بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی- گروه برق قدرت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

عنوان پروژه کارشناسی ارشد:

حفاظت دیفرانسیل خطوط جبران‌شده‌ی سری

نگارش:

میثم حاجی‌زاده

استاد راهنما:

دکتـر جواد سـاده

تابستان ۹۰

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد برق – قدرت

عنوان پروژه کارشناسی ارشد:

حفاظت دیفرانسیل خطوط جبران‌شده‌ی سری

نگارش:

میثم حاجی‌زاده

استاد راهنما:

دکتـر جواد سـاده

تابستان ۹۰

تقدیم به

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

و آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم . . .

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم . . .

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

سپاس گزاری

حمد و سپاس بیکران خداوند یکتا را که الهام بخش علم و معرفت است. بر خود لازم می دانم از زحمات تمام کسانی که انجام این پروژه جز به مدد دانش و محبت های بی دریغ ایشان میسر نمی شد، قدردانی کنم.

از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر جواد ساده که همانند برادری دلسوز همواره راهنمای راه بنده بودند کمال تشکر را دارم. و از خداوند متعال همواره برای ایشان سلامتی و توفیق روز افزون آرزومندم.

از استادان گرانقدر جناب آقای دکتر مجید علومی و جناب آقای دکتر محمد حسین جاویدی که قبول زحمت فرموده و در جلسه دفاع اینجانب شرکت فرمودند نهایت تشکر را دارم.

اظهارنامه

اینجانب **میثم حاجی‌زاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **رشته مهندسی برق- قدرت** دانشکده **مهندسی** دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان‌نامه **حفاظت دیفرانسیل خطوط جبران شده سری** تحت راهنمایی **دکتر جواد ساده** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این رساله/پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در رساله/پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه فردوسی مشهد » و یا « Ferdowsi University of Mashhad » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله/پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله/ پایان نامه رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله/پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله/پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل راز داری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۰/۰۶/۳۰ **امضای دانشجو**

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله/پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان‌نامه آقای **میثم حاجی‌زاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق** گرایش **قدرت** در ساعت **۸ الی ۱۰** روز **۱۳۹۰/۰۶/۳۰** در محل **کلاس ۲۲۵** دانشکده **مهندسی** با حضور امضا کنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی‌های لازم، هیأت داوران پایان‌نامه نامبرده را با نمره به عدد **۱۸/۲۵**، به حروف **هیجده و بیست و پنج صدم** و با درجه **بسیار خوب** مورد تأیید قرار داد.

عنوان پایان‌نامه:

حفاظت دیفرانسیل خطوط جبران‌شده‌ی سری

هیئت داوران امضا

- **داور: دکتر مجید علومی**

  استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد

- **نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر محمد حسین جاویدی**

  استاد گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد راهنما: دکتر جواد ساده**

  دانشیار گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد

- **مدیر گروه: دکتر رضا لطفی**

  دانشیار گروه مهندسی برق دانشگاه فردوسی مشهد

بسمه تعالی

مشخصات پایان نامه تحصیلی دانشجویان

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان پایان نامه: حفاظت دیفرانسیل خطوط جبران‌شده‌ی سری

نام نویسنده: میثم حاجی زاده

نام استاد راهنما: دکتر جواد ساده

دانشکده : مهندسی	**گروه:برق**	**رشته تحصیلی: برق قدرت**
تاریخ تصویب:		**تاریخ دفاع: ۹۰/٦/۳۰**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	**دکتری**	**تعداد صفحات: ۸٦**

چکیده رساله/پایان نامه :

در این پایان‌نامه روشی به منظور حفاظت دیفرانسیل جریانی خطوط انتقال جبران‌شده‌ی سری ارائه شده است. اساس کار الگوریتم پیشنهادی بر مولفه‌ی تحلیلی جریان خطا قرار دارد. به ازای وقوع خطا در هر نقطه از خط جبران‌شده‌ی سری مولفه‌ی جریان خطای دو انتها متناسب با درصد جبرانسازی در یک بازه‌ی زمانی با یکدیگر هم علامت می‌باشند. در صورتی که مولفه‌ی تحلیلی جریان خطای دو انتها با یکدیگر هم علامت باشند نتیجه‌ی حاصلضرب مولفه‌ی تحلیلی جریان خطای دو انتها مثبت خواهد بود و جمع نتیجه‌ی حاصلضرب برای نمونه‌های مختلف روندی صعودی خواهد داشت. با استفاده از این ویژگی می‌توان خطاهای داخلی را از خطاهای خارجی با دقت و سرعت مناسبی تشخیص داد. الگوریتم ارائه شده به ازای شرایط مختلف وقوع خطا از جمله نقطه‌ی محل خطا، مقاومت خطا، نوع خطا، زاویه‌ی شروع خطا و درصدهای مختلف جبرانسازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور بررسی دقیق‌تر الگوریتم پیشنهادی، تأثیر عملکرد برقگیر واشباع ترانس جریان نیز بر الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. کلیه‌ی شبیه‌سازی‌ها در نرم-افزار PSCAD انجام شده است. با توجه به نتایج بدست آمده الگوریتم پیشنهادی در کلیه‌ی حالات وقوع خطا دارای عملکرد صحیح و دارای سرعت عملکرد بسیار بالایی است.

علاوه بر روش اول در این پایان‌نامه الگوریتمی ارائه شده است که بر اساس اختلاف توان دو سمت گیرنده و فرستنده خطوط انتقال جبران‌شده‌ی سری را حفاظت می‌نماید. با توجه به اینکه در خطوط جبران‌شده سری با درصد جبرانسازی بالا مشکلاتی چون وارونگی جریان و ولتاژ پیش می‌آید نیاز است از روشی استفاده شود که نسبت به این عوامل مقاوم باشد. در نتیجه از حفاظت دیفرانسیل توانی که نسبت به این عوامل مقاوم می‌باشد و هنگام ایجاد وارونگی ولتاژ یا جریان عملکرد آن تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد استفاده شده است. عملکرد الگوریتمهای مقایسه‌ی توان تحت تأثیر عواملی چون مقاومت خطا، محل وقوع خطا و نوع خطا قرار می‌گیرد. یکی دیگر از عواملی که می‌تواند عملکرد این الگوریتم را تحت تأثیر قرار دهد درصد جبرانسازی می‌باشد.

هنگامی که درصد جبرانسازی متفاوت باشد میزان اندوکتانس معادل خط از دید محل نصب رله نیز متفاوت خواهد بود. هنگامی که خطا در درصدهای مختلف جبرانسازی روی می‌دهد به علت متغیر بودن اندوکتانس معادل خط جریان خط نیز متفاوت می‌باشد و به همین دلیل هنگام وقوع خطا نمی‌توان برای خطاهای داخلی حد بازدارنده از عملکرد یا تلفات توان اکتیو را ثابت در نظر گرفت و به این وسیله خطاهایی که دارای تلفات اکتیو بیشتری نسبت به مقدار ثابت باشند را جزء خطاهای داخلی به حساب آورد و برای خطاهایی که اختلاف توان اکتیو دو انتها از مقدار ثابت در نظر گرفته شده کمتر - باشند را جزء خطاهای خارجی در نظر گرفت. به منظور برطرف نمودن مشکل درصد جبرانسازی دو معیار بازدارنده از عملکرد در نظر گرفته شده است، یک معیار ثابت و معیار دوم متناسب با شرایط سیستم تغییر می‌کند. با ترکیب دو معیار ثابت و متغیر سرعت و عملکرد بهتری حاصل شده است. نتایج بدست آمده دلالت بر عملکرد صحیح در شرایط مختلف بهره‌برداری و خطا دارد.

کلید واژه:
۱. حفاظت دیفرانسیل جریانی
۲. حفاظت دیفرانسیل توانی
۳. خطوط جبران شده سری
٤. وارونگی جریان
۵. مولفه تحمیلی جریان خطا

امضای استاد راهنما:

تاریخ:

چکیده

در این پایان‌نامه روشی به منظور حفاظت دیفرانسیل جریانی خطوط انتقال جبران‌شده‌ی سری ارائه شده است. اساس کار الگوریتم پیشنهادی بر مولفه‌ی تحلیلی جریان خطا قرار دارد. به ازای وقوع خطا در هر نقطه از خط جبران‌شده‌ی سری مولفه‌ی جریان خطای دو انتها متناسب با درصد جبرانسازی در یک بازه‌ی زمانی با یکدیگر هم علامت می‌باشند. در صورتی که مولفه‌ی تحلیلی جریان خطای دو انتها با یکدیگر هم علامت باشند نتیجه‌ی حاصلضرب مولفه‌ی تحلیلی جریان خطای دو انتها مثبت خواهد بود و جمع نتیجه‌ی حاصلضرب برای نمونه‌های مختلف روندی صعودی خواهد داشت. با استفاده از این ویژگی می‌توان خطاهای داخلی را از خطاهای خارجی با دقت و سرعت مناسبی تشخیص داد. الگوریتم ارائه شده به ازای شرایط مختلف وقوع خطا از جمله نقطه‌ی محل خطا، مقاومت خطا، نوع خطا، زاویه‌ی شروع خطا و درصدهای مختلف جبرانسازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور بررسی دقیق‌تر الگوریتم پیشنهادی، تأثیر عملکرد برقگیر واشباع ترانس جریان نیز بر الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. کلیه‌ی شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار PSCAD انجام شده است. با توجه به نتایج بدست آمده الگوریتم پیشنهادی در کلیه‌ی حالات وقوع خطا دارای عملکرد صحیح و دارای سرعت عملکرد بسیار بالایی است.

علاوه بر روش اول در این پایان‌نامه الگوریتمی ارائه شده است که بر اساس اختلاف توان دو سمت گیرنده و فرستنده خطوط انتقال جبران‌شده‌ی سری را حفاظت می‌نماید. با توجه به اینکه در خطوط جبران‌شده سری با درصد جبرانسازی بالا مشکلاتی چون وارونگی جریان و ولتاژ پیش می‌آید نیاز است از روشی استفاده شود که نسبت به این عوامل مقاوم باشد. در نتیجه از حفاظت دیفرانسیل توانی که نسبت به این عوامل مقاوم می‌باشد و هنگام ایجاد وارونگی ولتاژ یا جریان عملکرد آن تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد استفاده شده است. عملکرد الگوریتمهای مقایسه‌ی توان تحت تأثیر عواملی چون مقاومت خطا، محل وقوع خطا و نوع خطا قرار می‌گیرد. یکی دیگر از عواملی که می‌تواند عملکرد این الگوریتم را تحت تأثیر قرار دهد درصد جبرانسازی می‌باشد. هنگامی که درصد جبرانسازی متفاوت باشد میزان اندوکتانس معادل خط از دید محل نصب رله نیز متفاوت خواهد بود. هنگامی که خطا در درصدهای مختلف جبرانسازی روی می‌دهد به علت متغیر بودن اندوکتانس معادل خط جریان خط نیز متفاوت می‌باشد و به همین دلیل هنگام وقوع خطا نمی‌توان برای خطاهای داخلی حد بازدارنده از عملکرد یا تلفات توان اکتیو را ثابت در نظر گرفت و به این وسیله خطاهایی که دارای تلفات اکتیو بیشتری نسبت به مقدار ثابت باشند

را جزء خطاهای داخلی به حساب آورد و برای خطاهایی که اختلاف توان اکتیو دو انتها از مقدار ثابت در نظر گرفته شده کمتر باشند را جزء خطاهای خارجی در نظر گرفت. به منظور برطرف نمودن مشکل درصد جبرانسازی دو معیار بازدارنده از عملکرد در نظر گرفته شده است، یک معیار ثابت و معیار دوم متناسب با شرایط سیستم تغییر می-کند. با ترکیب دو معیار ثابت و متغیر سرعت و عملکرد بهتری حاصل شده است. نتایج بدست آمده دلالت بر عملکرد صحیح در شرایط مختلف بهره‌برداری و خطا دارد.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱-۱- پیش‌گفتار ۱

۱-۲- اهداف پایان‌نامه ۳

۱-۳- ساختار پایان‌نامه ٦

فصل دوم: حفاظت خطوط جبران شده سری و مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- مشکلات حفاظت خطوط جبران‌شده‌ی سری ۸

۲-۳- حفاظت خطوط انتقال ۱۰

۲-۳-۱- حفاظت دیفرانسیل خطوط انتقال ۱۰

۲-۳-۱-۱- روشهای حفاظت دیفرانسیل زمانی ۱۱

۲-۳-۱-۲- روشهای حفاظت دیفرانسیل بر اساس مقایسه‌ی فاز ۱۱

۲-۳-۱-۳- روشهای حفاظت دیفرانسیل بر اساس توان ۱۱

۲-۳-۱-٤- روشهای ترکیبی ۱۲

۲-٤- بررسی مقالات ارائه شده ۱۲

فصل سوم: الگوریتمی جدید به منظور حفاظت دیفرانسیل خطوط جبران نشده و جبران‌شده‌ی سری

۳-۱- الگوریتم ارائه شده بر اساس مولفه‌ی جریان خطا ۲۳

۳-۱-۱- الگوریتم ارائه شده در خطوط جبران‌نشده ۲۳

۳-۱-۲- الگوریتم ارائه شده در خطوط جبران‌شده‌ی سری ۲٤

۳-۱-۳- پیاده‌سازی ریاضی الگوریتم پیشنهادی ۲٦

۳-۲- سیستم مورد مطالعه ۲۷

۳-۳- بررسی مولفه‌ی تحمیلی جریان خطا ۲۹

۳-٤- بررسی تأثیر خازن سری بر ولتاژها و جریان‌های سیستم مورد مطالعه ۳۱

۳-۵- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی جهت حفاظت خطوط انتقال معمولی ۳٤

۳-۵-۱- بررسی اثر محل خطا بر الگوریتم پیشنهادی ۳٤

۳-۵-۲- بررسی اثر مقاومت خطا بر الگوریتم پیشنهادی ۳۹

۳-۵-۳- بررسی اثر زاویه‌ی شروع خطا بر الگوریتم پیشنهادی ٤۵

۳-۵-٤- بررسی اثر نوع خطا بر الگوریتم پیشنهادی ٤۷

۳-٦- ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در خطوط جبران‌شده‌ی سری ٤٨
۳-٦-۱- بررسی عملکرد روش‌های حفاظتی در محل‌های مختلف وقوع خطا ٤٨
۳-٦-۲- بررسی تأثیر مقاومت خطا بر الگوریتم پیشنهادی ٥١
۳-٦-۳- بررسی اثر زاویه‌ی شروع خطا بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی ٥۳
۳-٦-٤- بررسی اثر نوع خطا بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی ٥٤
۳-٦-٥- بررسی تأثیر درصد جبران‌سازی بر الگوریتم پیشنهادی ٥٦
۳-٦-٦- بررسی اثر برقگیر بر الگوریتم پیشنهادی ٥٨
۳-٦-۷- بررسی تأثیر اشباع ترانس جریان بر الگوریتم پیشنهادی ٥٩

فصل چهارم: حفاظت دیفرانسیل توان به منظور حفاظت خطوط جبران‌شده سری

٤-۱- الگوریتم پیشنهادی ٦۱
٤-۲- نتایج شبیه‌سازی‌ها ٦۳
٤-۲-۱- بررسی تأثیر محل خطا بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی ٦٤
٤-۲-۲- بررسی تأثیر مقاومت خطا بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی ٦۷
٤-۲-۳- بررسی تأثیر زاویه‌ی شروع خطا بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی ۷۳
٤-۲-٤- بررسی تأثیر درصد جبران‌سازی سری بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی ۷۳

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

٥-۱- نتیجه‌گیری ۸۰
٥-۲- پیشنهادات ۸۲
ضمیمه ۸۳
مراجع ۸٤

فهرست شکل‌ها

شکل(۱-۱): مشخصه‌ی رله‌ی دیستانس ٤

شکل (۲-۱): وارونگی ولتاژ در خط انتقال جبران‌شده‌ی سری ۹

شکل (۲-۲): وارونگی جریان در خط انتقال جبران‌شده‌ی سری ۱۰

شکل (۲-۳): جمع مقادیر جریان سینوسی بعد از یک سیکل در الگوریتم پنجره‌ی میانگین متحرک ۱٤

شکل (۳-۱): خط انتقال جبران نشده ۲۸

شکل (۳-۲): خط انتقال جبران شده سری. ۲۹

شکل (۳-۳): مولفه‌ی تحمیلی جریان خطای دو انتها برای خطا در وسط خط ۳۰

شکل (۳-٤): مولفه‌ی تحمیلی جریان خطای دو انتها برای خطای داخلی در ابتدای خط سمت باس فرستنده ۳۱

شکل (۳-۵): مولفه‌ی تحمیلی جریان خطای دو انتها برای خطای خارجی در ابتدای خط بعد در سمت باس فرستنده ۳۱

شکل (۳-٦): ولتاژها و جریان‌های باس‌های فرستنده و گیرنده به ازای وقوع خطا در نقطه‌ی F_1 ۳۲

شکل (۳-۷): ولتاژها و جریان‌های باس‌های فرستنده و گیرنده به ازای وقوع خطا در نقطه‌ی F_2 ۳۳

شکل (۳-۸): ولتاژها و جریان‌های باس‌های فرستنده و گیرنده به ازای وقوع خطا در نقطه‌ی F_3 ۳۳

شکل (۳-۹): ولتاژها و جریان‌های باس‌های فرستنده و گیرنده به ازای وقوع خطا در نقطه‌ی F_4 ۳٤

شکل (۳-۱۰): خطای سه‌فاز با مقاومت ۱ اهم در نقطه‌ی F_1 با زاویه‌ی شروع ۲۸۰ درجه در خط معمولی ۳٦

شکل (۳-۱۱): خطای سه‌فاز با مقاومت ۱ اهم در نقطه‌ی F_2 با زاویه‌ی شروع ۲۸۰ درجه در خط معمولی ۳۷

شکل (۳-۱۲): خطای سه‌فاز با مقاومت ۱ اهم در نقطه‌ی F_4 با زاویه‌ی شروع ۲۸۰ درجه در خط معمولی ۳۸

شکل (۳-۱۳): خطای سه‌فاز با مقاومت ۱ اهم در نقطه‌ی F_5 با زاویه‌ی شروع ۲۸۰ درجه در خط معمولی ۳۹

شکل (۳-۱٤): خطای تک‌فاز با مقاومت ۲۰۰ اهم در نقطه‌ی F_1 با زاویه‌ی شروع ۲۸۰ درجه در خط معمولی ٤۱

شکل (۳-۱۵): خطای تک‌فاز با مقاومت ۲۰۰ اهم در نقطه‌ی F_2 با زاویه‌ی شروع ۲۸۰ درجه در خط معمولی ٤۲

شکل (۳-۱٦): خطای تک‌فاز با مقاومت ۲۰۰ اهم در نقطه‌ی F_4 با زاویه‌ی شروع ۲۸۰ درجه در خط معمولی ٤۳

شکل (۳-۱۷): مشخصه‌ی عملکرد الگوریتم حفاظتی میانگین پنجره‌ی متحرک و الگوریتم پیشنهادی به ازای خطای سه‌فاز با مقاومت ۱ اهم در نقاط F_1 تا F_5. ۵۰

شکل (۳-۱۸): مشخصه‌ی عملکرد الگوریتم حفاظتی میانگین پنجره‌ی متحرک و الگوریتم پیشنهادی به ازای خطای سه‌فاز با مقاومت ۲۰۰ اهم در نقاط F_2 تا F_4. ۵۱

شکل (۳-۱۹): بررسی مشخصه‌ی عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای ترانس جریان ایده‌آل و واقعی هنگام وقوع خطای داخلی. ٦۰

شکل (٤-۱): سیستم مورد مطالعه ٦۳

شکل (٤-۲): بررسی تأثیر محل خطا بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی هنگام وقوع خطای خارجی با مقاومت ۱ اهم ٦٤

شکل (٤-٣): بررسی الگوریتم حفاظت دیفرانسیل توانی در خطوط جبران شده سری مقاومت خطا ١ اهم: الف) خطا در نقطه‌ی F_2، ب) خطا در نقطه‌ی F_3، ج) خطا در نقطه‌ی F_4، د) خطا در نقطه‌ی F_5، هـ) خطا در نقطه‌ی F_6، و) خطا در نقطه‌ی F_7. ٦٦

شکل (٤-٤): بررسی تأثیر محل خطا بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی هنگام وقوع خطای خارجی با مقاومت ٨٠ اهم: الف) خطای در نقطه‌ی F_1، ب) خطا در نقطه‌ی F_8. ٦٨

شکل (٤-٥): بررسی الگوریتم حفاظت دیفرانسیل توانی در خطوط جبران شده سری به ازای مقاومت خطا ٨٠ اهم: الف) خطا در نقطه‌ی F_2، ب) خطا در نقطه‌ی F_3، ج) خطا در نقطه‌ی F_4، د) خطا در نقطه‌ی F_5، هـ) خطا در نقطه‌ی F_6، و) خطا در نقطه‌ی F_7. ٦٩

شکل (٤-٦): زمان عملکرد الگوریتم حفاظت دیفرانسیل توانی در خط جبران شده سری: الف) خطا در نقطه‌ی F_2، ب) خطا در نقطه‌ی F_3، ج) خطا در نقطه‌ی F_4، د) خطا در نقطه‌ی F_5، هـ) خطا در نقطه‌ی F_6، و) خطا در نقطه‌ی F_7. ٧٢

شکل (٤-٧): بررسی درصد جبرانسازی بر عملکرد الگوریتم پیشنهادی هنگام وقوع خطای خارجی با مقاومت ١ اهم: الف) خطای در نقطه‌ی F_1، ب) خطا در نقطه‌ی F_8. ٧٤

شکل (٤-٨): بررسی الگوریتم حفاظت دیفرانسیل توانی در خطوط جبران شده سری به ازای مقاومت خطا ٨٠ اهم و درصد جبرانسازی ٣٠ درصد: الف) خطا در نقطه‌ی F_2، ب) خطا در نقطه‌ی F_3، ج) خطا در نقطه‌ی F_4، د) خطا در نقطه‌ی F_5، هـ) خطا در نقطه‌ی F_6، و) خطا در نقطه‌ی F_7. ٧٥

شکل (٤-٩): زمان عملکرد الگوریتم حفاظت دیفرانسیل توانی در خطوط جبران شده سری به ازای خطای با مقاومت ١١٥ اهم در درصدهای مختلف جبرانسازی: الف) خطا در نقطه‌ی F_2، ب) خطا در نقطه‌ی F_3، ج) خطا در نقطه‌ی F_4، د) خطا در نقطه‌ی F_5، هـ) خطا در نقطه‌ی F_6، و) خطا در نقطه‌ی F_7. ٧٨

فهرست جدول‌ها

جدول (۳-۱): بررسی تأثیر مقاومت خطا در خطوط جبران‌نشده ٤٥

جدول (۳-۲): بررسی تأثیر زاویه‌ی شروع خطا بر عملکرد طرح‌های حفاظتی در خطوط جبران نشده ٤٦

جدول (۳-۳): بررسی تأثیر نوع خطا بر الگوریتم‌های حفاظتی در خطوط جبران‌نشده ٤٨

جدول (۳-٤): بررسی تأثیر مقاومت خطا در خطوط جبران شده سری ٥٣

جدول (۳-٥): بررسی تأثیر زاویه‌ی شروع خطا در خطوط جبران‌شده سری ٥٤

جدول (۳-٦): بررسی تأثیر نوع خطا در خطوط جبران‌شده‌ی سری ٥٥

جدول (۳-۷): بررسی تأثیر درصد جبران‌سازی بر عملکرد الگوریتم‌های حفاظتی ٥٧

جدول (۳-۸): بررسی تأثیر برقگیر بر عملکرد الگوریتم‌های حفاظتی در خط جبران شده سری ٥٩

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

امروزه جوامع مدرن به انرژی الکتریکی با کیفیت بالا و به صورت مداوم نیاز دارند. کامپیوترها، شبکه‌های مخابراتی، شبکه‌های راه آهن، سیستمهای بانکی و ... تنها نمونه‌ای از مصرف‌کنندگان انرژی الکتریکی در جوامع امروزی هستند که بدون انرژی الکتریکی فعالیت آنها امکان پذیر نیست. بنابراین تداوم و برقراری انرژی الکتریکی در تمام ساعات از اهمیت بالایی برخوردار است.

هیچ سیستم قدرتی را نمی‌توان طوری طراحی نمود که هرگز دچار خطا نشود. در نتیجه این سیستم با یک سری نواقص مواجه خواهد بود که در زبان مهندسی حفاظت به این نواقص، خطا گفته می‌شود. در سیستمهای حفاظت آنچه که دارای اهمیت می‌باشد این است که چگونه از به وجود آمدن خطا جلوگیری کرده و در صورتی بروز خطا چگونه اثرات نامطلوب آن را به حداقل رساند. اثرات نامطلوب خطاها را می‌توان با جداسازی سریع عنصر معیوب (تجهیزی که دچار خطا شده است) از بقیه‌ی سیستم به حداقل رساند و در ضمن می‌توان با محدود کردن خطا در کمترین زمان از اثرات مخرب آن جلوگیری نمود. به منظور جلوگیری از وارد آمدن خسارت جدی در خطوط انتقال بایستی از روشهایی استفاده نمود که بتوانند در شرایط مختلف با عملکرد مناسب کمترین خاموشی را ایجاد کنند. با توجه به سطح ولتاژ خیلی بالای خطوط انتقال امروزی که نقش مهمی در حفظ پایداری سیستم قدرت و تأمین توان مصرف کنندگان بر عهده دارند بایستی از روشهای حفاظتی استفاده شود که بتوانند به درستی خطا را تحت شرایط مختلف تشخیص دهند و در حداقل زمان آن را از بین ببرند. در شبکه‌های امروزی استفاده از خطوط جبران‌شده به علت افزایش ظرفیت انتقال انرژی و بهبود پایداری رایج می‌باشد. با استفاده از رله‌های دیستانس و اضافه جریان نمی توان برای این خطوط حفاظت بدون تأخیر برای هر نقطه از خط فراهم نمود و عملکرد رله‌های دیستانس متأثر از مقاومت خطا، شرایط قبل و بعد از خطا، اندوکتانس متقابل در خطوط انتقال موازی، تزریق جریانهای خارجی وتأثیر خازنهای موازی می‌باشد. در خطوط چند ترمیناله رله‌های دیستانس با مشکلات مهمی چون تغذیه‌ی جریان خارجی و خطاهای با مقاومت بالا روبرو هستند که باعث کاهش برد یا افزایش برد رله می‌شوند. مشکلات دیگری که برای رله‌ی دیستانس می‌توان برشمرد عبارتند از: حساسیت به نوسانات سیستم قدرت و عملکرد نادرست برای خطوط جبران شده سری می‌باشد. از آنجا که رله‌های دیستانس بر اساس مقادیر فازور ولتاژ و جریان

عمل می‌کنند و چون بعد از وقوع خطا نمی‌توان رفتار سیستم را به صورت فازوری مدل نمود از این رو رله‌ی دیستانس و هر روشی که از مدل فازور استفاده می‌کند در این شرایط دچار مشکل می‌شود یا عملکردش با تأخیر همراه است.

با توجه به پیشرفت ارتباطات و امکان برقراری ارتباط بین دو انتهای خط انتقال و برای غلبه بر مشکلات رله‌های اضافه جریان و دیستانس، یکی از راه حل‌های مطمئن برای حفاظت خطوط انتقال، استفاده از حفاظت دیفرانسیل می‌باشد.

سیستمهایی که فقط برای ناحیه‌ی حفاظتی تعریف شده عمل می‌کنند و در خارج از آن ناحیه به هیچ وجه عمل نمی‌نمایند، سیستمهای حفاظت واحد نامیده می‌شوند. حفاظت دیفرنسیل نیز جزء سیستمهای حفاظت واحد محسوب می‌شود. حفاظت دیفرانسیل از نوع حفاظت انتخاب کننده‌ی مطلق می‌باشد. اساس کار این نوع حفاظت بر مبنای اندازه‌گیری و مقایسه جریانهای دو طرف ناحیه‌ی حفاظت شده می‌باشد. در این نوع سیستمها اغلب از سیمهای پایلوت به عنوان یک واسطه‌ی ارتباطی استفاده می‌شود که جهت حفاظت خطوط کوتاه به کار می‌رود. امروزه از این سیستم حفاظتی جهت خطوط بلند نیز استفاده می‌شود با این تفاوت که در این حالت PLC، مایکروویو یا فیبر نوری جهت واسطه‌ی ارتباطی استفاده می‌شود. حفاظت‌های دیستانس و اضافه‌جریان خطوط انتقال جزء حفاظتهای غیر پایلوت محسوب می‌شوند. در رله‌های غیرپایلوت، در صورتی که خطا در هر یک از دو انتهای خط رخ دهد امکان اینکه بتوان خطا را به طور آنی برطرف کرد وجود ندارد. بعلاوه در رله دیستانس به علت اینکه بر اساس امپدانس تصمیم گیری می‌شود مقدار امپدانسی که بایستی برای رله تنظیم شود به علت مقاومت خطا نمی‌تواند با اطمینان تنظیم شود. حفاظت دیفرانسیل در گذشته برای اکثر خطوط انتقال به دلیل مشکل مسافت، قابل اجرا نبود. برای یک خط سه‌فاز، به شش سیم پایلوت، یکی برای هر فاز، یکی برای نول، و دو سیم نیز برای قسمت‌های مثبت و منفی تغذیه DC برای فرمان به کلید قدرت احتیاج بود. برای فاصله‌ای حدود ۵ الی ۱۰ کیلومتر هزینه‌ی کابل‌ها به تنهایی مانع از اجرای این طرح می‌شد. بعلاوه، در اثر بارگذاری شدید ترانس جریان به اشباع می-رود و برای جریانهای زیاد بار و جریان زیاد خطا، مقدار دقت جریانی که ترانس جریان خواهد داشت بسیار کم می‌باشد. همچنین افت ولتاژ کابل سمت ثانویه‌ی ترانس جریان، جریانهای شارژ خط انتقال و یا به علت نزدیکی کابلها به خطوط انتقال برای بی‌اثر کردن اثرات ناشی از صاعقه نیاز به عایق بسیار خوبی بود، و همه‌ی اینها مشکلاتی بود که مانع از اجرای این طرح می‌شد و تنها برای خطوط بسیار کوتاه (کمتر از سه کیلومتر) قابل اجرا

بود. با گسترش استفاده از رله‌های دیجیتال، اکنون طرح حفاظت دیفرانسیلی خطوط انتقال، قابل اجرا بوده بعلاوه طرحی است که از آن استقبال شده است.

۱-۲- اهداف پایان‌نامه

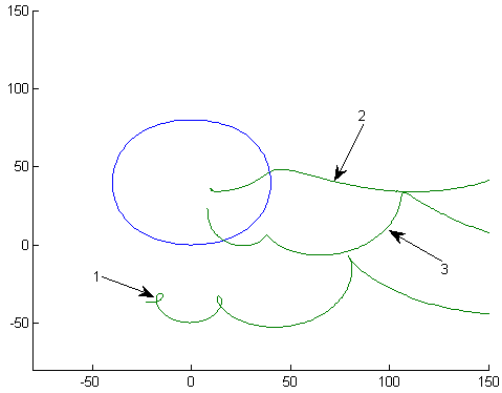
با توجه به مطالعات انجام شده در حوزه‌ی حفاظت خطوط انتقال هنوز مشکلاتی وجود دارد که با توجه به پیشرفت‌های بدست آمده، برای برخی از این مشکلات راه‌حل مناسبی تاکنون پیشنهاد نشده است. یکی از این موضوعات حفاظت خطوط جبران شده سری می‌باشد. به منظور افزایش توان عبوری، بهبود پایداری و کاهش تلفات در خطوط انتقال طولانی و انتقال توان در مسافتهای طولانی از جبران‌سازی سری استفاده می‌شود. استفاده از خازن سری مزایای زیادی را ایجاد می‌نماید ولی مشکلات فراوانی را نیز برای مهندسین حفاظت ایجاد کرده است.

در صورتی که در خطوط جبران شده از رله‌ی دیستانس به منظور حفاظت خط انتقال استفاده شود و درصد جبران-سازی خط توسط خازن سری نیز بالا باشد، در حالتی که خطا بعد از خازن روی دهد رله خطای داخلی را خطای خارجی تشخیص می‌دهد و یا خطای خارجی را خطای داخلی تشخیص داده و باعث عملکرد ناصحیح و از دست رفتن بار و ناپایداری شبکه خواهد شد.

همانطور که در شکل (۱-۱) مشاهده می‌شود هنگامی که درصد جبران‌سازی بالاست رله‌ی دیستانس برخی از خطاهای داخلی را تشخیص نمی‌دهد و خطایی که در خط انتقال مجاور روی داده است را خطای داخلی تشخیص داده و دچار عملکرد ناصحیح می‌شود.

در حفاظت دیفرانسیل خطوط انتقال جبران‌نشده در صورتی که خطا خارجی باشد جریان دو انتها دارای اختلاف فاز نزدیک ۱۸۰ درجه خواهد بود و در صورتی که خطا داخلی باشد اختلاف فاز جریان دو انتها نزدیک به صفر خواهد بود. در صورتی که از روشهای حفاظت دیفرانسیل جریانی در خطوط با جبرانسازی سری استفاده شود هنگام وقوع خطا در اواسط خط جریان یک انتها با جریان انتهای دیگر اختلاف نزدیک به ۱۸۰ درجه خواهد داشت و رله خطای داخلی را از خطای خارجی تشخیص نداده و عملکرد نامناسبی خواهد داشت.

در صورتی که از روشهای نمونه‌های زمانی به منظور حفاظت خطوط جبران‌شده سری استفاده شود در صورت وقوع خطای داخلی نمونه‌های دو انتها با یکدیگر تطابق نداشته در واقع نمونه‌های جریان یک انتها در سیکل مثبت بوده و نمونه‌های انتهای دیگر در سیکل منفی می‌باشند و این با شرایط خطای خارجی تطابق داشته و رله خطا را تشخیص نداده و عملکردی نخواهد داشت.



شکل(۱-۱): مشخصه‌ی رله‌ی دیستانس و مسیر امپدانس برای: ۱) خطای داخلی در نیمه‌ی دوم خط حفاظت شده (بعد از خازن)، ۲) خطای داخلی در نیمه‌ی اول خط حفاظت شده (قبل از خازن)، ۳) خطای خارجی در ٤٠ کیلومتری خط مجاور

در این پایان‌نامه روشهایی جهت حفاظت دیفرانسیل خطوط انتقال جبران نشده و جبران‌شده سری ارائه شده است. با توجه به ویژگی‌هایی که برای یک طرح حفاظتی مطلوب مدنظر است و به منظور عینیت بخشیدن به تمامی این ویژگی‌ها، از روش ضرب مولفه‌های جریان خطای دو انتها و سپس جمع این مقادیر به منظور حفاظت خطوط جبران‌شده‌ی سری استفاده شده است. این روش قادر است مستقل از معادلات پیچیده‌ی حاکم بر سیستم و مشکلاتی که روشهای معمول در حفاظت خطوط جبران شده‌ی سری با آن مواجه هستند، خطوط جبران شده‌ی سری را حفاظت نماید.

با توجه به مطالبی که در بالا ارائه شد طرح حفاظتی ارائه شده دارای ویژگی‌هایی است که می توان آن را در خطوط جبران شده سری و جبران نشده استفاده نمود، این ویژگی‌ها را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- ✓ دارای سرعت تشخیص بالایی می‌باشد
- ✓ هنگام وقوع وارونگی ولتاژ و یا جریان به درستی عمل می‌نماید
- ✓ خطوط با درصد جبران‌سازی متفاوت را حفاظت می‌نماید
- ✓ قادر است خطاهای داخلی با مقاومت بالا را از خطای خارجی با مقاومت کوچک بدرستی تمیز دهد
- ✓ تحت زوایای مختلف وقوع خطا می‌تواند خطاهای داخلی را از خطاهای خارجی تشخیص دهد
- ✓ به ازای انواع مختلف خطا در مکان‌های مختلف به درستی عمل می‌نماید
- ✓ قادر است در صورت عملکرد برق‌گیر که به صورت موازی با خازن نصب می‌شود به درستی عمل نماید
- ✓ هنگام وقوع خطاهای با مقاومت کم که باعث اشباع ترانس‌های جریان می‌شود عملکرد صحیحی دارد