



## معاونت پژوهشی

کد سند: RO-S-F-27-04

تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵

## فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه

### عنوان طرح/پروژه: امکان سنجی و تدوین دانش فنی طراحی، ساخت و بکارگیری راکتورهای هموارساز در پستهای HVDC

واحد مجری:	طرح توسعه دانش طراحی و آنالیز و بهره برداری سیستم های انتقال برق با ظرفیت بالا	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح/پروژه:	علی کدیور	مجری:	آرمان صفایی
کد مالی پروژه:	۱۲۶۰۱۳	کد کیفی پروژه:	PPTPN06-4
نوع طرح/پروژه:	پژوهشی	معاونت:	فناوری

همکاران: آروین پورابراهیم شیشوانی

**کلمات کلیدی:** (۶ تا ۱۰ مورد) : محدودسازی سرعت افزایش جریان، خطاهای سمت dc، HVDC، مطالعات اجزای محدود، راکتور هسته هوا، مطالعات چند فیزیکی با COMSOL

### ضرورت انجام پروژه/طرح:

- محدودسازی سرعت افزایش جریان در خطاهای سمت dc، یعنی اتصال به زمین و یا خطاهای ارتباطی اینورترها، در ترکیب با زمان مرده و تنظیم سرعت کنترل کننده جریان یکسو ساز، از آنجایی که جریان DC موجب جریان معادل در سمت AC می شود، میزان اختلال در شبکه AC مستقیماً به عملکرد محدود ساز بستگی دارد. برای اینورتر که مشکل ارتباط مخابراتی دارد، محدودیت سرعت افزایش جریان برای بازیابی عملیات حیاتی است. از سوی دیگر، پاسخ سریع سیستم HVDC نیازمند یک مدار DC با خاصیت القاء الکتریکی کوچک است که به معنی اندازه راکتور هموار ساز متوسط است. بنابراین در انتخاب اندازه راکتور، باید هماهنگی تمامی جنبه های فوق لحاظ شود.
- راکتور هموار ساز در رابطه با انتقال فرکانس بین شبکه های ناهمگن (نوسانات غیر هارمونیک) و اجتناب از جریان عدم انطباق در محدوده کم باری نقش کلیدی دارد، هرچند که راکتانس نشستی ترانسفورماتور مبدل نیز در این فرایند نقش دارد.
- تداخل تلفنی ناشی از خطوط انتقال DC، گرچه یک عملکرد ضروری مدار فیلتر دی سی است، اما راکتور هموار ساز نیز در آن نقش دارد. بنابراین انتخاب اندازه راکتور هموار ساز با الزامات عملکرد فیلتر دی سی مرتبط است
- از رزونانس در فرکانس شبکه یا دیگر فرکانس های پایینتر در سمت dc هم برای اتصالات کابل دریایی و هم برای خطوط زمینی و هوایی باید اجتناب شود لذا مدار را می توان از طریق انتخاب مناسب و سازگار راکتور هموار ساز با امپدانس فیلتر dc از حال رزونانس خارج نمود و جلوی رزونانس را گرفت. در حالیکه در اوایل اجرایی شدن لینک های HVDC گاهی اوقات از راکتورهای بزرگ (در محدوده ۱۰۰۰ mH یا بالاتر)، استفاده می شد اندازه راکتور در لینک های DC

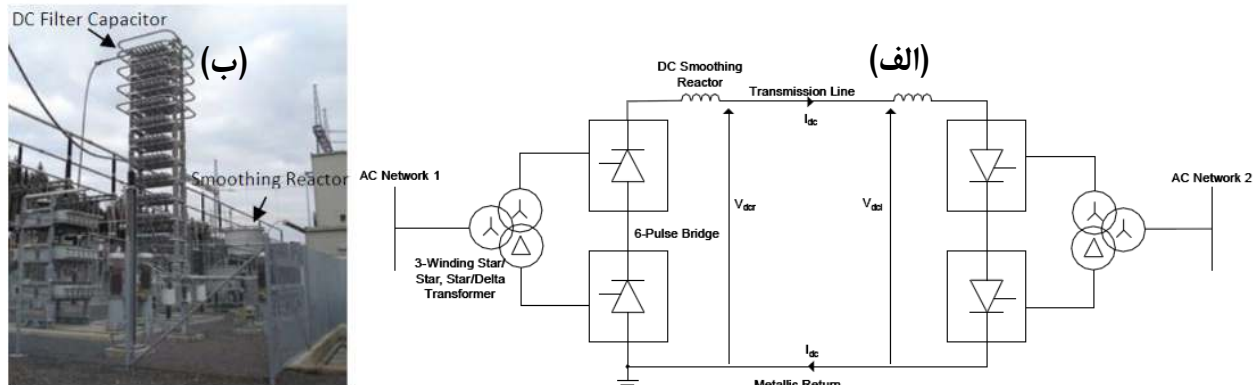
اخیر در محدوده ۳۰۰ - ۱۰۰ mH برای فاصله های طولانی، و از صفر تا ۸۰ mH در یک طرح پشت به پشت<sup>۱</sup> کاهش یافته است. این کاهش ممکن است دلایل مختلفی از جمله عملکرد کنترل دیجیتال نسبت به کنترل های آنالوگ، عملکرد بهتر فیلترهای dc tuned چندانگانه از فیلترهای تک تنظیم شده، و غیره داشته باشد.

گرچه امکان اجرای یک طرح HVDC بدون استفاده از یک راکتور هموار ساز حداقل در اتصال پشت به پشت، به دلیل ولتاژ اتصال کوتاه ۱۰-۲۰٪ و امپدانس ناشی ترانسفورماتور وجود دارد لیکن در هر صورت، توصیه نمی شود و در انتقال از طریق خطوط یا کابل هوایی بلند، راکتور هموار سازی احتمالا ضروری است.

**اهداف پروژه/طرح:** هدف امکان سنجی و تدوین دانش فنی طراحی، ساخت و بکارگیری راکتورهای هموار ساز است. انتخاب طراحی راکتور هموار ساز در یک پست HVDC، بسیار چالش برانگیز است. چالشهایی از قبیل اینکه چه اندازه ای باید داشته باشد؟ کجا بایستی نصب شود؟ آیا اصولا مورد نیاز است یا خیر؟ هیچ قاعده بین المللی پذیرفته شده برای تعیین اندازه مناسب راکتور هموار ساز وجود ندارد. انتخاب، بیشتر بر اساس نتایج مطالعات طراحیهای مختلف و تجربه عملی موجود است. علاوه بر این، اندازه راکتور باید در طراحی کامل ایستگاه و در کنار امپدانس ناشی ترانسفورماتور مورد ارزیابی قرار گیرد.

### چکیده پروژه/طرح:

اگر یک راکتور هموار ساز بزرگ در سمت DC واقع شده باشد، ولتاژ AC به طرف DC منتقل می شود، که منجر به پالس های دائمی جریان DC می شود و بنابراین طرف DC به عنوان منبع جریان عمل می کند. این نوع مبدل به عنوان مبدل منبع جریان (CSC) شناخته شده است. CSC-HVDC عموما بر اساس تکنولوژی تریستور است. تریستورها با صدور یک سیگنال کنترل می توانند روشن شوند، اما هنگامی که جریان از طریق تریستورها متوقف می شود، می توان آن را خاموش کرد. لذا CSC-HVDC نیاز به یک منبع ولتاژ قوی AC برای تعویض جریان بین رشته تریستور هادر مبدل دارد. بنابراین مبدل CSC-HVDC گاهی اوقات به عنوان LCC-HVDC نامیده می شود. شکل شماره ۱ نمودار تک خطی مبدل منبع جریان به همراه محل نصب راکتور هموار ساز را نشان می دهد.



شکل ۱: (الف) نمودار تک خطی مبدل منبع جریان و (ب) محل نصب راکتور هموار ساز

VSC-HVDC می تواند جریان خود را بین ولوهای مبدل برقرار کند؛ چرا که ولوها شامل IGBT ها هستند که قابلیت خاموش شدن دارند. بنابراین مبدل VSC-HVDC نیز به عنوان مبدل خود سوئیچ (SCC) طبقه بندی شده است. این نوع راکتورها عموما در سیستم CSC-HVDC کاربرد دارند و در مبدل VSC-HVDC یا وجود ندارند و یا کوچک هستند.

شکل زیر نمونه ای از راکتورهای هموار ساز دررا نشان می دهد:

به طور کلی دو نوع راکتور وجود دارد:

- راکتورهای هواخنک
- راکتورهای غوطه ور در روغن

راکتور خشک هوایی برای طراحی مقادیر کوچک مقرون به صرفه است. مزیت این نوع راکتور، امکان نگهداری واحدهای یدکی (تا آنجا که لازم است) است، زیرا معمولا شامل چندین کویل سری است. از سوی دیگر، راکتورهای خشک در معرض آلودگی هستند. در مناطق زلزله خیز، بعلا دارا بودن یک پلتفرم عایق بلند، بسیار مشکل خطر ساز است. راکتور نوع خشک بدون نیاز به نگهداری و بدون خطر آتش سوزی است که عوامل مهمی در ارزیابی هستند. شکل ۲ ابعاد و شمای راکتورهای هموار ساز خشک هسته هوایی در سطح ولتاژ ۸۰۰ و ۱۱۰۰ کیلوولت را نشان می دهد.



شکل ۲ راکتور هموار ساز خشک ۸۰۰ کیلوولت (الف) در حال تست در (ب) در محل سایت و (پ) راکتور CHINA ENERGY EQUIPMENT CO., LTD  $\pm 1100$  کیلوولت ساخت شرکت (BPEG ( Beijing Power Equipment Group

راکتور غوطه ور در روغن برای طراحی مقادیر بزرگ اندوکتانس، مقرون به صرفه است. به زمین لرزه مقاوم است. فقط پوشش‌ینگها در معرض آلودگی قرار دارند. تعمیر و نگهداری و قطعات یدکی آن گران است و شبیه به ترانسفورماتور نیازمند تعمیر و نگهداری دوره ای، رطوبت زدایی و غیره بوده و خطر آتش سوزی نیز دارد. در صورتی که راکتور از یک هسته آهن استفاده می کند اشباع راکتور در جریان های بالا نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

تولید نویز و محل نصب نیز پارامتر مهم دیگری در انتخاب نوع راکتور است. هرچند هنوز اختلاف نظر وجود دارد که کدام نوع راکتور نسبت به دیگری مطلوب تر است لیکن با توجه به شرایط کشور ما و اینکه کدام نوع مبدل در آینده توسعه شبکه برق کشور انتخاب و در کجا قرار است استفاده شود نیز امکان تصمیم گیری بین نوع روغنی و خشک و همچنین سایز طراحی وجود ندارد و نیازمند مطالعه ریشه ای است. بنابراین همیشه انتخاب یکی از دو گزینه از پروژه ای به پروژه دیگر مطرح خواهد بود.

## مراحل و روش های انجام پروژه/طرح:

فاز صفر شامل مطالعات توسعه فناوری راکتورهای هموار ساز، یعنی تنوع پذیری استفاده از راکتورهای هموار ساز، بررسی تجربیات استفاده از راکتورهای هموار ساز در کشورهای مختلف و مطالعات تطبیقی، تبیین ابعاد موضوع و محدوده مطالعات و تبیین مشخصه های فناوری راکتورهای هموار ساز است.

در این بخش با توجه به مشکلات و چالش هایی که در طراحی و بهره برداری پستهای HVDC وجود دارد، توجه پذیری استفاده از فناوری راکتورهای هموار ساز در انواع پستهای HVDC بیان خواهد شد. همچنین چالش ها و الزاماتی که در استفاده از این فناوری وجود دارد متناسب با نیازمندیهای شبکه HVDC در افق زمانی کوتاه مدت، بلند مدت یا میان مدت مطرح است مشخص شد و نهایتاً سطح مورد نیاز تحلیل فنی و مطالعاتی تا نیل به دانش طراحی و ساخت مورد بررسی قرار می گیرد. زمان این مرحله ۳ ماه بوده است.

مرحله دوم شناخت دانش فنی و چالشهای طراحی و ساخت در داخل کشور است. در این بخش انواع فناوریهای راکتورهای هموار ساز بیان شد. روشهای جدید و در حال توسعه و انواع سیستمهای موجود و اجزای مرتبط با آن در این بخش معرفی شد. با شناخت چالشهای طراحی و ساخت در داخل کشور، سناریویی که باید به عنوان هدف، متناسب با نیاز کشور و امکان ساخت داخل آن انتخاب شود معرفی شد. زمان این مرحله ۴ ماه بوده است.

مرحله سوم امکان سنجی طراحی و ساخت و برآورد قیمت بود. متناسب با سطح پیچیدگی دانش فنی مورد نیاز، افراد خبره حاضر در کشور و امکان همکاری با ایشان، امکان سنجی فنی و بازرگانی جهت انجام طراحی منتخب بند قبل (نوع و اندازه راکتور) صورت گرفت تا توجیه تخصیص وقت و سرمایه در مقایسه با مشابه خارجی ارائه گردد. زمان این مرحله ۳ ماه بوده است.

مرحله چهارم شامل تدوین نقشه راه طراحی و ساخت به صورت تدوین پروژه های اجرایی و ارائه زمان بندی فنی و مالی است. نقشه راهی که در این بخش ترسیم می گردد، مشخص می کند که در افق زمانی تحلیل، چه پروژه هایی باید توسط چه مجریانی صورت پذیرد تا ساخت راکتور مذکور عملی گردد. زمان این مرحله ۲ ماه بوده است.

مرحله پنجم شامل تدوین دانش فنی تئوری طراحی و ساخت (طراحی مقدماتی) است و در این مرحله از طریق انجام شبیه سازیهای اجزا محدود، نتایج تئوری در بوته آزمایش قرار گرفت و دانش فنی ساخت نمونه پروتوتایپ حاصل شد.

در این مرحله مطالعات حرارتی، توزیع میدانی و انواع نیروهای حاصل از اتصال کوتاه و جریان دائمی مورد بررسی قرار گرفته و طراحی بهینه جهت ساخت نمونه آزمایشگاهی استخراج می گردد. این مرحله شامل مطالعات اجزای محدود (دو بعدی و طراحی اولیه) به شرح ذیل است.

- شبیه سازی میدانهای الکترومغناطیسی
- شبیه سازی حرارتی و خنک سازی
- شبیه سازی نیروهای الکترومغناطیسی

**اهم نتایج به دست آمده از انجام پروژه/ طرح (خروجی های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش های فنی و ...):**

نتایج به صورت ۵ گزارش مرحله ای استخراج و ارائه گردیده اند. به مقاله کنفرانسی هم به صورت انگلیسی در سی و پنجمین کنفرانس مهندسی برق ارائه گردیده است که تاییدیه آن به شرح ذیل است.



جمهوری اسلامی ایران  
وزارت نیرو

۱۴۰۱/۰۵/۰۲

۳۴۶۴/۱۱۴۷۱

کواچی می شود:

جناب آقای **علی کدیور** مقاله ارزشمند شما با عنوان:

**Study of thermal behavior of an air-core smoothing reactor designed for the Iran's future HVDC network**

بوسیله هیأت داوران و کمیته علمی در **سی و ششمین کنفرانس بین المللی برق** مورد پذیرش قرار گرفت و پس از ارائه بصورت **شغاهی** در مستندات این کنفرانس به ثبت رسید.

با ابراز خرسندی و تبریک به این مناسبت، از خداوند متعال سلامت و توفیق روز افزون شما را مسئلت می نمایم.

اطمینان دارد با استمرار این کوششها در جهت افزایش توانمندی های علمی و پژوهشی کشور گام های مؤثری

برداشته خواهد شد.

**غیاث الدین**  
پرویز غیاث الدین  
دبیر کمیته اجرایی