بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

روشهای کاهش قدرت اتصال کوتاه در شبکه های توزیع و کاربرد بازیابنده ی دینامیکی ولتاژ (DVR)

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

مهدی متوسل

استاد راهنما

دکتر حمید رضا کارشناس

۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت آقای مهدی متوسل

تحت عنوان

روشهای کاهش قدرت اتصال کوتاه در شبکه های توزیع و کاربرد بازیابنده ی دینامیکی ولتاژ (DVR)

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه دکتر حمیدرضا کارشناس

۲- استاد مشاور پایان‌نامه دکتر محمد اسماعیل همدانی گلشن

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر علیمحمد دوست حسینی

تشکر و قدردانی

اکنون که به لطف خداوند فصل دیگری از کتاب زندگی خود را به پایان رساندم بر خود لازم می‌دانم که از تمام کسانی که مرا در این مسیر یاری کرده‌اند قدردانی کنم.

بعد از خداوند متعال، از پدر و مادر عزیزم از صمیم قلب تشکر می کنم که در تمام مراحل زندگی، یاور و پشتیبان من بودند. قطعاً اگر کانون گرم خانواده و محبتهای آنان نبود، رسیدن به این مرحله از تحصیل برایم دشوار می‌نمود.

از استاد ارجمند و بزرگوار، جناب آقای دکتر حمیدرضا کارشناس ، استاد راهنمای پایان‌نامه که با رهنمودهای دلسوزانه خود مرا در انجام این امر یاری کردند و بدون کمک و راهنمایی‌های ایشان کسب این مهم دست‌یافتنی نبود، تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از استاد محترم، جناب آقای دکتر محمد اسماعیل همدانی گلشن ، که از نعمت مشاوره ایشان بهره برده ام و از اساتید محترم جناب آقای دکتر اکبر ابراهیمی و دکتر جعفر قیصری که زحمت داوری پایان نامه را پذیرفتند سپاسگذارم. از شرکت برق منطقه ای اصفهان که با حمایت مالی خود در طی انجام این پایان نامه از من پشتیبانی نمود نیز نهایت تشکر را دارم. همچنین از آقای دکتر علیمحمد دوست حسینی سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده و نیز از سرکار خانم نکویی مسئول دفتر تحصیلات تکمیلی تشکر و قدردانی می کنم.

در پایان نیز از کلیه دوستان عزیزی که دوران خوشی را در کنار آنها گذراندم و افتخار آشنایی با آنها را داشتم تشکر می‌نمایم و از ایزد منّان، سلامتی و بهروزی همه این عزیزان را خواستارم.

کلیهٔ حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقديم به پدر و مادرعزيزم

آنها كه راستي قامتم در
شكستگي قامتشان تجلي
يافت. در برابر وجود
گراميشان زانوي ادب بر
زمين مي‌نهم و با دلي مملو
از عشق و محبت بر دستان
پرمهرشان بوسه مي‌زنم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب.....هشت

چکیده..... ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱-کلیات.....۲

۱-۲- تغییر آرایش شبکه به منظور کاهش جریان اتصال کوتاه.....۳

۱-۳- نقش محدود کننده های جریان در کاهش جریان اتصال کوتاه.....٤

۱-۳-۱- محدودکننده ها با تجهیزات الکترومیکانیکی و کلیدهای غیر نیمه هادی.....۴

۱-۳-۲- محدودکننده ها بر مبنای استفاده از ادوات الکترونیک قدرت و کلیدهای نیمه هادی.....۵

۱-۴- کاربرد DVR در کاهش جریان اتصال کوتاه.....٦

۱-۵- روند ارائه مطالب.....۷

فصل دوم: روش های کاهش قدرت اتصال کوتاه با تغییر ساختار شبکه

۲-۱-مقدمه.....9

۲-2- روش های محدود کردن جریان در شبکه های موجود.....10

۲-2-۱- تغییر ساختار شبکه.....10

۲-۲-۲- جداسازی ایستگاه ها 11

۲-۲-۳-جداسازی شبکه ها و کاهش موازی بودن سیستم ۱۳

۲-2-۴-کلید زنی ترتیبی.....۱۵

۲-2-۵-تغییر زمان قطع مدارشکن ها.....19

۲-2-۶- تغییر مسیر تغذیه بارها.....۱۸

۲-2-۷- جدا کردن ژنراتورها از شبکه.....۱۸

۲-3 – روش های کاهش جریان اتصال کوتاه در هنگام طراحی شبکه ۱۸

۲-3-۱- باز کردن سیم پیچ ثالثیه ترانسفورمرها.....۱۹

۲-3-۲- افزایش امپدانس ژنراتور.....۱۹

۲-3-۳- افزایش امپدانس ترانسفورمرها.....۱۹

۲-3-۴- تغییر سطح ولتاژ شبکه.....۲۰

۲-3-۵- محدودکننده های جریان.....۲۰

فصل سوم: محدودکننده های جریان بدون عناصر نیمه هادی

۳-۱-مقدمه ۲۱
۳-۲- ویژگی های محدودکننده های جریان ۲۲
۳-۳-محدودکننده های ابررساناها ۲۳
۳-۳-۱- ابررساناهای مقاومتی ۲۵
۳-۳-۲- ابررسانای اشباع شونده ۲۵
۳-۳-۳- ابررسانای شیلد شده اندوکتانسی ۲۶
۳-۳-۴- ابررسانا با فاصله هوایی ۲۶
۳-۴- محدودکننده های جریان بر مبنای استفاده از ترانسفورمر ۲۷
۳-۴-۱- بررسی مدار معادل و روابط حاکم محدودکننده ترانسفورمری ۲۸
۳-۴-۲- تلفات حرارتی تلفات حرارتی محدودکننده ترانسفورمری 31
۳-۴-۳- ولتاژ نامی محدودکننده ترانسفورمری ۳۲
۳-5- محدودکننده I_s-limiter ۳۳
۳-۶- محدودکننده با استفاده از مدارهای تذویج مغناطیسی ۳۵
۳-۶-۱- خنثی کننده شار با از مدار خارج کردن سیم پیچ معکوس ثانویه ۳۶
۳-۶-۲- خنثی کننده شار با تبدیل اتصال موازی به سری ۳۶
۳-۷- محدودکننده با راکتور اشباع شونده ۳۷
۳-۸- محدودکننده های رزونانسی ۳۸
۳-۸-۱- محدودکننده های رزونانسی با استفاده از کلیدهای الکترومکانیکی ۳۸
۳-۸-۲- محدودکننده های رزونانسی با استفاده از ترانسفورمر ۴۰
۳-۸-۳- محدودکننده های رزونانسی با استفاده از تخلیه الکتریکی ۴۱

فصل چهارم: محدودکننده های جریان با ساختارهای الکترونیک قدرت

۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- محدودکننده جریان SSFCL ۴۴
۴-۳- محدودکننده جریان با استفاده از یکسوکننده الکتریکی ۴۵
۴-۳-۱- نحوه عملکرد ۴۵
۴-۳-۲- محدودکننده با بکارگیری یکسوکننده و راکتور ac ۴۶
۴-۳-۳- محدودکننده با قابلیت قطع جریان خطا ۴۸
۴-۳-۴- طراحی راکتور dc برای یکسوکننده سه فاز ۴۹
۴-۳- ۵- روش های کنترلی محدودکننده جریان ۴۹
۴-۴- محدودکننده های رزونانسی با کلیدهای الکترونیک قدرت 56

۴-۴-۱- مدارهای رزونانس موازی ۵۰
۴-۴-۲- مدارهای رزونانس سری ۵۳
۴-۴-۳-مدار معادل و روابط حاکم بر محدودکننده جریان رزونانسی ۵۳
۴-۵-کاربرد و محل نصب محدودکننده های جریان ۵۹

فصل پنجم: استفاده ازDVR در محدود کردن جریان اتصال کوتاه شبکه

۵-۱-مقدمه ۶۶
۵-۲- اجزاء تشکیل دهندهی DVR ۶۷
۵-۲-۱- ذخیره کنندهی انرژی ۶۸
۵-۲-۲- اینورتر منبع ولتاژ ۶۹
۵-۲-۳- ترانسفورماتورهای تزریق ۷۰
۵-۲-۴- فیلترهای پسیو ۷۱
۵-۳- عملکرد DVR جهت جبران پدیده های کوتاه مدت ولتاژ ۷۲
۵-۴- استراتژی های کنترلی DVR جهت جبران اختلالات کوتاه مدت ولتاژ ۷۴
۵-۴-۱- استراتژی حفظ ولتاژ در مقدار پیش از اختلال ۷۴
۵-۴-۲- استراتژی همفاز یا مینیمم مقدار نامی ۷۵
۵-۴-۳- استراتژی مینیمم انرژی ۷۶
۵-۵- عملکرد DVR برای کاهش جریان اتصال کوتاه ۷۶
۵-۶- روابط حاکم بر حالت ماندگار DVR در مد محدود کنندگی جریان ۸۰
۵-۷- استراتژیهای جبران در DVR برای محدود کردن جریان اتصال کوتاه ۸۲
۵-۷-۱- استراتژی کاهش جریان اتصال کوتاه به قبل از وقوع خطا (جبران کامل) ۸۳
۵-۷-۲- استراتژی مینیمم مقدار نامی جهت کاهش جریان خطا ۸۵
۵-۷-۳- استراتژی مینیمم انرژی جهت کاهش جریان خطا ۸۷
۵-۸- بررسی صحت نتایج بدست آمده در استراتژی مینیمم انرژی و مقایسه با مراجع وجود ۹۰
۵-۹- طراحی خازن ذخیره کننده انرژی برای کاهش جریان خطا ۹۱
۵-۱۰- قیود حاکم بر عملکرد DVR در مد محدودکنندگی جریان ۹۵
۵-۱۱- مقادیر نامی DVR جهت محدودکنندگی جریان ۹۶
۵-۱۲- مقایسه استراتژی مینیمم انرژی و مینیمم مقدار نامی ۹۷
۵-۱۳- سیستم کنترلیDVR جهت محدود کردن جریان خطا ۱۰۰
۵-۱۴- بررسی کارائیIDVR در کاهش جریان اتصال کوتاه ۱۰۱

۵-۱۵- نتایج شبیه سازی ۱۰۴
۵-۱۵-۱-خطای سه فاز متقارن ۱۰۵
۵-۱۵-۲-خطای تکفاز به زمین ۱۱۰
۵-۱۵-۳-خطای دوفاز به زمین ۱۱۳

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری ۱۱۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۲۱
مراجع ۱۲۲

چکیده

امروزه افزایش بهم پیوستگی شبکه های قدرت و گسترش نیروگاه ها و ژنراتورهای محلی، سبب افزایش قدرت اتصال کوتاه شبکه ها گردیده است. کاهش قدرت اتصال کوتاه در شبکه های قدرت ضمن حفظ پروفیل مناسب ولتاژ یکی از اهداف بهره برداران سیستم های قدرت می باشد که دلیل این امر نیز بخاطر جلوگیری از هزینه های زیاد تعویض کلیدهای حفاظتی قدرت می باشد. یکی از راه های کاهش جریان خطا، تغییر آرایش شبکه می باشد. در این روش می توان با تغییر دادن مسیر عبور جریان، امپدانس موثر خط را افزایش داد و اثر منابعی را که در تأمین جریان خطا مشارکت دارند کم نمود. یکی دیگر از راه حل های موجود استفاده از ادوات محدودکننده جریان می باشد. بطور کلی محدود کننده های جریان، ادواتی هستند که در شرایط عادی شبکه، تأثیر ناچیزی بر روی عملکردآن می‌گذارند ولی به محض وقوع خطا قادرند در مدت زمان کوتاهی جریان خطا را محدود نمایند.

بازیابنده های دینامیکی ولتاژ (DVR) به عنوان یکی از ادوات Custom Power، نقش مهمی در محافظت از بارها ایفا می کنند. علاوه بر وظیفه اصلی DVR در جبران پدیده های کوتاه مدت ولتاژ، می توان از این ساختار جهت کاهش جریان اتصال کوتاه در خطاهای پائین دست فیدرها نیز استفاده نمود.

در این پایان نامه ابتدا به بررسی تغییر آرایش شبکه و ادوات محدودکننده جریان در کاهش جریان خطا پرداخته می شود. در مرحله بعد عملکرد DVR جهت کاهش جریان اتصال کوتاه مورد بررسی قرار می گیرد. در طی این روند کلیه روابط حاکم بر DVR در مد محدودکنندگی جریان بدست آورده می شود. در قسمت بعد با استفاذه از روابط بدست آمده، استراتژی های کنترلی DVR در این مد کاری مورد بررسی قرار گرفته و در مورد مزایا و معایب آن هابحث می شود. از شبیه سازی های حوزه زمان نیز برای تایید بررسی ها کمک گرفته می شود.

فصل اول

مقدمه

۱-۱-کلیات

شبکه های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی بدون شک یکی از پیچیده ترین و در عین حال گرانترین شبکه های دنیا هستند. طراحی این شبکه ها و انتخاب تجهیزات برای آن ها بر اساس پارامتر های فنی و اقتصادی متنوعی شبیه حالت های خطا، برنامه ریزی آینده، تغییرات ساختاری، قیمت و .... انجام می شود. یکی از مهمترین پارامترها در شبکه های انرژی الکتریکی، قدرت اتصال کوتاه باس های مختلف می باشد که در تعیین ظرفیت تجهیزات شبکه، نقش مهمی را ایفا می کند. بطور کلی قدرت اتصال کوتاه زیاد پروفیل ولتاژ را بهبود داده و قابلیت اطمینان شبکه را بالا می برد. همچنین بالا رفتن قدرت اتصال کوتاه موجب افزایش پایداری شبکه شده و امکان انتقال توان های بالاتر در خطوط را میسر می سازد با این وجود با افزایش قدرت اتصال کوتاه، هزینه تجهیزات نظیر کلیدهای قدرت افزایش می یابد. برعکس قدرت اتصال کوتاه کم پروفیل ولتاژ را بدتر کرده و قابلیت اطمینان شبکه را پائین می آورد و ضمن کاهش پایداری، توان انتقالی شبکه را نیز کمتر می نماید. ولی در عوض باعث صرفه جویی اقتصادی در هزینه تجهیزات می گردد. بنابراین برای نیل به یک پروفیل ولتاژ مناسب و بهبود قابلیت اطمینان و پایداری شبکه لازم است قدرت اتصال کوتاه به اندازه کافی بزرگ باشد. با این وجود این مطلب موجب بزرگ شدن و گرانی کلیدهای شبکه می گردد. از طرف دیگر گسترش و افزایش نیروگاه ها و ژنراتورهای محلی نیز بصورت طبیعی افزایش قدرت اتصال کوتاه را به دنبال خواهد داشت.

لذا بهره برداران سیستم های قدرت با دو راهکار مواجه اند: یکی اینکه با افزایش قدرت اتصال کوتاه شبکه، کلیدها و تجهیزاتی با ظرفیت های بالاتر را مورد استفاده قرار دهند که این راه حل سبب تحمیل هزینه های گزاف می شود. راه حل دیگر این است که بتوان با تکنیک هایی بدون خدشه وارد نمودن به پروفیل ولتاژ و پایداری، جریان اتصال کوتاه

شبکه را کاهش دهند. به همین خاطر امروزه تکنیک های کاهش قدرت اتصال کوتاه بدون اینکه به پروفیل ولتاژ و پایداری شبکه آسیب زند از لحاظ اقتصادی بسیار مورد توجه می باشد.

با توجه به دلایل فوق امروزه به منظور کاهش جریان اتصال کوتاه، روش های گوناگونی ارائه شده است. راه حل های ارائه شده را می توان به دو دسته عمده تقسیم نمود:

الف) کاهش جریان اتصال کوتاه توسط تغییر آرایش شبکه های الکتریکی

ب) کاهش جریان اتصال کوتاه با استفاده از ادوات محدودکننده جریان

در ادامه به معرفی هر یک از این روش ها پرداخته می شود.

۱-۲- تغییر آرایش شبکه به منظور کاهش جریان اتصال کوتاه[۱-۶]

تغییر آرایش در شبکه های الکتریکی با اهداف مختلف انجام می‌گیرد و برای پیاده سازی هر یک از آنها تا کنون الگوریتم ها و استراتژی های گوناگونی معرفی گردیده است. یکی از اهداف تغییر آرایش شبکه، کاهش سطح اتصال کوتاه سیستم می‌با شد.

بطور کلی استراتژی های تغییر آرایش شبکه را می توان به دو دسته مختلف تقسیم نمود:

- استراتژی هایی که با تغییر آرایش شبکه های موجود، جریان اتصال کوتاه را کاهش می دهند.
- استراتژی هایی که در روند طراحی و برنامه ریزی شبکه های قدرت، موجب کاهش جریان خطا می گردند.

در روش اول ضمن در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و پایداری شبکه، با تغییر دادن مسیر تغذیه بارها و کاهش مسیرهای موازی سیستم، امپدانس موثر خطوط افزایش داده می شود و اثر منابعی را که در تأمین جریان خطا مشارکت دارند کاهش پیدا می کند. بدین ترتیب با اعمال روش های فوق در هنگام وقوع خطا، جریان اتصال کوتاه را به نحو موثری محدود خواهد شد.

در روش دوم طراحان سیستم های قدرت، در حین طراحی خطوط، ملاحظاتی را در نظر می گیرند که ضمن حفظ قابلیت های شبکه، جریان اتصال کوتاه کاهش پیدا نماید که این موضوع سبب صرفه جویی اقتصادی و کاهش هزینه احداث این شبکه ها می گردد.

۱-۳- نقش محدود کننده های جریان در کاهش جریان اتصال کوتاه

امروزه برای کاهش جریان خطا از ادواتی بنام محدود کننده های جریان، استفاده می‌شود. بطور کلی محدود کننده های جریان ادواتی هستند که در شرایط عادی شبکه، تأثیر نامحسوسی بر روی عملکرد آن می‌گذارند. اما با وقوع خطا و با بالا رفتن جریان خط، بلافاصله وارد عمل شده و با تکنیک های مختلف، جریان عبوری از خط را در زمان کوتاه به سطح مجاز کاهش می‌دهند. بنابراین با بکار بردن محدود کننده های جریان در قسمت های مختلف شبکه، این قابلیت در سیستم های قدرت ایجاد می‌شود تا تجهیزاتی مانند مدار شکن ها، ترانسفورمرها و ... با وجود افزایش جریان تا بالاتر از ظرفیت نامی‌اشان، بتوانند بدون آنکه آسیب ببینند در مدار باقی بمانند و با عدم تعویض آنها، از تحمیل هزینه های زیاد تعویض جلوگیری گردد.[۷-۱۰]

بطور کلی محدود کننده های را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود.

- محدودکننده هایی که توسط تجهیزات الکترومیکانیکی و کلیدهای غیر نیمه هادی کار می کنند.
- محدودکننده هایی که بر مبنای استفاده از ادوات الکترونیک قدرت عمل می نمایند.

در ادامه به معرفی هر یک از آن ها پرداخته می شود.

۱-۳-۱- محدودکننده ها با تجهیزات الکترومیکانیکی و کلیدهای غیر نیمه هادی

این دسته از محدود کننده های جریان دارای انواع مختلفی هستند. یکی از مهمترین و پرکاربردترین آنها ابررساناها می‌باشند. این ادوات برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ توسط فردی بنام Falcine معرفی گردید. این ادوات در شرایط عادی شبکه دارای امپدانس بسیار کمی‌می‌باشند. اما با رسیدن به شرایطی خاص، خاصیت ابر رسانایی خود را از دست داده و امپدانس داخلی آنها به شدت افزایش پیدا می‌کند. این شرایط شامل دمای بحرانی هادی، مقدار بحرانی جریان، شدت جریان یا میدان مغناطیسی می‌باشد. بنابراین در هنگام وقوع خطا و با بالا رفتن جریان از یک حد مشخص، امپدانس این ادوات بر اثر افزایش دمای ناشی از عبور جریان، بسیار بالا رفته و سبب محدود کنندگی جریان می‌گردد. [۱۱-۱۵]

یکی دیگر از انواع محدود کننده ها، محدود کننده بر اساس استفاده از ترانسفورمر می‌باشد. این ساختار ضمن بالا بردن انعطاف پذیری دستگاه، باعث ایزوله شدن ساختار از شبکه و همچنین کاهش تلفات می‌گردد. [۱۶و۱۷].

محدود کننده های رزونانسی نیز یکی دیگر از ساختارهای پرکاربرد در شبکه های الکتریکی می‌باشند. این محدود کننده ها از یک سلف و خازن تشکیل شده اند که در فرکانس شبکه تنظیم شده اند. با وقوع یک اتصال کوتاه، با ایجاد رزونانس الکتریکی، امپدانس بزرگی را در سر راه جریان اتصال کوتاه قرار داده و سبب محدود نمودن آن می‌گردد. این محدود کننده ها دارای انواع مختلفی می‌باشند که از آن جمله می‌توان به محدود کننده های رزونانسی با کلیدهای استاتیکی، محدود کننده های رزونانسی با استفاده از ترانسفورمر و محدود کننده های رزونانسی با استفاده از تخلیه الکتریکی نام برد [۱۸-۲۳]. محدودکننده های دیگری مانند Is-limiter ، محدودکننده های کوپل مغناطیسی و ... نیز وجود دارند که برای کاهش جریان خطا، در سیستم های قدرت بکار می‌روند.[۱۳و۱۸].

محدود کننده های معرفی شده، توسط کلیدها و تجهیزات استاتیکی کاری می‌کنند این محدود کننده ها به دلیل استفاده از ادوات استاتیکی، سرعت عملکرد پائینی دارند و با خرابی های مداوم، ضمن پایین آوردن قابلیت اطمینان ساختار، سبب تحمیل هزینه های اضافی جهت تعویض یا تعمیر قسمتهای معیوب می‌گردد.

۱-۳-۲- محدودکننده ها بر مبنای استفاده از ادوات الکترونیک قدرت و کلیدهای نیمه هادی

امروزه با پیشرفت در ساخت و تولید ادوات نیمه هادی، استفاده از تجهیزات الکترونیک قدرت افزایش چشمگیری داشته و روز به روز نیز بر کاربرد آنها افزوده می‌شود. در سالهای اخیر محدود کننده های جریان با تکیه بر استفاده از ادوات الکترونیک قدرت، جایگاه ویژه ای را در کاهش جریان اتصال کوتاه پیدا کرده اند. این ادوات دارای بازده و کارائی بهتری بوده و علاوه بر قابلیت اطمینان بالا، سرعت پاسخ آنها نسبت به نمونه های قبل بیشتر می‌باشد [۲۴].

یکی از انواع این محدودکننده هاSSFCL نام دارد. این ساختار با استفاده از سوئیچ های الکترونیک قدرت، در هنگام وقوع خطا، یک سلف محدود کننده را بصورت سری با خط قرار می‌دهد و با رفع شدن خطا، توسط سیستم کنترلی خود، آن را از مدار خارج می‌کند. برد [۲۵و۲۶]

نوع دیگری از این محدود کننده ها، محدود کننده با استفاده از یکسو کننده می‌باشد. ورودی این محدود کننده توسط یک ترانسفورمر با خط سری شده و خروجی آن به یک راکتور متصل می‌باشد. در شرایط عادی شبکه، ساختار فوق تاثیر ناچیزی بر روی سیستم قدرت دارد اما با وقوع خطا و افزایش جریان عبوری از خط، جریان راکتور یکسوکننده نیز افزایش پیدا می‌کند که این سلف مانع از روند افزایش این جریان شده و سبب محدود نمودن جریان خطا می‌گردد[۲۷-۲۹]. یک نوع دیگر از محدود کننده ها، محدودکننده های رزونانسی با استفاده از کلیدها و تجهیزات الکترونیک قدرت می‌باشد. این نوع محدود کننده ها به دو دسته سری و موازی تقسیم می‌شوند که هر یک از انواع آنها دارای مزایا و معایب گوناگونی می‌باشند[۱۹-۲۱] .

تمامی‌محدود کننده های جریانی که به آن ها اشاره گردید حتی در صورت دارا بودن قابلیت های بسیار بالا، در شرایطی که در جای مناسبی از شبکه نصب نگردند، قادر به محدود سازی جریان به سطح مطلوب نخواهند بود. بنابراین محل نصب و جایای بهینه این ادوات دارای اهمیت ویژه ای می‌باشند. معمولاً محدود کننده های جریان، در سه قسمت عمده از شبکه های الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مکانها شامل: ورودی فیدرها (بعد از ژنراتورها و ترانسفورمرها)، خروجی فیدرها و بین باسبارهای ایستگاه ها می‌باشد[۳۰ و۳۱] .

۱-۴- کاربرد DVR در کاهش جریان اتصال کوتاه

با پیشرفت روزافزون مبدل‌های الکترونیک قدرت، کاربرد ادوات مبتنی بر این مبدل ها با نام Custom Power در سیستمهای توزیع به عنوان راهکاری مناسب و با قابلیتهای انعطاف بسیار بالا برای بهبود مسائل کیفیت توان پیشنهاد شده‌اند. از لحاظ ساختار بخش قدرت، این ادوات با ادوات FACTS مشابه بوده ولی اهداف متفاوتی را دنبال می‌کنند. از طرف دیگر به دلیل هزینه‌های ساخت نسبتاً پایینتر، این ادوات دارای کاربرد بیشتری می‌باشند. با استفاده از انواع مختلف این ادوات، امکان جبران یا کاهش پدیده‌های مخربی مانند کمبودها و بیشبودهای ولتاژ کوتاه مدت، وقفه‌های کوتاه مدت، اعوجاجهای هامونیکی، نامتعادلی‌ها و فلیکر ولتاژ به وجود می‌آید. DVR یا بازیابنده‌ی دینامیکی ولتاژ، یکی از ادوات Custom Power است که برای جبران کمبودها یا بیشبودهای ولتاژ در محل بارهای حساس به کار می‌رود. سرعت پاسخ و انعطاف پذیری DVRها در مقایسه با ادوات متداول کنترل ولتاژ مانند تپ‌چنجر ترانسفوماتورها، به مراتب بیشتر بوده و لذا با استفاده از این ادوات، امکان جبران اختلالات کوتاه‌مدت ولتاژ به وجود می‌آید[۳۲-۳۹].

علاوه بر وظیفه اصلی DVR در جبران پدیده های کوتاه مدت ولتاژ، می توان از این ساختار جهت کاهش جریان اتصال کوتاه در خطاهای پائین دست فیدرها نیز استفاده نمود.درشرایطی که هیچ گونه خطایی در این فیدر رخ نداده باشد، DVR درمد معمولی خود قرار داشته و پدیده های کوتاه مدت ولتاژ را جبران می نماید. اما چنانچه یک خطا بر روی فیدر فوق رخ دهد، DVR بایپاس شده و از مدار خارج می گردد. ماهیت جبران و نحوه تزریق ولتاژDVR،

یک خاصیت بالقوه را در آن بوجود آورده که در صورت وقوع خطا، می توان ضمن بایپاس نکردن آن، طوری آن را کنترل نمود که موجب کاهش جریان خطا گردد.

به عنوان مثال در [۴۰] از DVR برای محدود کردن جریان اتصال کوتاه فیدر به مقدار قبل از وقوع خطا استفاده شده است. اما در این استراتژی بدلیل عمق جبران، ولتاژ تزریقیDVR حدود یک پریونیت رسیده که این امر سبب افزایش ظرفیت DVR و غیر اقتصادی شدن آن ساختار می‌گردد. علاوه بر آن بدلیل توان اکتیو زیادی که DVR در این استراتژی بایستی از شبکه جذب نماید، حجم ذخیره کننده انرژی بسیار بالا رفته که هزینه ساخت DVR را دو چندان خواهد کرد. در [۴۱-۴۵] دو استراتژی مینیم انرژی و مینیمم مقدار نامی برای DVR معرفی شده که قادر است بترتیب ظرفیت نامی و حجم ذخیره کننده انرژی را برای جبران پدیده های کوتاه مدت ولتاژ در DVR، به کمترین مقدار ممکن برساند. اما تاکنون استراتژی های مشابهی برای کنترل DVR در کاهش جریان اتصاال کوتاه، در مراجع مختلف مورد بحث قرار نگرفته است. همچنین روابط حاکم بر حالت ماندگار DVR در مد محدود کنندگی جریان در مراجع علمی‌کمتر مورد بحث قرار گرفته است. بنابراین نیاز به استراتژی های مناسب که بتواند ظرفیت نامیDVR یا حجم ذخیره کننده انرژی را در مد محدود کنندگی جریان کاهش داده، و سبب کم شدن هزینه ساخت DVR گردد، کاملاً احساس می‌شود. در این پایان نامه نحوه عملکرد یک DVR مورد بررسی قرار می‌گیرد که در شرایط معمولی به جبران پدیده های کوتاه مدت ولتاژ پرداخته ولی با وقوع خطا در سمت پایین است خود، وارد مد محدود کنندگی جریان شد، و جریان خطا را کاهش می‌دهد. برای نیل به این هدف، استراتژی های مختلف را برای کنترل DVR در مد محدود کنندگی جریان مورد بررسی قرار گرفته و معایب و مزایای آنها با یکدیگر مقایسه می‌گردد و در آخر نیز با شبیه سازی، نحوه عملکرد DVR برای کاهش جریان خطا را مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۵- روند ارائه مطالب

پس از اتمام مقدمه در فصل اول، در فصل دوم این پایان نامه ابتدا به نقش تغییر آرایش شبکه های موجود در کاهش جریان اتصال کوتاه پرداخته می‌شود. برای این منظور روشهایی از جمله تغییر مسیر تغذیه بارها، جداسازی باسبارهای ایستگاه ها، جداسازی شبکه های بهم پیوسته و کاهش موازی بودن سیستم، تغییر زمان قطع مدارشکن ها و.... مورد بررسی قرار می گیرد و در مورد مزایا و معایب آنها بحث می شود. همچنین برای شبکه هایی که در مرحله طراحی بوده و در دست احداث می باشند، روشهایی ارائه می گردد تا طراحان سیستم های قدرت می توانند با بکارگیری آنها، سطح اتصال کوتاه شبکه را کاهش دهند. در فصل سوم ابتدا در مورد خصوصیات و ویژگی های محدود کننده های جریان بحث می‌شود سپس انواع محدود کننده های جریان که با استفاده از کلیدها و تجهیزات استاتیکی کار می‌کنند مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این کار انواع محدود کننده های موجود معرفی شده و ضمن بیان نحوه عملکرد و ویژگی هر یک، نهایتاً با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

در فصل چهارم به بررسی انواع پرکاربرد محدود کننده های جریان پرداخته می‌شود که با استفاده از ادوات الکترونیک قدرت کار می‌کنند در این فصل ابتدا به معرفی ssfcl پرداخته شده و علاوه بر بیان نحوه عملکرد آن،

ویژگی ها و ساختار کنترلی آن مورد بحث قرار می‌گیرد. در مرحله بعد محدود کنندها بر مبنای استفاده از یکسوکننده های الکتریکی مورد بررسی قرار گرفته و پس از بررسی ساختار و نحوه عملکرد آن، انواع مختلف استراتژی های کنترل موجود، برای کاهش جریان خطا معرفی می‌گردد و مزایا و معایب هر یک بیان می‌گردد. در آخر نیز به بررسی محدود کننده های رزونانسی با استفاده از کلیدهای الکترونیک قدرت پرداخته می‌شود و پس از بدست آوردن مدار معادل آنها، در مورد مولفه های جریانی وسایر ویژگی های آن ساختار بطورکامل و تحلیلی بحث می‌گردد. در آخر نیز به بررسی جایابی و محل نصب بهینه انواع محدود کننده های جریان پرداخته شده و ضمن معرفی موارد پر کاربرد نصب DVR، ویژگی ها هر کدام مطرح می گردد.

در فصل پنجم به بررسی انواعی ازDVRها پرداخته می‌شود که ضمن جبران پدیده های کوتاه مدت ولتاژ قادراند در صورت وقوع یک خطا در سمت پائین دست خود مانند یک محدودکننده عمل کرده و جریان خطا را تا حد مجاز، محدود نمایند. در این فصل ابتدا بطور مختصر در مورد ساختار و نحوه جبران پدیده های کوتاه مدت توسط DVR بحث می‌شود. پس از آن نحوه عملکرد و چگونگی محدود نمودن جریان توسط DVR مورد بحث قرار می‌گیرد و معادلات و روابط حاکم بر آن ساختار در مد محدود کنندگی جریان بدست آورده خواهد شد. در ادامه استراتژی های کنترلی جبران کامل، مینیمم مقدار نامی و مینیمم انرژی برای محدود سازی جریان توسط DVR مورد بحث قرار می‌گیرد. برای این کار در هر استراتژی ضمن بیان نحوه عملکردDVR کلیه روابط و شرایط حاکم بر ساختار فوق را بدست آورده و معایب و محاسن هر کدام را مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین در مورد طراحی خازن ذخیره کننده انرژی جهت محدود سازی جریان نیز بحث شده و پس از محاسبه خازن بهینه، مشکلات پیش رو و نحوه برخورد با آن بررسی می‌گردد. در ادامه نیز با توجه به ویژگی های DVR در محدود نمودن جریان، به بررسی قابلیت ساختار IDVR در کم کردن جریان اتصال کوتاه پرداخته می‌شود و مزایا و مشکلات این روش مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در آخر نیز با شبیه سازی، نحوع عملکرد DVR در حالت ماندکار، جهت محدود نمودن جریان خطا مورد بررسی قرار خواهد گرفت و در مورد نتایج بدست آمده بحث خواهد شد.

فصل دوم

روش های کاهش قدرت

اتصال کوتاه با تغییر ساختار شبکه

۲-۱- مقدمه

امروزه شبکه های قدرت به نحوی ایجاد شده اند که دارای نقاط مانور زیادی می باشند. نقاط فوق این قابلیت را به سیستم قدرت می دهند تا مشکلات ایجاد شده در شبکه که ناشی از افزایش بار، بهم پیوستگی شبکه و ... می باشد را بتوان با تغییر آرایش شبکه کاهش داد. تغییر آرایش شبکه می تواند با کاهش موازی بودن سیستم و تغییر دادن مسیر عبور جریان، اثر منابعی که در تامین جریان خطا مشارکت دارند را کم کرده و جریان اتصال کوتاه را به نحو موثری کاهش دهد.بطور کلی استراتژی های تغییر آرایش شبکه را می توان به دو دسته مختلف تقسیم نمود:

- استراتژی هایی که با تغییر آرایش شبکه های موجود، جریان اتصال کوتاه را کاهش می دهند.
- استراتژی هایی که در روند طراحی و برنامه ریزی شبکه های قدرت، موجب کاهش جریان خطا می گردند.

در این فصل ابتدا به بررسی دو استراتژی فوق در کاهش جریان اتصال کوتاه پرداخته می شود. برای این منظور روش هایی از جمله تغییر مسیر تغذیه بارها، جداسازی باسبارهای ایستگاه ها و شبکه های بهم پیوسته، تغییر زمان قطع مدارشکن ها، تغییر سطح ولتاژ شبکه، افزایش امپدانس ترانسفورمرها و ژنراتورها و.... مورد بررسی قرار می گیرد و در مورد مزایا و معایب آنها بحث می شود.

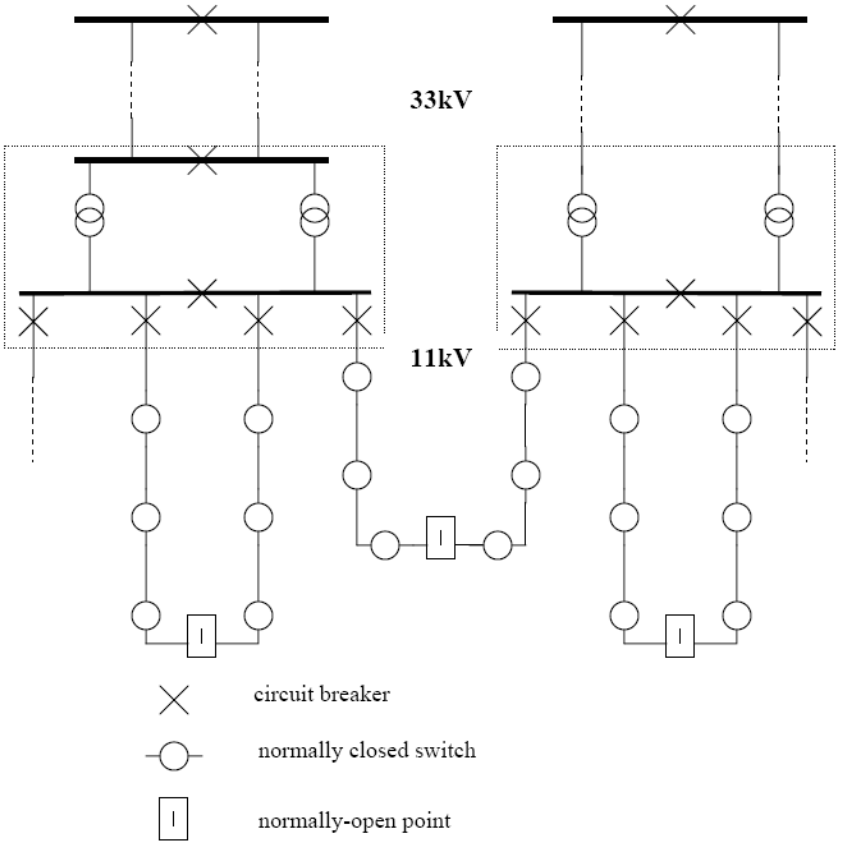
۲-۲- روش های محدود کردن جریان در شبکه های موجود

در این قسمت به بررسی کلیه روش هایی پرداخته می شود که قادرند جریان اتصال کوتاه در شبکه های موجود را کاهش دهند. لازم به ذکر است یرای کاهش جریان اتصال کوتاه شبکه می توان از دو یا چند روش بطور همزمان استفاده نمود.

۲-۲-۱-تغییر آرایش شبکه[۱و۲و۵]

اکثر شبکه های توزیع طوری طراحی می‌شوندکه قابلیت تغییر در اتصال قسمتهای مختلف آنها وجود داشته باشد. این کار معمولاً برای پاسخ مناسب به وقوع خطا یا ایزوله کردن قسمتی از شبکه هنگام تعمیرات انجام می‌گردد. بنابراین

شبکه های توزیع از یک سری کلیدهای قدرت تشکیل شده اند که برای فراهم کردن اتصالات اضافی(N/O[1]) یا ایزوله کردن شبکه(N/C[2])بکار می‌روند.کلیدهایN/O معمولاً در دورترین نقطه شبکه حلقوی یا در نقاطی که دو تا فیدر قابلیت اتصال ایستگاه های مجاور را داشته باشند، یافت می‌شوند. یک ساختار نمونه در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل(۲-۱):ساختار یک شبکه نمونه با سطوح ولتاژ۱۱و۳۳ کیلو ولت تغییر ساختار شبکه می‌تواند سطح جریان اتصال کوتاه را با عوض کردن مسیر جریان یا کاهش تعداد قیدرهایی که بصورت موازی محل وقوع خطا را تغذیه می‌کنند، در حد قابل ملاحظه ای پایین بیاورد. یکی از ساده ترین راه های تغییر مسیر جریان اتصال کوتاه، بستن کلیدN/O و باز کردن N/C می‌باشد. در این روش با یک تغییر هوشمندانه می‌توان کاری کرد که ژنراتورها بصورت الکتریکی در فاصله دورتری از ایستگاه قرار بگیرند یا اینکه اصلاً ژنراتور با جدا شدن از قسمت مشکل دار شبکه، به قسمتی دیگر وصل گردد تا سطح جریان در حد مجاز قرار بگیرد. با این کار جریان تزریقی به کلیدها کاهش پیدا کرده و مشکل اضافه جریان آنها حل می‌شود**[۱و۵]**. یکی دیگر از راه های موجود، کاهش تعداد خطوط موازی است که بصورت شعاعی (نه بصورت حلقوی و بهم پیوسته) یک باسبار را تغذیه می‌کنند. این کار معمولاً به دو روش انجام می‌پذیرد:

۱- باز کردن مدار شکن وسط باسبار فوق

۲- بازکردن مدار شکن ترانسفورمر موجود در هر فیدر.

---

۱ – normally-open switch
۲ – normally-close switch

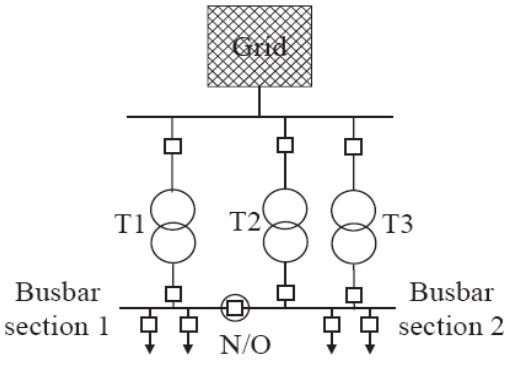
لازم به ذکر است که در هر دو حالت قبل می توان از کلیدهای وصل شوند خودکار نیز استفاده نمود تا کلید در صورت لزوم بتوانند بسرعت بسته شود.[۲]

۲-۲-۲-جداسازی ایستگاه ها[۳] [۳و۴]

برای ایستگاه هایی که با وقوع اتصال کوتاه در فیدرهای پائین دست آنها، جریان خطای زیادی از آنها کشیده می شود و سبب آسیب رساندن به کلیدهای شبکه می گردد، یکی از راه حل های معمول تقسیم کردن ایستگاه به دو یا چند قسمت می باشد. با این کار امپدانس موثر بین محل خطا و منابع افزایش یافته و جریان اتصال کوتاه در هر قسمت کاهش می یابد. این موضوع در شکل (۲-۲) نشان داده شده است. چنانچه در این شکل مشاهده می شود، تقسیم کردن ایستگاه تک باسه با بازکردن کلید مقسم باسبار[۴] و ایستگاه هایی که شامل دو باسبار می باشد با باز کردن مدارشکن های متصل کننده دو باسبار[۵] و قرار دادن آنها در حالت N/O انجام می شود.

در شکل (۲-۲-الف) اگر هر سه ترانسفرومر به صورت موازی با هم کار کنند با وقوع یک خطا در باسبار سمت ترانسفورمر T_1، جریان اتصال کوتاه از هر سه ترانسفورمر به سمت محل خطا جاری شده و باعث بالا رفتن شدید جریان کل می گردد. در صورتی که با تقسیم باسبار به دو قسمت، جریان خطا محدود شده و از آسیب رساندن به تجهیزات شبکه جلوگیری می شود. متأسفانه تقسیم ایستگاه ها باعث کاهش بهم پیوستگی و ارتباط بین نقاط شبکه شده و قابلیت اطمینان آن را پائین می آورد. این موضوع یکی از عیب های مهم این روش به شمار می رود.

در شکل(۲-۲-الف)، در حالت عادی شبکه(بدون وقوع خطا)، با بالا رفتن بار باسبار قسمت اول، همگی جریان بایستی که از ترانسفورمر اول عبور نماید که این امر سبب تلفات زیاد و همچنین گرم شدن ترانسفورمر می شود. این مشکل درشکل (۲-۳-الف) حل گردیده است. در این ساختار از کلید N/O با قابلیت وصل خودکار استفاده شده است. مطابق روش قبل با بوجود آمدن خطا در هر یک از قسمت های باسبار، کلید باز بوده و جریان خطا را در هر دو قسمت باسبار کاهش می دهد. ولی در حالت شرایط نرمال شبکه، با افزایش بار در باسبار ترانسفورمر اول، کلید بصورت اتوماتیک وصل شده و ترانسفورمرهای T_1 و T_2 نیز به همراه T_1 کل باسبار را تغذیه کرده و مشکل افزایش بار T_1 حل می شود.



الف)

۱ – bus splitting
۲ – bus section
۳ – Bus Couplier CB