پژوهشگاه نیرو	**فرم تشریح پروژه واگذاری** **RFP32-20 (Edition2)**	شرکت توانیر
عنوان پروژه:	**طراحی، احداث و بهره برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
عنوان طرح:	**طراحی، احداث و بهره‌برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
واحد اجرایی:	**مرکزتوسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا**	
برآورد مدت زمان اجرای پروژه: ۴۲ ماه		

تبیین و تشریح پروژه همراه با ذکر مراحل کلی:

فناوری خطوط HVDC به معنای انتقال توان الکتریکی با ظرفیت بالا بین دو یا چند نقطه از شبکه با جریان مستقیم (DC) برای اولین بار در دهه‌ی ۱۹۳۰ میلادی در سوئد و آلمان مورد استفاده قرار گرفته و امروزه در اکثر کشورهای پیشرفته و حتی کشورهای درحال توسعه (از قبیل کنگو، نامیبیا، فیلیپین، اوکراین، عربستان و ...) از این فناوری برای انتقال توان در ظرفیت‌های بالا استفاده می‌شود. خطوط HVDC دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند که باعث می‌شود در بعضی از کاربردها نسبت به خطوط AC هم از لحاظ فنی و هم از لحاظ اقتصادی ارجح باشند. بعضی از این کاربردها به شرح زیر است:

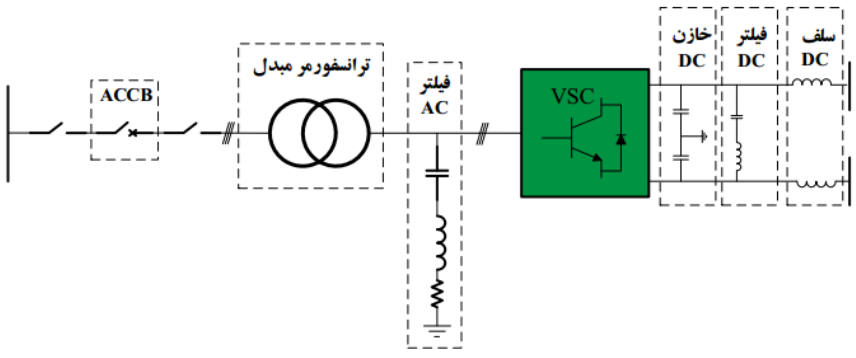
- انتقال توان با مسافت و ظرفیت بالا
- اتصال الکتریکی به کشورهای دیگر
- افزایش کنترل‌پذیری و پایداری شبکه
- انتقال توان از مسیرهای زیردریا

هم‌اکنون در زمینه‌ی خطوط HVDC دو نوع فناوری وجود دارد: فناوری کلاسیک یا LCC که در آن به‌طور معمول از تریستور برای کلیدزنی استفاده می‌شود، مبدل‌های آن از نوع منبع جریانی هستند (CSC) و برای انتقال توان با احجام خیلی بالا (معمولا بالاتر از ۵۰۰ مگاوات) کاربرد دارد؛ و فناوری VSC-HVDC که در آن از IGBT برای کلیدزنی استفاده می‌شود، مبدل‌های آن از نوع منبع ولتاژی هستند (VSC) و امکان انتقال توان با احجام پایین‌تر را نیز ممکن می‌سازند.

هدف از اجرای طرح پیشنهادی طراحی، ساخت، نصب و بهره برداری از یک سامانه HVDC یک مگاواتی است که علاوه بر کسب دانش فنی طراحی، ساخت و بهره‌برداری از مبدل‌های VSCچندسطحی ماژولار ولتاژ متوسط(MMC)، دانش بهره‌برداری از خطوط HVDC را در کشور ایجاد خواهد کرد.

در پروژه پیشنهادی، هدف طراحی و ساخت و بهره‌برداری از یک سیستم HVDC بر مبنای VSC تک قطبی متقارن می‌باشد. یک سیستم HVDC تک قطبی متقارن به سه بخش عمده تقسیم می‌گردد. پست فرستنده، پست گیرنده و خطوط HVDC. مبدلهای الکترونیک قدرت در پستهای فرستنده و گیرنده قرار می‌گیرند و هادی‌های HVDC، لینک HVDC مبدلهای فرستنده و گیرنده را به یکدیگر متصل می‌کنند. در شکل (۱)، تجهیزات موجود درپست مبدل نشان داده شده است. اگر ولتاژ سمت HVAC برای تبدیل به ولتاژ HVDC کافی باشد، ترانسفورماتور مبدل می‌تواند حذف گردد.

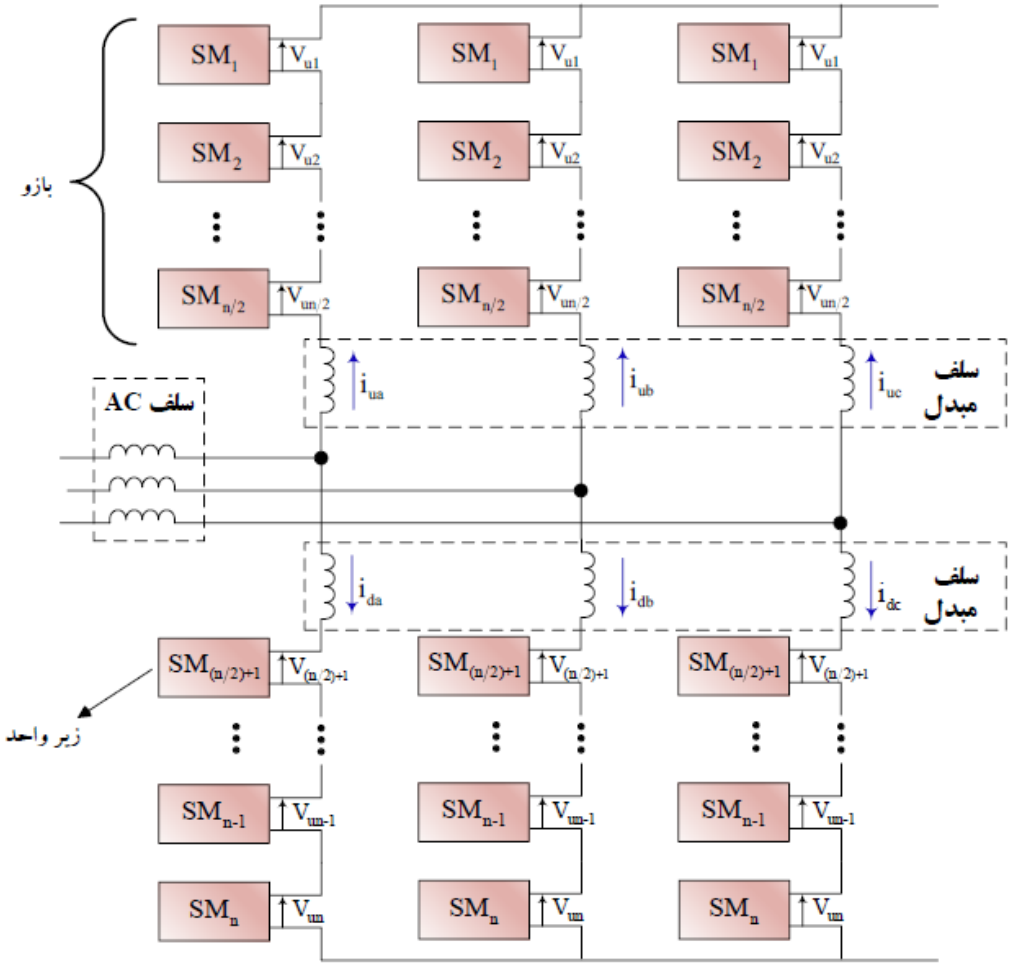
مهمترین بخش یک سیستم HVDC، مبدلهای الکترونیک قدرت می‌باشد. در مبدلهای نوع VSC، ساختار قدرت مبدلها در پستهای گیرنده و فرستنده مشابه هم بوده و تنها در بخش کنترل، تفاوتهای جزئی وجود دارد.



شکل(۱): تجهیزات اصلی پست VSC

پژوهشگاه نیرو	**فرم تشریح پروژه واگذاری** **RFP32-20 (Edition2)**	شرکت توانیر
عنوان پروژه:	**طراحی، احداث و بهره برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
عنوان طرح:	**طراحی، احداث و بهره‌برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
واحد اجرایی:	**مرکزتوسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا**	

به دلیل بالا بودن ولتاژ HVAC و همچنین محدودیت ولتاژ شکست نیمه‌هادی‌های الکترونیک قدرت، معمولا از مبدل‌های چندسطحی برای دستیابی به ولتاژ HVDC استفاده می‌شود. بسیاری از سیستم‌های HVDC با توان و ولتاژ بالا که در دنیا اجرا شده و در دهه اخیر به بهره‌برداری رسیده است، از مبدلهای منبع ولتاژ چند سطحی ماژولار که اصطلاحا MMC نامیده می‌شود، استفاده نموده‌اند. شکل (۲) توپولوژی یک مبدل MMC را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود هر بازوی این مبدل از تعدادی سلول به همراه یک سلف تشکیل شده است. هر سلول خود یک مبدل پایه است و ویژگی‌های سلول در واقع مشخص‌کننده‌ی ویژگی‌های مبدل MMC است. برای اتصال مبدل MMC به شبکه، از سلفهای AC استفاده می‌شود. این سلفها علاوه بر کاهش دادن هارمونیکهای جریان تزریق شده به شبکه AC، می‌توانند سطح اتصال کوتاه مبدل را نیز محدود سازند.



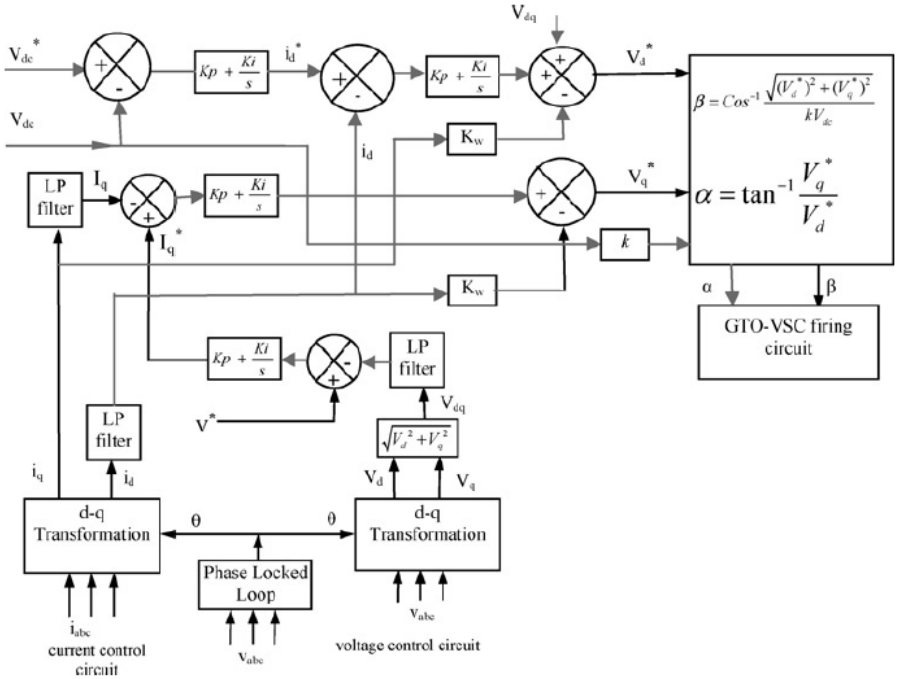
شکل(۲): ساختمان مبدل چند سطحی ماژولار

کنترل مبدل VSC-MMC، قسمتی حیاتی در موفقیت کنترل دینامیکی توان اکتیو و راکتیو به همراه ولتاژ HVDC است. بسته به ملزومات بهره‌برداری، نوع کاربرد، پیکربندی سیستم و کاهش تلفات پارامترهای کنترلی ضروری برای دستیابی به کارکرد مطلوب تعیین می‌شوند. تاکنون روش‌های کنترلی بسیاری برای مدار قدرت پیشنهاد شده است. در طراحی سیستم کنترلی باید قابلیت اطمینان، هزینه و راحتی پیاده‌سازی و ماژولاربودن، عدم نویزپذیری، و ایمن بودن در برابر EMI در نظر گرفته شوند.

پژوهشگاه نیرو	**فرم تشریح پروژه واگذاری** **RFP32-20 (Edition2)**	شرکت توانیر
عنوان پروژه:	**طراحی، احداث و بهره برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
عنوان طرح:	**طراحی، احداث و بهره‌برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
واحد اجرایی:	**مرکزتوسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا**	

سیستم کنترل برای VSCهائی که به روش PWM کنترل می‌شوند (عمدتاً در رنج توانی متوسط و پایین)، به کمک تغییر دامنه و فاز سیگنال مدولاسیون m، دامنه و فاز ولتاژ خروجی VSC را تغییر می‌دهند. در این شیوه کنترلی، ولتاژ لینک DC ثابت نگاه داشته می‌شود.

برای رگولاسیون ولتاژ از دو کنترل حلقه بسته بنام‌های حلقه کنترل جریانی داخلی و حلقه کنترل ولتاژ خارجی استفاده شده است. حلقه کنترل کننده جریان داخلی با کلیدزنی مناسب، مرجع جریان دریافتی را دنبال می‌کند. کنترل کننده‌های مورد استفاده عمدتاً PI یا PID هستند و الگوریتم کنترلی در قاب گردان dq اجراء می‌شود. شکل (۳) یک نمونه پیاده‌سازی این شیوه کنترلی در مبدل‌های VSC را نشان می‌دهد.



شکل (۳): یک نمونه پیاده‌سازی سیستم کنترلی در مبدل‌های VSC

در فرآیند طراحی و پیاده‌سازی سیستم کنترلی، سیگنال‌های ورودی فراوانی مورد نیاز است. بدین منظور ابتدا ولتاژهای ضروری AC و DC و جریان های مورد نیاز اندازه‌گیری می‌شوند. در مرحله بعد این سیگنال‌ها پردازش می‌شوند. در این مدارها عموماً از حلقه قفل فاز (PLL) برای به دست آوردن اطلاعات فاز و فرکانس مؤلفه اصلی توالی مثبت ولتاژ سیستم (که VSC باید با آن سنکرون شود) استفاده می‌شود. در مرحله بعدی سیگنال‌های کنترلی بر اساس نقطه کار مد نظر تعیین می‌گردد و سپس، در مرحله آخر، سیگنال‌های گیت به سوئیچ‌های نیمه‌هادی اعمال می‌گردد.

ولتاژها و جریان‌های لحظه‌ای (نظیر ولتاژهای لحظه‌ای باس PCC) ورودی‌های پایه‌ای به کنترل کننده‌ها هستند و عمدتاً توسط CT و PT یا سایر سنسورها اندازه‌گیری می‌شوند. ولتاژهای DC خازن‌ها و جریان سمت DC به کمک سنسورهای اثر هال یا سایر سنسورها اندازه‌گیری می‌شوند. سیگنال‌های جبران کننده عموماً در حوزه زمان یا فرکانس به دست می‌آید. سیگنال‌های حوزه زمان، جریان و ولتاژ اندازه‌گیری شده به کمک تبدیل هائی نظیر dq یا αβ جداسازی می‌شوند. مقادیر تبدیل شده به کنترل کننده هائی نظیر PI یا PID اعمال می‌گردند تا سیگنال جبران ساز محاسبه شود.

شرایطی نظیر کاربرد، ملزومات بهره‌برداری و استراتژی کنترل، ظرفیت اجزاء مختلف VSC-MMC نظیر خازن‌های DC،

پژوهشگاه نیرو	**فرم تشریح پروژه واگذاری** **RFP32-20 (Edition2)**	شرکت توانیر
عنوان پروژه:	**طراحی، احداث و بهره برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
عنوان طرح:	**طراحی، احداث و بهره‌برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**	
واحد اجرایی:	**مرکزتوسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا**	

اندوکتانس کوپلینگ و مبدل الکترونیک قدرت را تعیین می‌کند. سوئیچ‌های با قابلیت کموتاسیون خودی (نظیر GTO، IGBT، IGCT و....) و دیود موازی معکوس آنها تشکیل یک سلول مبدل MMC را می‌دهند. بسته به ظرفیت ولتاژ و جریان سوئیچ‌ها، تعدادی از سلولها به صورت سری (یا موازی) بسته می‌شوند تا به ظرفیت ولتاژ و جریان مناسب دست یافته شود.

مقدار موثر ظرفیت جریانی به محدودیتهای جریان خروجی AC مبدل ارتباط دارد. این در حالی است که مقدار پیک جریان به محدودیت‌های سوئیچ در کموتاسیون خودی وابسته است. تلفات مبدل الکترونیک قدرت پارامتر مهمی است که بازده کلی مبدل را کاهش می‌دهد. تلفات مبدل الکترونیک قدرت به ترتیب با فرکانس سوئیچینگ و ولتاژ DC رابطه مستقیم و مجذور دارد. برای کاهش تلفات در این مبدل، فرکانس سوئیچینگ و اندیس مدولاسیون به ترتیب می‌بایستی حداقل و حداکثر باشند.

در سیستم کنترلی که قرار است طراحی شود موارد زیر در نظر گرفته می‌شوند:

کنترل‌کننده مناسب سیستم حلقه بسته

آنالیز سیگنالهای ورودی و خروجی

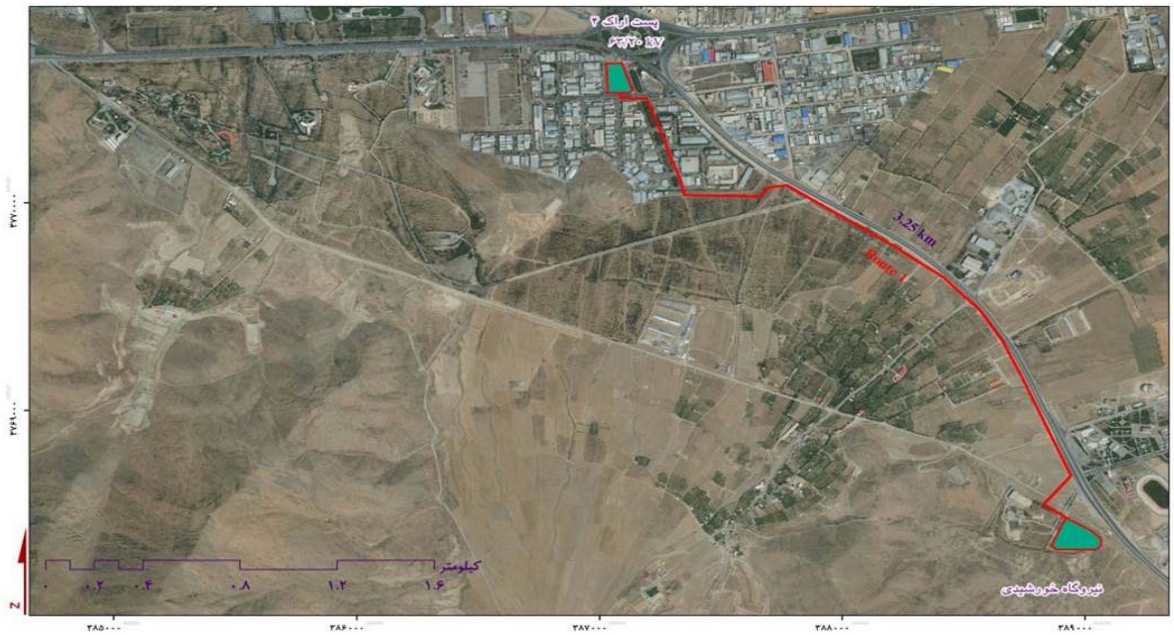
وجود سیستم مونیتورینگ مناسب

حفاظت از سیستم

جزئیات فنی نهایی مبدل در اسناد مناقصه نهایی طرح موجود است.

بخش مهم دیگر در این پروژه، طراحی و احداث ساختمان پستهای فرستنده و گیرنده می‌باشد. با توجه به ابعاد تابلوهای مبدلهای الکترونیک قدرت و تجهیزات وابسته به آن مانند سیستمهای خنک کننده، تابلوی سوئیچگیر، تابلوی کنترل و مانیتورینگ، فیلترهای پسیو مختلف، اتاق بهره‌بردار و کاربر و ...، ساختمان پست طراحی می‌شود. جزئیات فنی ساختمان در اسناد مناقصه نهایی موجود است.

مرحله مهم دیگر، احداث خط کابلی HVDC است. شکل (۴) مسیر انتخاب شده جهت احداث خط کابلی را نشان می‌دهد. طول خط کابلی حدودا ۴ کیلومتر حدفاصل بین نیروگاه خورشیدی ۱ مگاواتی اراک تا پست فوق‌توزیع اراک ۴ می‌باشد. همچنین احداث فیبر نوری در مسیر خط برای کنترل همزمان و هماهنگ دو مبدل VSC در دو پست مورد نیاز است که در زمان حفر کانال جهت نصب کابل‌های DC، نصب و تست خواهد شد.



شکل (۴): مسیر انتخاب شده برای اجرای پایلوت خط HVDC یک مگاواتی

پژوهشگاه نیرو	**فرم تشریح پروژه واگذاری** **RFP32-20 (Edition2)**	شرکت توانیر

عنوان پروژه:	**طراحی، احداث و بهره برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**
عنوان طرح:	**طراحی، احداث و بهره‌برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**
واحد اجرایی:	**مرکزتوسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا**

مراحل اجرا طرح:

۱- بازدید از سایت، مسیریابی، مطالعه ژئوتکنیک و نقشه برداری

۲- انجام مطالعات، شبیه‌سازی و طراحی مقدماتی سیستم HVDC

۳- طراحی تفصیلی و تهیه نقشه های اجرایی

۴- تعیین تجهیزات مورد نیاز و مشخصات فنی آنها

۵- تجهیز کارگاه و ایجاد سایت پروژه

۶- تهیه و تامین تجهیزات پست‌های 20/10 kV (خرید تجهیزات یا ساخت و اجرای آنها)

این مرحله، مهمترین بخش طراحی و اجرای طرح می‌باشد. برای انجام این بخش، حضور تیم تخصصی و توانمند الکترونیک قدرت ضروری است. این تیم می‌تواند داخلی، خارجی و یا ترکیبی از این دو باشد.

۷- احداث ساختمان پست‌ها

۸- نصب تجهیزات پست‌ها

۹- تهیه و تامین کابل و تجهیزات خط DC

۱۰-پاکسازی، آماده سازی و حفاری مسیر کابلکشی

۱۱-اجرای کابل کشی از پست نیروگاه ۱ مگاواتی تا پست فوق توزیع اراک ۴

۱۲-پاک‌سازی و جمع آوری مواد مازاد در محدوده خط DC

۱۳-تست عملکردی تجهیزات

۱۴-انجام تستهای اولیه سیستم، بررسی نهایی، کنترل، آزمایش و راه اندازی

۱۵-رفع معایب، تحویل موقت و آموزش بهره‌بردار

۱۶-برچیدن کارگاه و ارائه مستندات

۱۷-یک سال دوره گارانتی.

مشخصات محصول نهایی(خروجی مورد انتظار):

- آیا خروجی پروژه از نوع نرم‌افزار است؟ □ بله □ خیر
- ولتاژ نامی: ۲۰ کیلوولت
- دامنه عملکرد ولتاژ ±۱۰٪ مقدار نامی
- حداکثر ظرفیت نامی خط HVDC: 1 مگاوات
- حداکثر ظرفیت نامی مبدل MMC: 1.2 مگاولت-آمپر
- فرکانس نامی: ۵۰ هرتز
- ساختار: مبدل‌های چند سطحی ماژولار با قابلیت انتقال توان دو طرفه
- سیستم خنک کننده ترجیحا آبی
- محدوده دمای کاری با توجه به شرایط محیطی محل نصب. (در دمای بالاتر از $40^{\circ}C$ سیستم کاهش ظرفیت خواهد داشت (Derate).
- تجهیز VSC-MMC در محفظه بسته (تابلو)
- ولتاژ DC مبدل: ۳۰ الی ۳۶ کیلوولت

پژوهشگاه نیرو	**فرم تشریح پروژه واگذاری** **RFP32-20 (Edition2)**	شرکت توانیر

عنوان پروژه:	**طراحی، احداث و بهره برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**
عنوان طرح:	**طراحی، احداث و بهره‌برداری آزمایشی از سامانه HVDC مقیاس کوچک یک مگاواتی**
واحد اجرایی:	**مرکزتوسعه فناوری سامانه‌های انتقال توان با ظرفیت بالا**

- قابلیت کنترل توان راکتیو در سمت AC
- قابلیت کارکرد بصورت متصل به شبکه و جزیره‌ای، به همراه تشخیص مُد کاری
- مطابق با دستورالعمل توانیر جهت اتصال مبدلهای الکترونیک قدرت به شبکه و همچنین استانداردهای زیر در بخشهای مختلف:

IEC 60146-1&2 (2009), IEC 62477-1(2012) , IEC TR 62543(2011), IEC 62751-1 (2014), IEC TS 61973 (2012), IEC 61158, GB/T 35745 (2017), DL/T 1513 (2016), DL/T 1526 (2016), DL/T 1582 (2016... ,)

الزامات شرکت در فراخوان:

- تکمیل فرم ارائه سوابق علمی و اجرایی محقق دانشگاهی (TDF03)
- مطالعه دستورالعمل قرارداد با دانشگاه‌ها (TDW07)
- تکمیل فرم پیشنهاد پروژه واگذاری دانشگاه‌ها (TDF08)

اطلاعات تماس:

☎ تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۰ داخلی ۴۳۶۴

☎ تلفن مستقیم: ۸۸۰۷۹۳۸۵

✉ آدرس پست الکترونیکی: bptc@nri.ac.ir