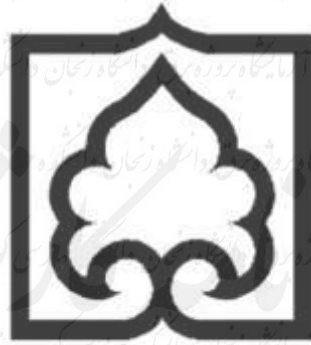




دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش : قدرت

عنوان :

کنترل اضافه جریان در سیستم های قدرت به کمک FCL

(محدود کننده جریان خط)

استاد راهنما : دکتر سعید جلیل زاده

نگارش : حسن فیروزی

تابستان ۹۶

تقدیر و سپاسگزاری:

تشکر و سپاس بی پایان مخصوص خدایی است که بشر را آفریده و به او قدرت اندیشیدن

داده و توانایی‌هایی بالقوه را در وجود انسان قرار داده و او را امر به تلاش و کوشش نموده

و راهنمایی را برای هدایت بشر فرستاده است .

پس از ارادت خاضعانه به درگاه خداوند بی همتا لازم است از استاد ارجمند جناب آقای

دکتر جلیل زاده به خاطر سعۀ صدر و رهنمودهای دلسوزانه که در تهیه ی این پایان نامه مرا

مورد لطف خود قرار دادند و راهنمایی های لازم را نمودند و همچنین از پدر و مادر عزیز

و مهربانم که در تمام مراحل زندگی یار و یاور و همراه من بودند ، تشکر و قدردانی نموده

و موفقیت همگان را از درگاه احدیت خواهیم.

پدر و مادر عزیز و مهربانم که علیرغم تحمل سختی ها و دشواری های فراوان ، مسیر پر پیچ و خم کسب علم و دانش را برایم هموار نموده و از دعای خیرشان بی نصیب نبوده ام .

تقدیم به خواهر و برادران و همسر عزیزم به پاس دلگرمی و تشویق که بدون وجودشان طی کردن این مسیر دشوار بود .

فهرست مطالب

چکیده ۱

مقدمه ۱

فصل اول ۱

۱-۱- اضافه جریان ناشی از اتصال کوتاه ۱

۱-۱-۱- مروری بر اضافه جریان ۲

۱-۲- عوامل بروز اتصال کوتاه ۳

۱-۳- انواع اتصال کوتاه ۴

۱-۳-۱- خطاهای متقارن ۵

۱-۳-۲- خطاهای نامتقارن ۵

۱-۴-۱- اجزاء تشکیل دهنده جریان اتصال کوتاه ۷

۱-۴-۲- استقامت حرارتی ۸

۱-۵-۱- مشارکت ژنراتورهای مختلف در تولید پیک جریان اتصال کوتاه ۸

۱-۵-۲- مشارکت ژنراتورهای متصل به تجهیزات الکترونیک قدرت ۹

۱-۵-۳- مشارکت توربین های بادی ۹

۱-۶- خسارت های ناشی از اتصال کوتاه ۹

۱-۷- سطح جریان اتصال کوتاه ۱۰

۱-۸- افزایش سطح اتصال جریان کوتاه ۱۱

۱-۸-۱- بالا رفتن قدرت تولیدی نیروگاه های جدید ۱۱

۱-۸-۲- افزایش خطوط ارتباطی ۱۲

۱-۸-۳- کلاس ولتاژ بالا ۱۲

۱-۸-۴- پست های تبدیل ولتاژ ۱۲

۱-۸-۵- افزایش ظرفیت پست ها ۱۳

۱-۹- روش های کاهش سطح اتصال کوتاه ۱۳

دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق
۱-۹-۱- استفاده از تجهیزات با ظرفیت مناسب	۱۳	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۲-۹-۱- سوییچینگ ترتیبی	۱۴	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۳-۹-۱- استفاده از ادوات الکترونیک قدرت	۱۴	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۴-۹-۱- راکتورهای محدودکننده جریان	۱۵	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۵-۹-۱- مدیریت سطح اتصال کوتاه	۱۵	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۶-۹-۱- انعطاف پذیر ساختن سیستم قدرت	۱۶	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۷-۹-۱- شکافتن شبکه و تغییر آرایش آن	۱۷	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۸-۹-۱- استفاده از محدود کننده های جریان اتصال کوتاه	۱۹	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
فصل دوم	۲۰	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق

انواع محدودکننده های جریان خطا	۲۰	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۱-۲- مروری بر محدود کننده جریان خطا	۲۱	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۲-۲- انواع محدودکننده جریان خطا	۲۱	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۳-۲- محدودکننده های غیر ابررسانا (غیر فوق هادی)	۲۲	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۱-۳-۲- محدودکننده آی-اس	۲۲	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۲-۳-۲- محدودکننده جریان حالت جامد	۲۳	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۳-۳-۲- محدودکننده ی غیرفوق هادی نوع راکتور جریان مستقیم	۲۷	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۴-۲- محدودکننده های ابررسانا (فوق هادی)	۲۸	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۱-۴-۲- محدودکننده ابرسانایی نوع مقاومتی	۳۰	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۲-۴-۲- محدودکننده القایی محافظت شده	۳۱	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۳-۴-۲- محدودکننده القایی اشباع شده	۳۳	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۴-۴-۲- محدودکننده نوع راکتور جریان مستقیم	۳۵	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۵-۴-۲- محدودکننده ابررسانا نوع راکتور جریان مستقیم اشباع شده	۳۷	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۶-۴-۲- مزایا و معایب محدودکننده های نوع ابررسانا	۴۰	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق

فصل سوم	۴۱	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
کاربرد محدودکننده های جریان خطا	۴۱	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۱-۳- سابقه استفاده از محدودکننده های جریان خطا	۴۲	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق
۲-۳- پیشینه و کاربردهای مختلف ابررساناها	۴۴	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق	دانشگاه زنجان و انشکده مهندسی گروه برق

۱-۲-۳- استفاده در ترانسفورماتورها.....	۴۴
۲-۲-۳- استفاده در کندانسورهای سنکرون.....	۴۵
۳-۲-۳- استفاده در موتور و ژنراتور.....	۴۵
۴-۲-۳- استفاده در ذخیره سازهای مغناطیسی.....	۴۵
۵-۲-۳- استفاده در سوئیچینگ.....	۴۷
۶-۲-۳- استفاده در ژنراتورهای هیدرودینامیک مغناطیسی.....	۴۸
۷-۲-۳- استفاده در محدودکننده های جریان خطا.....	۴۸
۳-۳- مزایای استفاده از محدودسازهای نوع ابررسانا.....	۴۹
۱-۳-۳- کاهش خسارات ناشی از اتصال کوتاه در شبکه.....	۴۹
۲-۳-۳- کاهش هزینه کلیدهای قدرت و فیوزها.....	۵۰
۳-۳-۳- تعویق سرمایه گذاری برای توسعه.....	۵۰
۴-۳-۳- افزایش قابلیت اطمینان در شبکه.....	۵۰
۵-۳-۳- افزایش کیفیت توان و کاهش تلفات در سیستم قدرت.....	۵۱
۴-۳- محل نصب محدودکننده های جریان خطا.....	۵۱
۱-۴-۳- مکان یابی بهینه محدودکننده ابررسانا.....	۵۳
۵-۳- بررسی رفتار محدودکننده ابررسانا.....	۵۴
فصل چهارم.....	۵۶
شبیه سازی و نتیجه گیری.....	۵۶
۱-۴- بررسی و شبیه سازی ساختار تک فاز یک محدودکننده ابررسانا.....	۵۷
۱-۱-۴- نحوه عملکرد محدودکننده تکفاز بدون حضور محدودکننده.....	۶۰
۲-۱-۴- نحوه عملکرد محدودکننده تکفاز در هنگام اتصال کوتاه.....	۶۱
۳-۱-۴- نحوه عملکرد محدودکننده تکفاز پس از رفع اتصال کوتاه.....	۶۲
منابع.....	۶۴

چکیده

توسعه شبکه های قدرت و همچنین افزایش جریان نامی تجهیزات قدرت و تزریق جریان توسط منابع تولیدات پراکنده در محل خطا باعث افزایش جریان اتصال کوتاه در سیستم می شوند. افزایش سطح اتصال کوتاه سبب وارد شدن تنش های حرارتی و دینامیکی به تجهیزات شده و خسارات جبران ناپذیری به آن ها وارد می کند. بنابراین حفاظت سیستم قدرت در مقابل این جریان های بزرگ امری ضروری است. یکی از روش های حفاظت در برابر اتصال کوتاه محدود سازی جریان ناشی از اتصال کوتاه می باشد. از آنجا که سطح اتصال کوتاه به امپدانس تونن معادل از محل وقوع خطا بستگی دارد، بنابراین اساس کار روش های کاهش سطح اتصال کوتاه بر افزایش این امپدانس معادل در لحظه وقوع خطا می باشد. محدودسازی جریان خطا بصورت سری با مدار قرار گرفته و جریان خطا را قبل از رسیدن به مقدار حداکثر خود محدود می کند تا این جریان توسط کلید قدرت موجود قابل قطع باشد. امروزه انواع بسیاری از این محدودسازها وجود دارد که نوع ابرسانی آن به دلیل خاصیت تغییر مقاومت مواد ابررسانا در اثر دما بیشترین کاربرد را پیدا کرده است. در فصول آتی ضمن بیان مطالبی در مورد اتصال کوتاه، عوامل تولید آن، خسارات ناشی از آن، به بررسی سطح اتصال کوتاه تجهیزات سیستم قدرت پرداخته و سپس روش های مقابله با افزایش سطح اتصال کوتاه را مورد بررسی قرار می دهیم و در این اثنا به محدود کننده جریان خطا اشاره نموده و مختصری در مورد تاریخچه آن ها صحبت خواهیم کرد. سپس به آنالیز و شبیه سازی ساختار یکی از محدود کننده ها می پردازیم و آن را در حالت کار عادی شبکه، در هنگام بروز اتصال کوتاه و پس از رفع اتصال کوتاه مورد بررسی قرار می دهیم و به نتیجه مطلوب از بحث جاری خواهیم رسید.

مقدمه

توسعه سیستم های توزیع انرژی الکتریکی و همچنین افزایش به هم پیوستگی در شبکه های قدرت به دلیل نیاز به بالا بودن ظرفیت آن ها منجر به افزایش سطح اتصال کوتاه و جریانهای خطای بزرگتر و در نتیجه ازدیاد گرمای ناشی از عبور جریان القایی زیاد در ژنراتورها ترانسفورماتورها و سایر تجهیزات و همچنین کاهش قابلیت اطمینان شبکه می شود. با وجود رعایت تمامی موارد ایمنی سیستم های قدرت، وقوع اتصال کوتاه در شبکه های قدرت امری اجتناب ناپذیر می باشد. در زمان اتصال کوتاه صرف نظر از آسیبی که به خاطر بروز قوس الکتریکی به نقطه اتصال کوتاه وارد می شود، جریان های عظیمی که از ژنراتورها به طرف نقطه خطا جاری می شود سبب وارد شدن تنش های دینامیکی و حرارتی به تجهیزات سیستم قدرت از قبیل خطوط هوایی، کابل ها، ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت می شود. عبور چنین جریانی از شبکه نیاز به تجهیزاتی دارد که توانایی تحمل این جریان را داشته باشند و برای قطع این جریان نیازمند کلیدهایی با قدرت قطع بالا هستیم.

کلیدهای قدرت مورد استفاده در شبکه برای عملکرد کامل نیازمند زمانی معادل چند سیکل (چند میلی ثانیه) می باشد. عبور مقادیر بزرگ جریان از خطوط و تجهیزات سیستم قدرت در همین چند سیکل می تواند موجب آسیب جدی به تجهیزات شود زیرا جریان اتصال کوتاه در لحظات اولیه بویژه در سیکل اول موج جریان دارای بیشترین دامنه است و بیشترین اثرات مخرب از همین سیکل های اولیه ناشی می شود. این امر در صورت بالا بودن جریان های اتصال کوتاه و عبور آن از سطح عایقی کلیدهای قدرت ممکن است موجب برقراری یک اتصال کوتاه دائمی شود. افزایش سطح اتصال کوتاه در بعضی از مناطق باعث شده جریان های اتصال کوتاه تاحد مقدار نامی تجهیزات شبکه افزایش یابد و یا حتی در بعضی حوزه ها مقادیر نامی تجهیزات جوابگوی نیاز نباشد و نیاز به تعویض آن ها درخواست شود.

بنابراین در سال های اخیر به تجهیزاتی که توانایی محدود کردن جریان اتصال کوتاه را داشته باشند، توجه ویژه ای شده است.

محدود کننده جریان خط^۱ بلافاصله بعد از وقوع خطا در مدار قرار می گیرد و توانایی دارد تا تمام جریان های اضافی که بزرگتر از جریان شبکه هستند را با زمان پاسخگویی حداکثر نیم سیکل محدود کند. محدود کننده های جریان اتصال کوتاه طراحی شده در دهه های اخیر، عناصر سری با تجهیزات شبکه هستند. این تجهیزات در حالت عادی مقاومت کمی در برابر عبور جریان از خود نشان می دهند اما پس از وقوع اتصال کوتاه در لحظات اولیه شروع جریان، مقاومت آنها یکباره بزرگ شده و از بالا رفتن جریان اتصال کوتاه جلوگیری می کنند. این تجهیزات پس از هر بار عملکرد باید قابل بازیابی باشند و در حالت ماندگار سیستم باعث ایجاد اضافه ولتاژ و یا تزریق هارمونیک به سیستم نشوند، بنابراین صاحبان این شبکه ها این امکان را پیدا می کنند تا از تجهیزاتی با مقادیر نامی پایین تر استفاده کرده و صرفه جویی بالایی را در هزینه ها داشته باشند. استفاده از محدود سازها حتی در شبکه هایی که نیاز به این تجهیزات وجود ندارد نیز مزایای زیادی می تواند داشته باشد. سیستم هایی که از محدود کننده های جریان اتصال کوتاه استفاده می کنند دو مزیت اساسی زیر را دارا می باشند

۱. تجهیزات سیستم قدرت این مزیت را دارا می باشند که در زمان اتصال کوتاه بدون هیچگونه تنش حرارتی و دینامیکی تا زمان عملکرد کامل کلیدهای قدرت به کار عادی خود ادامه دهند.

۲. نیاز به تعویض تجهیزات سیستم قدرت و افزایش مقادیر نامی اتصال کوتاه در آنها رفع می شود و یا دست کم به آینده موکول می گردد.

¹ Fault Current Limiter (FCL)

فصل اول

اضافه جریان ناشی از اتصال کوتاه

۱-۱- مروری بر اضافه جریان^۲

اضافه جریان به وضعیتی گفته می شود که در آن جریانی بیش از آنچه انتظار می رفته است

از یک هادی عبور کند و منجر به تولید گرمای بیش از حد می شود و ممکن است سبب

آتش سوزی و خسارت به تجهیزات گردد. این پدیده عموماً بر اثر عواملی نظیر:

۱. راه اندازی موتورهای بزرگ و یا بارهای بزرگی که جریان راه اندازی بالایی دارند.

۲. جریان هجومی ترانسفورماتورها

۳. بروز انواع اتصال کوتاه در سیستم

که از جمله اثرات سوء آن می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. ایجاد خطا در کموتاسیون اینورتر در رایوهای قدرت

۲. عملکرد نادرست وسایل تنظیم کننده

۳. تغییر سرعت و یا توقف موتورها

۴. خطا در محاسبات کامپیوتری و دستگاه های اندازه گیری

۵. افزایش ریبیل در منبع تغذیه مستقیم کنترل کننده های اتوماتیک

۶. صدور فرمان قطع اشتباه در رله های حفاظتی

۷. افزایش تلفات حرارتی در موتورهای القایی

² Over current

از سازوکارهای حفاظتی رایج برای مهار خطرات اضافه جریان می توان به استفاده از فیوزها، محدودکننده های جریان خطا، رله های حفاظتی و مدارشکن ها اشاره کرد. در این فصل ما به بیان مطالبی در مورد اتصال کوتاه، عوامل تولید آن، خسارات ناشی از آن، بررسی سطح اتصال کوتاه تجهیزات سیستم قدرت پرداخته و سپس روش های مقابله با افزایش سطح اتصال کوتاه را مورد بررسی قرار می دهیم.

۱-۲- عوامل بروز اتصال کوتاه

در یک شبکه قدرت اتصال کوتاه ممکن است در اثر عوامل زیر رخ دهد.

۱. افتادن خطوط هوایی

۲. خرابی در کابل های زیر زمینی

۳. خرابی در خطوط هوایی

۴. پرند زنگی و سایر عوامل حیوانی

۵. عوامل طبیعی مانند زلزله، صاعقه و ...

زمانی که عیبی در سیستم قدرت رخ می دهد مقاومت شبکه در نقطه اتصال به شدت پایین آمده و بنابراین جریان هایی با دامنه بسیار بالا به طرف نقطه عیب جاری می شوند. اتصال ها معمولاً به دو نوع است:

۱. اتصال مستقیم

۲. اتصال غیر مستقیم

اتصال مستقیم به اتصالی اطلاق می شود که مقاومت محل اتصالی کوچک باشد. این اتصال که بیشتر در اثر برخورد و تماس مستقیم فازها به یکدیگر و یا با زمین بوجود می آید. اغلب باعث جوش خوردن (اتصال فلز به فلز)، سوزاندن، ذوب شدن و بالاخره جدا شدن هادی ها

در محل اتصالی می شود و بیشتر در شبکه های فشار ضعیف و فشار متوسط در اثر ضربه های

در محل اتصالی می شود و بیشتر در شبکه های فشار ضعیف و فشار متوسط در اثر ضربه های

در محل اتصالی می شود و بیشتر در شبکه های فشار ضعیف و فشار متوسط در اثر ضربه های

منابع فارسی :

[۱] احمدزاده محبوبی، بهروز: بررسی اتصال کوتاه در سیستم های AC – DC ، دانشگاه صنعتی -

مهندسی گروه برق امیرکبیر، ۱۳۶۸

[۲] جمشید عینی، شهرام، "نحوه بهینه سازی سیستم های توزیع"، انتشارات دانشگاه فردوسی،

کد ۱۱۲۱۵، ص ۱-۸، دیماه ۱۳۸۷

[۳] اقتدارنیا، فربرز، "تغییر آرایش شبکه به منظور کاهش سطح اتصال کوتاه"، انتشارات دانشگاه

صنعتی اصفهان، ص ۱-۱۰، ۱۳۸۶

[۵] عباپور، مهدی: ساختارهای نوین و جایابی بهینه FCL در سیستم قدرت، دانشگاه تبریز،

۱۳۸۶

[۶] شکری، وحید، "مطالعه و مدلسازی محدودکننده های جریان خطا نوع حالت جامد"، دانشگاه

صنعت آب و برق شهید عباسپور، ص ۱-۴، ۱۳۸۸

[۷] ورهرام، محمدهادی: محدودکننده های جریان خطای ابررسانایی SFCL، دانشگاه خواجه

نصیرالدین طوسی، هفدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، ۱۳۸۳

[۹] مجیدی، سهیل، "تاثیر محدودکننده جریان خطای ابررسانا در شبکه توزیع"، اولین مسابقه

کنفرانس بین المللی جامع علوم مهندسی در ایران، صفحات از ۱ تا ۹، شهریور ۹۶، انزلی - ایران

منابع غیر فارسی :

[۴] Palo Alto, "Survey current limiter (FCL) technologies", EPRI, 2005

[۸] Swarn S. Kalsi, et al, "HTS Fault Current Limiter Concept", IEEE PES,

June 2004