، خرید تضمینی و ..
- فرهنگ‌سازی جهت استفاده از سیستم‌های تحریک ساخت شرکت‌های داخلی

۳-۹- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های درایو

در این بخش ابتدا به ارائه مصاحبه‌های انجام‌شده با خبرگان حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی پرداخته خواهد شد. این مصاحبه‌ها در قالب یک پرسشنامه و به صورت جلسات آنلاین برگزار شدند. سوالات موجود در پرسشنامه سیستم‌های درایو به قرار زیر بودند:

۱) با توجه به مزایای استفاده از درایو در کنار الکتروموتور نظیر کاهش مصرف داخلی نیروگاه، چه میزان با تجهیز الکترموتورهای ولتاژ متوسط و ولتاژ پایین نیروگاه به سیستم درایو موافق هستید؟
۲) به نظر شما مهم‌ترین دلایل عدم نصب و به کارگیری درایو در نیروگاه چه مواردی است؟
۳) به نظر شما کدام یک از نیروگاه‌های کشور ظرفیت و قابلیت بیشتری برای نصب درایو دارند؟ چند درصد از الکتروموتورهای نیروگاه برای تجهیز به سیستم درایو در اولویت هستند؟ با توجه به ظرفیت‌های موجود آیا می‌توانیم این تجهیز کردن را انجام دهیم؟ اگر بله، سالانه امکان تجهیز چه تعداد الکتروموتور وجود دارد؟
۴) عمق ساخت داخل در حوزه درایوهای ولتاژ پایین و ولتاژ متوسط برای فن و پمپ چقدر است؟ به نظر شما تا ۵ سال آینده تا چه میزان افزایش خواهد یافت؟
۵) به نظر شما میزان صرفه‌جویی ارزی ساخت درایو مورد نیاز صنعت نیروگاهی چقدر خواهد بود؟ میزان صادرات ارزی از این محصول چطور؟
۶) در صورت خرید خارجی یا تأمین داخلی سیستم درایو، فاکتورهایی که باید مورد توجه قرار گیرند، چه مواردی هستند؟
۷) به نظر شما زنجیره تأمین مطمئنی برای تهیه اجزای درایو در صورت خرابی در داخل کشور وجود دارد؟ اگر چنین امکانی هست لطفاً اشاره کنید و اگر نه آیا تا سال ۱۴۰۴ این زنجیره تأمین شکل خواهد گرفت یا خیر؟ پیشنهاد شما برای ایجادشدن زنجیره تأمین مطمئن اجزای درایو چیست؟
۸) چشم‌انداز مطلوب برای درایو از زاویه دید توسعه فناوری، توسعه بازار، عمر و سایر موارد در ۵ سال آینده چیست؟

سوالات این پرسشنامه در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی با دسته‌بندی در ۴ دسته به شکل زیر، مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

۱) مبحث نصب سیستم‌های درایو (سوالات ۱، ۲ و ۳)
۲) مبحث عمق ساخت داخل، میزان صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز مطلوب صنعت سیستم درایو تا سال ۱۴۰۵ (سوالات ۴ و ۵ و ۸)
۳) مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم درایو (سوال ۶)
۴) مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم درایو (سوال ۷)

خبرگانی که در این حوزه با آن‌ها مصاحبه شد، مطابق زیر معرفی می‌شوند:

- مهندس کرمانی (نیروگاه اصفهان)
- مهندس عرب‌نژاد (نیروگاه ایرانشهر)

در انتها و پس از جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، خلاصه‌ای از اهداف و اقدامات فنی و غیرفنی ضروری در این حوزه ارائه خواهند شد.

۱-۹-۳- مبحث نصب سیستم‌های درایو

۱-۱-۹-۳- مهندس کرمانی

از لحاظ ولتاژ ضعیف صد در صد نیاز است که موتورهای فشار ضعیف به درایو مجهز شوند. اما در زمینه فشار متوسط (۶ کیلوولت)، موافق هستم اما فکر می‌کنم فعلاً پذیرش این تجهیز در صنعت هنوز ایجاد نشده است. به همین دلیل ما در نیروگاه اصفهان یکی دو بار پیشنهاد دادیم که برق حرارتی اتفاقی را در این زمینه رقم بزند، اما پذیرشی وجود نداشت. در هر صورت ما خوشحال هستیم که الان حداقل برای یکی از موتورهای ۶ کیلوولت ۲۴۰۰ کیلووات این اتفاق بیفتد. استفاده از درایو برای الکتروموتورهای فشار متوسط بیشتر در صنعت نفت و پتروشیمی پذیرش داشته است. اما در نیروگاه تا جایی که

من اطلاع دارم، رغبتی برای این موضوع وجود نداشته است. در موارد بسیار محدودی روی الکتروموتورهای فشار ضعیف درایو نصب شده که نیروگاه اصفهان جزو نیروگاه‌های پیشرو در این زمینه به شمار می‌رود.

تبلیغات منفی که روی این موضوع شده این است که مدیران بیشتر نگران سوختن المان‌های گران‌قیمتی مانند نیمه‌هادی‌ها هستند. همچنین نگرانی بابت آسیب‌دیدن خود تجهیز و موتور در پی سوختن این المان‌های نیمه‌هادی وجود دارد. تبلیغات منفی روی این قضیه خیلی زیاد بوده است.

مشکلات صنعت برق با پنل و جلسات و راهکارهایی از این دست حل نمی‌شوند. ما باید ریسک‌پذیر باشیم. خودمان یک بار طرحی را عملیاتی کنیم. وقتی بقیه نتیجه را ببینند، دیگر ترسی بابت این‌که این تجهیزات بسوزند وجود نخواهد داشت. مدیران باید ریسک‌پذیر باشند. من فکر می‌کنم اگر این کار در نیروگاه اصفهان به صورت پایلوت آغاز شود، بسیار مفید خواهد بود. به نظر من ریسک‌پذیر بودن و اجرای پایلوت ایده‌های موجود، بهترین راهکار برای خنثی‌کردن تبلیغات منفی موجود است.

در زمینه فشار ضعیف، تمام نیروگاه‌ها نیازمند درایو هستند. با این حال به نظر من بیشتر نیروگاه‌هایی که در موتورهای فشار ضعیف مانور بیشتری دارند، دارای ظرفیت بالاتری برای این کار هستند؛ مثل نیروگاه‌هایی که برج تر دارند و مدام فن‌های برج را خاموش و روشن می‌کنند. بهتر است اولویت روی این نیروگاه‌ها باشد. در واقع هدف این است که میزان خاموش و روشن کردن الکتروموتورها به حداقل برسد. اما نیروگاه‌هایی که برج‌های خشک دارند و کمتر از چنین الکتروموتورهایی استفاده می‌کنند، می‌توانند در اولویت بعدی قرار بگیرند. نیروگاه‌های دارای برج‌های ACC نیز اولویت بالایی دارند. در این نیروگاه‌ها نیز الکتروموتورهای فشار ضعیف مکرراً روشن و خاموش می‌شوند.

۲-۱-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد

در نیروگاه ما با استفاده از درایو، کنتاکتور کلاً از مدار حذف شد. فقط یک کلید را در ابتدای درایو برای قابلیت ایزوله کردن قرار دادیم. مشکل ضربات مکانیکی حل شد، استهلاک کنتاکتور حذف شد، رله حذف شد (چون حفاظت‌ها تماماً در داخل خود درایو قرار دارند). یکی دیگر از مهم‌ترین مزیت‌های حاصل، ایجاد امکان کنترل دور است.

در فایلی که تهیه کرده‌ایم، یک واحد که در آن از درایو استفاده شده و یک واحد که در آن درایو به کار نرفته است را در یک ماه مورد بررسی قرار دادیم. انرژی مصرفی این دو واحد در یک ماه توسط کنتور سنجیده شد. در نیروگاه مجهز به درایو، انرژی مصرفی باس به شدت کاهش یافته بود. همچنین لازم به ذکر است که بهره‌بردار نمی‌تواند دور را به صورت مداوم تغییر دهد.

از همه مهم‌تر، استفاده از باعث شده بود توان راکتیو مصرفی باس را تقریباً به صفر برسد و نیازی به نصب خازن وجود نداشت. البته نیروگاه که تولیدکننده است، اما نصب درایو در نیروگاه باعث شد هزینه خرید توان راکتیو مصرف‌کننده‌هایی که از شبکه توان راکتیو هم می‌خرند، تقریباً به صفر برسد. ما در نیروگاه ایرانشهر از درایو استفاده کردیم و کاملاً راضی هستیم. به جرأت می‌توانم ادعا کنم که ما اولین نیروگاهی هستیم که ۶ سال قبل در حجم به این وسیعی روی یک واحد درایو نصب کردیم. ۳ سال قبل هم برای واحد دوم ایرانشهر از سیستم درایو استفاده کردیم. اما متأسفانه به دلیل تحریم‌ها و افزایش نرخ ارز نتوانستیم واحدهای دیگر را به این سیستم‌ها مجهز کنیم. برنامه‌ای داریم که اگر شرایط فراهم شود، از درایوهای ساخت داخل استفاده کنیم. اگر سازنده‌ای داخلی بتواند درایوی برای سطح توانی نیروگاه تولید کند، هم به نفع ما و هم به نفع سازنده و به طور کلی صنعت برق خواهد بود. ما در نیروگاه شاید از ۳۰ درصد امکانات یک درایو استفاده می‌کنیم درحالی‌که درایو امکاناتی به مراتب بیشتر از این دارد.

ما برای دو واحد نیروگاه از دو گروه درایو ۱۳۲ کیلووات برند LS استفاده کرده‌ایم.

شاید بتوان گفت تنها ایرادی که درایو دارد این است که باعث می‌شود حرارت کاری الکتروموتور حدود ۸ تا ۱۰ درجه بالاتر برود. آن هم به خاطر تلفاتی است که در داخل الکتروموتور داریم و هارمونیک‌هایی است که تولید می‌شود. حتی با وجود نصب فیلتر در خروجی درایو، هیچ‌گاه هارمونیک‌ها به صفر نمی‌رسند. همین موضوع هم باعث افزایش دمای الکتروموتور می‌شود که خیلی مشکل حادی نیست. می‌توان با سیستم خنک‌کنندگی جانبی یا با انجام سرویس دوره‌ای سریع‌تر مشکل را مرتفع کرد. یکی از مشکلاتی که حرارت ایجاد می‌کند این است که عمر بلبرینگ کاهش یابد و لازم شود الکتروموتور را سریع‌تر سرویس کنیم.

شاید یک دلیل دیگر مخالفت این باشد که درایو تجهیزی است که هنوز هم کمی ناشناخته به حساب می‌آید، بنابراین ممکن است افراد چنین تصور کنند که شاید در صورت استفاده از درایو با مشکلات جدی مواجه شوند. به نظر من درایو آینده بسیار خوبی در صنعت خواهد داشت.

به طور کلی چون الکتروموتورها و تجهیزات موتوری زیادی در نیروگاه‌های بخاری به کار گرفته می‌شوند، استفاده از درایو چه در سطح ولتاژ پایین و چه در سطح ولتاژ متوسط توصیه می‌شود. واحدهای گازی الکتروموتورهای زیادی ندارد و به همین دلیل شاید استفاده از درایو برای آن‌ها چندان مقرون به صرفه نباشد. اگر هم موتوری داشته باشند احتمالاً اغلب مواقع به صورت دائم کار یا در بیشترین دور است. ولی در واحدهای بخاری به دلیل این‌که الکتروموتورهای زیادی دارند (خصوصاً بخش‌هایی که امکان تغییر دور دارند) استفاده از درایو بسیار عالی است. درایو باعث می‌شود این الکتروموتورها محدود به دور تند یا دور کند نشوند.

۲-۹-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم درایو تا سال ۱۴۰۵

۱-۲-۹-۳- مهندس کرمانی

به نظر من در مورد موتورهای فشار ضعیف به عمق ۱۰۰ رسیده‌ایم، اما در مورد موتورهای فشار متوسط شاید چیزی در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد. البته چون طرح تجهیز درایوهای ولتاژ متوسط چندان اجرایی نشده است، نمی‌توان عدد قطعی گفت. ما در زمینه فشار ضعیف هیچ مشکلی نداریم و کاملاً خودکفا هستیم. در مورد فشار متوسط هم به نظر می‌رسد توانایی ۱۰۰ درصد را داریم، اما عمق داخلی به نظر من بیش از ۲۰–۳۰ درصد نیست.

در زمینه درایوهای فشار متوسط تا ۵ سال آینده قطعاً به چنین نقطه‌ای نخواهیم رسید، اما شاید حدود ۵۰–۶۰ درصد قابل حصول باشد.

اگر بخواهیم نیروگاهی فکر کنیم، ابتدا باید برآوردی داشته باشیم که چه تعداد تولید و مصرف می‌توان داشت. اگر به طور متوسط ۱۰ تجهیز فشار ضعیف برای یک نیروگاه در نظر بگیریم و فقط نیروگاه‌های دولتی (حدود ۱۵ نیروگاه) را مد نظر قرار دهیم، یعنی ۱۵۰ تجهیز و برای هر تجهیز فشار ضعیف چیزی در حدود ۴۰ تا ۵۰ میلیون تومان صرفه‌جویی اتفاق بیفتد، سالانه چیزی در حدود ۷،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰ تومان (۷ میلیارد و ۵۰۰ میلیون تومان) صرفه‌جویی خواهد بود.

۲-۲-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد

برای خود ما هم استفاده از درایو داخلی بهتر از درایوهای خارجی مانند LS و هیوندای است؛ چه از نظر تأمین قطعات، چه از نظر خدمات پس از فروش. اما این شرکت متأسفانه پا پس کشید. من خودم طی تمام این سال‌ها که در صنعت بوده‌ام، درایو ساخت داخل ندیده‌ام.

ما تعداد بسیار زیادی الکتروموتور در صنعت داریم که جریان راه‌اندازی بسیار بالایی (۶ برابر جریان نامی) دارند. تعداد راه‌اندازی و خاموش شدن‌های این تعداد الکتروموتور را متصور شوید. در صورت استفاده از درایو، فشار بسیار زیادی از روی موتورها، باسبارها، کلیدها و غیره برداشته می‌شود و بسیار کمک‌کننده است.

استفاده از درایوهای ساخت داخل شاید در حدود ۵۰ درصد صرفه‌جویی ارزی به همراه داشته باشد.

من امیدوارم ۵ سال آینده میزان استفاده از درایو به میزانی برسد که امروز از کنتاکتور استفاده می‌شود. من امیدوارم هم چاه‌های کشاورزی، هم صنعت، هم نیروگاه‌ها به سمتی بروند که استفاده از درایو در آن‌ها به حداکثر برسد.

شما به عنوان متولی که با شرکت‌ها در تماس هستید اگر بتوانید تولیدکننده‌ها را با ما به عنوان مصرف‌کننده متصل کنید، خیلی خوب خواهد شد. در این صورت مشکلات تأمین و تعمیر ما بسیار کاهش می‌یابد. همچنین حمایت از سازنده به طوری که نگران مسائل مالی نباشد و تمرکز خود را روی ساخت تجهیز و بالابردن کیفیت بگذارد، بسیار موثر خواهد بود. اگر بازدیدها هم افزایش یابند، می‌توان برخی نیروگاه‌های مخالف با سیستم درایو را قانع کرد که به سمت استفاده از درایو حرکت کنند.

۳-۹-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم درایو

۱-۳-۹-۳- مهندس کرمانی

به نظر من پارامتر دما یکی از پارامترهای بسیار مهم است. همچنین انتخاب دقیق المان‌ها، مخصوصاً المان‌های نیمه‌هادی اهمیت ویژه‌ای دارد. برند اهمیت دارد.

البته اگر نظر من را بخواهید، با خرید درایو خارجی اصلاً موافق نیستم.

همچنین لازم به ذکر است که تجهیزات نیروگاهی برای موقعیت جغرافیایی خاصی طراحی می‌شوند. اگر یک تجهیز در اصفهان، بوشهر یا نکا نصب شود، نتیجه بسیار متفاوت خواهد بود. به همین خاطر علی‌رغم این‌که برخی تجهیزات دارای فن هستند، لازم شد اتاقکی مجزا و اسپیلت در نظر بگیرند تا مشکلات دمایی کمی مرتفع شوند و پایداری سیستم به مخاطره نیفتد. مواردی که عرض کردم، جزو مهم‌ترین مشکلات موجود هستند.

۲-۳-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد

تجهیزاتی که برای ساخت درایو استفاده می‌شود (خصوصاً برای جاهایی که دما بالاست)، باید به گونه‌ای باشند که درایو بتواند در دمای ماکزیمم مد نظر خریدار کار کند. ما هر بار درایوی خریدیم (حتی درایوهای LS) اجازه دادیم یک سال در دمای مد نظرمان کار کند و اگر جواب داد، رفتیم به سمتی که برای سایر تجهیزات هم استفاده کنیم. الان هم اگر به سمت ساخت داخل برویم، سازنده حتماً باید یک نمونه درایو تهیه کند، ما آن را ببندیم و وقتی از صحت عملکرد و کیفیت آن مطمئن شدیم، برویم به سمت استفاده‌ی انبوه از آن. قطعاً در ابتدای ساخت نواقص زیاد خواهند بود، اما من اطمینان دارم که این نواقص هم قابل رفع شدن هستند. دمای کاری و کیفیت IGBTها و تجهیزات الکتریکی یکی از فاکتورها فنی مهم در حوزه درایو هستند.

٤-۹-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم درایو

۱-۴-۹-۳- مهندس کرمانی

اگر منظورتان از اجزا و قطعات همان قطعات الکترونیکی باشد، این بستر وجود دارد. شاید اکنون با مشکلات و پیچیدگی‌هایی مواجه باشیم یا با قیمت بیشتری تأمین شوند، اما بستر وجود دارد. اگر منظورتان بخش‌های کنترلی است که ما ۱۰۰ درصد در این حوزه توانمند هستیم و فکر نمی‌کنم مشکلی داشته باشیم.

اگر درایوهای نیروگاهی دچار اشکال شوند، نیروگاه‌ها به خاطر نبود قطعه معطل نمی‌مانند. حتی می‌توان مشابه‌سازی هم انجام داد.

برای درایوهای فشار ضعیف عملاً زنجیره تأمین قطعات کامل است، ولی برای فشار متوسط خیر.

۲-۴-۹-۳- مهندس عرب‌نژاد

ما حتی در درایوهای LS با بوردهای الکتریکی یا IGBT معیوب مواجه شدیم. وقتی با نمایندگی صحبت کردیم به دلیل تحریم‌ها مایل به همکاری نبودند و نتوانستند بورد یدک برای ما تأمین کنند. رفتیم به سمتی که بورد را تعمیر کنیم و با کمک شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در این حوزه، موفق به تعمیر بوردها شدیم. به همین دلیل عرض کردم اگر سازنده داخلی داشته باشیم، در این بخش تأمین قطعات یدک و همچنین خدمات پس از فروش شرایط بهتری خواهیم داشت.

پیشنهاد من برای ایجاد زنجیره تأمین مناسب، حرکت به سمت تولید داخل است.

۵-۹-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی

با جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اهداف کلان در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی در موارد زیر قابل خلاصه‌سازی هستند:

- توسعه به کارگیری درایو همراه با الکتروموتورهای نیروگاه
- بومی‌سازی درایوهای فشار متوسط نیروگاه
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی درایو با اولویت ساخت داخل

٦-۹-۳- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی

با توجه به اهداف تعریف‌شده برای صنعت سیستم‌های درایو نیروگاهی و همچنین جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اقدامات لازم جهت نیل به این اهداف در دو دسته اقدامات فنی و غیرفنی قابل ارائه هستند که در این زیربخش ارائه خواهند شد.

۱-۶-۹-۳- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی

مهم‌ترین اقدامات فنی لازم در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- انجام مطالعات مهندسی بر روی انواع الکتروموتورهای نیروگاهی و تعیین الکتروموتورهای با قابلیت تجهیز به درایو
- تعیین محدوده تغییر دور موتور بیشتر یا کمتر از ۵۰٪ اگر تغییر سرعت از مقدار خاصی بیشتر باشد، موتورهای معمولی قادر به پاسخگویی نیستند، چون موتور دچار مشکل خنک‌کاری می‌شود. همچنین از آن‌جایی که استفاده از درایو به تولید هارمونیک منجر می‌شود، باید بررسی شود که آیا شبکه بالادست توان تحمل این میزان هارمونیک را دارد یا خیر. و آیا موتور توانایی تحمل پالس‌های سوزنی ناشی از درایو را دارد یا خیر. در مواردی مشاهده شده که موتور به دلیل عدم توانایی تحمل این پالس‌ها، سوخته است.
- مطالعات امکان‌سنجی و تجهیز الکتروموتورهای فن برج‌های تر به درایو در اولویت اول و سپس برج ACC در اولویت دوم
- تدوین حداقل مشخصات فنی برای خرید درایو و توجه ویژه به پارامتر دمای کاری تجهیز

۲-۶-۹-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاه

مهم‌ترین اقدامات غیرفنی لازم در حوزه سیستم‌های درایو نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- فرهنگ‌سازی در بین کارشناسان و مدیران ذی‌ربط نیروگاه جهت استفاده از درایو در الکتروموتورهای نیروگاه به خصوص فشار ضعیف
- فرهنگ‌سازی جهت استفاده از درایوهای ساخت شرکت‌های داخلی
- برگزاری کلاس‌های آموزشی و تعلیم کارشناسان متخصص عیب‌یابی و تعمیر
- ایجاد الزام برای خرید بوردهای یدکی در زمان خرید اولیه تجهیز

- حمایت از تولیدکنندگان داخلی برای ساخت درایو فشار متوسط

۱۰-۳- مصاحبه با خبرگان در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت

در این بخش ابتدا به ارائه مصاحبه‌های انجام‌شده با خبرگان حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی پرداخته خواهد شد. این مصاحبه‌ها در قالب یک پرسشنامه و به صورت جلسات آنلاین برگزار شدند. سوالات موجود در پرسشنامه سیستم‌های پایش وضعیت به قرار زیر بودند:

۱) چند درصد از نیروگاه‌های حرارتی کشور به سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین نظر تخلیه جزئی، ارتعاشات، دما، فاصله هوایی و ... مجهز هستند؟

۲) به نظر شما مهم‌ترین دلیل عدم استفاده از تجهیزات پایش وضعیت آنلاین در نیروگاه‌ها چیست؟ پیشنهاد شما برای عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین برای ژنراتور و حتی الکتروموتور بفرمایید.

۳) کدام‌یک از نیروگاه‌های کشور ظرفیت یا اولویت بیشتری برای نصب تجهیزات پایش وضعیت آنلاین دارند؟ با توجه به ظرفیت‌های موجود، سالانه چه تعدادی از نیروگاه‌ها را می‌توان به سیستم پایش وضعیت آنلاین تجهیز کرد؟

۴) عمق و ظرفیت ساخت داخل تجهیزات پایش وضعیت نیروگاهی چه میزان است؟ تا ۵ سال آینده تا چه میزان قابل افزایش خواهد بود؟

۵) به نظر شما دانش فنی متخصصین داخلی در زمینه تحلیل اطلاعات پایش‌شده چه میزان است؟ پیشنهاد شما برای افزایش این دانش چیست؟ آیا تعداد متخصصین توانمند در تحلیل اطلاعات پایشی در صنعت نیروگاهی کافیست؟ پیشنهاد شما برای افزایش تعداد این متخصصین چیست؟

۶) میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی از ساخت داخل تجهیزات پایش رو چه میزان برآورد می‌کنید؟

۷) در صورت خرید خارجی یا تأمین داخلی سیستم‌های پایش، به نظر شما چه فاکتورهایی باید لحاظ شوند؟

۸) آیا زنجیره تأمین مطمئن برای تهیه اجزا و قطعات سیستم پایش در داخل کشور وجود دارد؟ آیا تا ۵ سال آینده امکان تأمین این اجزا و قطعات را خواهیم داشت؟ پیشنهاد شما برای ایجاد یک زنجیره تأمین مطمئن چیست؟

۹) به نظر شما طی ۵ سال آینده چشم‌انداز مطلوب برای سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی چیست؟

سوالات این پرسشنامه در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی با دسته‌بندی در ۴ دسته به شکل زیر، مورد بررسی قرار خواهند گرفت:

۱) مبحث وضعیت کلی سیستم‌های پایش وضعیت (سوالات ۱، ۲ و ۳)

۲) مبحث عمق ساخت داخل، میزان صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز مطلوب صنعت سیستم‌های پایش وضعیت تا سال ۱۴۰۵ (سوالات ۴ و ۵ و ۹)

۳) مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم‌های پایش وضعیت (سوال ۷)

۴) مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم‌های پایش وضعیت (سوال ۸)

فرد خبره‌ای که در این حوزه با ایشان مصاحبه شد، مطابق زیر معرفی می‌شوند:

- مهندس تقوی (نیروگاه یزد)

در انتها و پس از جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، خلاصه‌ای از اهداف و اقدامات فنی و غیرفنی ضروری در این حوزه ارائه خواهند شد.

۱-۱۰-۳- مبحث وضعیت کلی سیستم‌های پایش وضعیت

در زمینه تحلیل ارتعاشات و دما ۱۰۰ درصد این نیروگاه‌ها به سیستم‌های پایش وضعیت مجهز هستند. ولی در بحث تحلیل تخلیه جزئی، شاید در حد ۲۰–۳۰ درصد باشد، چون اهمیتی برای این موضوع قائل نیستند. از طرفی در تعمیرات

دوره‌ای و اورهال‌ها مشکلات پیش‌آمده ناشی از تخلیه‌های جزئی رفع می‌شوند، به همین خاطر پایش آنلاین چندان مد نظر قرار نمی‌گیرد. سنسورها و دستگاه‌های لازم برای پیاده‌سازی سیستم پایش وضعیت گران‌قیمت و فناوری بالا هم هستند.

اگر ارتعاش بالا باشد، همه چیز را نابود می‌کند. اگر بیرینگ مشکل داشته باشد، می‌تواند باعث نابود شدن سیم‌پیچ‌ها و کل ژنراتور شود. تحلیل ارتعاشات از تحلیل دمایی هم اهمیت بیشتری دارد.

خود تخلیه جزئی که آن هم در بخش‌هایی انتهایی ژنراتور بیشتر است، چون دمای این نقاط معمولاً بالاتر از بقیه نقاط ژنراتور است. البته اگر ارتعاشات و دما به خوبی مانیتور شوند، به احتمال ۸۰ درصد ژنراتور آسیبی نخواهد دید و حتی می‌توان اولویت سوم را هم به سیستم‌های تحلیل‌گر تخلیه جزئی نداد.

به طور خلاصه عدم اطلاع کافی و همکاری نیروگاه‌ها، مسائل اقتصادی نیروگاه‌ها و همچنین ارائه نشدن یک مدل کسب و کاری مناسب، از مهم‌ترین دلایل عدم استفاده از تجهیزات پایش وضعیت آنلاین هستند.

بیشتر حوادث ناشی از عدم پایش می‌تواند سهم مهمی در مدل کسب و کاری داشته باشد. اگر بتوان خسارت‌هایی که ناشی از عدم پایش هستند را استخراج کرد، متوجه خواهیم شد که نصب تجهیزات بسیار کمک‌کننده و به صرفه خواهد بود. متأسفانه در کشور نمونه خسارت‌های زیادی ناشی از عدم پایش وضعیت داریم که می‌توانند به عنوان ریفرنس مورد اشاره و بررسی قرار گیرند. به نوعی تقریباً شبیه به بیمه شخص ثالث عمل می‌شود.

نیروگاه‌هایی که ظرفیت بالاتری دارند و در بحث کنترل فرکانس نقش حیاتی ایفا می‌کنند، در اولویت هستند.

خودم با نیروگاه‌های قدیمی بیشتر سر و کار دارم. در این نیروگاه‌ها بیشتر بحث‌هایی مانند آنالیز جریان و ترموگرافی مطرح است. نیروگاه‌های قدیمی ظرفیتی بیش از ۲۰۰ مگاوات نیست و عمری بیش از ۴۰–۵۰ سال دارند. البته به سیستم‌های پایش وضعیت دما و ارتعاشات هم مجهز هستند. اما تمایلی به تجهیز به سیستم تحلیل تخلیه جزئی، ندارد. حتی اگر از نظر فنی هم توجیه‌پذیر باشد، از آن‌جایی که عمر این نیروگاه‌ها بسیار زیاد است، صرفه اقتصادی قابل توجهی نخواهد داشت.

از نظر زمانی به نظرم طی کمتر از یک ماه می‌توان سیستم‌های پایش را در واحدهای نیروگاهی پیاده‌سازی کرد.

۲-۱۰-۳- عمق ساخت داخل، صرفه‌جویی ارزی و چشم‌انداز سیستم‌های پایش وضعیت تا سال ۱۴۰۵

بیشتر تولیدکنندگان در زمینه قطعات مکانیکی فعال هستند. بحث‌های کنترلی بسیار کم مورد توجه بوده است. نیروگاه جایی برای آزمایش و خطا نیست. اگر قطعه یا تجهیز ارائه شده خوب جواب ندهد، هزینه‌های بسیاری سنگینی را متحمل خواهیم شد. متأسفانه اغلب شرکت‌های فعال در این حوزه به واردکننده تبدیل شده‌اند.

من در بحث‌های کنترلی شرکتی را ندیده‌ام که بتوان به آن اعتماد کرد. یعنی زیر ۱۰ درصد است.

به نظر من ۵ سال زود است، اما اگر زمان بیشتری مد نظر بگیریم و حمایت هم صورت بگیرد، به نظرم به نقطه خوبی خواهیم رسید. به نظر بنده بین ۵ تا ۱۰ سال می‌تواند زمان مناسبی باشد.

اگر در زمینه آموزش یا انتقال تجربیات بین نیروگاه‌ها و شرکت‌های فعال در این حوزه کمی کار شود، تقریباً هیچ مشکلی در زمینه تحلیل اطلاعات پایش‌شده نخواهیم داشت. من در جامعه آماری که مشاهده کرده‌ام، به نظرم حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد مشکلی در زمینه تحلیل اطلاعات ندارند.

نشست‌های تبادل تجربه بین نیروگاه‌ها برای افزایش متخصصین بسیار مفید خواهد بود. البته ما در آموزش داخلی چندان قوی نیستیم. مثلاً در حوزه تحلیل ارتعاشات شاید زیر ۱۰ فرد واقعاً خبره داشته باشیم.

اگر سمینار و نشست‌های دوطرفه باشد، قطعاً بهتر خواهد بود. مخصوصاً اگر سمینارها نیروگاه به نیروگاه باشد تا انتقال تجربیات و دانش بهتر صورت گیرد.

تعداد متخصصین موجود در زمینه پایش وضعیت اصلاً کافی نیست.

ما یک سنسور ۶۰ میلیونی را به خاطر مشکلات موجود و تحریم به قیمت حدوداً ۳۸۰ میلیون تومان تهیه کردیم. طبعاً اگر بتوانیم این تجهیزات را ساخت داخل کنیم، صرفه‌جویی بسیار قابل توجهی در هزینه‌ها حاصل خواهد شد. یا در مورد سنسورهای ارتعاشی، تجربه داشتیم که سنسوری حدوداً ۸۳ میلیون به قیمت تقریباً ۴۳۸ میلیون تومان تمام شد.

اگر واقعاً حمایت فنی، مالی، آموزشی و انتقال تجربیات صورت گیرد، طی ۵ سال و حتی کمتر به نقطه خوبی خواهیم رسید.

۳-۱۰-۳- مبحث ویژگی‌های حائز اهمیت هنگام خرید سیستم‌های پایش وضعیت

رزومه شرکت مهم‌ترین نکته است. مثلاً باید بررسی شود که چه شرکت‌ها و نیروگاه‌هایی از آن سازنده خرید کرده‌اند. چه در مورد تجهیزات خارجی و چه داخل این موضوع مهم است. بازخوردهایی که از شرکت‌های خریدار گرفته می‌شوند هم می‌تواند مرجع تصمیم‌گیری خوبی برای انتخاب یک برند یا یک تجهیز خاص باشد.

در مورد ترموگرافی باید این نکته را متذکر شوم که نمی‌توان با ترموگرافی پایش وضعیت انجام داد. ترموگرافی جایی کاربرد دارد که قصدمان شناسایی عیوب سطوح بیرونی باشد. تنها کاری که می‌توان به کمک ترموگرافی برای پایش وضعیت ژنراتور انجام داد این است که به صورت آفلاین پایش و بررسی انجام دهیم. اما hotspotهای روی سیم‌پیچ‌ها از طریق ترموگرافی امکان‌پذیر نیست.

٤-۱۰-۳- مبحث زنجیره تأمین قطعات مورد نیاز سیستم‌های پایش وضعیت

متأسفانه در این حوزه زنجیره تأمین مناسبی نداریم. بعد از تحریم‌ها که برخی شرکت‌ها ایران را ترک کردند، این زنجیره تأمین کاملاً قطع شد. اما در ۱۲-۱۳ سال پیش چنین مشکلاتی نداشتیم و قطعات و تجهیزات معیوب را به سادگی با نمونه جدید و سالم جایگزین می‌کردیم.

برای ایجاد یک زنجیره تأمین مطمئن می‌توان پشتیبانی فنی، مالی و علمی از افراد و شرکت‌های فعال در این حوزه انجام داد. لازم است که با گذر زمان این پشتیبانی قطع نشود.

اگر واقعاً حمایت فنی، مالی، آموزشی و انتقال تجربیات صورت گیرد، طی ۵ سال و حتی کمتر به نقطه خوبی خواهیم رسید.

۵-۱۰-۳- اهداف در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی

با جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اهداف کلان در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی در موارد زیر قابل خلاصه‌سازی هستند:

- توسعه به کارگیری سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین در واحدهای نیروگاه
- بومی‌سازی تجهیزات و سنسورهای پایش ارتعاش، دما، تخلیه جزئی و فاصله هوایی
- ایجاد دانش و تخصص لازم برای تحلیل نتایج پایش

٦-۱۰-۳- اقدامات لازم در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی

با توجه به اهداف تعریف‌شده برای صنعت سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی و همچنین جمع‌بندی نظرات خبرگان این حوزه، اقدامات لازم جهت نیل به این اهداف در دو دسته اقدامات فنی و غیرفنی قابل ارائه هستند که در این زیربخش ارائه خواهند شد.

۱-۶-۱۰-۳- اقدامات فنی در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی

مهم‌ترین اقدامات فنی لازم در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- تدوین مدل کسب و کار تجهیز واحدهای نیروگاه به تجهیزات پایش وضعیت نظیر دما و ارتعاش و تخلیه جزئی بر مبنای استخراج خسارت‌های ناشی از عدم پایش
- اولویت‌بندی واحدهای نیروگاهی کشور برای تجهیز به سیستم‌های پایش وضعیت بر مبنای ظرفیت واحد و نقش آن در کنترل فرکانس شبکه، طول عمر و ...
- بومی‌سازی تجهیزات پایش وضعیت نظیر تجهیزات اندازه‌گیری ارتعاشات و شار مغناطیسی

۲-۶-۱۰-۳- اقدامات غیرفنی در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاه

مهم‌ترین اقدامات غیرفنی لازم در حوزه سیستم‌های پایش وضعیت نیروگاهی به قرار زیر هستند:

- فرهنگ‌سازی در بین کارشناسان و مدیران ذی‌ربط نیروگاه جهت استفاده از سیستم‌های پایش وضعیت
- برگزاری کلاس‌های آموزشی و نشست‌هایی تبادل تجربه جهت تعلیم کارشناسان متخصص در حوزه تحلیل نتایج پایش
- حمایت از تولیدکنندگان داخلی برای ساخت تجهیزات و سنسورهای پایش ارتعاش، دما، تخلیه جزئی، فاصله هوایی

۳-۱۱- بیانیه چشم انداز توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات در نیروگاه حرارتی

- با اتکا به خداوند متعال و تکیه بر توانمندی داخل و مشارکت همه ذینفعان، حوزه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات در نیروگاه حرارتی کشور در افق ۱۴۰۵ حوزه‌ای است که:
  - الکتروموتورهای پربازده فشارضعیف بومی‌سازی شده و ۱۶۰ عدد از الکتروموتورهای کم بازده فشار ضعیف موجود با الکتروموتورپربازده جایگزین گردد.
  - الکتروموتور پربازده فشار متوسط بومی سازی شده است و ۴۷ عدد از الکتروموتورهای کم بازده فشارمتوسط موجود با الکتروموتور پربازده جایگزین گردد.
  - دانش فنی ارتقاء ژنراتورهای بزرگ نیروگاهی و اجزاء آن بومی‌سازی شده و حداقل ۴ دستگاه ژنراتور با عمر بیش از ۴۰ سال ارتقاء داده شود.
  - سیستم‌های راه‌انداز SFC بومی‌سازی شده و ۸ عدد از راه‌اندازهای دیزلی قدیمی با SFC جایگزین گردد.
  - نسل نوین سیستم‌های تحریک بومی‌سازی شده و در ۱۰ واحد نیروگاهی جایگزین سیستم تحریک قدیمی گردد.
  - درایو فشار متوسط بومی‌سازی شده و ۱۱۷عدد از سیستم‌های الکتروموتوری نیروگاه به درایو فشار متوسط تجهیز گردد.
  - تجهیزات پایش وضعیت مشتمل بر پایش تخلیه جزئی، ارتعاش و شار مغناطیسی بومی‌سازی شده و حداقل ۱۰ واحد نیروگاهی به این فناوری‌ها تجهیز گردد.

۳-۱۲- اهداف کلان

۳-۱۲-۱- حوزه الکتروموتور

- نظام مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری الکتروموتورهای ولتاژ ضعیف و متوسط در نیروگاه
- افزایش قابلیت اطمینان نیروگاه از طریق ارتقاء کیفیت الکتروموتورهای ساخت داخل
- افزایش بازده و ظرفیت تولید نیروگاه از طریق جایگزینی الکتروموتورهای موجود با الکتروموتور پربازده

۳-۱۲-۲- حوزه ژنراتور

- نظام مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری ژنراتورهای نیروگاهی
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی ژنراتور نیروگاه‌ها با اولویت ساخت داخل
- افزایش ظرفیت تولید نیروگاه از طریق ارتقاء ژنراتورهای قدیمی در حال بهره‌برداری
- افزایش قابلیت اطمینان و عمر نیروگاه از طریق ارتقاء ژنراتورهای در حال بهره‌برداری

۳-۱۲-۳- حوزه سیستم راه‌انداز

- افزایش قابلیت اطمینان و ضریب آماده به کاری نیروگاه گازی و سیکل ترکیبی از طریق جایگزینی راه‌اندازهای قدیمی با SFC
- نظام مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری سیستم‌های راه‌انداز نیروگاه
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی سیستم‌های راه‌انداز با اولویت ساخت داخل

۳-۱۲-٤- حوزه سیستم تحریک

- افزایش قابلیت اطمینان و ضریب آماده به کاری نیروگاه از طریق جایگزینی سیستم تحریک قدیمی با نوین
- افزایش حاشیه پایداری شبکه سراسری از طریق جایگزینی سیستم تحریک قدیمی با نوین و با سرعت پاسخ بالا
- نظام مندسازی و بهبود شرایط تعمیرات و نگهداری سیستم‌های تحریک
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی سیستم‌های تحریک با اولویت ساخت داخل

۳-۱۲-٥- حوزه درایو

- افزایش بازده و ظرفیت تولید نیروگاه از طریق استفاده از درایو در سیستم‌های الکتروموتوری نیروگاه
- افزایش قابلیت اطمینان، ضریب آماده به کاری و عمر نیروگاه از طریق استفاده ار فناوری درایو
- ایجاد زنجیره مطمئن تأمین تجهیزات و قطعات یدکی درایو با اولویت ساخت داخل

۳-۱۲-٦- حوزه سیستم پایش وضعیت

- افزایش قابلیت اطمینان، ضریب آماده به کاری و عمر نیروگاه از طریق پایش وضعیت ژنراتورها و الکتروموتورهای نیروگاهی با استفاده از سیستم‌های پایش وضعیت

۳-۱۳- طرح‌های عملیاتی

- طرح جایگزینی الکتروموتورهای کم بازده نیروگاه با الکتروموتور پربازده و یا درایو
- طرح نوسازی و ارتقا ژنراتورهای قدیمی نیروگاه
- طرح جایگزینی سیستم‌های راه‌انداز دیزلی با SFC
- طرح جایگزینی سیستم‌های تحریک قدیمی با نوین
- طرح تجهیز نیروگاه‌های با ریسک بالا و پرظرفیت به تجهیزات پایش وضعیت

۳-۱۴- مأموریت، نقش و جایگاه

۱-۱٤-۳- ماموریت‌ها و نقش و جایگاه پژوهشگاه

- مدیریت تحقیقات و توسعه فناوری
- ایجاد اکوسیستم شرکت‌های فناور
- تأمین مالی از طرق مختلف نظیر صندوق پژوهش و فناوری صنعت برق و انرژی ، صندوق نوآوری و شکوفایی
- ایجاد و توسعه شبکه متخصصین
- نظارت بر اجرای پروژه‌های توسعه فناوری و پایلوت
- انجام پروژه‌های امکانسنجی و تدوین نقشه راه و برنامه عملیاتی

۲-۱٤-۳- ماموریت‌ها و نقش و جایگاه شرکت تولید نیروی برق حرارتی

- سیاست‌گذاری برای جایگزینی تدریجی فناوری‌های قدیمی با نوین
- تأمین مالی پروژه‌های فناوری و طرح‌های عملیاتی
- تدوین و ابلاغ دستورالعمل‌های تعمیرات و بهره‌برداری و بروزرسانی آن‌ها
- بسترسازی برای توسعه بازار محصولات فناورانه جدید

۱۵-۳- راهبردها

۱-۱۵-۳- راهبردهای پژوهشگاه

- ایجاد شبکه‌های دانشی در ارتباط با فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار تحریک و ایجاد زیرساخت‌های دانشی در حوزه‌های فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار (آزمایشگاه‌های تحقیقاتی عمومی)
- سازماندهی مشارکت تولیدکنندگان توانمند بالقوه‌ای که در فناوری‌های ماشین‌های الکتریکی دوار فعالیت دارند.
- حمایت از اخذ لیسانس، ثبت اختراع و اخذ تأییدیه‌های بین المللی لازم برای محصولات با نام و نشان ایرانی
- همکاری در تدوین استاندارد و دستورالعمل‌های تعمیرات و نگهداری و بهره‌برداری
- ایجاد زیرساختهای دانشی در ارتباط با دانش تولید شده و ایجاد یک بانک اطلاعاتی مناسب برای استفاده پژوهشگران این حوزه و به اشتراک گذاشتن دانش تولید شده توسط آنها در این بانک اطلاعاتی
- سازماندهی مشارکت بانک‌ها و ایجاد ارتباط با منابع تأمین مالی نظیر صندوق‌های پژوهش و فناوری صنعت برق و انرژی ، نوآوری و شکوفایی
- رای حمایت از تولیدکنندگان فناوری‌های ماشین‌های الکتریکی دوار در نیروگاه
- توسعه سرمایه‌های انسانی کارآمد و زمینه‌سازی برای بکارگیری متخصصان و پژوهشگران

۲-۱۵-۳- راهبردهای شرکت برق حرارتی

- تنظیم قوانین و دستورالعمل‌های مناسب جهت استفاده مناسب از تجهیزات الکتریک در نیروگاه

- حمایت‌های لازم جهت ایجاد انگیزش در تولیدکننده داخلی با برنامه‌های تشویقی یا اعمال استانداردهای اجباری به منظور تولید تجهیزات الکتریک نیروگاه در داخل کشور با کیفیت مناسب
- مدیریت تقاضا و هدایت نیروگاه‌ها به سمت محصولات تولید داخل
- حمایت از برگزاری نمایشگاه‌های تخصصی در حوزه تجهیزات الکتریک نیروگاه و تحریک تولید کنندگان به شرکت فعال در آن
- پیاده‌سازی نظام تایید صلاحیت فنی مهندسان و مشاوران و شرکت‌های فعال در حوزه صنعت نیروگاه

۴-برنامه اقدامات

۴-۱- مقدمه

برای برنامه‌ریزی صحیح و مبتنی بر نیازهای کشور در بحث توسعه فناوری ماشین‌های الکتریکی دوار و متعلقات آن در نیروگاه حرارتی نیاز است که ابتدا چالش‌های پیشرو در مسیر توسعه این فناوری‌ها شناسایی گردند و برای هر یک از این چالش‌ها سیاست‌ها و اقدامات مناسب رفع آنها تدوین گردد. در این گزارش که به بررسی این مساله در افق ۵ ساله توسعه فناوری‌های ژنراتور، الکتروموتور، سیستم تحریک، راه‌انداز، درایو و سیستم پایش وضعیت نیروگاه حرارتی پرداخته شده است ، اقدامات فنی و غیر فنی مورد نیاز برای رفع چالش‌های پیش‌رو معرفی گردیده است.

۴-۲- برنامه اقدامات

٤-۲-۱- حوزه الکتروموتور

- ❖ فرهنگ‌سازی در بین کارشناسان و مدیران ذیربط نیروگاه، در خصوص میزان اهمیت بازبینی و تست‌های دوره‌ای
- ❖ آموزش مناسب کارشناسان نیروگاه در نحوه نگهداری از الکتروموتور و انجام بازرسی‌های دوره‌ای
- ❖ ایجاد رویه و قانون برای عدم استفاده از الکتروموتور در کاربری که برای آن طراحی نشده است
- ❖ ایجاد رویه ای برای اینکه قطعات یدکی الکتروموتور همواره در انبار موجود باشد و در صورت مصرف سریعا جایگزین گردد
- ❖ نظارت بر روی شرکت‌های حاضر در مناقصات و خرید از شرکت‌های دارای رزومه و معتبر .
- ❖ حمایت مناسب به دور از انحصاری گری از شرکت های سازنده
- ❖ ایجاد نظام تایید صلاحیت و ارزیابی شرکت‌های فعال در حوزه تعمیر نگهداری و تایید صلاحیت حرفه‌ای

٤-۲-۲- حوزه ژنراتور

- ❖ الزام نیروگاهها به انجام تست های روتین ژنراتور در اورهال
- ❖ الزام نیروگاه به ارزیابی نتایج تست در هر اورهال نسبت به اورهال قبلی تا نرخ خرابی ژنراتور از نظر ثابت‌بودن یا صعودی‌بودن مشخص شود.
- ❖ ایجاد قوانینی به منظور انجام تست های ژنراتور مطابق دستورالعمل های مربوطه و جلوگیری از انجام سلیقه ای تست ها
- ❖ تدوین قوانینی جهت جلوگیری از انتقال ژنراتور طراحی شده برای یک منطقه به منطقه آب و هوایی دیگر
- ❖ فرهنگ سازی استفاده از افراد با تخصص بالا جهت سفارش خرید ژنراتور و یا بهره‌گیری از
- ❖ ایجاد رویه ای به منظور وجود لوازم یدکی ضروری در انبار و در صورت مصرف سریعا جایگزین گردد.

٤-۲-۳- حوزه سیستم راه‌انداز

- ❖ ایجاد الزام برای مدیران نیروگاه جهت انجام سرویس‌های دوره‌ای مطابق دستورالعمل های ابلاغی
- ❖ ایجاد الزام برای خرید قطعات یدکی سیستم راه انداز در زمان خرید اولیه تجهیز
- ❖ برگزاری کلاسهای آموزشی و تعلیم کارشناسان متخصص عیب یابی و تعمیرات سیستم های SFC
- ❖ حمایت از شرکت های سازنده داخلی جهت ساخت SFCو تأمین قطعات یدکی

٤-۲-٤- حوزه سیستم تحریک

- ❖ ایجاد الزام برای مدیران نیروگاه جهت انجام سرویس‌های دوره‌ای مطابق دستورالعمل های ابلاغی
- ❖ برگزاری کلاسهای آموزشی و تعلیم کارشناسان متخصص عیب یابی و تعمیر

- ❖ الزام شرکت های سازنده سیستم تحریک به در اختیار گذاشتن اطلاعات جامع نرم افزاری و بهره برداری و نقشه های فتی از تجهیز خریداری شده در قالب شروط قرادادهای خرید تجهیزات
- ❖ ایجاد الزام برای خرید قطعات یدکی سیستم تحریک در زمان خرید اولیه تجهیز
- ❖ حمایت از شرکت های سازنده داخلی از طریق معافیت مالیاتی، خرید تضمینی و ..
- ❖ فرهنگ سازی جهت استفاده از سیستم های تحریک ساخت شرکت های داخلی

٥-٢-٤- حوزه درایو

- ❖ فرهنگ سازی در بین کارشناسان و مدیران ذیربط نیروگاه جهت استفاده از درایو در الکتروموتورهای نیروگاه به خصوص فشار ضعیف
- ❖ فرهنگ سازی جهت استفاده از درایوهای ساخت شرکت های داخلی
- ❖ برگزاری کلاسهای آموزشی و تعلیم کارشناسان متخصص عیب یابی و تعمیر
- ❖ ایجاد الزام برای خرید بردهای یدکی در زمان خرید اولیه تجهیز
- ❖ حمایت از تولیدکنندگان داخلی برای ساخت درایو فشار متوسط

٦-٢-٤- حوزه سیستم پایش

- ❖ فرهنگ سازی در بین کارشناسان و مدیران ذیربط نیروگاه جهت استفاده از سیستم های پایش وضعیت
- ❖ برگزاری کلاس های آموزشی و نشست هایی تبادل تجربه جهت تعلیم کارشناسان متخصص در حوزه تحلیل نتایج پایش
- ❖ حمایت از تولیدکنندگان داخلی برای ساخت تجهیزات و سنسورهای پایش ارتعاش ، دما، تخلیه جزئی، فاصله هوایی

۵-برنامه عملیاتی و رهنگاشت

۱-۵- مقدمه

پس از این که انواع فناوری‌های ژنراتور، الکتروموتور، سیستم تحریک، راه‌انداز ، درایو و سیستم پایش مورد مطالعه قرار گرفت بر اساس نظرسنجی از نخبگان صنعت و دانشگاه، و نیازها و الویت‌های کشور، خوشه پروژه‌های حوزه فناوری‌های مذکور همراه با تخمین زمان و بودجه مورد نیاز جهت اجرای پروژه ارائه گردیدند. اجرای پروژه‌ها در دو افق زمانی کوتاه مدت و میان مدت در نظر گرفته شده است .

۲-۵- خوشه پروژه‌های ژنراتور

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	تهیه دستورالعمل جامع سرویس، نگهداری و تست ژنراتور نیروگاه با در نظر گرفتن دستورالعمل سازندگان و استانداردهای بین‌المللی	۱۲	۲۰۰۰
۲	تدوین نظام‌نامه تعیین حداقل مشخصات فنی الزامی برای تأمین ژنراتورهای موردنیاز صنعت نیروگاهی	۱۲	۱۵۰۰
۳	ایجاد نظام تأیید صلاحیت شرکت‌های فعال در حوزه تست و افراد جهت ورود به ژنراتور باز شده	۶	۱۰۰۰
۴	تدوین گزارش توجیهی فنی اقتصادی جهت عدم انتقال ژنراتور طراحی شده برای یک منطقه به منطقه آب و هوایی دیگر و تهیه پیش‌نویس قانون مربوطه	۱۲	۱۵۰۰
۵	امکانسنجی ارتقاء ظرفیت، عمر یا بازده یک نمونه ژنراتور قدیمی نیروگاه	۱۸	۲۰۰۰
۶	امکان‌سنجی ساخت مواد عایقی مورد نیاز صنعت ماشین‌های الکتریکی در داخل کشور (ژنراتورهای نیروگاهی و الکتروموتورها)	۱۸	۳۰۰۰
۷	امکانسنجی فنی و اقتصادی ساخت فوریجنگ‌های بلند و حلقه‌های نگهدارنده در داخل کشور در افق ۱۵ تا ۲۰ سال	۱۵	۲۵۰۰
۸	مطالعه و تعیین زمان مشخص برای تعویض و یا عدم تعویض شینه‌ها با توجه به عمر و شرایط آن و برای حداکثر ۵ نوع از ژنراتورهای موجود	۲۴	۵۰۰۰
۹	مدل‌سازی و شبیه‌سازی (اجزای محدود و ریاضی) ژنراتورهای پرتیراژ و با سابقه بهره‌برداری بالا	۲۴	۱۰،۰۰۰
۱۰	بومی‌سازی فناوری ساخت انواع سیستم‌های عایقی پرمصرف مورد استفاده در ژنراتورها و الکتروموتورهای مورد نیاز صنایع داخل	۳۶	۵۰۰۰ میلیون ریال + ۱ میلیون دلار
۱۱	بومی‌سازی تکنولوژی ساخت و بهره‌برداری از توربوژنراتورهای با ظرفیت‌های نامی ۲۲۰ یا ۶۰ مگاوات (ژنراتورهای ملی)	۳۶	۶۰ مگاوات: ۳۰۰۰۰ میلیون ریال + ۷.۵ میلیون دلار

			۲۲۰ مگاوات: ۵۰۰۰۰ میلیون ریال + ۱۷ میلیون دلار
۱ ۲	بومی‌سازی فناوری ساخت انواع ورقه‌های هسته مورد استفاده در ژنراتورها و الکتروموتورهای مورد نیاز نیروگاهی	۳۶	۱۰۰،۰۰۰ میلیون ریال + ۵۰۰ میلیون دلار
	مجموع		۲۱۳۵۰۰ میلیون ریال ۵۲۵ میلیون دلار

۳-۵- خوشه پروژه‌های الکتروموتور

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	تهیه دستورالعمل جامع سرویس، نگهداری و تست الکتروموتورهای فشار قوی و فشار متوسط نیروگاه با در نظر گرفتن دستورالعمل‌های سازندگان و استانداردهای بین‌المللی	۱۲	۲۰۰۰
۲	تدوین دستورالعمل تست بیرنیگ	۱۲	۵۰۰
۳	ایجاد نظام تأیید صلاحیت شرکت‌های فعال در حوزه تست و تعمیرات و جلوگیری از انتخاب سلیقه ای پیمان‌کاران و آزمایشگاه ها	۱۲	۲۰۰۰
۴	تدوین حداقل مشخصات فنی خرید الکتروموتور و قطعات یدکی و شروط قرادادهای خرید تجهیز و خدمات پس از فروش مناسب	۱۲	۲۰۰۰
۵	تهیه برنامه جایگزینی تدریجی الکتروموتورهای سیکل صنعت نیروگاهی بر مبنای شاخص های عمر ، تعمیرات ، رژیم بهره برداری ، حساسیت بار و میزان صرفه جوئی انرژی	۱۲	۲۰۰۰
۶	مطالعه و برآورد خسارت حاصله از عدم توجه به مبحث تعمیر و نگهداری الکتروموتورهای ولتاژ بالا و متوسط	۱۲	۲۵۰۰
۷	مطالعه و طراحی مجدد الکتروموتورهای با موقعیت نصب عمودی از منظر استحکام مکانیکی	۱۸	۵۰۰۰ میلیون ریال + ۵۰ هزار دلار
۸	مطالعه و بررسی الکتروموتورهای ولتاژ پایین در معرض روغن (زیر اتاق توربین) و ارائه تمهیداتی جهت کاهش نرخ خرابی	۱۲	۲۰۰۰
۹	طراحی الکتروموتورهای نواحی مرطوب و برج خنک‌کن به صورت یکپارچه و از جنس فایبرگلاس	۱۸	۵۰۰۰ میلیون ریال +

			۵۰ هزار دلار
۱۰	طراحی و ساخت رله حفاظتی موتور الکتریکی توان بالا با در نظر گرفتن ملاحظات ایمنی سایبری	۱۲	۶۷۰۰
	مجموع		۲۹۷۰۰ میلیون ریال
			۱۰۰ هزار دلار

۴-۵- خوشه پروژه‌های سیستم راه‌انداز

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	تدوین دستورالعمل و برنامه سرویس و نگهداری به موقع راه‌اندازهای دیزلی و الکتروموتوری و SFC ها	۱۲	۲۵۰۰
۲	تدوین حداقل مشخصات فنی خرید سیستم‌های راه‌انداز و قطعات یدکی و شروط قرادادهای خرید تجهیز و خدمات پس از فروش مناسب	۱۲	۲۰۰۰
۳	امکانسنجی فنی–اقتصادی جایگزینی یک نمونه راه‌انداز دیزلی در یکی از نیروگاه های منتخب با سیستم راه‌انداز از نوع **SFC**	۱۵	۲۵۰۰
۴	مطالعه و شناسایی نقاط ضعف راه اندازهای دیزلی و تدوین راه‌کارهایی جهت رفع مشکلات استارتینگ راه اندازهای دیزلی، نشتی دیزل، زغال های بی کیفیت	۸	۱۵۰۰
۵	مطالعه و شناسایی مشکلات مبدل گشتاور و تدوین راهکار جهت رفع مسائلی از قبیل جدا شدن فک، کلاچ و فرسودگی آن ها و تأمین قطعات یدکی	۸	۱۵۰۰
۶	ساخت شبیه ساز و یا انتخاب یک نیروگاه پایلوت جهت تست عملکرد کارت های خریداری شده برای SFC به منظور جلوگیری از خرید و نصب کارت های تقلبی	۱۸	۱۰۰۰ میلیون ریال + ۲۰ هزار دلار
	مجموع		۱۱۰۰۰ میلیون ریال
			۲۰ هزار دلار

۵-۵- خوشه پروژه‌های سیستم تحریک

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	تهیه دستورالعمل جامع سرویس، نگهداری و تست سامانه تحریک ژنراتور نیروگاه با در نظر گرفتن دستورالعمل سازندگان و استانداردهای بین‌المللی	۱۲	۲۰۰۰
۲	تدوین حداقل مشخصات فنی خرید سیستم تحریک و قطعات یدکی و شروط قرادادهای خرید تجهیز و خدمات پس از فروش مناسب	۱۲	۲۰۰۰
۳	مطالعه و امکانسنجی جایگزینی تحریک دینامیک با استاتیک و تعیین ملاحظات مربوطه	۱۲	۲۵۰۰
۴	انجام مطالعات امکانسنجی ساخت بریکرهای FCB سیستم تحریک	۱۲	۱۵۰۰
۵	شناسایی واحدهای حساس نیروگاه جهت تجهیز به سیستم تحریک رزرو و در واحدهای با حساسیت کمتر ، ماژولار نمودن عناصر حساس و آسیب پذیر سیستم تحریک	۱۲	۲۵۰۰
۶	تجهیز سیستم های تحریک استاتیک یک نیروگاه پایلوت به اسکادا و فعال سازی آن به منظور کنترل پذیری واحد از دیسپاچینگ	۱۸	۱۰۰۰ میلیون ریال + ۲۰ هزار دلار
۷	تدوین رویه شناسایی خرابی AVR سیستم تحریک نیروگاه‌ها	۸	۵۰۰
	مجموع		۱۲۰۰۰ میلیون ریال
			۲۰ هزار دلار

۶-۵- خوشه پروژه‌های درایو

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	تهیه دستورالعمل‌های جامع سرویس، نگهداری و تست درایوهای فرکانس متغیر فشار متوسط مورد استفاده در نیروگاه‌های حرارتی با در نظر گرفتن دستورالعمل‌های سازندگان و استانداردهای بین المللی	۱۲	۲۰۰۰
۲	تدوین حداقل مشخصات فنی خرید سیستم درایو و قطعات یدکی و شروط قراردادهای خرید تجهیز و خدمات پس از فروش مناسب	۱۲	۲۰۰۰
۳	امکانسنجی فنی–اقتصادی تجهیز یک نمونه الکتروپمپ CBP واحدهای بخار نیروگاه سیکل ترکیبی شهید رجایی به درایو فشار متوسط بر مبنای ملاحظات فرآیند جامع تولید	۱۲	۲۰۰۰
	مجموع		۶۰۰۰

۵-۷- خوشه پروژه سیستم پایش

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	بررسی پارامترها، فناوری‌ها و روش‌های نوین پایش وضعیت و عمرسنجی ژنراتور و الکتروموتور فشار قوی و فشار متوسط نیروگاه	۱۲	۵۸۵۰
۲	بررسی تجهیزات، فناوری‌ها و روش‌های نوین پایش وضعیت و عمرسنجی سیستم‌های تحریک و راه‌انداز ژنراتورهای نیروگاه‌های داخل کشور	۱۱	۲۵۵۰
۳	ساخت نمونه نیمه صنعتی تجهیزات مرتبط با اندازه گیری تخلیه جزیی (PD) ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی شامل کوپلرهای خازنی بهمراه توسعه نرم افزاری روشهای حذف نویز و تفکیک و تشخیص عیوب و اجرای طرح پایلوت نصب	۲۴	۲۵۰۰ میلیون ریال + ۱۰۰ هزار دلار
۴	ساخت نمونه نیمه صنعتی تجهیزات مرتبط با اندازه گیری ارتعاشات ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی و اجرای طرح پایلوت نصب تجهیز جهت تشخیص عیوب ماشین	۲۴	۲۵۰۰ میلیون ریال + ۱۰۰ هزار دلار
۵	ساخت نمونه نیمه صنعتی تجهیزات مرتبط با اندازه گیری شار مغناطیسی فاصله هوایی ماشینهای الکتریکی دوار بزرگ نیروگاهی و اجرای طرح پایلوت نصب تجهیز جهت تشخیص عیوب ماشین	۲۴	۲۵۰۰ میلیون ریال + ۱۰۰ هزار دلار
۶	اولویت‌بندی ژنراتورهای جا به جا شده در مناطق مختلف جهت تجهیز به سیستم‌های پایش وضعیت	۶	۵۰۰
	مجموع		۱۶۴۰۰ میلیون ریال ۳۰۰ هزار دلار

۵-۸- سایر تجهیزات الکتریک

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	تهیه دستورالعمل های جامع سرویس، نگهداری و تست بریکرهای فشارقوی و فشارمتوسط نیروگاه با درنظر گرفتن دستورالعمل های سازندگان و استانداردهای بین المللی	۱۲	۲۲۵۰
۲	تهیه دستورالعمل‌های جامع سرویس، نگهداری و تست باتری‌ها و سیستم تغذیه DC نیروگاه با درنظر گرفتن دستورالعمل‌های سازندگان و استانداردهای بین المللی	۱۲	۲۵۵۰
۳	تهیه دستورالعمل های جامع سرویس، نگهداری و تست ترانسفورماتورهای اصلی و مصرف داخلی واحدهای نیروگاه با درنظر گرفتن دستورالعمل های سازندگان و استانداردهای بین المللی	۱۲	۳۰۰۰
۴	تهیه دستورالعمل‌های جامع سرویس، نگهداری رله‌ها و سیستم حفاظت الکتریک نیروگاه با درنظر گرفتن دستورالعمل‌های سازندگان و استانداردهای بین المللی	۱۲	۴۳۵۰
	مجموع		۱۲۱۵۰

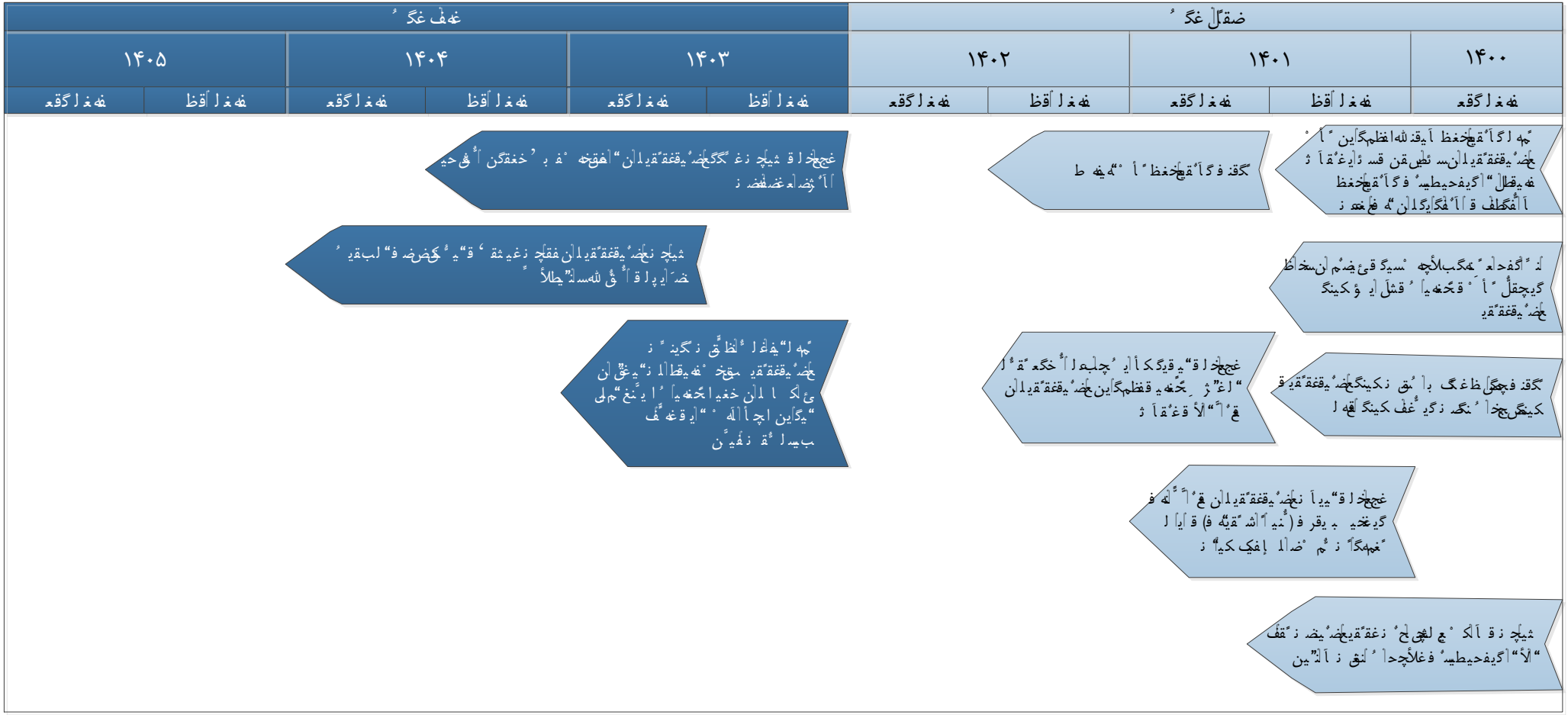
۹-۵- خوشه پروژه‌های مشترک

ردیف	عنوان پروژه	زمان (ماه)	بودجه (میلیون ریال)
۱	برگزاری دوره آموزش جهت تعلیم کارشناسان متخصص در حوزه تعمیر و نگهداری و تست تجهیزات الکتریک نیروگاه (دوره مذکور در ۵ حوزه ژنراتور، الکتروموتور، راه‌انداز، تحریک ، درایو و برای ۱۰۰ نفر از کارشناسان نیروگاه‌های دولتی تعبیه شده است)	۶	۱۰۰۰۰
۲	ایجاد دیتابیس جامع از قطعات یدکی ژنراتور، الکتروموتور، سیستم راه‌انداز، تحریک و درایو موجود در انبار نیروگاه‌های دولتی	۱۲	۱۰۰۰
	مجموع		۱۱۰۰۰

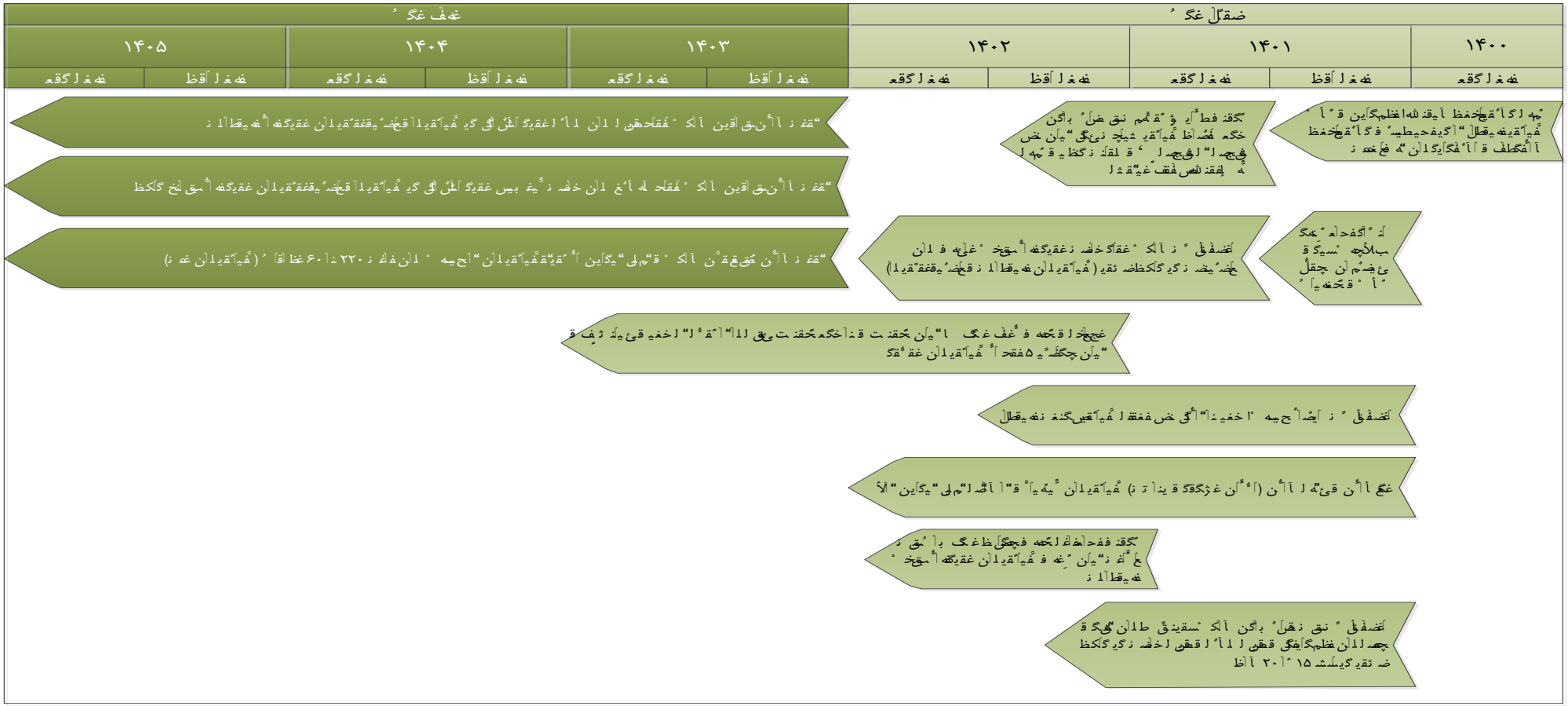
جدول ۱-۵: مجموع بودجه پروژه‌ها در حوزه تجهیزات الکتریک به تفکیک

ردیف	حوزه فناوری	بودجه (میلیون ریال)	میلیون دلار
۱	ژنراتور	۲۱۳۵۰۰	۵۲۵
۲	الکتروموتور	۲۹۷۰۰	۰.۱
۳	راه‌انداز	۱۱۰۰۰	۰.۰۲
۴	تحریک	۱۲۰۰۰	۰.۰۲
۵	درایو	۶۰۰۰	۰
۶	سیستم پایش	۱۶۴۰۰	۰.۳
۷	سایر تجهیزات الکتریک	۱۲۱۵۰	۰
۸	پروژه‌های مشترک	۱۱۰۰۰	۰
	مجموع	۳۱۱۷۵۰	۵۲۵/۴۴

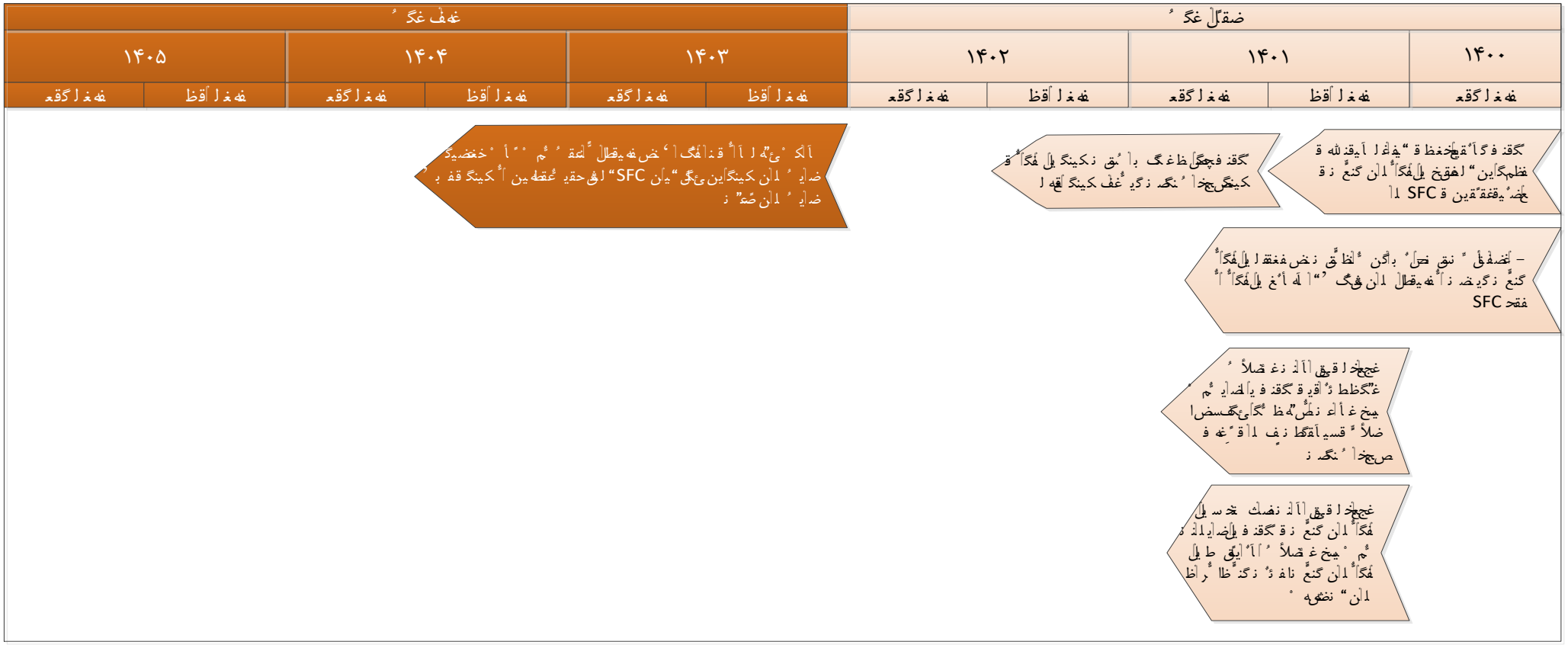
DOI:



شکل ۱-۵: رهنگاشت پروژه‌های حوزه الکتروموتور

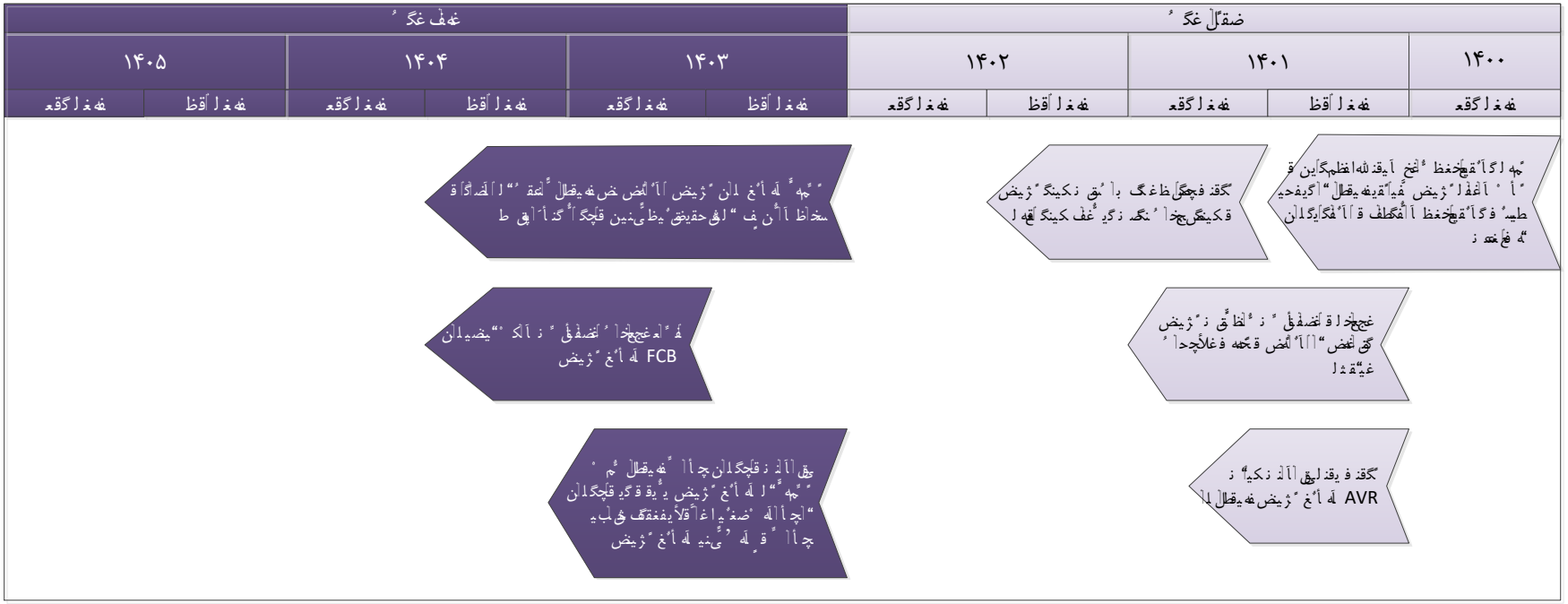


شکل ۲-۵: رهنگاشت پروژه‌های حوزه ژنراتور

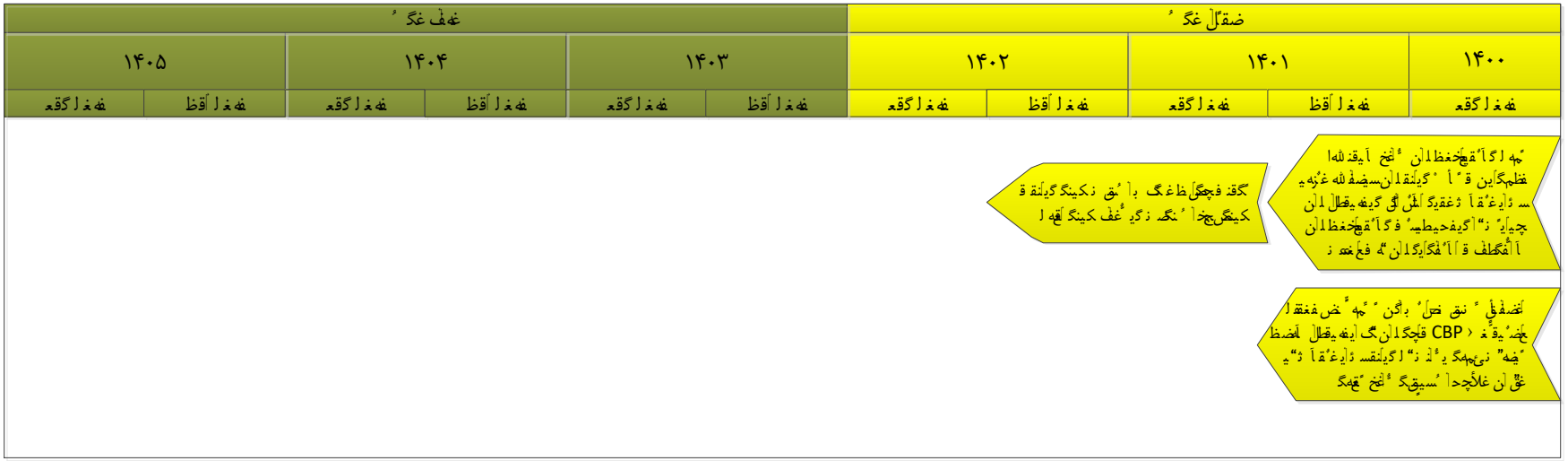


شکل ۳–۵: رهنگاشت حوزه سیستم راه‌انداز

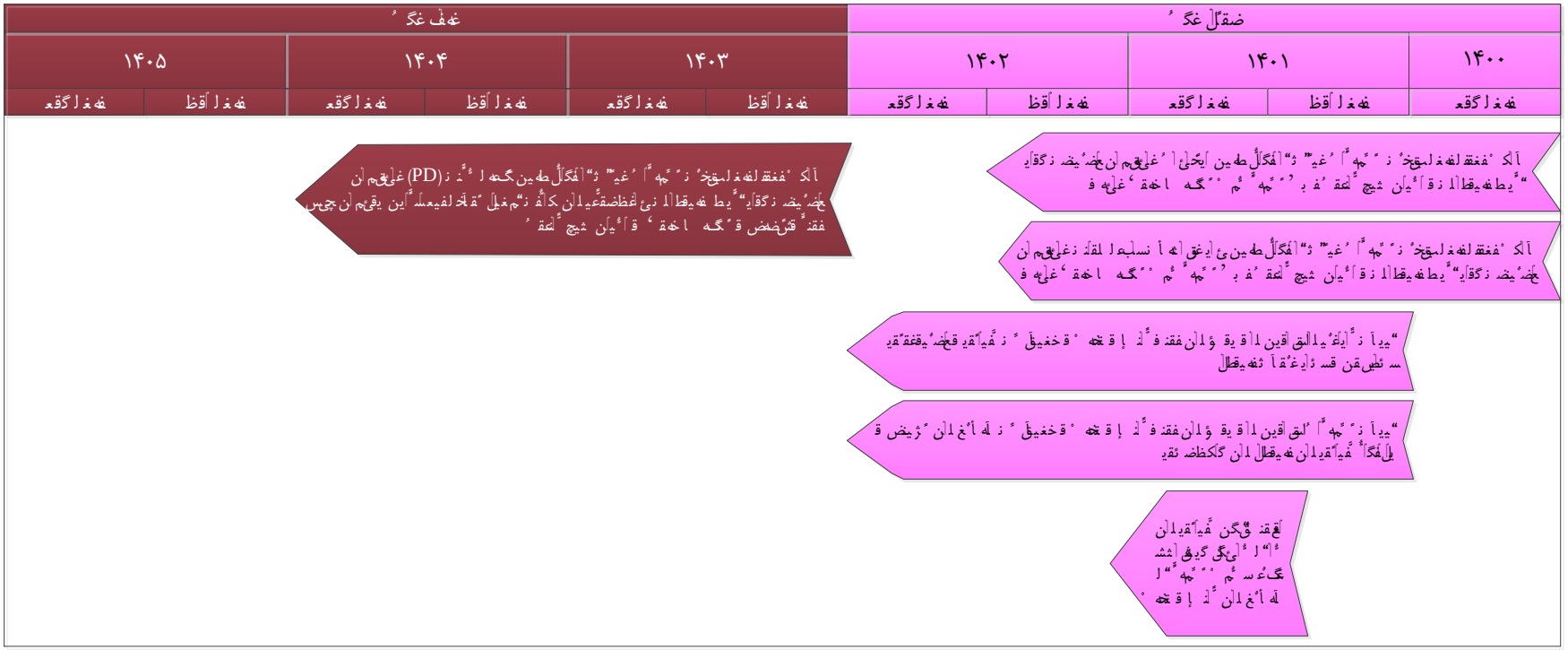
DOI:



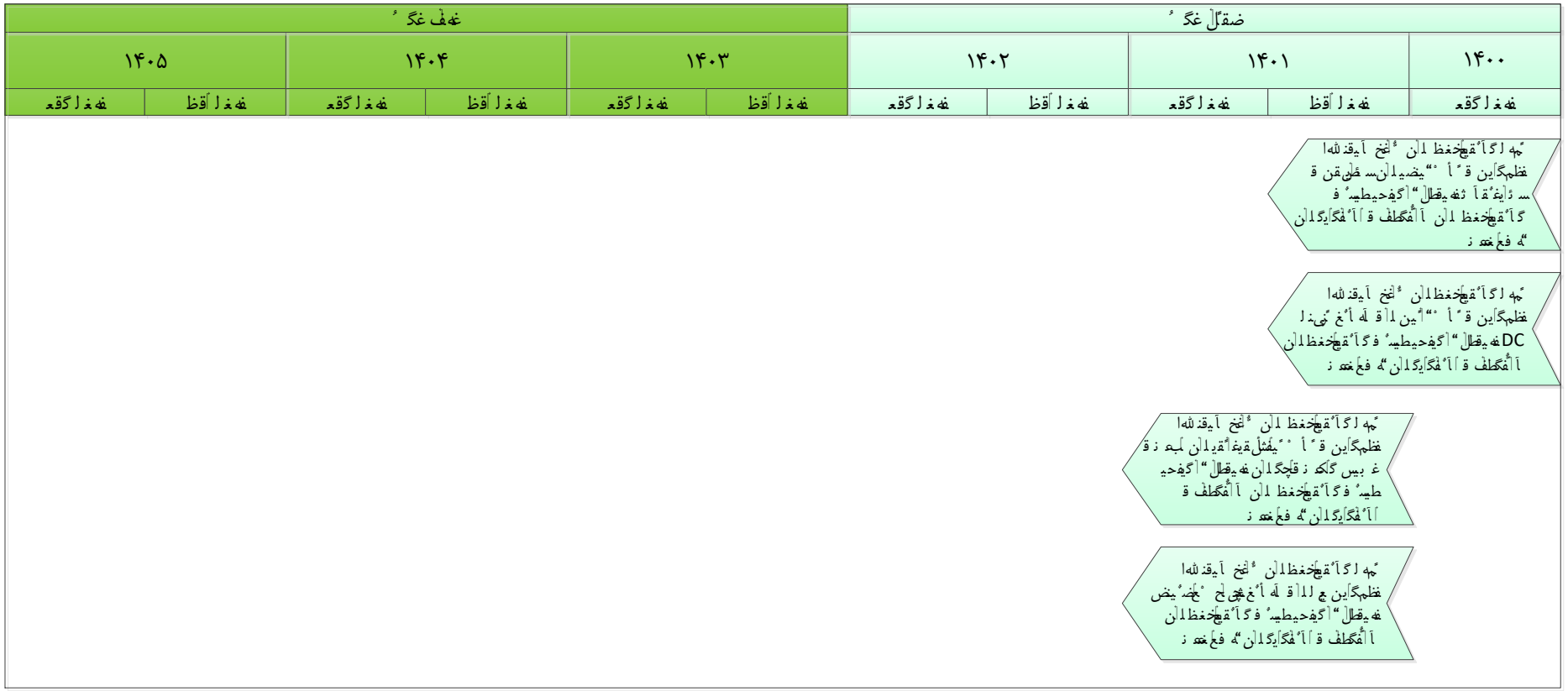
شکل ۴-۵ : رهنگاشت حوزه سیستم تحریک



شکل ۵-۵ : رهنگاشت حوزه درایو



شکل ۶-۵: رهنگاشت حوزه سیستم پایش وضعیت



شکل ۷-۵: رهنگاشت سایر تجهیزات الکتریک

۶-شاخص‌های ارزیابی

۱-۶- مقدمه

به منظور ارزیابی سند توسعه فناوری باید شاخص‌های عملکردی و اثربخشی تعریف شود تا بتوان با بررسی این شاخص‌ها در طول زمان میزان پیشرفت ارکان مختلف سند را مشخص کرد. به منظور ارزیابی پروژه‌های اجرایی مختلف تعریف شده برای حصول به اهداف و چشم‌انداز سند، علاوه بر تعیین شاخص‌ها باید ساختارهای نظارتی مورد نیاز تعیین گردد. از سوی دیگر با توجه به اینکه نقشه‌راه یک سند زنده و پویا است، ضرورت دارد در بازه‌های زمانی مشخصی به بازنگری و بروزرسانی این سند پرداخته شود، از این رو باید برنامه‌ریزی لازم جهت انجام این بازنگری‌ها نیز مشخص شود. در ادامه شاخص‌های ارزیابی سند ارائه شده است.

۲-۶- شاخص‌های عملکردی و اثربخشی

شاخص، استانداردی است که دستیابی به آن نشان‌دهنده نیل به مقصد می‌باشد. جزئیات شاخص‌ها تعیین‌کننده طرز اندازه‌گیری دامنه دستیابی به اهداف عینی در زمان‌های مختلف می‌باشد. اندازه‌گیری‌ها می‌توانند کمی، کیفی و یا رفتاری باشند. شاخص‌ها همان ابزار نظارت بر پیشرفت سطوح راهبردی هستند که ناظر بر طبق آنها میزان تحقق آن سطح را اندازه‌گیری می‌نماید. از همین‌رو شاخص‌ها می‌باید ابعاد مختلف سطوح راهبردی را مورد توجه قرار دهند به شکلی که پیشرفت امور بر اساس شاخص‌ها تضمین‌کننده تحقق کامل اقدامات گردد. در همین راستا شاخص‌ها می‌باید مشخص‌کننده ابعاد ذیل باشند:

الف) کمیت (چقدر)

ب) کیفیت (چگونه)

ج) زمان (چه موقع)

د) محل (کجا)

در برخی از شاخص‌ها ممکن است ابعاد چهارگانه فوق قابل تعریف نباشند، به عنوان مثال ممکن است محل در مورد یک شاخص فنی تعریف پذیر نباشد که در این حالت از بررسی این بعد خاص صرفنظر می‌شود.

شاخص‌ها باید با ملاحظه ویژگی‌های زیر تعریف شوند:

الف) اساسی بودن: یعنی جنبه اساسی یک سطح خاص را منعکس نماید.

ب) واقعی بودن: هر شاخص باید منعکس‌کننده یک واقعیت – و نه تصور ذهنی – بوده و برای همگان مفهوم واحدی را القا نماید.

ج) قابل قبول بودن: باید بتوان تغییرات شاخص را به تحقق یا عدم تحقق مقصود منتسب نمود.

د) مبتنی بر داده‌های قابل کسب بودن: داده‌های لازم برای اندازه‌گیری شاخص می‌باید در دسترس باشد.

۳-۶- شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های ارزیابی هر یک از فناوری‌های مطرح شده در سند به شرح زیر است.

۱- تعداد فناوری‌های کسب شده

۲- تعداد محصولات تولید شده

۳- تعداد محصولات جایگزین شده

۴- میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از محصولات جایگزین شده

۵- میزان کاهش دیماند ناشی از محصولات جایگزین شده

۶- میزان کاهش آلاینده ناشی از جایگزینی محصولات جدید

۷- میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی ز تولید فناوری و محصول جدید

۸- میزان صادرات ارزی حاصل از فناوری و محصولات جدید

شاخص‌ها	۶ ماه دوم سال ۱۴۰۰	۶ ماه اول سال ۱۴۰۱	۶ ماه دوم سال ۱۴۰۱	..... ۱۴۰۵
تعداد فناوری‌های کسب شده				
تعداد محصولات تولید شده				
تعداد محصولات جایگزین شده				
میزان صرفه‌جویی انرژی ناشی از محصولات جایگزین شده				
میزان کاهش دیماند ناشی از محصولات جایگزین شده				
میزان کاهش آلاینده ناشی از جایگزینی محصولات جدید				
میزان صرفه‌جویی ارزی ناشی ز تولید فناوری و محصول جدید				
میزان صادرات ارزی حاصل از فناوری و محصولات جدید				

۷-نتیجه‌گیری

با توجه به مواردی که در اسناد بالادستی به آن‌ها اشاره شده بود و نظراتی که از خبرگان حوزه نیروگاه در کشور اخذ شد و همچنین نیاز مبرم کشور به افزایش میزان برق تولیدی کشور، لزوم نوسازی تجهیزات نیروگاه‌های کشور اعم از الکتروموتور، ژنراتور، سیستم‌های درایو، سیستم‌های تحریک و راه‌انداز و سیستم‌های پایش وضعیت بیش از گذشته احساس می‌شود. بنابراین لازم است تا هر چه سریع‌تر با توجه به پتانسیلی که هر یک از نیروگاه‌های کشور در هر کدام از این حوزه‌ها دارند، با توجه به فناوری‌های روز مورد استفاده در تجهیزات ساخته‌شده توسط شرکت‌های بزرگ و پیشتاز دنیا، قدم‌هایی برداشته شود.

همان‌طور که در بررسی‌ها مشاهده شد، استفاده از فناوری‌های جدید در حوزه‌ی ژنراتور، الکتروموتور و سیستم‌های درایو می‌تواند به افزایش بازدهی نیروگاه‌های کشور کمک قابل توجهی کند. همچنین در دراز مدت هزینه تمام‌شده نیروگاه‌ها را کاهش دهد. سیستم‌های تحریک و راه‌انداز مجهز به فناوری روز نیز کمک شایانی به صنعت برق کشور خواهند کرد. ضمناً استفاده از سیستم‌های پایش وضعیت در نیروگاه‌ها می‌تواند در جلوگیری از ایجاد خطا و خارج‌شدن نیروگاه از مدار و یا رفع سریع‌تر و دقیق‌تر عیب پیش‌آمده موثر باشد که در نهایت منجر به کاهش هزینه‌ی عیب‌یابی و تعمیر و مدت زمان خرابی و خارج بودن نیروگاه از مدار خواهد شد.

DOI:

۸- پیوست‌ها

جدول ۱-۸ : اطلاعات واردات درایوهای فرکانس متغیر از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷

ردیف	ماه	سال	نام گمرک	نام کشور	شماره تعرفه	توضیحات تعرفه	وزن - کیلوگرم	ارزش - ریال	ارزش - دلار
1	2	1397	غرب تهران	فنلاند	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۰,۵۷۸	42,600,551,400	1,014,299
2	8	1397	زنجان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۳,۳۲۲	33,756,025,170	803,715
3	6	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	قبرس	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۶,۴۴۵	31,525,912,449	750,617
4	1	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۹۴۹	11,338,783,050	269,971
5	5	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۵۷۴	11,119,193,125	254,717
6	1	1397	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳,۹۳۰	10,961,090,570	260,979
7	7	1397	تهران امور واردات	فنلاند	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۵۱۱	10,134,138,416	241,289
8	2	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۱,۴۰۸	9,566,920,330	227,783
9	2	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴,۸۶۳	9,492,969,132	226,023

10	2	1397	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۹,۵۱۲	9,253,801,080	220,329
11	9	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴,۸۰۱	9,146,263,850	217,768
12	8	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۳۷۳	9,131,470,239	217,417
13	2	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۵,۴۳۷	8,817,829,246	209,950
14	3	1397	غرب تهران	فرانسه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۷,۹۳۱	8,480,229,927	201,526
15	10	1397	تهران امور واردات	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴,۱۶۱	8,382,387,000	199,581
16	3	1397	منطقه ویژه بوشهر۱	جمهوری کره	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۲,۸۴۵	7,954,542,342	189,394
17	3	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۰,۸۰۹	7,493,109,666	178,407
18	6	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۳,۲۹۳	7,329,053,562	173,032
19	4	1397	تهران امور واردات	سوئد	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴,۸۰۰	6,546,809,434	153,826
20	9	1397	منطقه آزاد تجاری انزلی	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۷۷۰	6,482,327,337	154,341
21	9	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۷,۲۴۴	6,461,823,420	153,853
22	8	1397	البرز(فرودگاه پیام)	جمهوری کره	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۰,۴۶۵	6,103,137,766	145,313
23	6	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۳,۳۷۶	5,959,717,415	141,899
24	4	1397	منطقه ویژه شهید	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶,۱۲۰	5,947,119,570	139,380

						رجایی			
25		1397	8	منطقه ویژه بوشهر ۱	جمهوری کره	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۹,۸۶۱	5,915,896,000	139,001
26	1	1397	2	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۷۲۷	5,479,146,126	130,456
27		1397	6	منطقه ویژه بوشهر ۱	جمهوری کره	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۸,۰۶۲	5,458,860,000	126,656
28		1397	7	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۹,۲۱۲	5,254,504,275	125,108
29		1397	7	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳,۹۵۳	5,153,999,521	122,713
30		1397	8	منطقه ویژه اقتصادی سهلان	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۶۰۰	5,094,816,960	121,305
31		1397	2	تهران امور واردات	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۵,۸۴۱	4,980,086,382	119,872
32		1397	1	تهران امور واردات	اتریش	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۹۶۰	4,954,158,720	131,431
33		1397	5	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶۴۰	4,829,775,804	113,229
34	1	1397	2	منطقه ویژه شهید رجایی	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۸۷۵	4,156,865,970	98,973
35		1397	4	تهران امور واردات	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۷۰۳	3,876,801,500	89,949
36		1397	9	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶,۹۵۵	3,835,089,410	91,310
37		1397	7	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۷,۱۸۰	3,757,261,004	89,459
38		1397	3	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۹۵۴	3,680,869,042	87,569

39	8	1397	بازرگان	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۱,۵۳۲	3,607,940,119	85,903
40	1	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۱۲۷	3,490,860,228	92,687
41	3	1397	تهران امور واردات	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۲۷۵	3,478,790,206	82,766
42	10	1397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶,۷۳۴	3,345,528,488	79,656
43	7	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۹,۷۴۶	3,332,089,891	79,336
44	12	1397	تهران امور واردات	عمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۶۰۷	3,261,103,188	77,645
45	3	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶,۴۱۲	3,256,107,287	77,407
46	8	1397	منطقه ویژه اقتصادی یزد	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۱۰۴	3,150,565,244	75,013
47	11	1397	اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۸۵۲	3,118,783,728	74,257
48	6	1397	تهران امور واردات	اتریش	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۱۸۰	3,117,249,948	74,220
49	8	1397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۳۸۷	3,056,848,506	72,781
50	6	1397	غرب تهران	فرانسه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۳۳۶	2,879,552,483	68,561
51	2	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۷۹۰	2,773,957,801	73,279
52	11	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴,۳۴۰	2,768,719,425	65,922
53	9	1397	فولاد مبارکه	امارات	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶۱۲	2,591,070,468	61,692

					متحده عربی	اصفهان			
59,589	2,544,932,330	۴,۸۱۴	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	4	54
60,040	2,530,823,633	۳,۵۶۱	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	امارات متحده عربی	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	3	55
58,468	2,455,650,000	۲,۱۷۹	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	امارات متحده عربی	بازرگان	1397	7	56
58,431	2,454,088,730	۴,۱۱۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	دانمارک	تهران امور واردات	1397	6	57
55,970	2,350,747,300	۱,۰۰۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	اتریش	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	5	58
54,796	2,301,435,180	۲,۴۵۹	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	بازرگان	1397	7	59
52,102	2,188,263,600	۱,۴۳۷	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ارمنستان	غرب تهران	1397	2	60
49,901	2,095,852,000	۶۸۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	آلمان	بازرگان	1397	10	61
48,541	2,038,690,178	۲,۳۴۴	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	تهران امور واردات	1397	6	62
47,566	1,998,002,364	۱,۱۰۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ترکیه	بازرگان	1397	3	63
47,570	1,997,940,000	۶,۶۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	تهران امور واردات	1397	6	64
46,851	1,967,740,541	۱,۱۹۴	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	آلمان	تهران امور واردات	1397	7	65
42,837	1,823,158,050	۲,۱۷۶	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	آلمان	تهران امور واردات	1397	4	66
42,217	1,776,991,902	۲,۰۰۲	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	تهران امور واردات	1397	3	67
41,891	1,759,422,000	۲,۴۸۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی	1397	12	68

						(ره)			
41,477	1,742,013,097	۳,۸۴۵	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ترکیه	بازرگان	۱۳۹۷	۱۲	۶۹
41,207	1,730,699,681	۲۸۵	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ترکیه	تهران امور واردات	۱۳۹۷	۶	۷۰
46,413	1,672,675,626	۲,۰۸۲	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	فنلاند	فرودگاه امام خمینی (ره)	۱۳۹۷	۱	۷۱
40,069	1,648,058,904	۳,۰۷۲	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	منطقه ویژه شهید رجایی	۱۳۹۷	۵	۷۲
37,993	1,601,066,895	۱,۴۹۷	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی (ره)	۱۳۹۷	۳	۷۳
38,003	1,596,129,549	۹۰۳	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی (ره)	۱۳۹۷	۱۰	۷۴
36,183	1,519,676,189	۱۹۴	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	فنلاند	فرودگاه امام خمینی (ره)	۱۳۹۷	۸	۷۵
35,890	1,507,369,671	۱,۱۸۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	هند	منطقه ویژه شهید رجایی	۱۳۹۷	۱۲	۷۶
33,874	1,422,716,300	۲,۸۱۱	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی (ره)	۱۳۹۷	۶	۷۷
32,949	1,383,872,000	۴,۳۹۷	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	زلاندنو	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	۱۳۹۷	۸	۷۸
32,790	1,377,148,167	۲,۳۲۹	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	امارات متحده عربی	فرودگاه امام خمینی (ره)	۱۳۹۷	۷	۷۹
32,774	1,376,501,690	۳,۳۳۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی (ره)	۱۳۹۷	۲	۸۰
32,396	1,365,996,414	۶۶	کنترل دور	۸۵۰۴۴۰۵۰	اتریش	تهران	۱۳۹۷	۳	۸۱

		۲	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	ش	امور واردات			
31,999	1,343,975,850	۳,۰۹۷	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	امارات متحده عربی	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	6	82
31,752	1,333,595,620	۲۴۰	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	امارات متحده عربی	تهران امور واردات	1397	12	83
33,943	1,308,275,569	۲,۷۰۷	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	امارات متحده عربی	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	1	84
30,650	1,287,300,000	۲۷۰	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	ترکیه	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	12	85
29,684	1,246,733,676	۶۷۳	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	عمان	تهران امور واردات	1397	10	86
28,998	1,217,901,718	۳۹۴	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	امارات متحده عربی	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	7	87
28,682	1,204,646,757	۲,۳۹۸	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	8	88
28,639	1,202,820,500	۷۲۵	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	چین	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	8	89
27,413	1,151,359,000	۱,۷۰۰	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	چین	غرب تهران	1397	6	90
24,984	1,086,822,730	۶۳۰	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	سوئد	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	6	91
25,339	1,079,378,100	۲,۵۳۶	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	چین	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	5	92
25,345	1,064,478,468	۲۰۷	موتورInverter کنترل دور	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	آلمان	جلفا	1397	10	93

94	1397	8	آبادان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳,۵۷۰	1,061,627,520	25,277
95	1397	3	منطقه ویژه شهید رجایی	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۵۷۰	1,047,350,144	24,937
96	1397	1	فرودگاه امام خمینی (ره)	اسپانیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۹	1,034,361,966	27,446
97	1397	1	منطقه ویژه شهید رجایی	اتریش	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۸۵	1,010,436,000	24,058
98	1397	6	فرودگاه امام خمینی (ره)	جمهوری چک	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۷۱	992,150,162	23,197
99	1397	3	منطقه ویژه شهید رجایی	زلاندنو	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵,۹۰۸	958,125,226	22,813
100	1397	2	یزد	اتریش	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۷۰۳	912,756,000	24,215
101	1397	2	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۱۴	910,926,345	21,689
102	1397	2	فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۳۱	905,187,583	21,552
103	1397	3	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۳۱۷	893,664,345	21,197
104	1397	5	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵	893,421,510	20,375
105	1397	6	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۳۳۹	886,752,370	21,113
106	1397	1	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۸۵	879,623,669	23,428
107	1397	2	غرب	ارمنس	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور	۴۴	842,331,854	22,583

			۰	موتورInverter	۰۵۰	ستان	تهران			
1 08	1 0	1 397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴,۴ ۱۳	829,628,543	19,753
1 09	7	1 397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵	824,881,350	19,640
1 10	8	1 397	فولاد مبارکه اصفهان	ایتالیا	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶	823,447,470	19,606
1 11	1 0	1 397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۱ ۴۶	791,689,604	18,851
1 12	1 0	1 397	فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۲	778,271,899	18,530
1 13	4	1 397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	چین	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳,۹ ۹۵	752,986,360	17,692
1 14	4	1 397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴۱ ۰	744,450,000	17,492
1 15	2	1 397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۷ ۷	722,966,792	19,032
1 16	9	1 397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۰ ۸۴	709,843,665	16,900
1 17	5	1 397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۶ ۷۰	700,642,630	16,328
1 18	7	1 397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۹۱ ۷	698,463,096	16,630
1 19	3	1 397	تهران امور واردات	دانمارک	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۰ ۰	677,684,200	16,105
1 20	1 1	1 397	فرودگاه امام خمینی	چین	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۹۸ ۰	669,480,000	15,940

						(ره)			
15,506	651,266,280	۸۲۵	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	آلمان	بازرگان	1397	2	121
15,036	631,494,954	۵۳	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	فولاد مبارکه اصفهان	1397	7	122
14,958	628,250,560	۱,۸۰۷	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	چین	منطقه ویژه بوشهر۱	1397	3	123
14,734	618,832,200	۳,۴۳۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	آلمان	بازرگان	1397	1	124
14,556	611,369,928	۱۵	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	آلمان	فولاد مبارکه اصفهان	1397	2	125
14,035	589,424,434	۱,۴۶۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ترکیه	بازرگان	1397	2	126
15,287	578,154,038	۶۴۵	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	تهران امور واردات	1397	1	127
13,705	576,599,005	۷۸۴	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ترکیه	بازرگان	1397	6	128
14,476	568,719,885	۸۰۱	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	تهران امور واردات	1397	2	129
13,124	552,238,424	۱,۷۵۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	فنلاند	جلفا	1397	3	130
13,026	547,096,004	۷۴۱	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	امارات متحده عربی	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	2	131
12,634	530,589,624	۱,۳۳۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ترکیه	بازرگان	1397	1	132
12,429	523,004,018	۶۱۴	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	آلمان	غرب تهران	1397	3	133
12,007	509,820,310	۸۱۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	تهران امور واردات	1397	4	134
11,460	481,316,535	۱۳۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴۰۵۰	امارات متحده عربی	غرب تهران	1397	2	135
11,410	479,230,872	۱۹	کنترل دور	۸۵۰۴۴۰۵۰	ایتالیا	تهران	1397	2	136

		۱	موتورInverter	۰۵۰	ا	امور واردات			
11,094	472,179,820	۱۷۸	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	امارات متحده عربی	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	4	137
10,300	432,600,000	۱۲۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	ترکیه	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	1	138
10,218	429,165,981	۲,۵۰۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	آلمان	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	8	139
10,114	424,776,768	۶۵	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	ایتالیا	فولاد مبارکه اصفهان	1397	9	140
10,071	422,963,850	۴۰۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	آلمان	تهران امور واردات	1397	0	141
9,859	414,078,411	۴۷۳	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	سوئد	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	0	142
9,476	399,563,125	۱,۳۷۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	هنگ کنگ	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	3	143
8,122	341,789,779	۲۵۷	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	آلمان	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	3	144
7,006	294,805,983	۲۰۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	ترکیه	غرب تهران	1397	3	145
7,847	292,693,562	۳۷۵	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	اسلواکی	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	1	146
6,776	284,592,000	۶۰۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	ترکیه	رازی	1397	9	147
6,732	282,737,400	۴۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	امارات متحده عربی	فرودگاه امام خمینی (ره)	1397	1	148
6,550	275,120,712	۵۶۷	کنترل دور موتورInverter	۸۵۰۴۴ ۰۵۰	آلمان	غرب تهران	1397	6	149

1	150	1397	7	غرب تهران	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱,۴۵۰	268,900,996	6,402
1	151	1397	7	اهواز	اتریش	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶۵	257,993,280	6,143
1	152	1397	3	آبادان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۱۶۰	249,308,640	5,925
1	153	1397	1 1	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۱۸	243,523,200	5,799
1	154	1397	4	آبادان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲,۱۵۵	239,662,770	5,695
1	155	1397	8	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۷۲۳	224,714,176	5,350
1	156	1397	1 0	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴۰	210,000,000	5,000
1	157	1397	7	فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳	209,121,100	4,979
1	158	1397	6	فولاد مبارکه اصفهان	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶	208,517,800	4,965
1	159	1397	6	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۰۱	195,300,000	4,650
1	160	1397	5	منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۰	192,396,132	4,581
1	161	1397	2	منطقه ویژه شهید رجایی	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۹۵	188,035,712	4,477

162	1397	9	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴۲۴	184,526,784	4,393
163	1397	1	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۲۲	177,321,220	4,739
164	1397	8	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۱۵	170,562,000	4,061
165	1397	1	تبریز	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۲	162,891,840	4,321
166	1397	10	فرودگاه امام خمینی (ره)	هنگ کنگ	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۶۴	150,910,200	3,593
167	1397	5	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۰۱	134,978,440	3,131
168	1397	3	منطقه ویژه بوشهر۱	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶۸۰	121,737,600	2,899
169	1397	2	تهران امور واردات	فنلاند	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۱۰	119,498,400	2,845
170	1397	2	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۹۵	113,460,000	3,000
171	1397	1	منطقه ویژه بوشهر۱	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۱۷	113,380,042	3,030
172	1397	2	رازی	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۲۰	104,414,200	2,486
173	1397	2	زنجان	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۱	90,867,611	2,452
174	1397	4	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۰۷	87,990,472	2,064

175	1397	4	فرودگاه امام خمینی (ره)	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۳۰	87,100,650	2,047
176	1397	10	فرودگاه امام خمینی (ره)	اندونزی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۴۸	83,958,000	1,999
177	1397	2	فولاد مبارکه اصفهان	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲	81,564,426	1,942
178	1397	10	رازی	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴۰	79,909,200	1,903
179	1397	3	فرودگاه امام خمینی (ره)	بلژیک	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۴	78,316,011	1,865
180	1397	7	غرب تهران	فرانسه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۰۰	78,306,539	1,800
181	1397	5	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۷۰	77,146,476	1,837
182	1397	5	منطقه ویژه شهید رجایی	هند	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۱۱	64,893,800	1,545
183	1397	7	فرودگاه امام خمینی (ره)	اسپانیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۰	60,799,438	1,448
184	1397	10	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۸	60,371,745	1,437
185	1397	2	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۸۰	57,181,200	1,361
186	1397	5	فرودگاه امام خمینی (ره)	ایالات متحده آمریکا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۸	54,915,000	1,308
187	1397	10	فرودگاه امام خمینی (ره)	تایوان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۵۲	54,600,000	1,300
188	1397	5	غرب تهران	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۵۰	51,088,864	1,185

189	1397	7	منطقه ویژه بوشهر ۱	آلمان	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴۰	49,177,000	1,166
190	1397	8	رازی	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۳۰	43,846,530	1,044
191	1397	1	تهران امور واردات	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶	39,267,277	935
192	1397	4	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶۸	38,002,646	897
193	1397	7	منطقه ویژه بوشهر ۱	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۸	36,530,250	870
194	1397	3	البرز(فرودگاه پیام)	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۶۵	36,042,423	857
195	1397	2	آبادان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۴۴۶	32,440,512	772
196	1397	8	بازرگان	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۶	31,467,528	749
197	1397	1	منطقه ویژه شهید رجایی	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۸۰	31,077,057	822
198	1397	2	منطقه ویژه اقتصادی سلفچگان	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲۴	22,978,696	547
199	1397	4	فرودگاه امام خمینی (ره)	هند	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۵	22,079,200	520
200	1397	5	فرودگاه امام خمینی (ره)	مالزی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۰	16,411,114	391
201	1397	3	بازرگان	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۱۴	14,753,100	350
202	1397	1	فرودگاه امام خمینی	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۹	11,457,600	273

						(ره)			
203	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۳۵	7,101,360	169
204	2	1397	گناوه	چین	۸۵۰۴۴۰۵۰	کنترل دور موتورInverter	۲	295,616	8
							مجموع کل	**مجموع کل**	

جدول ۲-۸ : اطلاعات واردات سیستمهای راه انداز و استارتر از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷

ردیف	**ماه**	**سال**	**نام گمرک**	**نام کشور**	**شماره تعرفه**	**توضیحات تعرفه**	**وزن - کیلو گرم**	**ارزش - ریال**	**ارزش - دلار**
1		1397	منطقه ویژه اقتصادی سهلان	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۲,۰۴۲	2,112,277,856	50,292
2		1397	تهران امور واردات	سوئد	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۳۵۸	1,351,210,384	33,185
3	0	1397	تهران امور واردات	سوئد	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱,۰۲۷	1,323,900,157	31,522
4		1397	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۱۱۴۰۹۰	استارتر موتورها و ژنراتورها- استارترهای دومنظوره	۹۰	1,285,729,515	30,612

			غیر مذکور در جای دیگر						
26,424	1,124,609,359	۵۱۶	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۱۱ ۴۰۹۰	سو ئد	تهران امور واردات	1397		5
25,621	1,076,091,294	۶۰۲	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۱۱ ۴۰۹۰	چی ن	تهران امور واردات	1397	2	6
15,649	657,260,764	۴۰۶	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۱۱ ۴۰۹۰	سو ئد	تهران امور واردات	1397		7
14,552	611,170,869	۲۵۶	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۱۱ ۴۰۹۰	چی ن	تهران امور واردات	1397		8
13,153	559,779,176	۱۵۳	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۱۱ ۴۰۹۰	سو ئد	تهران امور واردات	1397		9
9,176	385,371,000	۱,۸۴۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۱۱ ۴۰۹۰	چی ن	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	0	10
8,383	352,095,118	۴۶۳	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۱۱ ۴۰۹۰	چی ن	تهران امور واردات	1397	0	11

12	1397		تهران امور واردات	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۹۹	309,956,108	8,365
13	1397		تهران امور واردات	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱۹۹	278,703,216	6,593
14	1397		تهران امور واردات	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۳۳۱	273,080,491	6,502
15	1397		تهران امور واردات	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱۷۹	266,210,970	6,338
16	1397		منطقه ویژه اقتصادی سیرجان	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱,۴۷۶	247,215,929	5,879
17	1397		فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۴۶	229,453,781	5,463
18	1397		فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۳۵	227,151,571	5,222
19	1397	2	تهران امور واردات	سوئد	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای	۳۹	208,067,901	4,953

			دیگر						
20	1397	0	منطقه ویژه بوشهر ۱	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۶۵۲	158,059,340	3,763
21	1397		تهران امور واردات	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱۹۰	151,519,894	3,560
22	1397		تهران امور واردات	سوئد	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۵۴	121,996,088	3,297
23	1397	2	بازرگان	ترکیه	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۲۵۰	120,127,500	2,860
24	1397		تبریز	امارات متحده عربی	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۴	100,929,132	2,403
25	1397		منطقه ویژه بوشهر۱	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۳۲۰	97,643,700	2,325
26	1397		تهران امور واردات	آلمان	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱۸	77,433,319	1,844

27		1397	منطقه ویژه اقتصادی سیرجان	تایوان	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۴۳۰	67,846,320	1,586
28	1	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۲۲	56,345,040	1,342
29		1397	تهران امور واردات	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۶۹	50,853,540	1,211
30		1397	البرز(فرودگاه پیام)	آلمان	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۲۰	50,602,836	1,357
31		1397	منطقه ویژه بوشهر۱	هند	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۳۴۰	40,934,268	975
32		1397	منطقه ویژه بوشهر۱	جمهوری کره	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱۳۲	35,208,337	839
33		1397	منطقه ویژه شهید رجایی	هند	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۱۲۵	26,169,550	623
34		1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای	۴۴	25,135,372	598

						دیگر			
35		1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۱۱۴۰۹۰	ا ستارتر موتورها و ژنرا تورها- ا ستارترهای دومنظوره غیر مذکور در جای دیگر	۸۱	8,142,120	216
							مجموع کل 14,068,281,815 ریال	**مجموع کل 336,683 دلار**	

جدول ۶- **1**- اطلاعات واردات مبدلهای استاتیک از طریق گمرکات مختلف در سال ۱۳۹۷

ارزش - دلار	ارزش - ریال	وزن - کیلو گرم	توضیحات تعرفه	شماره تعرفه	نام کشور	نام گمرک	سال	ماه	دیف
1,144,309	50,113,649,624	۸,۷۴۷	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۰۴۴۰۹۰	چین	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	5	
866,530	37,347,447,775	۳,۶۱۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۰۴۴۰۹۰	آلمان	اهواز	1397	8	
844,819	35,549,977,550	۳۶,۴۹۴	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۰۴۴۰۹۰	امارات متحده عربی	منطقه ویژه اقتصادی شیراز	1397	3	
819,005	30,865,836,586	۱۲,۳۴۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۰۴۴۰۹۰	قبرس	منطقه ویژه شهید رجایی	1397	2	
617,004	25,914,167,494	۷,۴۹۷	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۰۴۴۰۹۰	امارات متحده عربی	تهران امور واردات	1397	7	
667,660	23,571,077,100	۳,۶۱۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۵۰۴۴۰۹۰	آلمان	اهواز	1397	2	

	4	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	ایتالیا	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۳,۲۲۶	22,813,485,750	529,315
	2	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	هند	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۳,۶۵۰	22,546,182,400	536,814
	11	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹,۰۲۶	20,490,134,988	487,860
0	12	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴۸,۴۰۰	17,736,972,200	422,309
1	1	1397	شهرکرد	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹,۰۰۵	14,152,464,818	382,965
2	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴,۲۷۶	13,478,509,295	321,034
3	1	1397	تهران امور واردات	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۰,۲۵۴	13,460,490,635	358,492
4	7	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۳,۰۴۸	13,202,221,188	314,339
5	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ایتالیا	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۷۴	12,716,189,112	339,686
6	2	1397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۲,۱۵۴	11,557,890,920	293,157
7	2	1397	قزوین	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵,۲۲۱	9,279,754,024	220,947
8	1	1397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۱,۲۴۳	9,120,975,423	243,644

9	2	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵,۵۳۴	8,746,805,475	208,257
0	2	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	هنگ کنگ	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹,۲۳۴	8,465,506,590	226,260
1	2	1397	فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵,۰۲۳	7,224,368,178	172,008
2	11	1397	تهران امور واردات	جمهوری چک	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶,۷۷۰	6,460,251,750	153,816
3	6	1397	بازرگان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳,۱۱۹	6,244,339,210	141,627
4	1	1397	بازرگان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳,۰۷۳	6,196,133,405	147,527
5	3	1397	تهران امور واردات	جمهوری چک	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶,۷۲۰	5,838,441,806	138,746
6	3	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۳,۷۵۶	5,817,516,916	144,246
7	2	1397	منطقه ویژه اقتصادی سهلان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳,۲۲۲	5,620,942,560	133,832
8	1	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	دانمارک	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹۹۰	5,024,112,808	133,287
9	10	1397	آبادان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۷,۷۰۰	4,740,895,728	112,878

0	12	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	امارات متحده عربی	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۲۷۲	4,557,066,830	108,501
1	12	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴,۲۹۳	4,551,984,978	108,380
2	12	1397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲,۸۳۶	4,289,829,725	102,139
3	8	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	سوئیس	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۳۶	3,854,900,627	91,783
4	12	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۵۵۳	3,786,106,353	90,145
5	2	1397	منطقه ویژه بوشهر۱	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۱,۵۰۹	3,595,200,000	85,600
6	10	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۳,۳۵۵	2,962,925,188	70,547
7	11	1397	غرب تهران	فرانسه	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۲۰۷	2,944,959,210	70,118
8	2	1397	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۷۳	2,664,846,432	63,449
9	7	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۳,۷۵۴	2,613,191,568	62,097
0	8	1397	شهرکرد	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۱۴۸	2,489,193,155	59,267
1	1	1397	تهران امور واردات	ترکیه	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۶۷۰	2,479,387,578	66,267

2	12	1397	شهرکرد	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۲۲	2,464,627,423	58,682
3	10	1397	یزد	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴,۶۰۰	2,460,270,831	58,578
4	7	1397	منطقه ویژه بوشهر ۱	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۵,۴۵۶	2,375,999,736	56,572
5	6	1397	تهران امور واردات	ایتالیا	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۳۷۵	2,274,668,595	54,159
6	9	1397	فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۸	2,234,452,487	53,201
7	9	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۶۰	2,231,726,175	53,136
8	9	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۹۵	2,231,388,765	53,128
9	6	1397	فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۷۵	2,125,969,955	50,618
0	12	1397	غرب تهران	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲,۹۲۲	2,101,434,402	50,034
1	4	1397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲,۱۶۷	1,966,260,435	46,386
2	2	1397	تهران امور واردات	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸,۲۰۶	1,953,596,400	46,514
3	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲,۰۳۹	1,901,710,890	49,411

4	6	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۴۰	1,894,702,300	45,112
5	6	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷,۳۹۵	1,848,437,000	44,010
6	6	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹۶۸	1,778,533,345	42,346
7	3	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴۳	1,624,256,082	41,061
8	12	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	جمهوری کره	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۱۸۵	1,568,341,632	37,341
9	8	1397	منطقه ویژه بوشهر ۱	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸,۷۰۲	1,482,724,943	35,303
0	7	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۰	1,456,866,784	34,688
1	6	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	زلاندنو	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۱۸	1,424,704,283	33,922
2	4	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۰۴	1,273,047,862	29,982
3	2	1397	زنجان	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۹	1,233,128,567	33,279
4	9	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵	1,144,711,556	27,255
5	3	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴,۵۰۰	1,126,267,000	26,816
6	11	1397	فرودگاه امام	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای	۵,۳۲۸	1,070,967,095	25,498

			خمینی (ره)			دیگر			
7	11	1397	جلفا	اماراتمتحده عربی	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲,۴۸۰	1,065,456,000	25,368
8	9	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	هنگ کنگ	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۲۰	1,047,752,136	24,946
9	11	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	سوئد	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۳	994,239,075	23,672
0	6	1397	منطقه ویژه بوشهر ۱	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۱۰	863,535,072	20,560
1	6	1397	یزد	ترکیه	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳,۱۰۰	862,769,080	20,542
2	11	1397	منطقه ویژه بوشهر ۱	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۷۱۸	859,977,600	20,476
3	10	1397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴,۳۲۲	835,036,389	19,882
4	5	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	مالزی	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۰	778,830,822	18,544
5	2	1397	تهران امور واردات	لیختن اشتاین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۲۰	771,375,852	18,366
6	10	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۳	751,475,775	17,892
7	11	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵۷۳	749,794,440	19,683
8	4	1397	فرودگاه امام	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای	۸۱۸	727,428,611	17,174

			خمینی (ره)			دیگر			
9	3	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	اسپانیا	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۲۹	717,321,240	17,021
0	5	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۰	626,297,340	17,514
1	10	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	سوئد	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۶	616,953,160	14,690
2	7	1397	آبادان	اماراتمتحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۴۸۰	608,508,288	14,488
3	9	1397	منطقه ویژه بوشهر ۱	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۱۱۴	536,241,080	12,768
4	12	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	هنگ کنگ	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۰	501,651,407	11,944
5	6	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵۲۰	492,207,260	11,719
6	5	1397	شهرکرد	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۷۴	480,160,464	11,359
7	3	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۰۷۰	472,813,360	11,247
8	3	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۷۰	471,011,280	11,215
9	3	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	فرانسه	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۵	460,135,332	10,918
0	4	1397	قزوین	آلمان	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۴۴	456,889,458	10,760

1	3	1397	البرز(فرودگاه پیام)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶۶۴	432,999,000	10,310
2	12	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹۰۶	419,872,515	9,998
3	12	1397	بندر لنگه	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۷	417,263,275	9,935
4	5	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۵۰	415,011,226	9,848
5	9	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۴۷۱	414,377,624	9,866
6	1	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۵	401,033,153	10,493
7	2	1397	قزوین	فرانسه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۰۰	399,122,664	9,503
8	12	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۷۴	385,251,990	9,172
9	5	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴۵۸	385,178,159	8,861
00	9	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۱۳۰	378,000,000	9,000
01	12	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۵	346,939,910	8,260
02	8	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۶	335,370,160	7,985

03	6	1397	تهران امور واردات	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵	288,423,105	6,840
04	2	1397	بازرگان	اتریش	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۰۲	273,143,640	6,503
05	2	1397	فولاد مبارکه اصفهان	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸	271,366,578	6,461
06	7	1397	فولاد مبارکه اصفهان	ایتالیا	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۰	264,714,944	6,303
07	5	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۶۸	260,955,175	6,006
08	11	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵۶۱	248,539,368	5,917
09	8	1397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۸۴	248,405,700	5,914
10	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	جمهوری کره	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶۸	247,697,120	5,898
11	1	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	اسپانیا	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۶۵	245,754,792	6,520
12	3	1397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶۰۳	233,639,927	5,541
13	5	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	بلژیک	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۵	233,197,000	5,361
14	8	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۸۱	230,213,846	5,481

15	2	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۸۳	210,653,504	5,016
16	10	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۷۴	208,980,640	4,976
17	1	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	هنگ کنگ	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۴۳	208,700,665	5,557
18	8	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ایتالیا	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴	198,629,610	4,729
19	4	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۲	197,655,680	4,688
20	9	1397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۰۶	196,687,564	4,683
21	6	1397	منطقه آزاد تجاری اروند – خرمشهر	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۴۷۳	193,379,319	4,598
22	10	1397	یزد	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۰۵	191,309,175	4,555
23	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	جمهوری چک	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹۸	185,091,876	4,407
24	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	اسپانیا	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۶۶	184,917,600	4,403
25	9	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ایتالیا	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۴	179,789,330	4,281
26	12	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۱۲	176,367,508	4,199

27	2	1397	البرز(فرودگاه پیام)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴۸۵	172,175,550	4,552
28	3	1397	دیلم	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۹۰۰	168,472,830	4,011
29	8	1397	البرز(فرودگاه پیام)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴۶۷	167,705,015	3,993
30	8	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳	159,942,580	3,808
31	1	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵۲	154,409,772	3,676
32	3	1397	منطقه ویژه بوشهر۱	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۰۰	150,418,611	3,581
33	4	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	سوئیس	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲	146,997,370	3,462
34	12	1397	منطقه ویژه اقتصادی سهلان	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۶۰	145,558,530	3,466
35	5	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ایتالیا	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷	139,657,207	3,325
36	2	1397	آبادان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴۹۳	138,387,700	3,295
37	1	1397	منطقه ویژه بوشهر۱	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱,۶۶۰	129,693,984	3,466
38	11	1397	منطقه ویژه اقتصادی	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۹۰	127,116,000	3,027

			سهلان						
39	8	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	اماراتمتحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵۵۷	116,422,678	2,772
40	1	1397	تبریز	اماراتمتحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲	114,174,074	3,029
41	5	1397	تهران امور واردات	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۲۴	112,904,253	2,634
42	7	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۷۶	112,538,236	2,679
43	7	1397	قزوین	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷	105,947,500	2,523
44	7	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۳۸	105,156,409	2,504
45	1	1397	تهران امور واردات	ایتالیا	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۵	88,029,364	2,096
46	3	1397	قزوین	چین	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶۵	80,629,605	2,139
47	10	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	اماراتمتحده عربی	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۸۲	76,544,764	1,822
48	7	1397	فولاد مبارکه اصفهان	آلمان	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۱	69,974,499	1,666
49	4	1397	بازرگان	ترکیه	۸۵۰۴۰۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۳۰	67,844,940	1,598
5	6	1397	بازرگا	ترک	۸۵۰۴	مبدلهای استاتیک	۲۵۷	62,697,260	1,493

0			ن	یه	۴۰۹۰	غیر مذکور در جای دیگر			
51	10	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	جمهوری کره	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶۰	61,740,000	1,470
52	8	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۵۹	59,860,002	1,376
53	5	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۱۰	58,995,600	1,389
54	7	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴۱۱	54,757,470	1,304
55	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	هنگ کنگ	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۱۰	53,174,163	1,266
56	9	1397	گناوه	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۲۵	50,467,648	1,202
57	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	تایوان	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۹	47,135,760	1,122
58	11	1397	منطقه ویژه اقتصادی سهلان	امارات متحده عربی	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴	45,639,440	1,087
59	10	1397	رازی	ترکیه	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۸۰	38,326,400	912
60	10	1397	غرب تهران	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۷۵	32,970,630	785
61	4	1397	اصفهان	ایتالیا	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶	32,473,110	768

62	4	1397	منطقه آزاد تجاری اروند - خرمشهر	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۹	30,222,872	720
63	4	1397	بندر لنگه	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲۳۵	26,927,612	634
64	3	1397	تهران امور واردات	اسپانیا	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶۲	19,143,342	455
65	5	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	هند	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۲	18,501,020	436
66	5	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۳	17,743,250	408
67	11	1397	منطقه ویژه شهید رجایی	چین	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۰	17,384,690	414
68	10	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	ترکیه	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳	15,474,451	368
69	4	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	هنگ کنگ	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۳۵	14,152,600	328
70	3	1397	تبریز	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۶	13,256,888	315
71	2	1397	بندر لنگه	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۳	11,177,420	266
72	2	1397	فرودگاه امام خمینی (ره)	امارات متحده عربی	۸۵۰۴۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۴	4,527,600	108

73	10	1397	تهران امور واردات	آلمان	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱۲	3,329,550	79
74	11	1397	مشهد	چین	۸۵۰۴ ۴۰۹۰	مبدلهای استاتیک غیر مذکور در جای دیگر	۱	614,394	15
							مجموع کل 570,833,016,001 ریال	**مجموع کل 13,920,358 دلار**	

فرم پرسشنامه سیستم‌های پایش وضعیت

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : تاریخ :

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی □ خیر □

توضیحات :

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

توضیحات :

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی □ خیر □

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

مشخصات ژنراتور ۱ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....
نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

مشخصات ژنراتور ۲ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....
نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

مشخصات ژنراتور ۳ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....
نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

نام و نام خانوادگی کارشناس:

مستندات مربوط به پرسشنامه های تکمیل شده توسط نیروگاههای منتخب

پژوهشگاه نیرو گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : [illegible] تاریخ : ۹۷/۴/۱۹

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ☑ خیر ☐

توضیحات :

[illegible] علت عدم دسترسی و یا کمبود نیروی [illegible] بررسی و پایش استفاده از سیستم های پایش وضعیت [illegible] صحیح [illegible] صحیح میشود. ضمن اینکه با تحلیل نتایج این پایش ها میتوان رفتار سیستم را تحلیل نمود.

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☑ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☑ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☑

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

سیستم تخلیه جزیی : Iris-Power_icm

سیستم اندازه گیری ارتعاشات : Vibro_Shondc

سیستم اندازه گیری دما : RTD

سیستم اندازه گیری فاصله : Vibro

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☑ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☑ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☑

توضیحات :

[illegible] در این زمینه اطلاعات متی در اختیار نیروگاه گذاشتند. از زمینه سیستمهای ارتعاشات تنها ARM ابزای تجهیز خود را به سیستم ارتعاشات ساخت Vibro آلمان میباشد.

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ☑ خیر ☐

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

با تحلیل دما که از تنها پارامتر صورت گرفته تنها [illegible] از عیوب دمایی موفق داغ ژنراتور محسوب کرده.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟

۱- عدم اطلاع کافی پرسنل از نحوه عملکرد آن

۲- عدم دسترسی و محدودیت کار کردن با تجهیز

۳- عدم سازگاری [illegible] با نرم افزارش

۴- عدم ارائه خدمات فنی [illegible]

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

۱- [illegible] سمینارها و همایشهای [illegible] در نیروگاهها با دعوت از نمایندگان نیروگاهها توسط نهادهای [illegible]

۲- مشاوره [illegible] به کارشناسان نیروگاه در خصوص مزایا و معایب سیستم های مذکور و [illegible]

۳- [illegible] استفاده از این سیستم ها

۴- ارسال [illegible] بروشورهای تحقیقات متی به کارشناسان مربوطه.

۵- فعال [illegible] کنفرانس ها و نمایشگاههای مربوطه

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

- عدم اطلاع و آگاهی از مزایای سیستمهای فوق

- وجود محدودیتهای بودجه ای و مالی

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

- اطلاع رسانی و برگزاری سمینارهای بمنظور توجیه فنی و اقتصادی سیستمهای فوق

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

- بروز اتصالی در حلقه سیم پیچ ژنراتور شامل پیرسازی عایق، پوسیدگی و شل شدن گوه

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟ بله

در صورت پاسخ مثبت، با توجه به بازه های زمانی مشخص، امکان اصلاح عیب قبل از وقوع حادثه وجود دارد

مشخصات ژنراتور ۱: تاریخ نصب ۱۳۸۰ ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور 250MW ولتاژ نامی ژنراتور 15.75 kV

نوع سیستم تحریک Static تعداد اورهال ۱۷ نوع سیستم خنک کنندگی Water Cooling

مشخصات ژنراتور ۲: تاریخ نصب ۱۳۸۶ ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور 250MW ولتاژ نامی ژنراتور 15.75kV

نوع سیستم تحریک Static تعداد اورهال ۴ نوع سیستم خنک کنندگی Water Cooling

مشخصات ژنراتور ۳: تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....

نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

نام و نام خانوادگی کارشناس: محرمی

۱. به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ☑ خیر □

توضیحات : بله هر صنعتی متناسب با پروسه تولید خود نیاز به سیستمهای پایش انلاین دارد بنابراین انتخاب پارامترهای متناسب در درجه اول جهت پایش وضعیت انلاین الزامی است . استفاده از سیستم انلاین پایش وضعیت ژنراتور باعث افزایش بهره وری گردیده واز بروز لطمات و صدمات جبران ناپذیر به تجهیزات نیروگاهی جلوگیری به عمل می اورد.

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور□ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی□

در نیروگاه کرخه هر چهار مورد نصب هستند.

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی□ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

بله در مورد سیستم تخلیه جزیی و اندازه گیری ارتعاشات مطالعاتی صورت گرفته است.

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی □ خیر □

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

بله از انها استفاده می شود.به کرات از سیستم اندازه گیری دما و سیستم اندازه گیری ارتعاشات در جهت جلوگیری از بروز خطا ، استفاده شده است. و بارها از تریپ واحدهای نیروگاهی جلوگیری شده است.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده ازآنها در نیروگاه چیست؟

-عدم توانایی در تحلیل داده ها و عدم اشنایی با این سیستمها

-عدم کالیبره سخت افزاری تجهیزات مربوطه

-عدم وجود مهارت در تحلیل داده ها

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

-توجیه مالکین وسرمایه گذاران نیروگاه دررابطه با هزینه های سنگین تعمیرات در صورت بروز عیب عمده.

-توجیه مالکین و سرمایه گذاران نیروگاه در رابطه با جریمه تریپ واحدهای نیروگاهی.

-پرورش نیروهای کارامد و خبره و متخصص با برگزاری دوره های کاربردی.

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

-عدم اشنایی مالکین نیروگاهها از خطرات احتمال پیش رو که ممکن است گریبانگیر واحدهای نیروگاهی شود

- عدم وجود بودجه کافی جهت نصب سیتمهای پایش انلاین

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

- برگزاری دوره ها ی تخصصی برای مالکان نیروگاه و توجیه اینکه در صورت عدم نصب این گونه تجهیزات چه عواقبی ممکن است برای نیروگاه پیش بیاید.

- مقایسه جریمه های نیروگاهی با هزینه نصب تجهیزات فوق الذکر.

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

- خوشبختانه تاکنون حادثه یا عیب خاصی رخ نداده به جز تریپ های معمول که اغلب کاذب بوده و غالبا بدلیل معیوب بودن سیستم **plc** بوده است(کارتها - منابع تغذیه-**cpu**)

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

بله. در صورت وجود سیستم های پایشی و بهره برداری دقیق از انها میتوان به کار نرمال واحدهای نیروگاهی امیدوار بود.

مشخصات ژنراتور۱ تاریخ نصب: ۱۳۸۰ ساعت کارکرد :۲۲۱۰۰۰۰۰۰ ظرفیت ژنراتور:
MVA۱۶۰ ولتاژ نامی ژنراتور : ۱۳.۸ کیلو ولت

نوع سیستم تحریک : استاتیک نوع سیستم خنک کننده : air water cooler

---

مشخصات ژنراتور۲ تاریخ نصب: ۱۳۸۱ ساعت کارکرد ۲۸۳۰۰۰۰۰۰ ظرفیت ژنراتور:
MVA۱۶۰ ولتاژ نامی ژنراتور :۱۳.۸ کیلو ولت

نوع سیستم تحریک : استاتیک نوع سیستم خنک کننده : air water cooler

---

مشخصات ژنراتور۳ تاریخ نصب: ۱۳۸۲ ساعت کارکرد ۲۴۷۰۰۰۰۰۰ ظرفیت ژنراتور:
MVA۱۶۰ ولتاژ نامی ژنراتور : ۱۳.۸ کیلو ولت

نوع سیستم تحریک : استاتیک نوع سیستم خنک کننده : air water cooler

---

تهیه کنندگان : ۱ - محمد میرعالی (کارشناس الکتریک)

۲- محمد روشندل زارع (کارشناس شیفت نیروگاه)

تصویب کننده : حسن صفری کیا (مدیر تولید نیروگاه)

پژوهشگاه نیرو **گروه ماشینهای الکتریکی دوار**	**پرسشنامه شماره ۱** **پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی**	**نام نیروگاه :** سد نیروگاه مجریان **تاریخ :**

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ☑ خیر ☐

توضیحات : به دلیل اهمیت دستگاه ژنراتور، وجود بالا بودن هزینه های تعمیر و نصب، پایش وضعیت آنلاین ژنراتور می تواند از بروز اشکالات بزرگ جلوگیری کند.

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☑ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☑ سیستم اندازه گیری دما ☑ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☑

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

- سیستم تخلیه جزیی : ICM / IRIS ROWER
- سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور : schenk / vibro system / vibro Reak 3000
- سیستم اندازه گیری دما : RTD
- سیستم اندازه گیری فاصله هوایی : Vibro System

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

توضیحات : موارد فوق در نیروگاه مجریان نصب بوده و فقط محدودیتهای کاربردی و پیش اعلام وجود دارد.

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ☑ خیر ☐

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟ بله

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟

محدودیتهای فنی و کمبود قطعات و متریال

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

- بروز رسانی تجهیزات مورد استفاده.
- تامین قطعات مورد نیاز و تهیه قطعات یدکی و spare

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

۱- عدم اطلاع از مزایای آن

۲- هزینه بالای تجهیزات

۳- عدم وجود الزام از سوی سازمانهای بالادستی

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

۱- مذاکره با سازمانهای بالادستی (سازمان آب و برق - وزارت نیرو) و توجیه این سیستم‌ها

۲- ایجاد تیم و یا کارگروهی متخصص جهت انجام این امر

۳- تخصیص بودجه جهت خرید تجهیزات مربوطه

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه گردده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

۱- آتش PD

۲- اتصالی بین لایه‌های سیم‌پیچ

۳- اتصالی بین لایه‌های سیم‌پیچ

۴- اتصال دو فاز در سیم‌پیچ

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

بله با استفاده از تجهیزات آنلاین رصد دمای وجود دارد.

مشخصات ژنراتور ۱: تاریخ نصب ۱۳۹۰ سال ساعت کارکرد معادل ۸۰۰۰ ظرفیت ژنراتور ۲۰۰ MW ولتاژ نامی ژنراتور ۱۸/۷۵ KV

نوع سیستم تحریک استاتیک تعداد اورهال ۲ نوع سیستم خنک کنندگی هیدروژن با استفاده از WFAF تزریق آب

مشخصات ژنراتور ۲: تاریخ نصب ۱۳۹۶ سال ساعت کارکرد معادل ۴۰۰۰ ظرفیت ژنراتور ۲۰۰ MW ولتاژ نامی ژنراتور ۱۸/۷۵ KV

نوع سیستم تحریک استاتیک تعداد اورهال ۱ نوع سیستم خنک کنندگی هیدروژن با استفاده از WFAF تزریق آب

مشخصات ژنراتور ۳: تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل ..... ظرفیت ژنراتور ..... ولتاژ نامی ژنراتور .....

نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

نام و نام خانوادگی کارشناس:

محمدرضا امیناریان

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : نیروگاه کاشان تاریخ : ۱۳۹۷/۰۳/۲۷

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ☑ خیر ☐

توضیحات :

بله، با توجه به اهمیت ماشین های الکتریکی در تولید انرژی الکتریکی و همچنین تغییر رویکرد جهان صنعت به سمت پیشگیری و تشخیص خطا قبل از وقوع، نیروگاه های سراسر کشور را به این سمت سوق داده است که با مراقبت ها و تست ها و تعمیرات پیشگیرانه، شرایط ایجاد خطا را محدود و یا حتی الامکان زمان آن را مدیریت نمایند تا بتوان در موقع مناسب با کمترین هزینه، مشکل را مرتفع نمود.

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ■ سیستم اندازه گیری دما ■ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☑ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

توضیحات : بله در مورد سیستم تخلیه جزئی مطالعه شده و ضرورت پایش تخلیه جزئی ژنراتورها از دیدگاه استانداردهای مختلف بررسی و با برخی شرکت ها نیز مذاکراتی شده ولی تا کنون اقدام برای اجرا و نصب آن صورت نگرفته است. عدم وجود نگرانی برای بروز خطا در ژنراتورها در نیروگاه و همچنین نامناسب بودن اوضاع اقتصادی حاکم بر نیروگاهها

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ☐ خیر ☑

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

در نیروگاه دماوند و جنوب اصفهان از تجهیزات PDA استفاده شد ولی به دلایل مختلف (عدم تحلیل مناسب داده ها، عدم کالیبره یا عدم انتخاب طول مناسب کابل رابط، استفاده از سیستمهای آفلاین و ...)، این سیستمها عملکرد درستی نداشتند.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟

عدم قانع شدن برای هزینه ای بالغ بر ۵۰۰ میلیون تومان در نیروگاه، در حالیکه ریسک خطای تخلیه جزئی در واحدهای هوا خنک پائین است. ضمنا بلغ بر ۸۰ درصد تخلیه جزئی در قسمت اورهنگها صورت می پذیرد و این واحدها داراری دریچه بازدید هستند و از این طریق قابل مشاهده و پیشگیری است.

نامناسب بودن اوضاع اقتصادی نیروگاهها که باعث می شود، درآمدها و هزینه ها اولویت بندی شوند و ریسکها و مسائل ژنراتور تا کنون بگونه ای نبوده که در اولویت قرار بگیرد لذا از نظر هزینه کرد در اولویت قرار نمی گیرند.

عدم توانایی در تحلیل داده ها و آشنایی با این گونه سیستم ها و عدم اعتماد به شرکتهای داخلی برای پشتیبانی و تحلیل درست داده ها و ارائه راهکار

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

ارائه یک ارزیابی فنی – اقتصادی برای توجیه ضرورت بکارگیری تجهیزات PDA برای ژنراتورهای هواخنک. مالک نیروگاه با توجه به عدم وقوع حوادث مکرر و مهم در این نوع ژنراتورها، نگرانی زیادی برای ضرورت نصب تجهزات PDA حس نمی کند و با توجه به اولویت بندی هزینه ها، از اولویت هزینه ها خارج شده است.. اگر بتوان با ارائه یک آمار مستند و محاسبه هزینه های محتمل تعمیرات و خروج واحد و عدم تولید و احتمال وقوع خطا، سرمایه گذار را قانع کرد که بکار گیری این تجهیزات، هزینه نیست بلکه سرمایه است.

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

مهمترین دلایل عدم آشنایی با ساختمان ماشین ها و اهمیت پیشگیری از تهدیدهای پیش رو (عدم درک خطرات عایقی ژنراتورها شامل پیری و ...) در کنار مشکلات اقتصادی و اولویت بندی هزینه هاست. همچنین احساس عدم مالکیت و آشنایی به وظایف اجتماعی برای حفظ سرمایه های ملی و و همچنین احساس عدم شراکت در سود پیشگیری از خطرات احتمالی مانع از پرداختن به این مقوله سیستم ها می شود.

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

پیشنهاد می گردد سمینارهای کاملا تخصصی به دور از تشریفات و دعوت از کارشناسان فنی و خبره به همراه نماینده مالک و مدیر هر نیروگاه و استفاده از اساتید کاملا متخصص و نه صرفا آکادمیک به طوری که سطح ارائه مطالب بالا و جذاب باشد و البته مباحث مربوط به سود و زیان و عدم نفع نیروگاه ها در بازار برق و مقایسه آن با هزینه نصب و تعمیرات و عدم النفع این سیستم ها نیز در کنار مطالب فنی مهم بوده و ارزش پیشگیری از خطرات احتمالی پیش روی ماشین های الکتریکی را بیش از پیش بیان می دارد. لازم به ذکر است نصب این سیستم های پایشی بخشی از داستان مذکور می باشد، تحلیل داده ها و استفاده از آن ها برای پیشگیری از خطرات احتمالی موضوعی است که در صنعت برق کنونی به سختی قادر به اقناع مالکان و کارشناسان الکتریک نیروگاه ها می باشد. لذا تربیت خبرگان این حرفه در شرکت های مرتبط ضروری بوده به طوری که بتوان کارشناسان هر نیروگاه را در این زمینه شرکت داد. لذا استفاده از آمار خطاهای نیروگاهها (با دسته بندی بر مبنای سیستم کولینگ و ظرفیت نامی و طول عمر) در کنار هزینه های خطا (تعمیرات و عدم النفع خاموشی) و احتمال وقوع برای توجیه هزینه کرد در این زمینه می تواند موثر باشد.

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

ژنراتورهای نیروگاه کاشان به دلیل زمان نه چندان طولانی بهره برداری از آن ها و همچنین آگاهی نسبتا کافی از ساختمان ماشین و بهره برداری مناسب از آن ها تا کنون دچار حادثه و یا عیب خاصی نشده است ولی وجود کرونا در بخصوص اورهنگ های استاتور که البته اجتناب ناپذیر بوده مشاهده شده است و در بازدیدهای ۸۰۰۰ ساعته واحدها از طریق دریچه های بازدید استاتور به صورت کامل بازدید و مورد پایش می باشد.

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

در این نیروگاه اتفاقی رخ نداده است ولی قطعا با استفاده صحیح از سیستم های پایشی و البته تحلیل دقیق داده ها می توان بهره برداری طولانی از ماشین های الکتریکی را تضمین نمود.

مشخصات ژنراتور ۱ : تاریخ نصب: ۱۳۸۸ ساعت کارکرد معادل: ۶۰۰۰۰ ظرفیت ژنراتور 200 MVA ولتاژ نامی ژنراتور :15.75 KV

نوع سیستم تحریک: Static (ABB Unitrol 6800) تعداد اورهال: یک اورهال نوع سیستم خنک کنندگی: هوا خنک

مشخصات ژنراتور ۲ : تاریخ نصب ۱۳۸۸ ساعت کارکرد معادل:۵۵۰۰۰ ظرفیت ژنراتور200 MVA ولتاژ نامی ژنراتور 15.75 KV

نوع سیستم تحریک Static (ABB Unitrol 6800) تعداد اورهال یک اورهال نوع سیستم خنک کنندگی هوا خنک

مشخصات ژنراتور۳ : تاریخ نصب ۱۳۹۶ ساعت کارکرد معادل: در حال راه اندازی ظرفیت ژنراتور: 200 MVA ولتاژ نامی ژنراتور: 15.75 KV

نوع سیستم تحریک Static (Siemens T400) تعداد اورهال یک اورهال نوع سیستم خنک کنندگی: هوا خنک

نام و نام خانوادگی کارشناس:
بهرام ربیعی کارشناس الکتریک نیروگاه کاشان
تائید کننده:
محمدزمان جلویان. مدیر نیروگاه کاشان

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : کرمان تاریخ :

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ■ خیر □

توضیحات :

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ■ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ■ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

توضیحات :

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ■ خیر □

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟ بله

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده ازآنها در نیروگاه چیست؟

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

عدم اگاهی از دستگاه های موجود و هزینه های انجام ان

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

نقص عایقی شینه های استاتور

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

در صورت وجود سیستم های پایش وضعیت

مشخصات ژنراتور ۱ : تاریخ نصب .....2000..... ساعت کارکرد معادل.....120000..... ظرفیت ژنراتور.....200 MVA.....
ولتاژ نامی ژنراتور .....15.75.....
نوع سیستم تحریک .....static..... تعداد اورهال .....4..... نوع سیستم خنک کنندگی.....air.....

مشخصات ژنراتور ۲ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....
نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

مشخصات ژنراتور ۳ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....
نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

نام و نام خانوادگی کارشناس:
رضایی

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : نیروگاه قم تاریخ : ۹۷/۰۳/۲۰

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ☐ خیر ☐

توضیحات :

با توجه به تجربه تلخ حادثه بر روی ژنراتور G11 نیروگاه قم لزوم پایش مستمر وضعیت عایقی ژنرتور بسیار حس میشود.

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

در حال حاضر سیستم آنلاین پایش وضعیت تخلیه جزئی PDM در نیروگاه قم وجود دارد. مانیتورینگ دمای سیم پیچ و هسته استاتور نیز وجود دارد. پایش لرزش بیرینگهای دو سمت ژنراتور نیز موجود است.

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

توضیحات :

بله با توجه به سوال ۲

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ☐ خیر ☐

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

بله، استفاده از سیستمهای مذکور سبب پیش بینی و تهیه یک ست سیم پیچی از جانب نیروگاه گردیده بود.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده ازآنها در نیروگاه چیست؟

لزوم تحلیل داده های آن توسط شرکتها با قراردادها و تحلیلهای متفاوت و بعضا متناقض

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟
راحتی کارکرد با هر تجهیزی سبب عملیاتی شدن آن میشود که متاسفانه در زمینه تخلیه جزئی کارکد و تحلیل نتایج آن پیچیده است.

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟
با توجه به پاسخ سوال ۶، پیچیدگی و هزینه بالای نصب و تحلیل داده ها از دلایل عدم نصب این سیستمها است.

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟
سهولت در کاربری تجهیزات پیشنهاد بنده است.

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)
مشکل ارت و بالا رفتن لرزش ژنراتور
سوختن سیم پیچ ژنراتور به علت پیری عایق

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟
بله همچنانکه در سوالات پیشین نیز اشاره شد.

مشخصات ژنراتور ۱ : تاریخ نصب ۱۳۷۲ ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور ۱۰۰مگاوات ولتاژ نامی ژنراتور ۱۳،۸
نوع سیستم تحریک AC تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی غیر مستقیم با هوا و آب

مشخصات ژنراتور ۲ : تاریخ نصب ۱۳۷۵ ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور ۱۰۰ مگاوات ولتاژ نامی ژنراتور ۱۱،۵
نوع سیستم تحریک AC تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی غیر مستقیم با هوا و آب

نام و نام خانوادگی کارشناس: محمدجواد فرح

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : نیروگاه شهید مفتح همدان تاریخ : ۹۷/۳/۱۰

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ **بلی** ☐

توضیحات :

با توجه به عمر بیش از ۲۰ سال ژنراتورهای این نیروگاه نصب سیستمهای جدید پایش وضعیت پیشرفته ضروری میباشد . بخصوص سیستم آنلاین تخلیه جزیی

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

مشخصات فنی و سایر توضیحات :

۱- سیستم اندازه گیری ارتعاشات روتور ژنراتور که بر روی یاتاقانهای دو طرف ژنراتور و اکسایتر نصب میباشد و در هریاتاقان سه سنسور از نوع خازنی دارد .

۲- سیستم اندازه گیری دمای سیم پیچ استاتور ۶ نقطه، دمای گاز هیدروژن خروجی از سیم پیچ ۶ نقطه ، دمای انتهای هسته استاتور ۷ نقطه ، دمای رتور ژنراتور ، دمای گاز ورودی و خروجی کولرها ، دمای آب کولرها، دمای یاتاقانها ، دمای روغن یاتاقانها (از سنسورهای RTD , TC استفاده شده است)

۳- سیستم مونیتورینگ توربین و ژنراتور که دارای انواع سنسورهای جابجایی ، خمش ، فاصله هوایی شفت ژنراتور و توربین نسبت به بیس میباشد و سنسورهااز نوع مغناطسی است

کلیه موارد فوق بصورت همزمان بصورت نشاندهنده عقربه ای ، رکورد و ثبت در سیستم کامپیوتر و همچنین نقطه آلارم موجود میباشد .

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

توضیحات :

تعویض سیستم مونیتورینگ و پایش توربین و ژنراتور به سیستم جدید و پیشرفته از طرف مدیریت محترم نیروگاه در حال پیگیری میباشد .

نصب سیستم تخلیه جزئی از طرف تعمیرات و دفتر فنی مهندسی نیروگاه نیز همیشه مد نظر بوده است ولی اقدام عملی خاصی انجام نشده است .

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ **بلی** ☐ خیر ☐

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

سیستهای موجود در بسیاری از موارد باعث پیش بینی عیوب شده اند و از بروز خطاهای بزرگتر جلوگیری شده است و بسیار بسیار کارآمد می باشد .

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده ازآنها در نیروگاه چیست؟

در نیروگاه شهید مفتح از تمامی سیستمهای پایش آنلاین موجود بصورت کاربردی استفاده میشود و بسیار بااهمیت میباشد . و تمامی پارامترهای موجود تحلیل و بایگانی میگردد

۱-ثبت مقادیر بصورت ساعتی ۲- اهمیت دادن به آنالیز مقادیر توسط پرسنل و گزارش نویس در صورت تغییرات دیده شده در پارامترها ۳- بایگانی

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

شناسایی نقاط ضعف ژنراتورهای هر نیروگاه و تصمیم گیری در مورد نیازمندیهای سیستمهای پایش وضعیت

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

۱- عدم وجود شرکتهای معتبر و تخصصی در این حوضه
۲- نیاز به توقف واحد و بررسیهای طولانی
۳- عملیات مکانیکی و نصب تجهیزات اضافی بر روی ساختار اصلی ژنراتور
۴- بیشتر شرکتهای ایرانی بصورت آزمایشی و پروژه ایی بدون سابقه وارد این موضوع میشوند
۵- عدم اعتماد کارفرما به پروژهای آزمایشی

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

اگر سیستم پایش وضعیت توسط شرکتهای معتبر و دارای تجارب نصب و بهره برداری متعدد ارائه شود حتما مورد توجه قرار خواهد گرفت در غیر این صورت بسیار بعید میباشد .

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

۱- شل شدگی نخبندیهای سر کلافها: در بازدیدها و اورهال توسط رزین و نخبندی رفع شده است و معمولا بعلت لرزش سرکلافها بوجود می آید .
۲- بالارفتن دمای داخل ژنراتور : بعلت مشکلات سیستم خنکاری بوجود می آید و معمولا قبل از بروز مشکل از طریق پایش سیستم دما تشخیص و رفع عیب میشود .

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

بلی با وجود تجهیزات پایش آنلاین میتوان از بوجود آمدن خطاهای مخرب و خطرناک جلوگیری نمود .

مشخصات ژنراتور 1 : تاریخ نصب 1373	ساعت کارکرد معادل 181565	ظرفیت ژنراتور 312.5 MVA	ولتاژ نامی ژنراتور 19 KV
نوع سیستم تحریک BRUSHLESS EXCITER	تعداد اورهال 4	نوع سیستم خنک کنندگی HYDROGEN INNER COOLED	
مشخصات ژنراتور 2 : تاریخ نصب 1373	ساعت کارکرد معادل 178082	ظرفیت ژنراتور 312.5 MVA	ولتاژ نامی ژنراتور 19 KV
نوع سیستم تحریک BRUSHLESS EXCITER	تعداد اورهال 4	نوع سیستم خنک کنندگی HYDROGEN INNER COOLED	
مشخصات ژنراتور 3 : تاریخ نصب 1374	ساعت کارکرد معادل 178620	ظرفیت ژنراتور 312.5 MVA	ولتاژ نامی ژنراتور 19 KV
نوع سیستم تحریک BRUSHLESS EXCITER	تعداد اورهال 3	نوع سیستم خنک کنندگی HYDROGEN INNER COOLED	
مشخصات ژنراتور 4 : تاریخ نصب 1374	ساعت کارکرد معادل 173725	ظرفیت ژنراتور 312.5 MVA	ولتاژ نامی ژنراتور 19 KV
نوع سیستم تحریک BRUSHLESS EXCITER	تعداد اورهال 3	نوع سیستم خنک کنندگی HYDROGEN INNER COOLED	
نام و نام خانوادگی کارشناس: امیرگوهرپور- رئیس اداره تعمیرات توربوژنراتور و بویلر – نیروگاه شهید مفتح همدان			

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : منتظری تاریخ : ۲۳-۳-۹۷

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ■ خیر □

توضیحات :

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ■ سیستم اندازه گیری دما ■ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

توضیحات :

خیر

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ■ خیر □

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟ بله با استفاده از سنسورهای دما و ارتعاش و مانیتورینگ دائم آنها امکان پیشبینی خطا و بروز حادثه وجود داشته است

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟

حجم بالای دیتاها، مشکل بودن آنالیز، نبود پرسنل که فقط و مدام با همین سیستمها کار کند، اشتباه و خطای خود سیستمهای پایش

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

آموزش، کاربری آسان

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

نیاز به رفع اشکال مداوم، سختی آنالیز دیتاها، حجم بالای دیتاها

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

مشکل عایقی، لرزش بیش از اندازه، نشتی هیدروژن در آب استاتور، ارت فالت

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

برای خطاهای ارت فالت خیر

مشخصات ژنراتور ۱ : تاریخ نصب ۱۳۶۱/۰۱/۰۱ ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور 200mw ولتاژ نامی ژنراتور ..15.75kv....

نوع سیستم تحریک ...استاتیک.... تعداد اورهال ....۷ نوع سیستم خنک کنندگی .....هیدروژن آب..

مشخصات ژنراتور ۲ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....

نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

مشخصات ژنراتور ۳ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....

نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : شهید مفتح همدان تاریخ : ۹۷/۳/۹

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ✓ خیر □

توضیحات :

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

هیچکدام از سیستمهای فوق الذکر نصب نمیباشد ، سیستم ارتعاش سنج در ژنراتورهای این نیروگاه شامل سه عدد سنسور تماسی روی یاتاقانهای ۵ و ۶ که مقدار حابجایی را اندازه گیری میکند و امکان رسم هیچگونه گراف و یا انالیزی وجود ندارد

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

توضیحات : **در خصوص تخلیه جزیی و ارتعاش مطالعات انفرادی انجام شده است** ، این کار مستلزم داشتن دانش در خصوص روشهای اندازه گیری ، روشهای تحلیل ، اطلاع از منابع خطا ، روشهای حذف نویز ، انتخاب باند فرکانسی مناسب ، اطلاع از روشهای تحلیل ارتعاش و انتخاب تجهیز مناسب میباشد

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی □ خیر □

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟
با توجه به سلامت ژنراتورهای واحدها به پایش انلاین توجهی نشده است

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟ **در این خصوص لازم است دفتر فنی تولید اهمیت موضوع را جهت نیروگاها اعلام نماید**

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)**مشاهده پودر سفید در قسمتهای انتهای سیم پیچ ژنراتور واحد ۲ که به احتمال زیاد ناشی از برابری فرکانسهای طبیعی قسمت انتهای سیم پیچ با فرکانسهای تولیدی در ژنراتور ناشی از نیروهای الکترو مغناطیسی میباشد و تنها راه تشخیص انلاین ، پایش انلاین ارتعاش ژنراتور میباشد**

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟ **بدون پایش اتلاین تخلیه جریی ، ارتعاش و دما ، امکان پیش بینی عیوب عمده وجود ندارد**

این نیروگاه دارای چهار واحد مشابه میباشد

مشخصات ژنراتور ۱ : تاریخ نصب .. **۱۳۷۲ الی ۱۳۷۴** ..... ساعت کارکرد معادل.... 220000.ساعت..... ظرفیت
ژنراتور.....250 MW. ولتاژ نامی ژنراتور .....19 KV..
نوع سیستم تحریک .....BRUSHLESS..... تعداد اورهال .....4... نوع سیستم خنک کنندگی
.....**هیدروژن**.....

مشخصات ژنراتور ۲ : تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....
نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

مشخصات ژنراتور ۳: تاریخ نصب ..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور..... ولتاژ نامی ژنراتور .....
نوع سیستم تحریک ..... تعداد اورهال ..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

نام و نام خانوادگی کارشناس: **حسنعلی شالودگی**

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : اصفهان تاریخ : ۲۱-۳-۹۷

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ■ خیر □

توضیحات :

جهت جلوگیری از خروج طولانی مدت واحد ها قبل از وقوع خطا یا اشکال می توان از سیستمهای وضعیت انلاین ژنراتور متوجه شد

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ■ سیستم اندازه گیری دما ■ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

اندازه گیری دما : از RTD های داخل استاتور (سیم پیچ) اندازه گیری می شود.
اندازه گیری ارتعاشات : سنسور های ادی کارنت – سنسور های تماسی.

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ■ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

توضیحات :

یکی از واحد ها سنسور های تماسی با ادی کارنت تعویض شده است.

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ■ خیر □

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟ از ابتدای راه اندازی واحد ها در سرویس بوده اند.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده ازآنها در نیروگاه چیست؟

در حال استفاده می باشند.

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

بودجه اختصاص داده شود.

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟
با توجه به هزینه ای که (در صورت وجود اشکال در سیستم)عدم نصب دارد به عنوان مثال اگر در ژنراتوری عایقهای ژنراتور دچار ضعف عایقی باشد و بعد از اورهال متوجه شوند هم زمان خروج زیاد می باشد و هم هزینه ، لذا براورد هزینه اگر انجام شود هزینه نصب این تجهیزات در برابر هزینه خروج واحد مقرون به صرفه تر می باشد.

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

-PD در شینه های ژنراتور به دلیل عمر بالا
و کرونا

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟
در حال حاظر عیب عمده ندارد ولی با توجه به اینکه تجهیزات انلاین تشخیص PD نصب نیست در صورتیکه عیبی در حال رخ دادن باشد تا زمان وقوع عیب از ان بی اطلاع می باشیم در صورتیکه اگر نصب شده باشد از زمان شروع عیب تا هنگام وقوع می توان بعضی تعمیرات را انجام داد.

مشخصات ژنراتور ۱ : تاریخ نصب .....۱۳۴۸..... ساعت کارکرد معادل.....120000..... ظرفیت ژنراتور..... MW۳۷,۵..... ولتاژ نامی ژنراتور .....13800.....
نوع سیستم تحریک .....static..... تعداد اورهال .....10..... نوع سیستم خنک کنندگی.....هیدروژن.....

مشخصات ژنراتور ۲ : تاریخ نصب .....۱۳۵۳..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور.....MW۳۷,۵..... ولتاژ نامی ژنراتور .....13800....
نوع سیستم تحریک .....static..... تعداد اورهال .....6..... نوع سیستم خنک کنندگی .....هیدروژن.....

مشخصات ژنراتور ۳ : تاریخ نصب .....۱۳۵۹..... ساعت کارکرد معادل..... ظرفیت ژنراتور.....MW۳۲۰..... ولتاژ نامی ژنراتور .....20000.....
نوع سیستم تحریک .....static..... تعداد اورهال .....9..... نوع سیستم خنک کنندگی .....

نام و نام خانوادگی کارشناس:
امیرحسین زارع چاوشی

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : نیروگاه بیستون تاریخ : ۹۷/۳/۲۲

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ☒ خیر ☐

توضیحات : جهت مونیتورینگ وضعیت سیمهای الکتریکی و مکانیکی نظیر سیم پیچی روتور و استاتور و یاتاقانها و ... استفاده از این سیستمها مناسب است

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☒ سیستم اندازه گیری دما ☒ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

جهت مونیتورینگ دمای استاتور RTD در ۵۴ عدد (PT100) در داخل سیم پیچهای استاتور نصب است. همچنین بر روی یاتاقانهای کوپلینگ ژنراتور نیز سنسورهای اندازه گیری ارتعاش نصب است (این سیستمها از ابتدای نصب واحدها، وجود داشته اند)

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندازی سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟ خیر

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

توضیحات :

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین برروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ☐ خیر ☐

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟ تاکنون چون سیستمی بر روی ژنراتور واحدها نصب نشده است ولی از سیستمهای قدیمی بخصوص سیستم اندازه گیری ارتعاش بخوبی استفاده می شود و در صورت عدم وجود، امکان بهره برداری از واحدها وجود ندارد.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟ —

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟ تجهیزات پایش وضعیت آنلاین هزینه نسبتاً بالایی دارد و در حال حاضر که نیروگاهها با مشکل تقدینگی مواجه هستند بایستی بودجه های لازم از طریق وزارتخانه به این امر اختصاص داده شود

FROM : FAX NO. : Dec. 05 2012 03:05AM P2

گروه ماشینهای الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : اسلام آباد اصفهان تاریخ : ۱۳۹۷/۳/۱۲

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ■ خیر □

توضیحات :

وجود چنین سیستمهایی مخصوصا برای ژنراتورهای با عمر بالا بسیار ضروری به نظر میرسد.

۲-در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ■ سیستم اندازه گیری دما ■ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

ارتعاشات : سنسورهای ادی کارنت(غیر تماسی) و اندازه گیری بروش نسبی و سنسورهای تماسی با اندازه گیری مطلق

دما: سنسورهای RTDبر روی سیم پیچها و مسیر هیدروژن

۳-آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی □ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ■ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

توضیحات :

فقط درخصوص بروزرسانی برای تبدیل سنسورهای تماسی به نوع ادی کارنت پیش بینی هایی انجام شده است.یک واحد نبدیل به ادیکارنت شده است.

۴-در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ■ خیر □

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

سیستمهای مذکوراز ابتدا بر روی ژنراتور نصب بوده و بصورت آنلاین بهره برداری میشوند.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده ازآنها در نیروگاه چیست؟

سیستم جدیدی نصب نشده است

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

در قالب یک پروژه برای دو یا سه نیروگاه بصورت پایلوت طراحی واجرا و در صورت حصول اطمینان کامل به سایر نیروگاهها تعمیم داده شود.

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

۱- مشکلات نقدینگی نیروگاهها

۲- عدم اطمینان از کارکرد صحیح و ترس از توقف واحد

۸-آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

پس از برآورد یک نیروگاه پیشنهاد برای نصب به دفتر فنی شرکت برق حرارتی ارسال و دستور نصب و اجرا با تضمین شرکت مذکور اخذ گردد.

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

بالا بودن ارتعاشات مجموعه توربین و ژنراتور

وجود کرونا و پارشیال دیسشارژ بدلیل عمر بالا

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

مشخصات ژنراتور ۱و۲ : تاریخ نصب ۱۳۴۸/۸/۴ ساعت کارکرد معادل ۳۳۶۰۰۰ ظرفیت ژنراتور ۳۷/۵ مگاوات ولتاژ نامی ژنراتور ۱۳۸۰۰ولت

نوع سیستم تحریک استاتیک تعداد اورهال ۱۰ نوع سیستم خنک کنندگی هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۳ : تاریخ نصب ۱۳۵۳/۱۱/۶ ساعت کارکرد معادل ۲۹۷۰۰۰ ظرفیت ژنراتور ۱۲۰ مگاوات ولتاژ نامی ژنراتور ۱۳۸۰۰ولت

نوع سیستم تحریک استاتیک تعداد اورهال ۶ نوع سیستم خنک کنندگی هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۴ : تاریخ نصب ۱۳۵۹/۱۲/۲۰ ساعت کارکرد معادل ۲۴۱۰۰۰ ظرفیت ژنراتور ۳۲۰ مگاوات ولتاژ نامی ژنراتور ۲۰۰۰۰ولت

نوع سیستم تحریک استاتیک تعداد اورهال و نیمه اساسی ۹ نوع سیستم خنک کنندگی هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۵ : تاریخ نصب ۱۳۶۷/۱/۱ ساعت کارکرد معادل ۲۱۸۰۰۰ ظرفیت ژنراتور ۳۲۰ مگاوات ولتاژ نامی ژنراتور ۲۰۰۰۰ولت

نوع سیستم تحریک استاتیک تعداد اورهال و نیمه اساسی ۵ نوع سیستم خنک کنندگی هیدروژن

نام و نام خانوادگی کارشناس: احمد کرمانی

پژوهشگاه نیرو گروه ماشینهای الکتریکی دوار	**پرسشنامه شماره۱** **پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی**	**نام نیروگاه :** نیروگاه شهید سلیمی نکا **تاریخ:** ۹۷/۰۴/۰۴

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد؟ بلی■ خیر□

توضیحات:

ژنراتورها تجهیزات بسیار حجیم گرانقیمت و در عین حال بسیار حساس و شکننده اند، در ژنراتور خطاهای مختلفی ممکن است رخ بدهد که در زمان کوتاه خسارت سنگینی را به ژنراتور وارد کرده و علاوه بر هزینه های بالای تعمیرات اساسی و حتی جایگزینی، عدم تولید توان در زمان تعمیرات خسارت هنگفتی را باعث می شود. از اینرو بهتر است که شرایط سلامت ژنراتور را در حال کار را با انجام آزمایشات آنلاین بررسی نمود و قبل از وخامت اوضاء با اقدامات پیشگیرانه و کم هزینه و انجام سرویس های مناسب از بروز خرابی های سنگین جلوگیری کرد.

۲- در حال حاضر کدام یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ■ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ■ سیستم اندازه گیری دما ■ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

سیستم اندازه گیری آنلاین پیوسته وی ٤ دستگاه ژنراتورهای واحدهای بخاری نصب می باشد و اندازه گیری تخلیه جزیی ژنراتورهای واحدهای گازی و بخار نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از دستگاه پرتابل PDA-6D قابل انجام است که این دستگاه ها ساخت شرکت KES کانادا هستند.

۳- آیا تاکنون مطالعاتی در خصوصی نصب و راه اندازی سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ■ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور □ سیستم اندازه گیری دما □ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی □

مشخصات فنی و سایر توضیحات : .....

توضیحات: مطالعات مربوطه توسط نیروگاه به عنوان کارفرما و پژوهشگاه نیرو به عنوان مشاور طرح انجام شد و براساس آن به وسیله شرکت پارس آداک سیستم های اندازه گیری آنلاین تخلیه جزئی بر روی کلیه ژنراتورها و همچنین روی ۳٦ دستگاه الکتروموتور فشارقوی 6KV واحدهای بخاری 440MW نصب گردید.

۴- در صورت نصب هر یک از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین بر روی ژنراتورهای واحد، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود؟ بلی ■ خیر□

آیا تاکنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟

اندازه گیری تخلیه جزئی به صورت دوره ای انجام میشود و این سیستم تاکنون در موارد زیادی اتفاقات بوجود آمده در ماشین ها را پیش بینی نموده است. ازقبیل تغیر رنگ فلکسیبل ژنراتورها و وجود کرونا درآنها، شکستگی گوه ها و لقی سیم پیچ الکتروموتورها، شل شدن گوه ها و آثار تخلیه جزئی بر روی سیم پیچی ژنراتور واحد یک گازی در نواحی اورهنگ.

۵- در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلاین عدم استفاده از آنها در نیروگاه چیست؟

در حال حاضر به صورت روتین مورد استفاده قرار می گیرد. لیکن عدم وجود زمان کافی جهت انجام تست و بررسی نتایج و سوابق، اصلی ترین عامل باز دارنده در این کار می باشد. که با تشکیل گروه CM در نیروگاه و ایجاد چارت سازمانی کارشناس CM و جذب کارشناس مربوطه قابل انجام است. همچنین تعدد و سنگینی تجهیزات لازم برای انجام تست، انتقال آنها را به محل با مشکل روبرو مینماید.

۶- پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه چیست؟

در حال حاظر اندازه گیری و تحلیل داده ها در نیروگاه انجام میشود ولی به طور کلی برگزاری دوره های آموزشی و ارتباط پیوسته با شرکت سازنده جهت بروز رسانی سیستم و رفع اشکالات آن نیز ضروری به نظر میرسد.

۷- به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها چیست؟

با توجه به اینکه پیشگیری از بروز خطا در ژنراتورها در اولویت می باشد و نیز لزوم آماده به کاری و متعاقب آن ضررهای ناشی از خارج از سرویس بودن ژنراتورها، با استفاده از این دستگاه ها و انجام تست های پیشگیرانه، بعد از بوجود آمدن علائمی از عیب که منجر به توقف تجهیز نشده برنامه ریزی خاصی صورت می گیرد تا در زمان مناسب تجهیز رفع عیب شده و به حالت اولیه خود باز گردد. همچنین تست های پیشگیرانه، کمک شایانی در مشاهده علائم، بدون توقف در کار می نماید و علاوه بر مانیتورینگ عیب، تغییرات نیز مورد رصد قرار می گیرند. لازم به یادآوریست که در حال حاضر در کشورهای پیشرفته صرفه جویی های زیادی با استفاده از این تجهیزات صورت می گیرد لذا در این راستا عدم آشنایی کافی سازمانها، عدم اطلاع رسانی مناسب و برگزاری سمینارهای تخصصی و نیز کمبود منابع مالی در سازمانها میتواند دلایل عمده بکار نگرفتن سیستم های فوق می باشد.

۸- آیا برای رفع چالشهای عدم نصب و بکارگیری از سیستم های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاهها پیشنهادی دارید؟

با توجه به اینکه نتیجه بخش بودن بکارگیری این سیستم ها در گرو انجام اندازه گیری های مدون و پیوسته جهت تهیه سوابق هر دستگاه می باشد و همچنین زمانبر بودن انجام تست ها، بهتر است با جذب کارشناس **CM** چالشهای مذکور برطرف گردد.

۹- مهمترین عیوبی تاکنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاه تجربه کرده اید چیست؟ (بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

۱- تغییر رنگ فلکسیبل ژنراتورها در اثر اتصال نامناسب و شل بودن پیچ ها.

۲- شل شدن گوه ها و مشاهده تخلیه جزئی بر روی نواحی اورهنگ سیم پیچ ژنراتور واحد یک گازی.

۳- وجود کرونا در سیم پیچ ژنراتورها.

۱۰- در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

بلی، معایب فوق پیش بینی و رفع گردیدند.

مشخصات ژنراتور واحد ۱ بخار :

تاریخ نصب : 1358 | **ساعت کارکرد معادل : 256465** | **ظرفیت ژنراتور : 517MVA** | **ولتاژ نامی ژنراتور : 21KV**

نوع سیستم تحریک : استاتیک | **تعداد اورهال : 9 بار** | **نوع سیستم خنک کنندگی : water-cooled /Hydrogen cooled**

مشخصات ژنراتور واحد ۲ بخار :

تاریخ نصب : 1358 | **ساعت کارکرد معادل: 255012** | **ظرفیت ژنراتور: 517MVA** | **ولتاژ نامی ژنراتور : 21KV**

نوع سیستم تحریک : استاتیک | **تعداد اورهال : 9 بار** | **نوع سیستم خنک کنندگی : water-cooled /Hydrogen cooled**

مشخصات ژنراتور واحد ۳ بخار :

تاریخ نصب : 1358 | **ساعت کارکرد معادل: 248672** | **ظرفیت ژنراتور: 517MVA** | **ولتاژ نامی ژنراتور : 21KV**

نوع سیستم تحریک : استاتیک | **تعداد اورهال : 8 بار** | **نوع سیستم خنک کنندگی : water-cooled /Hydrogen cooled**

مشخصات ژنراتور واحد ۴ بخار :

تاریخ نصب : 1358 | **ساعت کارکرد معادل: 260308** | **ظرفیت ژنراتور: 517MVA** | **ولتاژ نامی ژنراتور: 21KV**

نوع سیستم تحریک : استاتیک | **تعداد اورهال : 8 بار** | **نوع سیستم خنک کنندگی : water-cooled /Hydrogen cooled**

مشخصات ژنراتور واحد ۱ گازی :

تاریخ نصب : 1369 | **ساعت کارکرد معادل : 176794** | **ظرفیت ژنراتور: 160MVA** | **ولتاژ نامی ژنراتور:10.5KV**

نوع سیستم تحریک : استاتیک | **تعداد اورهال: 6 بار** | **نوع سیستم خنک کنندگی : Air-cooled**

مشخصات ژنراتور واحد ۲ گازی :

تاریخ نصب : 1369 | **ساعت کارکرد معادل: 163260** | **ظرفیت ژنراتور: 160MVA** | **ولتاژ نامی ژنراتور:10.5KV**

نوع سیستم تحریک : استاتیک | **تعداد اورهال: 6 بار** | **نوع سیستم خنک کنندگی: Air-cooled**

مشخصات ژنراتور واحد بخار نیروگاه سیکل ترکیبی :

تاریخ نصب : 85 | **ساعت کارکرد معادل : 75126** | **ظرفیت ژنراتور : 202mva** | **ولتاژ نامی ژنراتور : 15.75KV**

نوع سیستم تحریک : استاتیک | **تعداد اورهال : 1 بار** | **نوع سیستم خنک کنندگی : Air-cooled**

نام و نام خانوادگی کارشناس : حسن رجبی

گروه ماشین‌های الکتریکی دوار	پرسشنامه شماره ۱ پایش وضعیت آنلاین ژنراتورهای نیروگاهی	نام نیروگاه : نیروگاه رامین اهواز تاریخ : ۹۷/۰۴/۲۰

۱- به نظر شما آیا نصب و استفاده از سیستمهای پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه ضرورت دارد ؟ بلی ☑ خیر ☐

توضیحات :

نصب سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور باعث می‌شود؛ خطاها در ابتدای رشد شناسایی و کنترل شوند و از بروز حوادث و صدمات سنگین جلوگیری شود.

۲- در حال حاضر کدام یک از سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور بر روی واحدهای نیروگاه نصب هستند؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☑ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

مشخصات فنی و سایر توضیحات :

در حال حاضر دمای سیم‌پیچ، هسته، دمای گاز گرم و سرد توسط R.T.D اندازه گیری و به صورت آنلاین فقط نشان داده می‌شود.

۳- آیا تاکنون مطالعاتی در خصوص نصب و راه اندای سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور (موارد زیر) در نیروگاه انجام شده است؟

سیستم آنلاین تخلیه جزیی ☐ سیستم اندازه گیری ارتعاشات ژنراتور ☐ سیستم اندازه گیری دما ☐ سیستم اندازه گیری فاصله هوایی ☐

توضیحات :

بله – در خصوص تخلیه جزئی و ارتعاشات ژنراتور مطالعاتی شده و به صورت Off-line انجام شده است.

۴-در صورت نصب هر یک از سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین بروی ژنراتورهای واحد ، آیا در حال حاضر از آنها استفاده می شود ؟ بلی ☐ خیر ☐

آیا تا کنون تجربه موفقی در پیش بینی عیب ژنراتور و جلوگیری از بروز خطا داشته اید؟ نصب نشده است و تجربه ای وجود ندارد.

۵-در صورت نصب تجهیزات پایش آنلاین بر روی ژنراتور واحد، مهمترین دلایل عدم استفاده ازآنها در نیروگاه چیست؟

به دلیل موانع مالی تاکنون نصب نشده و سنسورهای اندازه گیری دما در حال بهره برداری می‌باشند.

۶-پیشنهاد شما جهت عملیاتی کردن تجهیزات پایش وضعیت آنلاین ژنراتوردر نیروگاه چیست؟

جهت نصب رفع موانع مالی و جهت بهره برداری بهینه از تجهیزات منصوب، آموزش مناسب جهت تحلیل داده‌های بدست آمده از سیستم داده؛ تا کارایی این سیستم‌ها افزوده شود.

۷-به نظر شما مهمترین دلایل عدم نصب و بکارگیری از سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه‌ها چیست؟

۱- فقدان آگاهی از مزایای استفاده از پایش وضعیت آنلاین

۲- عدم وجود آگاهی کامل در انتخاب مدل مناسب

۳- عدم آگاهی از تحلیل اطلاعات حاصله از این سیستم

۴- فقدان بودجه کافی جهت خرید تجهیزات مربوطه

۸-آیا برای رفع چالش‌های عدم نصب و به‌کارگیری از سیستم‌های پایش وضعیت آنلاین ژنراتور در نیروگاه‌ها پیشنهادی دارید؟

دستورالعمل مدون جهت ژنراتورهای نیروگاه‌ها تدوین و روشی جهت انتخاب بهترین تیپ از این تجهیزات با توجه به نوع ژنراتور و اقلیم قراگیری نیروگاه انتخاب شود. مضافا با توجه به اهمیت موضوع بودجه خاص جهت اجرا پیش‌بینی و اختصاص داده شود.

۹-مهمترین عیوبی تا کنون بر روی ژنراتور واحدهای نیروگاهی تجربه کرده‌اید چیست؟(بهمراه ذکر دلایل بروز عیب)

عملکرد حفاظت استاتور ارت فالت به دلیل شکستن ایربافرها در اثر وجود لرزش شدید در ناحیه Overhang و آسیب دیدن شینه‌های ژنراتور

عملکرد حفاظت استاتور ارت فالت به دلیل ورود لمینت‌های هسته به شینه‌های ژنراتور در اثر وجود لرزش شدید در ناحیه انتهایی و فرسوده بودن پاکت های انتهایی هسته

عملکرد حفاظت استاتور ارت فالت به دلیل اتصال کوتاه در شینه‌ها در اثر وجود آلودگی و بروز تخلیه جزئی در قسمت Overhang

۱۰-در صورت وقوع عیوب عمده در ژنراتور، آیا امکان پیش بینی عیب و کاهش هزینه های ناشی از آن وجود داشت؟

با توجه به عدم پایش وضعیت آنلاین، خیر

مشخصات ژنراتور ۱ :

تاریخ نصب مرداد ۵۸ ساعت کارکرد معادل: بیش از ۲۰۰۰۰۰ ساعت ظرفیت ژنراتور: ۳۷۱ مگاولت‌آمپر ولتاژ نامی ژنراتور : ۲۰ کیلوولت

نوع سیستم تحریک: استاتیک تعداد اورهال: پنج اورهال نوع سیستم خنک کنندگی : روتور هیدروژن، استاتور آبگذر و هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۲ :

تاریخ نصب شهریور ۶۲ ساعت کارکرد معادل: بیش از ۱۸۰۰۰۰ ساعت ظرفیت ژنراتور: ۳۷۱ مگاولت‌آمپر ولتاژ نامی ژنراتور : ۲۰ کیلوولت

نوع سیستم تحریک: استاتیک تعداد اورهال: پنج اورهال نوع سیستم خنک کنندگی : روتور هیدروژن، استاتور آبگذر و هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۳ :

تاریخ نصب تیر ۷۲ ساعت کارکرد معادل: بیش از ۱۶۰۰۰۰ ساعت ظرفیت ژنراتور: ۳۷۱ مگاولت‌آمپر ولتاژ نامی ژنراتور : ۲۰ کیلوولت

نوع سیستم تحریک: استاتیک تعداد اورهال: پنج اورهال، یک نیمه اساسی نوع سیستم خنک کنندگی : روتور هیدروژن، استاتور آبگذر و هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۴ :

تاریخ نصب آبان ۷۴ ساعت کارکرد معادل: بیش از ۱۴۸۰۰۰ ساعت ظرفیت ژنراتور: ۳۷۱ مگاولت‌آمپر ولتاژ نامی ژنراتور : ۲۰ کیلوولت

نوع سیستم تحریک: استاتیک تعداد اورهال: سه اورهال، یک نیمه اساسی نوع سیستم خنک کنندگی : روتور هیدروژن، استاتور آبگذر و هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۵ :

تاریخ نصب آذر ۷۷ ساعت کارکرد معادل: بیش از ۱۳۵۰۰۰ ساعت ظرفیت ژنراتور: ۳۷۱ مگاولت‌آمپر ولتاژ نامی ژنراتور : ۲۰ کیلوولت

نوع سیستم تحریک: تریستوری تعداد اورهال : دو اورهال نوع سیستم خنک کنندگی : روتور هیدروژن، استاتور آبگذر و هیدروژن

مشخصات ژنراتور ۶ :

تاریخ نصب شهریور ۷۸ ساعت کارکرد معادل: بیش از ۱۳۲۰۰۰ ساعت ظرفیت ژنراتور: ۳۷۱ مگاولت‌آمپر ولتاژ نامی ژنراتور : ۲۰ کیلوولت

نوع سیستم تحریک: تریستوری تعداد اورهال : دو اورهال نوع سیستم خنک کنندگی : روتور هیدروژن، استاتور آبگذر و هیدروژن

نام و نام خانوادگی کارشناس:

میثم درخشان

مراجع

[1] A. Kaufmann, and F. Todtling, “Science-industry interaction in the process of innovation: the importance of boundary-crossing between systems”, Research poolicy 30, no. 5, pp. 791-804, 2001.

[2] J. Musiolik, and J. Markard, “Creating and shaping innovation systems: Formal networks in the innovation system for stationary fuel cells in Germany”, Energy Policy, vol. 39, no. 4, pp. 1909-1922, 2011.

[3] J. Markard, M. Stadelmann, B. Truffer, “Prospective analysis of technological innovation systems: Identifying technological and organizational development options for biogas in Switzerland”, Research Policy, vol. 38, no. 4, pp. 655-667, 2009.

[4] B. Asheim, L. Coenen, “Knowledge bases and regional innovation systems: Comparing Nordic clusters”, Research Policy, vol. 34, no. 8, pp. 1173-1190, 2005.

[5] D. Dominguez, H. Worch, J. Markard, B. Truffer, and W. Gujer, “Closing the capability gap: strategic planning for the infrastructure sector”, California management review, vol. 51, no. 2, pp. 30-50, 2009.

[6] M. Holmen, S. Jacobsson, “A method for identifying actors in a knowledge based cluster”, Economics of innovation and new technology, vol. 9, no. 4, pp. 331-352, 2000.

[7] B. Carlsson, S. Jacobsson, M. Holmen, and A. Rickne, “Innovation systems: analytical and methodological issues”, Research Policy, vol. 31, no. 2, pp. 233-245, 2002.

[8] J. Edler, S. Ruhland, S. Hafner, J. Rigby, L. Georghiou, L. Hommen, M. Rolfstam, C. Edquist, L. Tsipouri, and M. Papadakou, “Innovation and public procurement. Review of issues at stake”, ISI Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research, 2005.

[9] L. Coenen, and F. Diaz Lopez, “Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: an explorative study into conceptual commonalities, differences and complementarities”, Journal of cleaner production, vol. 18, no. 12, pp. 1149-1160, 2010.

[10] E. Elirnberg, N. Sjoberg, “Technological discontinuities, competition and firm performance”, Technology Analysis & Strategic Management, vol. 7, no. 1, pp. 93-108, 1995.

[11] S. Jacobsson, “Government policy and performance of the Indian engineering industry”, Research Policy, vol. 20, no. 1, pp. 45-56, 1991.

[12] B. Carlsson, and R. Stankiewicz, “On the nature, function and composition of technological systems”, Journal of evolutionary economics, vol. 1, no. 2, pp. 93-118, 1991.

[۱۳] سند نهایی چشم‌انداز ۲۰ ساله جمهوری اسلامی ایران، شورای تشخیص مصلحت نظام، ۱۳۸۲.

[۱۴] قانون برنامه پنج‌ساله ششم توسعه جمهوری اسلامی ایران ۱۳۹۶-۱۴۰۰، مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۵.

[15] https://shenasname.ir

[۱۶] سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در مورد "انرژی"، ۱۳۷۹.

[۱۷] سیاست‌های کلی اصلاح الگوی مصرف، دفتر مقام معظم رهبری، ۱۳۸۹.

[۱۸] قانون ۷۵ ماده‌ای اصلاح الگوی مصرف، مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۹.

[۱۹] برنامه راهبردی وزارت نیرو تا افق ۱۴۰۴، وزارت نیرو، ۱۳۹۲.

[۲۰] سیاست‌های اقتصاد مقاومتی، دفتر مقام معظم رهبری، ۱۳۹۲.

[۲۱] قانون هدفمند نمودن یارانه‌ها، مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۹.

[۲۲] سند نقشه راه بهره‌وری انرژی الکتریکی، وزارت نیرو، ۱۳۹۳.

[23] http://www.bsmt.ir/print.php?page_id=157

[۲۴] بیانیه طرح توسعه صنعت قطعه سازی کشور، ۱۳۹۳.

[۲۵] اساسنامه شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، ۱۳۹۳.

[26] http://www.atf.gov.ir

[27] www.spac.ir

[28] www.tco.ir

[۲۹] قانون اهداف، وظایف و تشکیلات وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۳.

[30] www.tpph.ir

[۳۱] مجموعه هدف، وظایف و پست‌های سازمانی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مورد تأیید سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مرداد ۱۳۸۵.

[32] http://itdf.ir/fa

[33] http://www.hitechpark.com/index.php?m=news&cat=7&pageNum_Recordset1=786&totalRows_Recordset1=801

[34] M. P. J. I. I. E. M. Kazmierkowski, "The Electric Generators Handbook Volume I: Synchronous Generators and Volume IIii: variable speed generators (Boldea, I.; 2006)-[Book Review]," vol. 1, no. 2, pp. 41-41, 2007.

[35] Q. Zhu, "High-effieciency power generation - review of alternative systems," IEA2015.

[36] G. Klempner and I. Kerszenbaum, Operation and maintenance of large turbo-generators. John Wiley & Sons, 2004.

[37] H. Sako, K. Koga, H. Maeda, M. Onoda, K. Tanaka, and Y. J. C. Nakamura, A1-116, "Development of larger output indirectly hydrogen-cooled turbine generator with high heat transfer main insulation," 2016.

[38] R. Joho, C. Picech, and K. J. P. C. Mayor, "Large Air cooled Tur bogenerators—Extending The Boundaries/Rep. A1 106 CIGRE 2006," 2006.

[39] S. Nagano et al., "Development of world's largest hydrogen-cooled turbine generator," in IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2002, vol. 2, pp. 657-663: IEEE.

[40] https://www.powerengineeringint.com/coal-fired/the-unsung-hero-of-plant-efficiency/.

[41] R. Joho, B. Zimmerli, and C. Picech, "Sound experience with the 300 MVA air-cooled generator fleet," in IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03., 2003, vol. 2, pp. 900-903: IEEE.

[42] "German Patent Application Disclosure," Patent 102004026633.

[43] "US Patent Application Disclosure," Patent 20050172651.

[44] A. J. C. Bock, "Trends in insulation systems for generator HV-windings," 2002.

[45] E. Gurevich and N. Pinchuk, "Experimental study of the latest design of the powerful air-cooled turbogenerator stator," in 42nd International Conference on Large High Voltage Electric Systems 2008, CIGRE 2008, 2008.

[46] "Russian patent Application Disclosure," Patent 2095919.

[47] W. H. McAdams, Heat transmission. McGraw-hill, 1942.

[48] H. NAKAMURA and H. ITO, "Development and Production of the World's Largest Capacity 2p-60Hz-670MVA and 4p-60Hz-370MVA Hydrogen-Cooled Turbo-generators for a 60Hz-900MW Cross-Compound Thermal Power Plant H. KATAYAMA, M. KAKIUCHI, D. MURATA, S. NAKAYAMA," 2010.

[49] M. J. C. S. Tari, Paris, "Impacts on turbine generator design by the application of increased thermal conducting stator insulation," pp. 11-105, 2002.

[50] K. Weigelt, "Design Features of Large Turbogenerators," ABB1989.

[51] R. D. J.M. Guillard, J.C. Marino, "1710 MVA Generators for the French N4 Nuclear Stage," CIGRE Session, 1988.

[52] R. J. C. Joho, "Hydrogen/water-cooled turbogenerator: a mature technology on the move," 2008.

[53] J. Oliver, J. Michalec, B. Zimmerli, R. Joho, N. Krick, and A. J. I. T. o. E. C. Huber, "Generator winding design-Amos 3 with 25 years experience," vol. 16, no. 1, pp. 87-91, 2001.

[54] L. Busse and K.-H. J. A. R. Soyk, "World's highest capacity steam turbosets for the lignite-fired Lippendorf power station," pp. 13-22, 1997.

[55] M. Liese, M. J. I. t. o. D. Brown, and E. Insulation, "Design-dependent slot discharge and vibration sparking on high voltage windings," vol. 15, no. 4, pp. 927-932, 2008.

[56] G. C. Stone, E. A. Boulter, I. Culbert, and H. Dhirani, Electrical insulation for rotating machines: design, evaluation, aging, testing, and repair. John Wiley & Sons, 2004.

[57] https://avvalsanat.com/fa.

[58] M. J. H. V. Ghassemi, "High power density technologies for large generators and motors for marine applications with focus on electrical insulation challenges," vol. 5, no. 1, pp. 7-14, 2019.

[59] https://teslapishro.ir/.

[60] R. Vogelsang, "Time to breakdown of high voltage winding insulations with respect to microscopic properties and manufaturing qualities," ETH Zurich, 2004.

[61] R. Vogelsang, B. Fruth, and K. Frohlich, "Detection of electrical tree propagation in generator bar insulations by partial discharge measurements," in Proceedings of the 7th

International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials (Cat. No. 03CH37417), 2003, vol. 1, pp. 281-285: IEEE.

[62] T. Hildinger, V. Hydro, B. P. Gröppel, M. Weil, and J. R. J. C. W. G. A. Weidner, "Improved generator performance with a nanocomposite high voltage insulation system for stator windings–A status report," vol. 1, p. 109, 2016.

[63] T. Tanaka, G. Montanari, R. J. I. t. o. D. Mulhaupt, and E. Insulation, "Polymer nanocomposites as dielectrics and electrical insulation-perspectives for processing technologies, material characterization and future applications," vol. 11, no. 5, pp. 763-784, 2004.

[64] T. Tanaka, "Similarity between treeing lifetime and PD resistance in aging mechanisms for epoxy nanocomposites," in 2009 IEEE 9th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials, 2009, pp. 741-744: IEEE.

[65] P. Preetha, M. J. J. I. T. o. D. Thomas, and E. Insulation, "Life estimation of electrothermally stressed epoxy nanocomposites," vol. 21, no. 3, pp. 1154-1160, 2014.

[66] R. electrical machines–Part, "18: Functional evaluation of insulation systems–Section 32: Test procedures for form-wound windings–Electrical evaluation of insulation systems used in machines up to and including 50 MVA and 15 kV," IEC 60034-18-32.

[67] Eibyabi machine - 1381.

[68] "Erteeashaate Machinhaye Sanati - 1390."

[69] "Mehdi Eslamian Koopaei."

[70] "Tahlil Va Tafsir Machineha - 1389."

[71] D. Gayen, R. Tiwari, and D. J. I. J. o. M. S. Chakraborty, "Finite element based stability analysis of a rotor-bearing system having a functionally graded shaft with transverse breathing cracks," vol. 157, pp. 403-414, 2019.

[72] "Karborde Erteashat - 1386."

[73] "Tarahi Jame Machine - Lesani."

[74] K. Masoudi, M. R. Feyzi, and A. Masoudi, "Reduction of vibration and acoustic noise in the switched reluctance motor by using new improved stator yoke shape," in 2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2013, pp. 1-4: IEEE.

[75] D. Tekgun, "Acoustic Noise and Vibration Reduction on Switched Reluctance Machines through Hole Placement in Stator/Rotor Laminations," University of Akron, 2017.

[76] A. J. C. W. A. T. B. D. R. Villarrubia, "Turbogenerators Stator Windings Support System Experience," 2017.

[77] H. J. C. Kometani, "Application of Electromagnetic Numerical Analyses for Large Indirectly Hydrogen Cooled Turbine Generators," 2008.

[78] K. J. I. T. o. M. Yamazaki, "Torque and efficiency calculation of an interior permanent magnet motor considering harmonic iron losses of both the stator and rotor," vol. 39, no. 3, pp. 1460-1463, 2003.

[79] H. Kaimori, A. Kameari, and K. J. I. T. o. M. Fujiwara, "FEM computation of magnetic field and iron loss in laminated iron core using homogenization method," vol. 43, no. 4, pp. 1405-1408, 2007.

[80] J. Študir, A. Elez, M. Petrinić, and M. J. S. o. P. C. S. Petrinić, from 21 till 26 August , Paris, "LOSS REDUCTION METHODS OF SALIENT POLE SYNCHRONOUS GENERATOR DAMPER WINDING BY MEANS OF SLOT SKEW," pp. A1-112, 8 str, 2016.

[81] T. Omura and Y. Hayakawa, "Method for manufacturing grain oriented electrical steel sheet," ed: Google Patents, 2017.

[82] https://www.fujielectric.com/.

[83] https://www.ansaldoenergia.com/.

[84] https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/power-generation/generators.html.

[85] https://www.mitsubishielectric.com/eig/energysystems/products/pg/generator.

[86] https://www.ge.com/power/gas/generators.

[87] P. M. Company, "Thermal Power Plant Equipment and Services," P. M. Company, Ed., ed, 2018.

[88] https://www.brush.eu/.

[89] https://global.abb/group/en.

[90] http://en.sec-motor.com/.

[91] https://www.rtx.com.

[92] http://www.marellimotori.com/.

[93] https://www.mapnagenerator.com.

[94] http://turbogen.co.ir/.

[95] https://www.roshdsanatniroo.com/.

[96] http://www.fangenerator.com.

[97] http://ipr-co.com/.

[98] https://fpa-arad.com/fa.

[99] https://www.mahniroo.com/.

[100] P. Waide and C. U. Brunner, "Energy-efficiency policy opportunities for electric motor-driven systems," 2011.

[101] G. h. n. s. pajooheshgah, "Gozareshe hezarosisado navado se pajooheshgah."

[102] http://machinedesign.com/news/industry-could-take-shine-copper-rotor-motors.

[103] S. J. L. Fassbinder, "Saving energy with high-efficiency motors," 2007.

[104] M. D. A. B. P. Angers, "Motor energy efficiency measurement standards used around the world. Review of Energy Efficiency Measurement Standards for Induction Motors in the Context of the IECEE Global Efficiency Labeling Initiative," EEMODS'13, 2013.

[105] G. A. McCoy and J. G. Douglass, "Premium efficiency motor selection and application guide–a handbook for industry," Washington State University Energy Program2014.

[106] http://www.efficiency-from-germany.info/ENEFF/Navigation/EN/Energyefficiency/Industry/ElectricalDrives/electrical-drives.html.

[107] "Drives in Power Generation," 2010.

[108] http://orientalmotor.com/products/ac-motors/high-torque-brother-ac-gearmotors.html.

[109] http://www.facilitiesnet.com/powercommunication/article/Surveying-Motors-for-Energy-Efficiency-Improvements--9595?source=previous.

[110] H. F. F. H. J. d. Beer, "Accelerated Replacement of Electric Motors," European Copper Institue, Leonardo ENERGY, 2013.

[111]مهدی معلم، "صرفه جویی موثر انرژی در صنعت فولاد با انتخاب بهینه و جایگزینی موتورهای الکتریکی"، دانشگاه صنعتی اصفهان و شرکت پژوهنده نیرو.

[112] http://www.stsm.ir.

[113] H. F. F. H. J. d. Beer, "Report - Accelerated replacement of electric motors," 2013.

[114]قانون رفع موانع تولید رقابت‌پذیر و ارتقای نظام مالی کشور، وزارت امور اقتصاد و دارایی، معاونت نظارت مالی و خزانه‌داری کل کشور، اداره کل مدیریت بدهی‌ها

[115] "Medium voltage drives for more efficient and reliable plant operation," ABB Group2010.

[116] "High efficiency motors for power generation applications," ABB Institution.

[117] www.doe.com.

[118] "How to Implement Higher Efficiency Motors," Carbon Trust.

[119] "ABB drives for Torresol Energy, Spain," ABB Instituiton.

[120] "ABB drives for Valorsul, Portugal," ABB Instituiton.

[121]امین بیرامی ایناللو، سهراب امینی ولاشانی، توسعه فناوری موتورهای الکتریکی پربازده در ایران، کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۹۶.

[122] "Low-Voltage Induction Motors According to the IEC Efficiency Standard and IE Efficiency Classes," Siemens.

[123] N. Drost, Slipp and Chen, "Canada's New Energy Efficiency Regulations Come Into Force," 2017.

[124] "Energy efficiency in electric motor systems: Technology, saving potentials and policy options for developing countries," United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)2011.

[125] "Policies for Promoting Industrial Energy Efficiency in Developing Countries and Transition Economies," UNIDO2007.

[126] P. WaIde and C. Brunne, "Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems," International energy agency2011.

[127] L. Sloss, Efficiency and emissions monitoring and reporting. IEA Clean Centre, 2011.

[128] X. Zhu, Q. Bai, and X. Zhang, "Good Practice and Success Stories on Energy Efficiency in China," China Energy Efficiency Series2017.

[129] http://tariff.moe.gov.ir.

[130]محمدمهدی اسکونژاد، "اقتصاد مهندسی یا ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی"، چاپ هفتم، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۵.

[131] L. Nanyang Explosion Protection Group Co., 2007/8/15.

[132] 주. 엘지엠호이스트남상규, 2017/02/26.

[133] F. G. LTD, 2001/7/27.

[134] H. LTD, 2010/10/14.

[135] N. M. C. LTD, 2010/10/14.

[136] F. E. S. C. LTD, 2010/2/25.

[137] M. E. I. C. LTD, 1998/8/1.

[138]شماره اظهارنامه اختراع: ۱۳۹۲۵۰۱۴۰۰۰۳۰۰۲۹۳۱ شماره ثبت: ۸۰۵۱۵ تاریخ ثبت اظهارنامه : ۱۶/۰۴/۱۳۹۲.

[139]شماره اظهارنامه اختراع: ۳۸۸۱۰۰۱۹۸ شماره ثبت: ۶۳۲۳۱ تاریخ ثبت اظهارنامه : ۰۹/۱۰/۱۳۸۸

[140] http://www.industry.siemens.com/drives/global/en/motor/Pages/Default.aspx.

[141] http://www.reliableplant.com/Read/1043/siemens-offers-line-of-energy-efficient-industrial-motors.

[142] "SD Simotic GP, XP,DP Low Voltage Motors," Siemens 2016.

[143] http://new.abb.com/motors.

[144] "Low voltage process performance motors," ABB, Ed., ed, 2016.

[145] http://www.wegelectricalmotors.com.

[146] http://www.seweurodrive.com.

[147] http://www.tatung.com.

[148] http://www.naemotors.com.

[149] http://www.techtopind.com.

[150] http://www.tecowestinghouse.com.

[151] http://www.leeson.com.

[152] http://www.leeson.com/.

[153] http://www.baldor.com.

[154] "Low voltage asynchronous motors IEC motors with squirrel-cage rotor," VEM, Ed., ed, 2012.

[155] http://www.lafert.com.

[156] http://www.zestweg.com.

[157] http://fa.electrogenco.com.

[158] http://jemcomotor.ir.

[159] http://www.motogen.com.

[160] http://www.asem.ir.

[161] https://www.roshdsanatniroo.com.

[162] http://www.arvin-group.com.

[163] https://www.mapnagenerator.com.

[164] https://epil.ir.

[165] https://www.damandeh.com.

[166] http://turbogen.co.ir.

[167] https://www.mahniroo.com.

[168] http://www.navidmotor.ir.

[169] S.-H. e. a. Park, “"A starting-up control algorithm of large synchronous generation motor for gas turbosets." 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 2008.”.

[170] Petersson, Tore, and Kjell Frank. "Starting of large synchronous motor using static frequency converter." Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on 1 (1972): 172-179.

[171] Steigerwald, Robert L., and THOMAS A. Lipo. "Analysis of a novel forced-commutation starting scheme for a load-commutated synchronous motor drive." Industry Applications, IEEE Transactions on 1 (1979): 14-24.

[172] Plunkett, Allan B., and Fred G. Turnbull. "System design method for a load commutated inverter-synchronous motor drive." Industry Applications, IEEE Transactions on 3 (1984): 589-597.

[173] Sudhoff, S. D., E. L. Zivi, and T. D. Collins. "Start up performance of load-commutated inverter fed synchronous machine drives." Energy Conversion, IEEE Transactions on 10.2 (1995): 268-274.

[174] Singh, B., S. Singh, and SP Hemanth Chender. "Power quality improvement in load commutated inverter-fed synchronous motor drives." IET power electronics 3.3 (2010): 411-428.

[175] Jain, Amit Kumar, and V. T. Ranganathan. "Improved control of load commutated inverter fed salient pole wound field synchronous motor using field oriented technique." Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2012 IEEE. IEEE, 2012.

[176] Colby, R. S., M. D. Otto, and J. T. Boys. "Analysis of LCI synchronous motor drives with finite DC link inductance." IEE Proceedings B (Electric Power Applications). Vol. 140. No. 6. IET Digital Library, 1993.

[177] Ryu, Ho-Seon, et al. "A study of synchronous motor drive using static frequency converter." Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006. 12th International. IEEE, 2006.

[178] Taguchi, A. Hisanori, et al. "APS control method for gas turbine start-up by SFC." Power Electronics Conference (IPEC), 2010 International. IEEE, 2010.

[179] Ogino, Hiroshi, et al. "Static starting device for the start-up of the gas turbine using position sensorless control method." Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), 2011 IEEE 8th International Conference on. IEEE, 2011.

[180] Boldea, Ion, and Syed A. Nasar. Electric drives. CRC press, 2005.

[181] Kwak, Sangshin, and Hamid A. Toliyat. "A current source inverter with advanced external circuit and control method." Industry Applications, IEEE Transactions on 42.6 (2006): 1496-1507.

[182] Bose, Bimal K. "Power electronics and variable frequency drives–technology and application." (1997).

[183] Hart, Daniel W. "Power electronics", McGrawHill, (2010).

[184] Rashid, Muhammad H., ed. Power electronics handbook. Academic Pr, 2001.

[185] Medium voltage AC drive, MEGADRIVE-LCI for control and soft starting of large synchronous motors. Bruchure.

[186] MEGADRIVE-LCI Large adjustable-speed synchronous motor drives. Bruchure.

[187] Wu, Bin, et al. "Current-source converter and cycloconverter topologies for industrial medium-voltage drives." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 55.7 (2008): 2786-2797.

[188] Kouro, Samir, et al. "Recent advances and industrial applications of multilevel converters." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 57.8 (2010): 2553-2580.

[189] Kwak, Sangshin, and Hamid A. Toliyat. "Multilevel converter topology using two types of current-source inverters." Industry Applications, IEEE Transactions on 42.6 (2006): 1558-1564.

[190] Rodríguez, José, et al. "Multilevel voltage-source-converter topologies for industrial medium-voltage drives." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 54.6 (2007): 2930-2945.

[191] Colak, Ilhami, Ersan Kabalci, and Ramazan Bayindir. "Review of multilevel voltage source inverter topologies and control schemes." Energy Conversion and Management 52.2 (2011): 1114-1128.

[192] Ortúzar, Micah E., et al. "Voltage-source active power filter based on multilevel converter and ultracapacitor DC link." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 53.2 (2006): 477-485.

[193] Tolbert, Leon M., and Thomas G. Habetler. "Novel multilevel inverter carrier-based PWM method." Industry Applications, IEEE Transactions on 35.5 (1999): 1098-1107.

[194] Manjrekar, Madhav D., and Thomas A. Lipo. "A hybrid multilevel inverter topology for drive applications." Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1998. APEC'98. Conference Proceedings 1998., Thirteenth Annual. Vol. 2. IEEE, 1998.

[195] Rodriguez, Jose, Jih-Sheng Lai, and Fang Zheng Peng. "Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 49.4 (2002): 724-738.

[196] Marchesoni, Mazzucchelli, M. Mazzucchelli, and S. Tenconi. "A non conventional power converter for plasma stabilization." Power Electronics Specialists Conference, 1988. PESC'88 Record., 19th Annual IEEE. IEEE, 1988.

[197] Tolbert, Leon M., Fang Zheng Peng, and Thomas G. Habetler. "Multilevel converters for large electric drives." Industry Applications, IEEE Transactions on 35.1 (1999): 36-44.

[198] Peng, Fang Zheng. "A generalized multilevel inverter topology with self voltage balancing." Industry Applications, IEEE Transactions on 37.2 (2001): 611-618.

[199] Wu, Bin. High-power converters and AC drives. John Wiley & Sons, 2006.

[200] Gupta, Amit Kumar, and Ashwin M. Khambadkone. "A general space vector PWM algorithm for multilevel inverters, including operation in overmodulation range." Power Electronics, IEEE Transactions on 22.2 (2007): 517-526.

[201] Gupta, Amit Kumar, Ashwin M. Khambadkone, and Kak Meng Tan. "A two-level inverter based SVPWM algorithm for a multilevel inverter." Industrial Electronics Society, 2004. IECON 2004. 30th Annual Conference of IEEE. Vol. 2. IEEE, 2004.

[202] Rodriguez, J. Correa, and L. P Moran. "A vector control technique for medium voltage multilevel inverters." Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2001. APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE, 2001.

[203] Zare, Firuz, and Gerard Ledwich. "A hysteresis current control for single-phase multilevel voltage source inverters: PLD implementation." Power Electronics, IEEE Transactions on 17.5 (2002): 731-738.

[204] Shukla, Anshuman, Arindam Ghosh, and Avinash Joshi. "Hysteresis current control operation of flying capacitor multilevel inverter and its application in shunt compensation of distribution systems." Power Delivery, IEEE Transactions on 22.1 (2007): 396-405.

[205] Kazmierkowski, Marian P., and Luigi Malesani. "Current control techniques for three-phase voltage-source PWM converters: a survey." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 45.5 (1998): 691-703.

[206] Blaschke, Felix. "A new method for the structural decoupling of AC induction machines." Conf. Rec. IFAC. Vol. 1. 1971.

[207] Zinger, Donald S., et al. "A direct field-oriented controller for induction motor drives using tapped stator windings." Power Electronics, IEEE Transactions on 5.4 (1990): 446-453.

[208] Moreira, Julio C., and Thomas A. Lipo. "A new method for rotor time constant tuning in indirect field oriented control." Power Electronics, IEEE Transactions on 8.4 (1993): 626-631.

[209] Kubota, K., and Kouki Matsuse. "Speed sensorless field-oriented control of induction motor with rotor resistance adaptation." Industry Applications, IEEE Transactions on 30.5 (1994): 1219-1224.

[210] Noguchi, Toshihiko, Seiji Kondo, and Isao Takahashi. "Field-oriented control of an induction motor with robust on-line tuning of its parameters." Industry Applications, IEEE Transactions on 33.1 (1997): 35-42.

[211] Lin, Yih-Neng, and Chern-Lin Chen. "Automatic IM parameter measurement under sensorless field-oriented control." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 46.1 (1999): 111-118.

[212] Hopfensperger, B., D. J. Atkinson, and R. A. Lakin. "Stator-flux-oriented control of a doubly-fed induction machine with and without position encoder." Electric Power Applications, IEE Proceedings-. Vol. 147. No. 4. IET, 2000.

[213] Gan, Wai-Chuen, and Li Qiu. "Design and analysis of a plug-in robust compensator: an application to indirect-field-oriented-control induction machine drives." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 50.2 (2003): 272-282.

[214] Bojoi, Radu, Paolo Guglielmi, and G-M. Pellegrino. "Sensorless direct field-oriented control of three-phase induction motor drives for low-cost applications." Industry Applications, IEEE Transactions on 44.2 (2008): 475-481.

[215] Casadei, Domenico, et al. "FOC and DTC: two viable schemes for induction motors torque control." Power Electronics, IEEE Transactions on 17.5 (2002): 779-787.

[216] Buja, Giuseppe S., and Marian P. Kazmierkowski. "Direct torque control of PWM inverter-fed AC motors-a survey." Industrial Electronics, IEEE Transactions on 51.4 (2004): 744-757.

[217] Takahashi, Isao, and Youichi Ohmori. "High-performance direct torque control of an induction motor." Industry Applications, IEEE Transactions on 25.2 (1989): 257-264.

[218] Habetler, Thomas G., et al. "Direct torque control of induction machines using space vector modulation." Industry Applications, IEEE Transactions on 28.5 (1992): 1045-1053.

[219] Casadei, D., et al. "Effects of flux and torque hysteresis band amplitude in direct torque control of induction machines." Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1994. IECON'94., 20th International Conference on. Vol. 1. IEEE, 1994.

[220] Wang, Yu, and Zhiquan Deng. "Improved stator flux estimation method for direct torque linear control of parallel hybrid excitation switched-flux generator." Energy Conversion, IEEE Transactions on 27.3 (2012): 747-756.

[221] Idris, Nik Rumzi Nik, and Abdul Halim Mohamed Yatim. "An improved stator flux estimation in steady-state operation for direct torque control of induction machines." Industry Applications, IEEE Transactions on 38.1 (2002): 110-116.

[222]https://library.e.abb.com/public/3775bd6155454c3ea2f6479933965d5f/ACS5000_medium_voltage_drive_catalog_3BHT490501R0001_RevK_EN.pdf

[223]https://new.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/medium-voltage-converters/sinamics-gl150.html

[224] https://www.gepowerconversion.com/product-solutions/mv-drives

[225]https://www.rockwellautomation.com/en-nz/products/hardware/allen-bradley/drives-and-motors/medium-voltage-ac-drives/powerflex-7000-ac-drive.html

[226]https://www.ingeteam.com/en-us/power-electronics/power-converters/pc28_6_671/ingedrive-mv900.aspx

[227]https://www.yaskawa.com/products/drives/medium-voltage-drives/drives/mv1000-drive

[228]https://www.delta-americas.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060103&PID=4815&hl=en-US&Name=MVD3000%20series

[229] https://www.ls-electric.com/products/view/Smart_Automation_Solution/Inverter_-*VFD*-/Medium_Voltage_VFD/M1000_M1000A

[230] https://www.danfoss.com/en-us/products/dds/medium-voltage-drives/medium-voltage-drive-products/vacon-3000/

[231]https://library.e.abb.com/public/77f49845159e2e5cc12579c7003d688c/Power%20brochure%20RevB_lowres.pdf

[232]https://references.siemens.com/reference/?id=/data/Record- Refp8821.xml&market= Power%20Utilities~/~Power%20Utilities~/~Power%20Generation%20- %20Others&sortby=LastModificationDate

[233]https://www.tmeic.com/Repository/Others/Power%20Generation%20Brochure%20October%202013_lo-res.pdf

[234] Drives in power generation, ABB Group, September 2010.

[235] https://www.ingeteam.com/en-us/power-electronics/power-converters/pc28_6_671/ingedrive-mv900.aspx

[236] M. P. Boyce, Gas turbine engineering handbook, Huston: Gulf professional publishing, 2002.

[237]ر. ا. هوشمند, تولید برق در نیروگاه ها, اهواز: دانشگاه شهید چمران، ۱۳۸۹

[238] Philip P. Walsh, Paul Fletcher, Gas Turbine Performance, Oxford: Blackwell Science, 2004.

[239] A. M. Y. Razak, Industrial gas turbines performance and operability, Cambridge: Taylor & Francis Group, LLC, 2007.

[240]م. کراری, دینامیک و کنترل سیستم های قدرت, تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۱

[241] T. Giampaolo, The Gas turbinehandbook: principles and practices, Lilburn: Georgia, 2003.

[242]س. رضاپناه, "مدلسازی و شبیه سازی ساختار جدید برای مبدل فرکانس استاتیک به منظور راه¬اندازی ماشین سنکرون," تهران, بهمن ۱۳۹۰

[243] A. Giraldi, M. Rebolini, A. Iliceto, “Use of Static Frequency Converters for starting gas turbines of combined cycle pants,” در IEEE The First International Conference on Applications of Industrial Electronics Systems , 13-17 May, 1990. .

[244] S.-H. e. a. Park, “"A starting-up control algorithm of large synchronous generation motor for gas turbosets." 2008 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 2008.”.

[245]https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/services/maintenance/instrumentation-controls/ic-electrical-solutions.html

[246] http://www.mapnaec.com/en/products/startup-frequency-converter-sfc-siemens-technology/

[247] https://www.tmeic.co.jp/product/catalog/C_0056_1705_G.pdf

[248]https://www.ucaiug.org/Meetings/CIGRE_2014/USB%20Promo%20Content/NR%20Electric/Brochures/Static%20Frequency%20Converter.pdf

[249]https://library.e.abb.com/public/0fba550190244ce7b54b3ca047501b22/MEGADRIVE-LCI_medium_voltage_drive_catalog_3BHT490112R0001_RevE_EN.pdf

[250] https://pdf4pro.com/view/sfc-start-up-inverter-of-gas-turbo-sets-aeg-ie-com-411abb.html

[251] https://www.bright-eng.com/images/pdf/file-356-LS2100-Static-Starter.pdf

[252] Basler, M.J. Excitation System: The Current State of the Art. In Proceedings of the 2006 IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, QC, Canada, 18–22 June 2006.

[253] Park, J.; Harley, R.; Venayagamoorthy, G. Indirect Adaption control for Synchronous Generator: Comparison of MLP/RBF Neural Networks Approach with Lyapunov Stability Analysis. IEEE Trans. Neural Netw. 2004, 15, 460–464.

[254] Venayagamoorthy, G.; Harley, R. Two Separate Continually Online-Tranied Neurocont rollers for Excitation and Turbine Control of a Turbogenerator. IEEE Trans. Ind. Appl. 2002, 38, 887–893.

[255] Hariri, A.; Malik, O.P. Self-learning Adaptive-Network-Based Fuzzy Logic Power System Stabilizer in Multi-Machine Power System. Eng. Intell. Syst. 2001, 9, 129–136.

[256] Shamsollahi, P.; Malik, O.P. Generalized Neuron-Based Adaptive PSS for Multi machine Environment. IEEE Trans. Power Syst. 2005, 20, 358–366.

[257] IEEE Task Force on Excitat Ion Limiters. Under excitation Limiter Models for Power System Stability studies. IEEE Trans. Energy Convers. 1995, 10, 524–531.

[258] Ramakrishnan, K. Delay-Dependent Stability of Networked Generator-Excitation Control Systems: An LMI Based Approach. IFAC-PapersOnLine 2016, 49, 431–436.

[259] Kundur, P.; Balu, N.J.; Lauby, M.G. Power System Stability and Control; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 1994; Volume 23.

[260] Hao, L.; Sun, Y.; Qiu, A.; Wang, X. Steady-state calculation and online monitoring of interturn short circuit of field windings in synchronous machines. IEEE Trans. Energy Convers. 2012, 27, 128–138.

[261] Saha, S.; Aldeen, M. Excitation System Fault Diagnosis in Multi-Machine Power Grids. In Proceedings of the 2013 Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC 2013), Hobart, Australia, 29 September–3 October 2013; University of Tasmania: Hobart, Australia, 2013.

[262] IEEE Std. 421.5-2005. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2006.

[263] Chang, R.; Amen, P.; Medina, G.; Urquizo, J.; Excitation system response analysis of the BABA Hydroelectric power plant generation units, IEEE 29th Intern. Symp. on Industrial Electronics (ISIE), 2020, 317-322.

[264] Vieira, J.C.; Freitas, W.; Xu, W.; Morelato, A. An investigation on the nondetection zones of synchronous distributed generation anti-islanding protection. IEEE Trans. Power Deliv. 2008, 23, 593–600.

[265] Taborda, J. Comparison between Detailed and Simplified AC Exciter Models. In Proceedings of the 2010 IEEE PES General Meeting, Providence, RI, USA, 25–29 July 2010.

[266] Koo, K.L. Modeling and Cosimulation of AC Generator Excitation and Governor Systems Using Simulink Interfaced to PSS/E. In Proceedings of the 2004 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, New York, NY, USA, 10–13 October 2004; Volume 2, pp. 1095–1100.

[267] Pribadi, D.W.; Wahjono, E.; Ferdiansyah, I.; Optimizing of Synchronous Generator Voltage Stability with CUK Converter as an Excitation Control System, International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs), 2020, 311-316.

[268] Byoung-Kon, C.; Hsiao-Dong, C.; Hongbin, W.; Hua, L.; Yu, D.C. Exciter Model Reduction and Validation for Large-Scale Power System Dynamic Security Assessment. In Proceedings of the 2008 IEEE PES General Meeting—Conversion and Delivery of Elect. Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, USA, 20–24 July 2008.

[269] Rasouli, M.; Karrari, M. Nonlinear identification of a brushless excitationsystem via field tests. IEEE Trans. Energy Convers. 2004, 19, 733–740.

[270] IEEE Committee. Computer representation of excitation systems. IEEE Trans. Power Appar. Syst. 1968, 87, 1460–1464.

[271] Glaninger-Katschnig, A.; Nowak, F.; Bachle, M.; Taborda, J. New Digital Excitation System Models in Addition to IEEE.421.5 2005. In Proceed. of the 2010 IEEE PES General Meeting, Providence, RI, USA, 25–29 July 2010.

[272] Hajagos, L.M.; Basler, M.J. Changes to IEEE 421.5 Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies. In Proceedings of the 2005 IEEE Power Engineering Society General Meeting, San Francisco, CA, USA, 16 June 2005; pp. 334–336.

[273] Murdoch, A.; Boukarim, G.E.; D'Antonio, M.J.; Zeleznik, J. Use of the Latest 421.5 Standards for Modeling Today's Excitation Systems. In Proceedings of the 2005 IEEE PES General Meeting, San Francisco, CA, USA, 16 June 2005; Volume 1, pp. 989–994.

[274] Máslo, K.; Kasembe, A.; Kolcun, M. Simplification and unification of IEEE standard models for excitation systems. Electr. Power Syst. Res. 2016, 140, 132–138.

[275] Zhang T.; Mao C.; Zhang J.; Tian J.; Yu M.; Wu, K.; Xiong, H.; Wu, L.; Yu, H.; Design and Field Application of Flexible Excitation System Damping Controllers. IEEE Trans. Ind. Elec., 2021, 68(2), 949-959.

[276] Lee, H.-G. Development of Cost-Effective Redundant Digital Excitation Control System in Small Power Plants. Master's Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea, 2014; pp. 1–26.

[277] Kumar, K.; Singh, A.K.; Singh, R.P.; Power System Stabilization Tuning and Step Response Test of AVR: A Case Study. 6th Inter. Conf. on Advanced Computing & Communication Systems, 2020, 482-485.

[278] Hingston, R.S.; Ham, P.A.; Green, N.J. Development of a Digital Excitation Control System. In Proceedings of the Fourth International Conference on Electrical Machines and Drives, London, UK, 13–15 September 1989.

[279] Machowski, J.; Bialek, J.W.; Robak, S.; Bumby, J.R. Excitation control system for use with synchronous generators. IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. 1998, 145, 537–546.

[280] Yabui, S.; Inoue, H.; Inoue, T.; Control Performance Improvement of Excitation System with Active Magnetic Bearing for Measurement of Rotordynamic Forces, IEEE Inter. Conf. on Mechatronics (ICM), 2021.

[281] Kanniah, J.; Malik, O.P.; Hope, G.S. Excitation Control of Synchronous Generators Using Adaptive Eegulators Part I—Theory and Simulation Results. IEEE Trans. Power Appar. Syst. 1984, 5, 897–903.

[282] Yang, L.; Wang, J.; Ma, Y.; Wang, J.; Zhang, X.; Tolbert, L.M.; Wang, F.F.; Tomsovic, K. Three-Phase Power Converter-based Real-Time Synchronous Generator Emulation. IEEE Trans. Power Electron. 2017, 32, 1651–1665.

[283] Zhao, H.; Yang, Q.; Zeng, H. Multi-Loop Virtual Synchronous Generator Control of Inverter-based DGs under Microgrid Dynamics. IET Gener. Transm. Distrib. 2017, 11, 795–803.

[284] Lee, H.G.; Kim, H.S. A Method for Replacing Protective Relay at Kanudi Power Plant and Validation. In Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing. Lecture Notes in Electrical Engineering; Springer: Singapore, 2017; Volume 474, pp. 143–148.

[285] Lee, H.G.; Kim, H.S. Implementation of Redundant Digital Excitation Control System Algorithm. In Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing. Lecture Notes in Electrical Engineering; Springer: Singapore, 2017; Volume 474, pp. 131–136.

[286] Lee, H.G.; Kim, H.S. Cost-Effective Redundant Digital Excitation Control System. In Proceedings of the MUE, 2017, Seoul, Korea, 22–24 May 2017; p. 1.

[287] P. Tavner, Condition monitoring of rotating electrical machines, vol. 56. IET, 2008.

[288] "IEEE Guide for Online Monitoring of Large Synchronous Generators (10 MVA and Above)," IEEE Std 1129-2014. pp. 1–62, 2014.

[289] G. C. Stone, "Condition monitoring and diagnostics of motor and stator windings–A review," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 20, no. 6, pp. 2073–2080, 2013.

[290] G. C. Stone, "A perspective on online partial discharge monitoring for assessment of the condition of rotating machine stator winding insulation," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 28, no. 5. pp. 8–13, 2012.

[291] R. Br??sch, M. Tari, K. Fr??hlich, T. Weiers, and R. Vogelsang, "Insulation failure mechanisms of power generators," IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 24, no. 4, pp. 17–25, Jul. 2008.

[292] IEEE Motor Reliability Working Group, "Report of large motor reliability survey of industrial and commercial installations," EEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-21, no. 4, pp. 853–864, 1986.

[293] H. Stone, G. C. ; Boulter, E. A.; Culbert, I.; Dhirani, Electrical insulation for rotating machines : Design, evaluation, aging, testing, and repair. 2014.

[294] T. S. IEC, "60034-27: 2006,"," Off-Line Partial Disch. Meas. Stator Wind. Insul. Rotating Mach.

[295] G. C. Stone and C. Maughan, "Vibration Sparking and Slot Discharge in Stator Windings," Electrical Insulation, 2008. ISEI 2008. Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on. pp. 148–152, 2008.

[296] G. C. Stone, C. Chan, and H. G. Sedding, "Relative ability of UHF antenna and VHF capacitor methods to detect partial discharge in turbine generator stator

[297] "www.irispower.com." .

[298] “http://www.bkvibro.com.” .

[299] “http://www.ge.com.” .

[300] “http://vibrosystm.com/.” .

[301] “http://www.mc-monitoring.com/.” .

[302] “http://www.simence.com/.” .

[303] “http://www.double.com/.” .

[304] “http://www.hvpd.co.uk/.” .

[305] “http://www.techim.com/.” .

[306] “http://www.omicron.com/.” .

[307] D. J. T. Siyambalapitiya and P. G. McLaren, "Reliability improvement and economic benefits of online monitoring systems for large induction machines," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 26, no. 6, pp. 1018-1025, Nov/Dec 1990.

[308] M. El Hachemi Benbouzid, "A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, no. 5, pp. 984-993, Oct 2000.

[309] A. H. Bonnett and G. C. Soukup, "Cause and analysis of stator and rotor failures in three-phase squirrel-cage induction motors," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 28, no. 4, pp. 921-937, Jul/Aug 1992.

[310] A. Sugarman, "Condition monitoring of electrical equipment in nuclear power plants," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. EC-1, no. 3, pp. 1-8, Sept. 1986.

[311] S. Nandi, H. A. Toliyat and X. Li, "Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors-a review," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 20, no. 4, pp. 719-729, Dec. 2005.

[312] A. Siddique, G. S. Yadava and B. Singh, "A review of stator fault monitoring techniques of induction motors," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 20, no. 1, pp. 106-114, March 2005.

[313] H. A. Toliyat, S. Nandi, S. Choi, H. Meshkin-Kelk, " Electric machine modeling, condition monitoring, and fault diagnosis," CRC Press, 2013.

[314] J. Faiz, B. M. Ebrahimi, M. B. B. Sharifian, " Different faults and their diagnosis techniques in three phase squirrel cage induction motors – A review," Electromagnetics, Taylor & Francis, vol. 26, pp. 543-569, 2006.

[315] A. C. Smith and D. G. Dorrell, "Calculation and measurement of unbalanced magnetic pull in age induction motors with eccentric rotors. I. Analytical model," in IEE Proceedings - Electric Power Applications, vol. 143, no. 3, pp. 193-201, May 1996.

[316] D. G. Dorrell and A. C. Smith, "Calculation and measurement of unbalanced magnetic pull in cage induction motors with eccentric rotors. II. Experimental investigation," in IEE Proceedings - Electric Power Applications, vol. 143, no. 3, pp. 202-210, May 1996.

[317] J. R. Cameron, W. T. Thomson and A. B. Dow, "Vibration and current monitoring for detecting airgap eccentricity in large induction motors," in IEE Proceedings B - Electric Power Applications, vol. 133, no. 3, pp. 155-163, May 1986.

[318] P. Neti and S. Nandi, "Analysis and Modeling of a Synchronous Machine with Structural Asymmetries," 2006 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Ottawa, Ont., 2006, pp. 1236-1239.

[319] G. K. Singh, S. A. S. A. Kazzaz, " Induction machine drive vondition monitoring and diagnosis research – a survey," Electric Power System Research, vol. 64, pp. 145- 158, 2003.

[320] H. A. Toliyat and N. A. Al-Nuaim, "Simulation and detection of dynamic air-gap eccentricity in salient-pole synchronous machines," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 1, pp. 86-93, Jan/Feb 1999.

[321] N. A. Al-Nuaim and H. A. Toliyat, "A method for dynamic simulation and detection of dynamic air-gap eccentricity in synchronous machines," Electric Machines and Drives Conference Record, 1997. IEEE International, Milwaukee, WI, 1997, pp. MA2/5.1-MA2/5.3.

[322] H. A. Toliyat and N. A. Al-Nuaim, "Simulation and detection of dynamic air-gap eccentricity in salient pole synchronous machines," Industry Applications Conference, 1997. Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS '97., Conference Record of the 1997 IEEE, New Orleans, LA, 1997, pp. 255-262 vol.1.

[323] N. A. Al-Nuaim and H. Toliyat, "A novel method for modeling dynamic air-gap eccentricity in synchronous machines based on modified winding function theory," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 13, no. 2, pp. 156-162, Jun 1998.

[324] M. M. Rahimian and K. Butler-Purry, "Modeling of synchronous machines with damper windings for condition monitoring," Electric Machines and Drives Conference, 2009. IEMDC '09. IEEE International, Miami, FL, 2009, pp. 577-584.

[325] S. B. Jovanovski, "Calculation and Testing of Damper-Winding Current Distribution in a Synchronous Machine with Salient Poles," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-88, no. 11, pp. 1611-1619, Nov. 1969.

[326] B. M. Ebrahimi, M. Etemadrezaei, J. Faiz, " Dynamic eccentricity fault diagnosis in round rotor synchronous motors," Energy Conversion and management, vol. 52, pp. 2092- 2097, 2007.

[327] A. J. M. Cardoso and S. Saraiva, “Computer-Aided Detection of Airgap Eccentricity in Operating Three-phase Induction Motors by Park’s Vector Approach,” in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, no. 5, pp. 897–901, 1993.

[328] V. Ostović, “A Method for Evaluation of Transient and Steady State Performance in Saturated Squirrel Cage Induction Machines,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. EC-1, no. 3, pp. 190–197, 1986.

[329] M. J. Carpenter and D. C. Macdonald, “Circuit representation of inverter-fed synchronous motors,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 4, no. 3, pp. 531–537, 1989.

[330] J. D. Law, T. J. Busch, T. A. Lipo, “Magnetic Circuit Modelzng of the field regulated reluctance machine part I: Model developement,” IEEE Trans. On Energy Conversion, vol. 11, no. 1, 1996.

[331] J. D. Law, T. J. Busch, T. A. Lipo, “Magnetic Circuit Modelzng of the field regulated reluctance machine part I: saturation modelng and results,” IEEE Trans. On Energy Conversion, vol. 11, no. 1, 1996.

[332] J. Milimonfared, H. M. Kelk, S. Nandi, A. Der Minassians, and H. A. Toliyat, “A novel approach for broken-rotor-bar detection in cage induction motors,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 35, no. 5, pp. 1000–1006, 1999.

[333] H. Meshgin-Kelk, J. Milimonfared, and H. A. Toliyat, “A comprehensive method for the calculation of inductance coefficients of cage induction machines,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 18, no. 2, pp. 187–193, 2003.

[334] J. F. Bangura, F. N. Isaac, A. Demerdash, A. A. Arkadan, “A time-stepping coupled finite element-state space model for induction motor drives – part2: machine performance computation and verification ,” vol. 14, no. 4, pp. 1472–1479, 1999.

[335] J. F. Bangura, F. N. Isaac, A. Demerdash, A. A. Arkadan, “A time-stepping coupled finite element-state space model for induction motor drives – part1: model formulation and machine parameter computation ,” vol. 14, no. 4, pp. 1465–1471, 1999.

[336] T. J. Sobczyk, K. Weinreh, T. Wegiel, M. Sulowicz, A. Warzecha, “Modeling saturation of main magnetic circuit of Cage Induction Motors in Presence of Eccentricity,” Symposium on Diagnosis for electric machine, power electronic and drives, no. 8, pp. 301–306, 2003.

[337] P. Tavner, L. Ran, J. Penman, H. Sedding “ Condition monitoring of rotating electrical machines” IET Power and Energy Series, 2008.

[338] P. Alger, “The nature of induction machines” New York: Gordon and Beach; 1965. (online version).

[339] H. Jordan, “The low noise electric motors” Essen: Spronger Verlag, 1950, (online version).

[340] S. Yang, “Low noise electric machine”, Oxford, UK: Clarendon Press, 1981, (online version).

[341] M. Ohtaguro, K. Yagiuchi and H. Yamaguchi, "Mechanical Behavior of Stator Endwindings," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99, no. 3, pp. 1181-1185, May 1980.

[342] S. Williamson and M. R. E. Ellis, "Influence of rotor currents on end-winding forces in cage motor," in IEE Proceedings B - Electric Power Applications, vol. 135, no. 6, pp. 371-379, November 1988.

[343] J. J. Campbell, P. E. Clark, I. E. McShane and K. Wakeley, "Strains on Motor Endwindings," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA-20, no. 1, pp. 37-45, Jan. 1984.

[344] M. G. Smart, M. I. Friswell and A. W. Lees, “Estimating Turbogenerator Foundation Parameters: Model Selection and Regularization”, Proceedings: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, Vol. 456, No. 1999 (Jul. 8, 2000), pp. 1583-160.

[345] D. N. Walker, C. E. J. Bowler, R. L. Jackson and D. A. Hodges, "Results of subsynchronous resonance test at Mohave," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. 94, no. 5, pp. 1878-1889, Sept. 1975.

[346] D. N. Walker, S. L. Adams and R. J. Placek, "Torsional Vibration and Fatigue of Turbine-Generator shafts," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-100, no. 11, pp. 4373-4380, Nov. 1981.

[347] J. S. Joyce and D. Lambrecht, "Status of Evaluating the Fatigue of Large Steam Turbine-Generators Caused by Electrical Disturbances," in IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-99, no. 1, pp. 111-119, Jan. 1980.

[348] Schwibinger PP, Nordmann RR. Torsional Vibrations in Turbogenerators Due to Network Disturbances. ASME. J. Vib. Acoust. 1990;112(3):312-320.

[349] J. R. Stack, T. G. Habetler and R. G. Harley, "Fault classification and fault signature production for rolling element bearings in electric machines," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 40, no. 3, pp. 735-739, May-June 2004.

[350] Neale N. and Associates. A Guide to the Condition Monitoring of Machinery. London: Her Majesty’s Stationary Office; 1979.

[351] Mayes I.W. Use of neutral networks for online vibration monitoring. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A, Journal of Power and Energy 1994; 208: 267–74.

[352] Herbert R.G. Computer techniques applied to the routine analysis of rundown vibration data for condition monitoring of turbine-alternators. British Journal of Non-Destructive Testing 1986; 28: 371–5.

[353] Smart M.G., Friswell M.I. and Lees A.W. Estimating turbo generator foundation parameters: model selection and regularization. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences 2000; 456: 1583–607.

[354] F. C. Trutt, J. Sottile and J. L. Kohler, "Condition monitoring of induction motor stator windings using electrically excited vibrations," Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the, Pittsburgh, PA, USA, 2002, pp. 2301-2305 vol.4.

[355] Dorrell, D. G., W. T. Thomson and Roach S. ‘Analysis of airgap flux, current, and vibration signals as a function of the combination of static and dynamic airgap eccentricity in 3-phase induction motors.’ IEEE Transactions on Industry Applications 1997; IA-33: pp. 24–34.

[356] Hargis C. Steady-state analysis of 3-phase cage motors with rotor-bar and endring faults. IEE Proceedings, Part B, Electric Power Applications 1983; 130:225.

[357] Nandi S., Bharadwaj R.M., Toliyat H.A. and Parlos A.G. Performance analysis of a three-phase induction motor under mixed eccentricity condition. IEEE Transactions on Energy Conversion 2002; EC-17: 392–9.

[358] Trutt F.C., Sottile J. and Kohler J.L. Detection of AC machine winding deterioration using electrically excited vibrations. IEEE Transactions on Industry Applications 2001; IA-37: 10–14.

[359] Walker D.N., Adams S.L. and Placek R.J. Torsional vibration and fatigue of turbine-generator shafts. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems 1981; PAS-100: 4373–80.

[360] Tavner P.J., Gaydon B.G. and Ward D.M. (1986). Monitoring generators and large motors. IEE Proceedings, Part B, Electric Power Applications 1986; 133: 169–80.

[361] Ben Sasi A.Y., Gu F., Li. Y. and Ball A.D. A validated model for the prediction of rotor bar failure in squirrel-cage motors using instantaneous angular speed. Journal of Mechanical Systems and Signal Processing 2006; 20: 1572–89.

[362] Ben Sasi A.Y., Gu F., Payne, B.S. and Ball A.D. Instantaneous angular speed monitoring of electric motors. Journal of Quality in Maintenance Engineering 2004; 10: 123–35.

[363] A. Davis, " Handbook of Condition Monitoring Techniques and Methodology" Springer-Science, Business, 1988

[364] J. Faiz, H. Ehya, A.M. Takbash, S. Shojaee, M. Hamidian and A. Ghorbani, "Recent Progresses in Bus-ducts Design" International Journal of Compell, Vol. 34, No.5. pp. 117-136, April 2015.

[365] P. Tavner, L. Ran, J. Penman, H. Sedding, "Condition monitoring of rotating electrical machine" IET Power and Energy Series 56, 2008.

[366] Rogers A.J. Optical temperature sensor for high voltage applications. Applied Optics 1982; 21: pp. 882–885.

[367] Rogers, A.J. Distributed optical-fibre sensing. Measurement Science&Technology 1999; 10, pp.75–99.

[368] D. J. T. Siyambalapitiya, P. G. McLaren and P. J. Tavner, "Transient thermal characteristics of induction machine rotor cage," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 3, no. 4, pp. 849-854, Dec 1988.

[369] S. E. Zocholl, "Motor analysis and thermal protection," in IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 5, no. 3, pp. 1275-1280, Jul 1990.

[370] P. Milanfar and J. H. Lang, "Monitoring the thermal condition of permanent-magnet synchronous motors," in IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 32, no. 4, pp. 1421-1429, Oct 1996.

[371] P. H. Mellor, D. Roberts and D. R. Turner, "Lumped parameter thermal model for electrical machines of TEFC design," in IEE Proceedings B - Electric Power Applications, vol. 138, no. 5, pp. 205-218, Sept. 1991.

[372] C.C. Carson, S.C. Barton and F.S. Echeverria "Immediate warning of local overheating in electrical machines by the detection of pyrolysis products." IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. PAS.533-542, 1973.

[373] P. Kotrappa, "Review of Electret ion chamber technology for measuring technologically enhanced natural radioactivity," pp. 45–54.

[374] N. Bianchi and M. Dai Pre, “Active power filter control using neural network technologies,” IEE Proceedings-Electric Power Appl., vol. 150, no. 2, pp. 139–145, 2003.

[375] P. J. Tavner, B. G. Gaydon, and D. M. Ward, “Monitoring generators and large motors,” IEE Proc. B Electr. Power Appl., vol. 133, no. 3, p. 169, 1986.

[376] C.C. Carson, S.C. Barton and F.S. Echeverria "The occurance and control of interference from oil mist in the detection of overheating in a generator." IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. PAS.1509-1515, 1978.

[377] D. M. Ryder, J. W. Wood, P. L. Gallagher, “ The detection and identification of overheated insulation in turbogenerator” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. PAS.333-337, 1979.

[378] J. M. Braun and G. Brown, “Operational performance of generator condition monitors : comparison of heated and unheated ion chambers,” IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 5, no. 2, pp. 5–10, 1990.

[379] J. K. Kelley, J. W. Auld, V. J. Herter, K. A. Hutchfnson, W. A. Rugensein, “ Early detection and diagnosis of overheating problems in turbogenerators by instrumental chemical analysis” IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, pp. PAS.879-892, 1976.

[380] T. Sorita, S. Minami, and H. Adachi, “The detection of degraded materials in turbine gelnerators by chemical analysis,” International Symposium on Electrical Insulating, pp. 131–134, 1998.

[381] T. Sorita, S. Minimi, T. Fujimoto, M. Takashima, and K. Nakamura, “On-line detection of overheating material in turbine generators using chemical analysis,” Annu. Rep. Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenom., vol. 2, pp. 533–536, 1999.

[382] T. Sorita, K. Enmanji, M. Electric, and M. Takashima, “ A novel on line method and equipment to detect local problems in turbine generators” 2000 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 522-526.

[383] www.ABB.com