



## معاونت پژوهشی

کد سند: RO-S-F-27-02

تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۵/۱۵

## فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه

**عنوان طرح/پروژه:** تهیه و تدوین راهنمای جامع کاربرد فناوری ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت در شبکه قدرت

واحد مجری:	الکترونیک قدرت	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح/پروژه:	مهدی بابایی رگنی	مجری:	سعید حاتمی
کد مالی پروژه:	۷۳۶۳۰۰	کد کیفی پروژه:	PIEPN15
نوع طرح/پروژه:	آینده نگاری	معاونت:	پژوهشی

**همکاران:** سعید حاتمی - احسان هاشمزاده - صمد امینی - رامین رازانی - محسن فیض اللهی - علی حقی - شیوا اسدی و جواد زاهدی مقدم

**کلمات کلیدی:** تراز سفورماتور الکترونیک قدرت، تراز سفورماتور حالت جامد، شبکه‌های هو شمند، ریز شبکه‌ها، مبدل‌های چند سطحی، کیفیت توان، تولیدات پراکنده، نیمه‌هادی‌های SiC

### ضرورت انجام پروژه/طرح:

با روند افزایش گرمایش زمین و کاهش قیمت تکنولوژی‌های تولید انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر مانند خورشید و باد، اهمیت مساله تولیدات پراکنده انرژی بیشتر از هر زمان دیگری نمود پیدا کرده است. تولیدات پراکنده خود مساله شبکه‌های هوشمند و ریز شبکه‌ها و همچنین شبکه توزیع DC را به دنبال دارد. بنابراین چون آینده شبکه توزیع برق به سمت شبکه‌های هوشمند خواهد رفت، لذا جهت بستر سازی و آماده کردن شبکه توزیع برای یک شبکه کاملا کنترل شونده، آشنایی و تحقیق در مورد تکنولوژی ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت (PET) ضروری به نظر می‌رسد.

در دهه‌های اخیر مفهوم شبکه‌های هوشمند توجه پژوهشگران و صنعتگران را به عنوان یک راه حل قابل قبول برای حل چالش‌های موجود در سیستم قدرت جلب کرده است. به دلیل رشد بار، افزایش نفوذ انرژی‌های نو (تجدید پذیر) و آرایشهای مختلفی که از منابع تولید پراکنده وجود دارد، شبکه‌های توزیع هوشمند بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به وجود منابع تولید DC و AC و همچنین مصارف AC و DC در حالت عدم استفاده از ریز شبکه‌های ترکیبی، نیاز به استفاده مکرر از مبدل‌های AC/DC و بر عکس وجود خواهد داشت که این امر موجب افزایش تلفات و هزینه در سیستم می‌گردد. یک راه حل برای اتصال منابع تولید پراکنده، بارها و منابع ذخیره انرژی به ریز شبکه‌ها و همچنین برای اتصال ریز شبکه‌ها به شبکه قدرت، استفاده از مبدل‌های چند پورته و ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت و یا ترانسفورماتورهای حالت جامد می‌باشد. ضرورت کنترل دقیق و سریع شبکه‌های هوشمند و ایجاد خطوط جریان مستقیم، خود نیازمند ادوات الکترونیک قدرت مانند PET است. بنابراین در دورنمای شبکه‌های قدرت، استفاده از ادوات الکترونیک قدرت مخصوصا SST اجتناب ناپذیر خواهد بود. همچنین این تکنولوژی می‌تواند جایگزین مبدل‌هایی گردد که با یک ترانسفورماتور جداگانه به شبکه متصل می‌شوند. STATCOM، مبدل‌های توربین‌های بادی و نیروگاه‌های خورشیدی، مبدل‌های بکار رفته در ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی، درایو موتورهای توان بالای صنعتی، مبدل‌های مورد استفاده در قطارهای برقی و ... چند نمونه از کاربرد این تکنولوژی در آینده صنعت برق می‌باشند که باعث کاهش تلفات، کاهش هزینه ساخت، کاهش وزن و افزایش کنترل پذیری می‌شود.

با پیشرفت و کاربرد روزافزون دانش الکترونیک قدرت و مبدل‌های توان بالا در جهان و نیاز به داشتن بستری مناسب برای گسترش و کاربری این دانش در ایران همگام و همسو با دیگر کشورهای پیشرو، نیاز به یک طرح جامع در این زمینه به شدت احساس می‌شود. همچنین نیاز است تا با هدف رفع چالش‌های پیش روی توسعه فناوری PET

و همچنین چالش‌های استفاده و کاربرد گسترده نسل جدید سیستم‌های هوشمند توزیع، سازمانی متولی بحث توسعه فناوری در این زمینه در کشور باشد. از وظایف پیشنهادی برای این سازمان می‌توان به اقتباس استانداردها و دستورالعمل‌های بین‌المللی و معتبر روز دنیا، ویرایش و اصلاح استانداردها و دستورالعمل‌های موجود، ارائه سند چشم‌انداز برای افق‌های زمانی بلندمدت در راستای بهبود سیستم‌های توزیع موجود در کشور، حمایت از تولیدکنندگان و سرمایه‌گذاران داخلی و شرکت‌های دانش‌بنیان به منظور پیشبرد این فناوری اشاره کرد.

## اهداف پروژه/طرح:

هدف اصلی این پروژه شناخت مناسب و ارائه درخت فناوری ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت می‌باشد. شنا سبایی حوزه‌های کاربرد، تاثیر کاربرد این فناوری در انعطاف‌پذیری بیشتر شبکه قدرت و بالا بردن بهره‌وری و قابلیت کنترل‌پذیری، نحوه رسیدن به دانش طراحی و همچنین نحوه دستیابی به تکنولوژی ساخت از اهداف دیگر این پروژه محسوب می‌گردد.

## چکیده پروژه/طرح:

در بخش اول نشان داده شده است که کاربرد فناوری PET بسیار روز افزون بوده و شناخت فناوری و کسب دانش فنی طراحی و ساخت و بهره‌برداری از آن بسیار مهم می‌باشد. در مرحله دوم، ساختار چند سطحی بر پایه ماژول‌های (CHB-based PET) HB، توپولوژی قابل دسترسی و عملیاتی برای ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت محسوب می‌شوند. استفاده از نیمه‌هادی‌های SiC برای ساخت مبدل‌های ولتاژ بالا و با راندمان بالا ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از هسته‌های آمورف یا نانو کریستال برای ساخت طبقه دوم (DC-DC) ضروری است. چرا که هسته‌های دیگر مشکل تلفات بالا و یا چگالی شار پایین را دارا هستند که با فلسفه PET در تناقض خواهد بود.

با روند پرسرعت توسعه فناوری‌های مربوط به الکترونیک قدرت، بازار جهانی PET بطور واضح پر رونق خواهد بود. در این پروژه نتیجه‌گیری شده است که با توجه به هزینه‌های بالای ساخت و تولید نیمه‌هادی‌های قدرت و هسته‌های فرکانس بالا، در کوتاه مدت و میان مدت تنها طراحی و ساخت و مونتاژ مبدل بومی سازی شده و قطعات کلیدی از طریق واردات تامین گردد. در انتها پیشنهاد استاندارد استفاده از PET در شبکه توزیع بجای ترانسفورماتورهای سنتی تهیه شده است.

## مراحل و روش‌های انجام پروژه/طرح:

در این پروژه، ابتدا مفهوم ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت تبیین شد. تاریخچه معرفی تکنولوژی و روند بلوغ تکنولوژی بیان شد. انواع مختلف ترانسفورماتورهای الکترونیک معرفی شده و مزایا و معایب هر کدام بررسی شد. انواع کاربردهای PET بررسی شد. کاربرد در قطارهای برقی، نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر، ایستگاه‌های شارژ خودروهای برقی، ادوات FACTS شبکه توزیع، فیلترهای اکتیو، شبکه‌های هوشمند و ریز شبکه‌ها، شبکه توزیع و ...، مثالهایی از کاربرد وسیع PET می‌باشند. در این فصل به پیدایش و تعریف ترانسفورماتور الکترونیک قدرت پرداخته می‌شود. همچنین به صورت خلاصه ضرورت استفاده از این فناوری بیان می‌شود. در ادامه با بررسی کارهای انجام شده، کاربردهای مختلف فناوری PET مشخص و در نهایت لزوم تهیه راهنمای جامع برای این فناوری تبیین می‌گردد. کلیه اطلاعات در یک جلد گزارش مدون شده و به تأیید ناظر محترم رسیده است.

پس از معرفی کلی سیستم، در مرحله دوم انواع ساختارهای قابل استفاده در طبقات مختلف PET بررسی شده و مزایا و معایب هر کدام گردآوری شده است. تکنولوژیهای نیمه‌هادی‌های ولتاژ بالا و کم تلفات بررسی شده و آینده کاربرد آنها در PET و سایر مبدل‌های ولتاژ بالا بررسی شد. همچنین تکنولوژی هسته‌های مغناطیسی فرکانس بالا نیز بررسی شده و اهمیت این هسته‌ها در ساختار کلی PET نشان داده شده است. انواع روشهای کنترلی برای طبقات مختلف بررسی شده است. کلیه اطلاعات در یک جلد گزارش مدون شده و به تأیید ناظر محترم رسیده است.

در مرحله سوم، بازار فعلی و آینده ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت بررسی شده است. در این مرحله سعی شده است که ابتدا امکان‌سنجی استفاده از فناوری PET در کاربردهای مختلف انرژی و شبکه توزیع برق بررسی شود و سپس نگاهت حوزه‌های فناورانه PET شامل انواع توپولوژی‌ها، فیلترها، ترانس‌دیوسرها، ترانسفورماتور فرکانس بالا، کنترل و حفاظت مشخص گردد. در ادامه مقایسه‌ای میان PET با ترانسفورماتور مغناطیسی مرسوم از نقطه نظر هزینه تولید و توجیه‌پذیری اقتصادی کاربرد آنها در شبکه توزیع انجام شده است. سپس سازندگان معتبر خارجی و همچنین توانمندی‌های داخلی برای ساخت و تولید PET شناسایی شده و آزمایشگاه‌ها و شرکت‌های فعال

داخلی مرتبط با ادوات و مبدل‌های الکترونیک قدرت که از توانایی بالقوه برای تولید PET برخوردار هستند، بررسی شده است. کلیه اطلاعات این مرحله در یک جلد گزارش مدون شده و به تأیید ناظر محترم رسیده است.

در کشور ما با توجه به مزایای ترانسفورماتورهای الکترونیک قدرت، از بومی سازی و دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت آن استقبال می‌شود. لازمه این امر، شناخت و توسعه بنیادین این فناوری است و اولین مرحله در این راستا، شناسایی و احاطه کامل بر ابعاد کاربردی، فنی و اقتصادی این فناوری در قالب تدوین سند اجرایی توسعه تکنولوژی است. هدف از انجام این مرحله، شناخت کلی و روند دستیابی به فناوری مبدل‌های موجود در ساختمان PET و گسترش و توسعه آن است. در این راستا پس از انجام مطالعات اولیه و شناسایی سازندگان خارجی و بررسی توانمندی‌های داخلی، با تعیین فناوری‌های اولویت‌دار و استفاده از پارامترهای مشخص شده و نظرات خبرگان، نحوه دستیابی به فناوری مشخص می‌گردد. کلیه اطلاعات این مرحله در یک جلد گزارش مدون شده و به تأیید ناظر محترم رسیده است.

برای آنکه PET در شبکه توزیع جایگزین ترانسفورماتورهای سنتی گردد، باید استانداردها و موارد حفاظتی مورد نیاز یک ترانسفورماتور معمولی را پوشش دهد؛ به این منظور ابتدا به استانداردها و ملاحظات عملکردی - حفاظتی ترانسفورماتورهای توزیع با ولتاژ ۲۰ کیلو ولت و ۴۰۰ ولت در شبکه توزیع برق ایران پرداخته شد و الزامات هر بخش برای PET بررسی شده است. سپس به منظور شناسایی میزان توانمندی داخل کشور در زمینه توسعه فناوری PET، حوزه‌های توسعه فناوری مورد نیاز برای طراحی، ساخت و ایجاد یک خط تولید بررسی شده و ظرفیت‌های هر حوزه از نظر تولید داخلی و یا تأمین خارجی قطعات به کار رفته مشخص شده است؛ همچنین ظرفیت ایجاد آزمایشگاه معتبر جهت تست این تجهیزات و صدور تأییدیه برای محصول نهایی در داخل کشور بررسی شد.

### **اهم نتایج به دست آمده از انجام پروژه/ طرح (خروجی‌های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش‌های فنی و ...):**

مستندات پروژه شامل ۵ گزارش مرحله‌ای مورد تأیید ناظر محترم می‌باشد که همگی در یک گزارش یکپارچه گردآوری شده است.