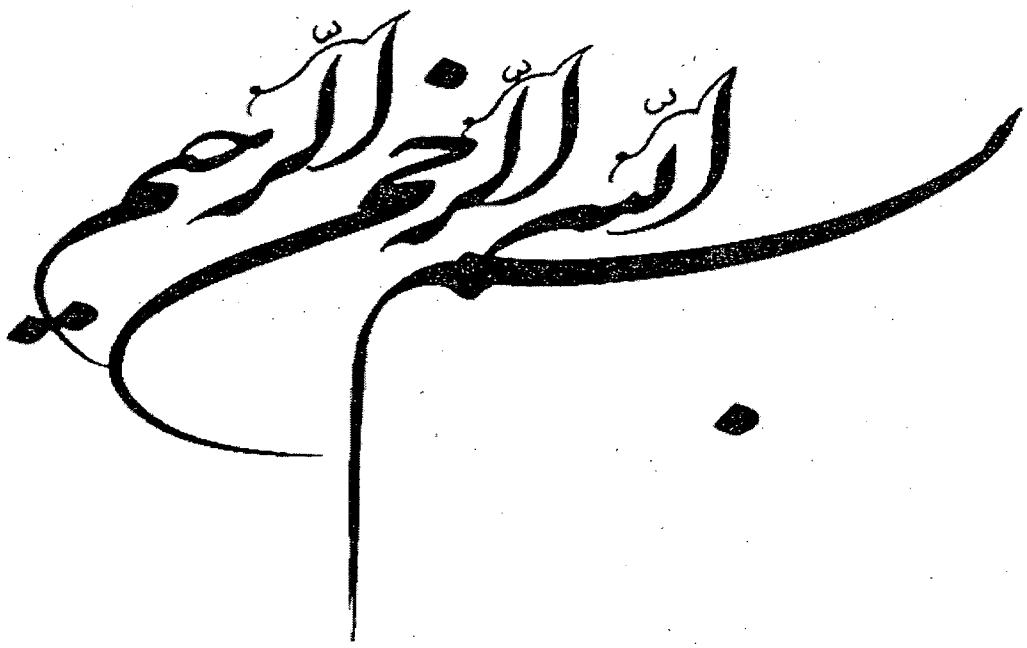


١٥٧٥٠٠

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی

برق ـ قدرت

حذف هارمونیک های جریان خط انتقال DC در سیستم های انتقال HVDC

تحقیق و نگارش

مهدی حاجی بیگی

استاد راهنما

دکتر مرتضی فرسادی

زمستان ۱۳۸۹

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
IRANDOC

۱۵۷۵۰۰

۲۳۹۰/۳/ ۵

پایان نامه خانم/آقای مهدی جب... به تاریخ ۱۴/۱۲/۸۹
شماره ۲-۴۹۶ ف. مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه ... عالی
و نمره ۱۹ قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران :

۲ - داور خارجی :

۳ - داور داخلی :

٤ - نماینده تحصیلات تکمیلی :

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

تقدیم به پدر و مادر مهربانم ...

نهال را باران باید
تا بشوید غبار نشسته بر برگهایش
و سیرابش کند از آب حیات

و آفتاب باید
تا بتاباند
نیرو را
و محکم کند
شاخه های تازه روییده را

به نام مادر

بوسه ای باید زد
دست هایی را
می شویند غبار خستگی روزگار را
و سیراب می کنند روح تشنه را

به نام پدر

بوسه ای باید زد
دست هایی را
که می تابانند
نیرو را
و محکم می کنند
استواری پایه های زیستن را

و تقدیم به برادرم ...

که چشمانش زلال چون آسمان و نگاهش نورانی چون آفتاب و دستان سخاوتش چون ابر و کلامش ترنم باران را داراست...

و ...

تقدیم به همه کسانی که به آنان **عشق** می‌ورزم ....

تقدیر و تشکر

لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر مهربانم و برادر عزیزم و تمامی همکلاسیهای گرامی و مهربانم و کلیه کسانیکه در دوران تحصیل در این دوره همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند کمال تشکر را بنمایم.

هم چنین از زحمات اساتید ارجمند جناب آقای دکتر مرتضی فرسادی استاد راهنمای پروژه و جناب آقای دکتر داریوش نظرپور که با راهنمایی های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

فصل اول ـ پیشگفتار ---------- ۱

۱-۱ معرفی موضوع تحقیق ---------- ۱

۱-۲ اهمیت موضوع تحقیق ---------- ٦

۱-۳ هدف موضوع تحقیق ---------- ۷

۱-٤ روش انجام تحقیق ---------- ۷

۱-۵ مراحل انجام تحقیق ---------- ۸

۱-٦ نتیجه گیری ---------- ۸

فصل دوم ـ مروری بر منابع و پیشینه موضوع تحقیق ---------- ۹

۲-۱ مروری بر ساختار و عملکرد اکتیو فیلتر DC هیبرید ---------- ۹

۲-۲ معرفی روشهای کنترل پیشین ارائه شده برای اکتیو فیلتر DC هیبرید ---------- ۱۳

۲-۳ نتیجه گیری ---------- ۱۷

فصل سوم ـ معرفی و تشریح کامل روش کنترل جدید ارائه شده برای اکتیو فیلتر DC هیبرید ---------- ۱۸

۳-۱ مقدمه ---------- ۱۸

۳-۲ معرفی روش کنترل ارائه شده در مرجع [۲] و تشریح ساختار و عملکرد آن ---------- ۱۸

۳-۳ تشریح چگونگی رفع ایرادات اساسی روش مرجع [۲] و بیان مزایای روش ارائه شده در این رساله ---- ۲۲

۳-٤ آنالیز تئوری برای تحقیق روش جدید کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید ---------- ۲۵

۳-۵ طراحی فیلتر F(s) ---------- ۳۰

۳-٦ تخمین دامنه نویز کلیدزنی ---------- ۳۱

۳-۷ تنظیم اندیس مدولاسیون و بدست آوردن محدوده انتخاب ولتاژ تغذیه DC قسمت فعال اکتیو فیلتر و محدوده انتخاب بهره فیلتر طراحی شده F(s) ---------- ۳۲

۳-۸ آنالیز پایداری روش جدید کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید ---------- ۳۵

۳-۹ نتایج شبیه سازی اکتیو فیلتر DC هیبرید با روش کنترل جدید ارائه شده در این رساله و تحلیل آنها --- ۳٦

۳-۱۰ بررسی ساختار سری اکتیو فیلتر DC و آزمایش روش کنترل جدید بر روی آن ---------- ٤۲

عنوان | فهرست مطالب | صفحه

۳-۱۱ نتیجه گیری ---------- ۴۷

۳-۱۲ ارائه پیشنهادات برای انجام تحقیقات آتی درباره موضوع تحقیق این رساله ---------- ۴۸

نتیجه‌گیری کلی پایان نامه ---------- ۴۹

ضمایم ---------- ۵۰

فهرست مراجع و منابع ---------- ۵۲

جدول (۱-۹-۳) : مقادیر RMS هارمونیکهای غالب جریان خط انتقال DC وقتی که اکتیو فیلتر DC هیبرید با روش کنترل جدید کار می کند ---------- ٤٠

جدول (۲-۹-۳) : مقادیر RMS هارمونیکهای غالب جریان خط انتقال DC وقتی که اکتیو فیلتر DC هیبرید با روش کنترل ذکرشده در مرجع [۲] کار می کند.---------- ٤٠

جدول (۳-۹-۳) : راندمان جبرانسازی هارمونیک اکتیو فیلتر DC هیبرید وقتی که با روش جدید عمل می کند ٤١

جدول (٤-۹-۳) : نتایج شبیه سازی روش ارائه شده در این رساله با مقادیر متفاوت برای بهره فیلتر F(s)---- ٤١

جدول (۱-۱۰-۳) : مقادیرRMS هارمونیک های غالب ولتاژ خط انتقال DC ---------- ٤٦

جدول (۲-۱۰-۳) : راندمان جبرانسازی هارمونیک اکتیو فیلتر DC سری---------- ٤٧

شکل(۱-۱-۲) : دیاگرام کلی سیستم انتقال HVDC ---------- ۹

شکل (۲-۱-۲) : سیستم انتقال HVDC و اکتیو فیلتر DC هیبرید با جزئیات بیشتر ---------- ۱۰

شکل (۳-۱-۲) : نمایش تعداد پالس یک مبدل یکسوساز ۱۲ پالسه ---------- ۱۱

شکل (۱-۲-۲) : سیستم HVDC و ساختار اکتیو فیلتر DC هیبرید ارائه شده در مرجع [۱۱] ---------- ۱۳

شکل (۲-۲-۲) : دیاگرام سیستم کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید ارائه شده در مرجع [۱۱] ---------- ۱٤

شکل (۳-۲-۲) : دیاگرام روش کنترل ارائه شده در مرجع [۲٦] ---------- ۱٦

شکل (۱-۲-۳) : دیاگرام اکتیو فیلتر DC هیبرید و روش کنترل آن ارائه شده در مرجع [۲] ---------- ۱۹

شکل (۱-٤-۳) : مدار معادل سیستم انتقال HVDC نمایش داده شده در شکل (۱-۲-۳) ---------- ۲۵

شکل (۲-٤-۳) : مدل مداری ایستگاه مبدل یکسوساز سیستم انتقال HVDC ---------- ۲٦

شکل (۳-٤-۳) : مدار معادل تونن شکل (۲-٤-۳) ---------- ۲٦

شکل (٤-٤-۳) : اعمال اصل جمع آثار وقتی که قسمت فعال اکتیو فیلتر در مدار نیست ---------- ۲۸

شکل (٥-٤-۳) : اعمال اصل جمع آثار وقتی که منبع ولتاژ $U_s(s)$ در مدار نیست ---------- ۲۹

شکل (٦-٤-۳) : روش کنترل جدید ارائه شده در این رساله ---------- ۲۹

شکل (۱-٥-۳) : منحنی مشخصه های فرکانسی فیلتر $F(s)$ ---------- ۳۰

شکل (۱-۹-۳) : شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز ۱۲ پالسه ---------- ۳٦

شکل (۲-۹-۳) : توپولوژی شبیه سازی مبدل HVDC ، پیاده سازی شده در محیط PSCAD/EMTDC --- ۳۷

شکل (۳-۹-۳) : مقایسه جریانهای $i_s(t)$ و $i_{LP}(t)$ و $i_L(t)$ ---------- ۳۸

شکل (٤-۹-۳) : مقایسه جریان جبرانساز تولیدی توسط اکتیو فیلتر DC هیبرید و جریان $i_s(t)$ ---------- ۳۹

شکل (٥-۹-۳) : مقایسه قدرت حذف هارمونیکی روش کنترل مرجع [۲] و روش کنترل ارائه شده دراین رساله ۳۹

شکل (۱-۱۰-۳) : ساختار اکتیو فیلتر DC سری برای حذف هارمونیک های ولتاژ خط انتقال DC ---------- ٤۲

شکل (۲-۱۰-۳) : مدار معادل شکل (۱-۱۰-۳) ---------- ٤۳

شکل (۳-۱۰-۳) : دیاگرام کنترل اکتیو فیلتر DC سری ---------- ٤٥

عنوان فهرست شکل‌ها صفحه

شکل (٤-١٠-٣) : مقایسه شکل موج ولتاژ هارمونیک جبرانساز تولیدشده توسط اکتیو فیلتر DC سری و مؤلفه AC ولتاژ U_t ---------- ٤٥

شکل (٥-١٠-٣) : شکل موج ولتاژ خط انتقال DC در دو حالت ---------- ٤٦

چکیده

در طی فرآیند تبدیل توان AC به DC و بالعکس که در اثر عمل کلیدزنی سوئیچ های ایستگاه های مبدلی سیستم انتقال HVDC انجام می‌گیرد ، هارمونیک‌های مشخصه در طرف DC ایستگاه های مبدلی سیستم انتقال HVDC که همان خط انتقال DC است ، تولید می‌شوند. این هارمونیک ها مراتب ۱۲ و ۲٤ و ۳٦ و ٤۸ از فرکانس AC شبکه یعنی فرکانس ۵۰ یا ٦۰ هرتز می‌باشند. مؤلفه AC یا مؤلفه هارمونیک جریان خط انتقال DC که روی مؤلفه DC آن سوار است ، دربرگیرنده هارمونیک های مذکور می‌باشد. هارمونیک های مشخصه باعث ایجاد تداخل در خطوط تلفن مجاور ، اعوجاج با ولتاژها و جریان های AC شبکه ، ایجاد اختلال در کار تجهیزات کنترلی و مانیتورینگ ، افزایش تلفات انتقال و آلودگی الکترومغناطیسی را سبب می‌شوند. از اینرو ، حذف مؤلفه هارمونیک جریان خط انتقال DC در سیستم انتقال HVDC امری بسیار مهم است. عمل حذف هارمونیک های مشخصه جریان خط انتقال DC توسط اکتیو فیلتر DC هیبرید انجام می‌گیرد. طراحی روش کنترل مناسب و بهینه برای کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید یک مسئله بسیارمهم و اساسی می‌باشد.

در این پایان نامه ، روش جدید اصلاح شده‌ای برای کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید جهت حذف هارمونیک های مشخصه یا غالب جریان خط انتقال DC ارائه شده است که دارای ساختار بسیار ساده‌ای است و تقریباً تمامی معایب روشهای کنترل ارائه شده‌ی پیشین را پوشش داده و علاوه بر این موارد دارای چند مزیت کلیدی جدید نیز می‌باشد.

آنالیزها و تجزیه و تحلیل های جامعی برای تحقیق روش کنترل اصلاح شده‌ی جدید انجام گرفته است. توپولوژی شبیه سازی اکتیو فیلتر DC هیبرید و سیستم انتقال HVDC توسط نرم افزار PSCAD/EMTDC پیاده سازی شده است. نتایج شبیه سازی بطور دقیق عملکرد اکتیو فیلتر برای حذف مؤلفه هارمونیک جریان خط انتقال DC را نمایش داده‌اند. آنالیزهای تئوری انجام شده ، نتایج شبیه‌سازی و یافته‌های این پایان نامه ، صحت ادعاهای ذکرشده را ثابت کرده است.

فصل اول ـ پیشگفتار

۱-۱ معرفی موضوع تحقیق

برای انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاهها به مصرف کنندگان، یک سیستم بهم پیوسته مورد نیاز میباشد. این سیستم شامل مراکز تولید انرژی ، ایستگاهها، خطوط انتقال و یا کابلها و مصرف کنندگان میباشد. به علت سهولت تولید و تبدیل ولتاژ و جریان متناوب AC نسبت به جریان مستقیم DC ، جریان متناوب سه فاز بعنوان جریان عمومی و عمده سیستم های قدرت پذیرفته شده و کلیه تجهیزات و لوازم الکتریکی مصرف کنندگان با این سیستم سازگار می باشند. تولید جریان مستقیم و تبدیل آن خصوصاً در مقادیر بزرگ، بسیار مشکل بوده و نسبت به جریان متناوب بسیار گران می باشد. اما انتقال انرژی الکتریکی با استفاده از سیستم های جریان مستقیم ولتاژ بالا (HVDC[1]) بعنوان مکمل سیستمهای AC و حتی در مواردی، جایگزین آنها مطرح می باشد. علاوه بر این، سیستمهای HVDC برای اتصال شبکه های ناهماهنگ و یا بهبود پایداری و حفظ سطح اتصال کوتاه شبکه های AC متصل به آنها با کنترل پذیری بالایی که دارند نیز استفاده می گردند [۳].

امروزه با توجه به پیشرفتهای وسیعی که در ساخت ادوات نیمه هادی با توان های بالاتر و قیمت های ارزانتر صورت گرفته است، انتقال به صورت HVDC بسیار مورد توجه قرار گرفته است. امروزه از سیستم های HVDC با توجه به ویژگی های خاص و مفیدشان بطور وسیعی در سیستم های قدرت استفاده میشود. تکنولوژی ساخت سیستم انتقال HVDC به دهه ۱۹۳۰ در کشور سوئد بازمیگردد. از اولین خطوط ساخته شده با این تکنولوژی میتوان به خط انتقال بین مسکو- کاشیرا اشاره کرد که در سال ۱۹۵۱ میلادی ساخته شد. امتیاز اصلی انتقال HVDC ، امکان انتقال مقدار زیادی انرژی در مسافتهای طولانی با تلفات و هزینه های کمتر در مقایسه با روش انتقال AC می باشد. فاکتور کنترل پذیری حتی بدون درنظرگرفتن هزینه، موجب اعتبار بیشتر انتقال DC میباشد که رشد روزافزون تعداد لینک های پشت به پشت مؤید این امر میباشد [٤]. استفاده از سیستم انتقال HVDC مزایای زیر را به همراه خواهد داشت [۱۰- ۷] :

---

[1]-High Voltage Direct Current

۱- در خطوط انتقال HVDC ، فقط به ۲ هادی نیاز است. یکی با ولتاژ مثبت نسبت به زمین و دیگری با ولتاژ منفی نسبت به زمین. ولی در خطوط جریان متناوب ولتاژ بالا (HVAC[۲]) حداقل به ۳ هادی نیاز است. میزان توان و ولتاژ انتقالی در خطوط DC و AC به شکل زیر میباشد:

$$P_{AC} = \sqrt{3} V I_{AC} \cos\varphi \qquad (۱-۱-۱)$$

$$I_{AC} = P_{AC} / \sqrt{3} V \cos\varphi \qquad (۱-۱-۲)$$

$$P_{DC} = 2 V I_{DC} \qquad (۱-۱-۳)$$

$$I_{DC} = P_{DC} / 2V \qquad (۱-۱-٤)$$

۲- قابلیت اطمینان در خطوط HVDC بیشتر از خطوط HVAC است. زیرا با وقوع خطا در یکی از دوسر خط، هنوز هم میتوان توان انتقالی را بدون هیچگونه مشکلی از طریق هادی دیگر منتقل نمود.

۳- خط HVDC نیاز به فضای کمتری نسبت به خط HVAC مشابه دارد (به دلیل کمتر بودن تعداد هادی نسبت به حالت AC) و در نتیجه نیاز به پایه های کوچکتری است. بنابراین هزینه نصب خطوط هم کاهش می یابد.

٤- خطوط HVDC به عایق بندی کمتری نسبت به خطوط HVAC نیاز دارد. زیرا حداکثر دامنه ولتاژ هر سیستم AC برابر است با:

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} V_{L-L} = 0.8 V_{L-L} \qquad (۱-۱-٥)$$

و حداکثر ولتاژ سیستم DC برابر است با:

$$\frac{V_{L-L}}{2} = 0.5 V_{L-L} \qquad (۱-۱-٦)$$

بنابراین تلفات کرونا و تداخل رادیویی در HVDC کمتر از HVAC است به همین دلیل کابلهای DC ارزانتر از کابلهای AC میباشند.

٥- مسئله حفظ سنکرونیزم یا همزمان سازی بین دو سیستم AC که بوسیله یک خط HVDC بهم متصل شده اند، وجود ندارد. همچنین نیاز به یکسان بودن فرکانسهای دو شبکه AC که با خط DC بهم متصل شده اند، نمی باشد.

---

[۲]-High Voltage Alternative Current

٦- توان انتقالی از یک خط DC را براحتی میتوان توسط تریستورهای یکسوکننده آن کنترل نمود و دریک مقدار معین ثابت نگه داشت.

۷- اگر در یکی از دو شبکه AC که با یک خط DC بهم متصل شده اند، اتصال کوتاهی رخ دهد، جریان اتصال کوتاه به شبکه دیگر منتقل نمیشود زیرا عموماً جریان اتصال کوتاه، یک جریان راکتیو است که در سیستم DC جریان راکتیو منتقل نمیشود ($\cos \varphi = ۱$).

۸- چون مقدار مقاومت خط DC کمتر از مقاومت خط AC است و نیز جریان راکتیو در خطوط DC وجود ندارد، تلفات خطوط HVDC کمتر از خطوط HVAC است.

۹- در خطوط HVAC ، توان انتقالی برابر $P = (V_1V_2 \sin\theta)/X$ است که به سبب حالتهای گذرای موجود دراین خطوط، باید زاویه θ در شرایط عادی کمتر از ۳۰ درجه باشد. بنابراین در خطوط AC با محدودیتهایی در طول خط و قدرت انتقالی مواجه هستیم که برای رفع این مشکل از خازنهای سری استفاده میشود. اما در خطوط HVDC محدودیت پایداری وجود نخواهد داشت.

۱۰- هرچند که هزینه خطوط HVDC به دلیل هزینه بالای مبدلهای AC/DC و DC/AC بسیار زیاد است ، اما برای خطوط طولانی بین ۹۰۰- ٦۰۰ کیلومتر و قدرتهای بیش از ۱۰۰۰ مگاوات ، هزینه های خطوط DC کمتر از خطوط AC خواهد بود. این موضوع برای کابلهای DC با ارقام کمتری مواجه است بطوریکه برای فواصل بیش از ۱۰۰- ۵۰ کیلومتر اقتصادی تر است.

۱۱- در سیستم HVDC قابلیت کنترل جریان برق افزایش خواهد یافت و سطح و مسیر نیروی برق را میتوان بسیار دقیق و وسیع کنترل نمود.

۱۲- وجود منابع تولید انرژی DC در شبکه.

۱۳- عدم نیاز به کنترل فرکانس مشترک در شبکه.

١٤- استفاده از زمین بعنوان سیم برگشت.

۱۵- نبودن اثر پوستی، بطوریکه در خطوط HVAC جریان بصورت یکنواخت در تمام سطوح هادی پخش نمی شود و چگالی جریان در لایه خارجی هادی بیشتر است اما در خطوط HVDC با داشتن جریان DC یکنواخت در کل سطح مقطع هادی ، دیگر اثر پوستی نداریم و از کل هادی بهره برداری صورت میگرد.

چند مورد از کاربردهای سیستم انتقال HVDC بصورت زیر میباشد[۱۰- ۹- ۷] :

۱- کابل های زیر دریا که طولانی تر از ۳۰ کیلومتر هستند. دراین مورد بعلت ظرفیت خازنی کابل که نیازمند پست های واسطه ای جبرانسازی است ، استفاده از انتقال بصورت جریان متناوب عملی نیست.

۲- ارتباط سنکرون یا هماهنگ بین دو سیستم جریان متناوب که بعلت مسائل پایداری یا اختلاف در فرکانسهای نامی دو سیستم، ناهماهنگ میباشند، با استفاده از خطوط جریان متناوب عملی نیست.

۳- انتقال مقادیر زیاد توان در مسافتهای طولانی بوسیله خطوط هوایی که در مسافتهای بالاتر از ۶۰۰ کیلومتر انتقال HVDC رقیبی برای جریان متناوب به شمار میرود.

٤- اتصال نیروگاههای دورافتاده مثل اتصال سدها به شبکه الکتریکی.

علی رغم مزیت های موجود، سیستم HVDC دارای یکسری مشکلات عمده نیز میباشد. بزرگترین عیب این سیستم گران بودن مبدل هاست. عیب دیگر محدودیت مبدل ها در مقابل اضافه بارهاست. عدم کاربرد در مسافت های کوتاه عیب دیگر این سیستم میباشد. یکی دیگر از مشکلات عمده و بسیارمهم سیستم های HVDC ، مشکل هارمونیک زائی این سیستم هاست که در اثر عمل کلیدزنی در طی پروسه تبدیل توان AC به DC و نیز DC به AC در مبدلهای HVDC ایجاد میشود. این هارمونیکها درهر دو طرف AC و DC این مبدلها ایجاد میشوند. این اعوجاج های هارمونیکی از یک طرف مبدل به طرف دیگر آن منتقل میشوند و باعث ایجاد اختلالهای هارمونیکی درطرف دیگر آن میشوند. این هارمونیک ها می توانند عوارض نامطلوبی در سیستم های HVDC و سیستمهای AC متصل به آنها ایجاد کنند که درصورت عدم حذف آنها عوارضی مانند تداخل در خطوط تلفن ، تولید اضافه حرارت خازنها و ژنراتورهای سنکرون ، ایجاد تشدید در شبکه و حتی شکستن محور توربین ها و کاهش دقت و عدم پایداری سیستمهای کنترل کننده و حفاظتی پدید می آید. جریان و ولتاژ خط انتقال DC دارای یک مؤلفه DC است که یک مؤلفه AC یا هارمونیک یا ریپل روی آن سوار است. در شرایط کار ایده آل، هارمونیک های مشخصه $n = PK$ (P تعداد پالس های مبدل و K عدد صحیح مثبت) در مؤلفه AC جریان و ولتاژ خط انتقال DC (همان طرف DC مبدل) و هارمونیکهای $n = PK \pm 1$ در طرف AC آن تولید میشوند [۵]. زمانی که مبدل تحت شرایط غیرایده آل همچون تغذیه نامتعادل یا تغذیه همراه با هارمونیک کار میکند، محدوده وسیعی از هارمونیک های غیرمشخصه درهردو طرف AC و DC مبدل تزریق می گردند [٦]. هارمونیک های مشخصه در مؤلفه AC

جریان و ولتاژ طرف DC مبدلهای سیستم HVDC ، باعث ایجاد تداخل در خطوط تلفن مجاور و ایجاد اعوجاج و تشدید با طرف AC شبکه، افزایش تلفات انتقال و ایجاد اختلال در کار تجهیزات کنترلی و مانیتورینگ میشوند. هارمونیکهای مشخصه قسمت اعظم دامنه مؤلفه AC جریان خط انتقال DC را شامل میشوند و دامنه آنها از هارمونیکهای غیرمشخصه بسیار بیشتر است. برای مثال، در یک مبدل یکسوساز ۱۲ پالسه ، طبق موارد فوق، هارمونیکهای مشخصه در مؤلفه AC یا ریپل جریان خط انتقال DC ، از مراتب ۱۲و ۲٤ و ۳٦ و ٤۸ و۰۰۰ خواهند بود. دامنه این چهار هارمونیک مشخصه ذکرشده بیشترین قسمت دامنه مؤلفه AC جریان خط انتقال DC را تشکیل میدهند [۲۷- ۱۱]. حذف مؤلفه AC (هارمونیک یا ریپل) جریان خط انتقال DC در سیستم های HVDC باتوجه به موارد فوق از اهمیت بسزایی برخوردار است. مرسوم ترین روش برای حذف مؤلفه هارمونیک جریان خط انتقال DC ، نصب فیلترهای پسیو یا غیرفعال است که بصورت شنت یا موازی به خط انتقال DC متصل میشوند. این فیلترها عموماً دارای ساختار RLC یا LC هستند. تحقق بخشی و پیاده سازی این فیلترها آسان است چرا که ساختار ساده ای دارند. نحوه حذف جریانهای هارمونیک توسط فیلتر پسیو بدین صورت است که این فیلتر بسته به نوع تک تنظیمه یا دو تنظیمه بودنش، حداکثر روی دو فرکانس هارمونیک (که عموماً مراتب ۱۲ و ۲٤ از ولتاژ شبکه یعنی ۵۰ یا ٦۰ هرتز میباشند) تنظیم میشود و در این فرکانسهای هارمونیک یک مسیر با امپدانس بسیار کم درست میکند تا جریان هارمونیک در ایستگاه HVDC بتواند اتصال کوتاه شده و نتواند وارد خط انتقال DC شود. علیرغم ساختار ساده و قابل تحقق فیلتر پسیو شنت، این نوع فیلتر حداکثر میتواند دو مرتبه از فرکانسهای هارمونیک را حذف نماید. ازطرف دیگر نمی توان از تعداد زیادی فیلتر پسیو برای حذف فرکانسهای هارمونیک در یک محدوده وسیع فرکانسی استفاده کرد زیرا با توجه به هزینه زیاد فیلتر پسیو از لحاظ اقتصادی این مورد مقرون به صرفه نیست. بعلاوه، فیلترهای پسیو فضای زیادی را جهت نصبشان اشغال میکنند و ۱۰ تا ۱۵ درصد هزینه های ایستگاه HVDC را شامل میشوند. پس دارای دو محدودیت اساسی هستند یعنی هزینه قابل توجهی دارند و فضای زیادی را اشغال میکنند. علاوه بر این موارد، عملکرد آنها به تغییرات در مقدار قطعات و تغییرات دما و امپدانس و فرکانس سیستم AC بشدت حساس است. برای جبران نواقص فیلترهای پسیو، تکنولوژی فیلترینگ اکتیو یا فعال در سمت DC مبدل های HVDC کاربرد گسترده ای یافته است. در مقایسه با فیلتر پسیو، اکتیو فیلتر DC یا فیلتر DC فعال قابلیت انعطاف بیشتری دارد تا با هزینه پائین تر و فضای اشغال شده کمتر، سیستم کنترل خود را با

تغییرات امپدانس و فرکانس سیستم وفق دهد. مزایای فیلترهای DC فعال نسبت به نوع پسیو یا غیرفعالشان عبارتند از:

۱- قدرت حذف هارمونیکی بالا برای هر هارمونیک در محدوده فرکانسی ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ هرتز.

۲- قیمت پائین تر وقتی که یک عملکرد فیلترینگ دقیقی مورد نیاز است.

۳- جبران تغییر یا بی ثباتی فرکانسی و تنظیم دوباره آن.

٤- فضای اشغال شده کمتر.

در سالهای اخیر در پروژه های HVDC ، برای حذف مؤلفه AC یا هارمونیکی جریان خط انتقال DC (یعنی طرف DC سیستم انتقال HVDC) از یک ساختار هیبرید که متشکل از یک فیلتر پسیو و یک فیلتر DC فعال است استفاده میشود. فیلتر DC فعال بصورت سری با فیلتر پسیو قرار میگیرد. در حالت کلی به این ساختار، اکتیو فیلتر DC هیبرید[۳] گفته میشود. این ساختار از هر دو قسمت فعال و غیرفعال و مزایای آنها بهره مند است. مزیت یک اکتیو فیلتر DC هیبرید به استراتژی کنترل آن وابسته است که چقدر سیستم کنترل آن میتواند خود را با تغییرات فرکانس و امپدانس سیستم وفق داده و قدرت حذف هارمونیکی بیشتری داشته باشد [۲۷- ۱۱]. تعیین هارمونیک های موجود در شکل موج جریان خط انتقال DC در سیستم های HVDC ، در طراحی اکتیو فیلترهای DC هیبرید مناسب برای حذف هارمونیکهای غالب یا هارمونیک های مشخصه که پیشتر بحث شد، اهمیت فراوانی دارد. علاوه بر این، طراحی روش کنترل مناسب و بهینه برای اکتیو فیلتر DC هیبرید که بتواند هارمونیک های غالب موجود در جریان طرف DC سیستم انتقال HVDC را بخوبی حذف نماید ، از اهمیت بسیار بیشتری برخوردار است.

۲-۱ اهمیت موضوع تحقیق

همانطور که در بخش قبلی اشاره شد، در اثر عمل کلیدزنی در طی پروسه تبدیل توان AC به DC و بالعکس در مبدلهای HVDC ، هارمونیکهای مشخصه یا غالب در مؤلفه AC یا مؤلفه هارمونیک جریان خط انتقال DC (طرف DC مبدل HVDC) تولید میشوند. این هارمونیکها باعث ایجاد تداخل در خطوط تلفن مجاور و ایجاد اعوجاج و تشدید با طرف AC شبکه، افزایش تلفات انتقال و ایجاد اختلال در کار تجهیزات کنترلی و مانیتورینگ

[۳]-Hybrid Active DC Filter

میشوند. بنابراین حذف مؤلفه AC جریان خط انتقال DC از اهمیت بسزائی برخوردار است. عمل حذف مؤلفه AC جریان خط انتقال DC توسط اکتیو فیلتر DC هیبرید انجام میگیرد. طراحی روش مناسب و بهینه برای کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید، جهت افزایش قدرت حذف مؤلفه هارمونیکی جریان خط انتقال DC دلیل انجام تحقیقات و مطالعات انجام گرفته در این رساله میباشد.

۱-۳ هدف موضوع تحقیق

در این رساله ، روش جدید اصلاح شده ای برای کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید جهت حذف مؤلفه AC یا مؤلفه هارمونیکی (یعنی هامونیک های غالب موجود در مؤلفه AC جریان خط انتقال DC که همان مراتب ۱۲ و ۲٤ و ۳٦ و ٤۸ میباشند) جریان خط انتقال DC پیشنهاد شده است که ساختار آن نسبت به روشهای کنترل پیشین که در سالهای گذشته ارائه شده است، بسیار ساده میباشد و تقریباً تمامی ایرادات موجود در روشهای کنترل پیشین را پوشش داده و علاوه بر این موارد دارای چند مزیت کلیدی جدید میباشد.

٤-۱ روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق صورت گرفته در این رساله بدین صورت است که ابتدا تمامی رفرنس ها یا مراجع تخصصی شامل مقالات تخصصی و کتب مرجع معتبر که ارتباط مفهومی کاملاً مستقیمی با موضوع پایان نامه داشتند گردآوری شد. سپس مطالعات گسترده و عمیقی بر روی آنها انجام شد. بر پایه مطالعات انجام گرفته، این نکته دریافت شد که رفرنس یا مرجع شماره [۲] این پایان نامه (که آخرین کار پژوهشی معتبر و تخصصی ارائه شده در ارتباط با موضوع این رساله بود) اغلب نقاط ضعف و ایرادات روشهای پیشین و قدیمی تر از خود را پوشش داده است. لذا عمده تمرکز مطالعات انجام شده (شامل آنالیزهای تئوریک، تجزیه و تحلیل داده ها و انجام شبیه سازیها) بر روی مرجع [۲] قرار گرفت و نقاط ضعف و ایرادات اساسی روش ارائه شده در مرجع [۲] مورد شناسایی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس بر پایه این ایرادات ، روش اصلاح شده ای برای کنترل اکتیو فیلتر DC هیبرید (برای حذف هارمونیک های غالب خط انتقال DC) در این پایان نامه پیشنهاد شد که مرتفع کننده ایرادات روش کنترل ارائه شده در مرجع [۲] می باشد و علاوه بر آن دارای چند مزیت جدید کلیدی و برجسته نسبت به روش ذکرشده در مرجع [۲] میباشد.

۱-۵ مراحل انجام تحقیق

۱- مطالعه و بررسی دقیق روشهای انجام شده پیشین با استفاده از مقالات و کتب تخصصی در حوزه پژوهش تحقیق انجام شده.

۲- مدلسازی سیستم انتقال HVDC و اکتیو فیلتر DC هیبرید و شبیه سازی آن با استفاده از روشهای انجام شده پیشین.

۳- طراحی روش کنترل جدید برای اکتیو فیلتر DC هیبرید جهت حذف هارمونیک های جریان خط انتقال DC در سیستم انتقال HVDC.

٤- انجام شبیه سازی سیستم با استفاده از روش کنترل جدید و بررسی نتایج آن برای اطمینان از صحت کارکرد روش جدید پیشنهاد شده.

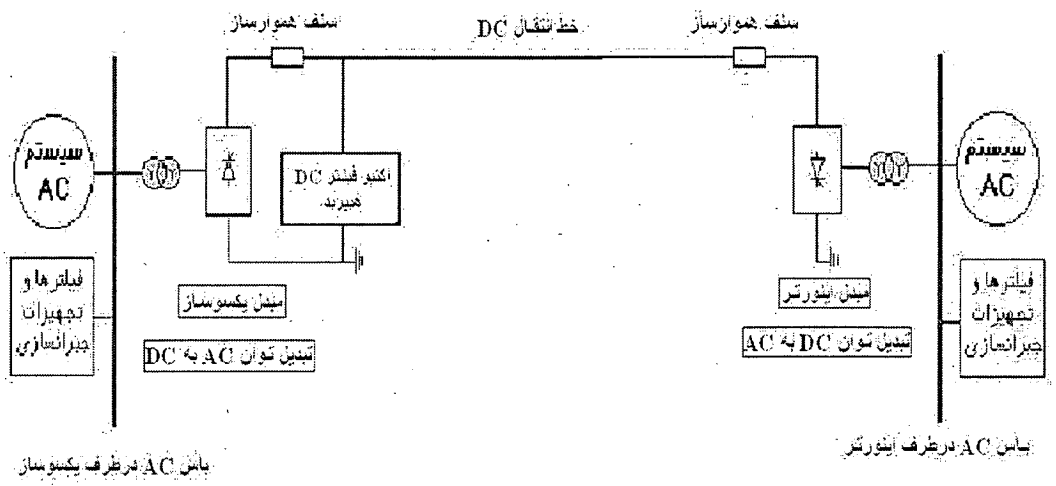
۱-٦ نتیجه گیری

در این فصل ابتدا موضوع تحقیق انجام شده در این رساله که در واقع بیان مسئله و معرفی موضوع تحقیق با مروری بر منابع تحقیق است، بطورکامل معرفی و تشریح شد. سپس به اهمیت موضوع تحقیق که بیانگر ارائه دلیل انجام تحقیق جاری است ، پرداخته شد. در ادامه، هدف موضوع تحقیق که بیانگر نتیجه قابل ارائه علمی و نوآورانه ای است که تحقیق جاری برای دستیابی به آن انجام میشود، تشریح شد. در خاتمه این فصل، روش انجام تحقیق و مراحل انجام آن تشریح و بررسی شد.

فصل دوم ـ مروری بر منابع و پیشینه موضوع تحقیق

۱-۲ مروری بر ساختار و عملکرد اکتیو فیلتر DC هیبرید

در این قسمت خلاصه ای از دانش کلاسیک موضوع تحقیق این رساله تشریح میشود. برای درک بهتر عملکرد اکتیو فیلتر DC هیبرید در سیستم انتقال HVDC ، ابتدا عملکرد کلی سیستم انتقال HVDC بطور خلاصه تشریح میشود. عملکرد کلی سیستم انتقال HVDC در شکل (۱-۱-۲) نشان داده شده است. دو مبدل الکترونیک قدرت در دو انتها وظیفه تبدیل انرژی را به عهده دارند که یکی به صورت یکسوکننده و دیگری به صورت اینورتر عمل مینماید. توان از طریق خط انتقال DC ، از طرف یکسوکننده به طرف اینورتر جریان می یابد. جریان عبوری از خط انتقال و ولتاژ آن یکسوشده و بصورت DC می باشند. ایستگاههای مبدلی یکسوساز و اینورتر بدلیل عملیات کلیدزنی باعث تولید هارمونیک در شبکه میگردند و توان راکتیو نسبتاً بالایی را مصرف میکنند. درنتیجه مطابق شکل (۱-۱-۲) ، در باس AC متصل به مبدلهای HVDC احتیاج به تجهیزات فیلترینگ و جبرانسازی توان راکتیو خواهد بود.



شکل (۱-۱-۲) : دیاگرام کلی سیستم انتقال HVDC

مطابق شکل (۱-۱-۲) ، در سمت DC برای صاف شدن جریان مستقیم یکسوشده یا DC از راکتورهای نسبتاً بزرگی بنام راکتور هموارساز و نیز برای حذف هارمونیک های فرکانس بالای ولتاژ و جریان DC از اکتیو فیلتر DC هیبرید در ساختار شنت و سری استفاده میشود.