دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه قدرت

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق- قدرت

عنوان

ارائه راهکار جدید برای بهبود عملکرد رله های حفاظتی دیجیتال در خطوط انتقال کوتاه

استادان راهنما

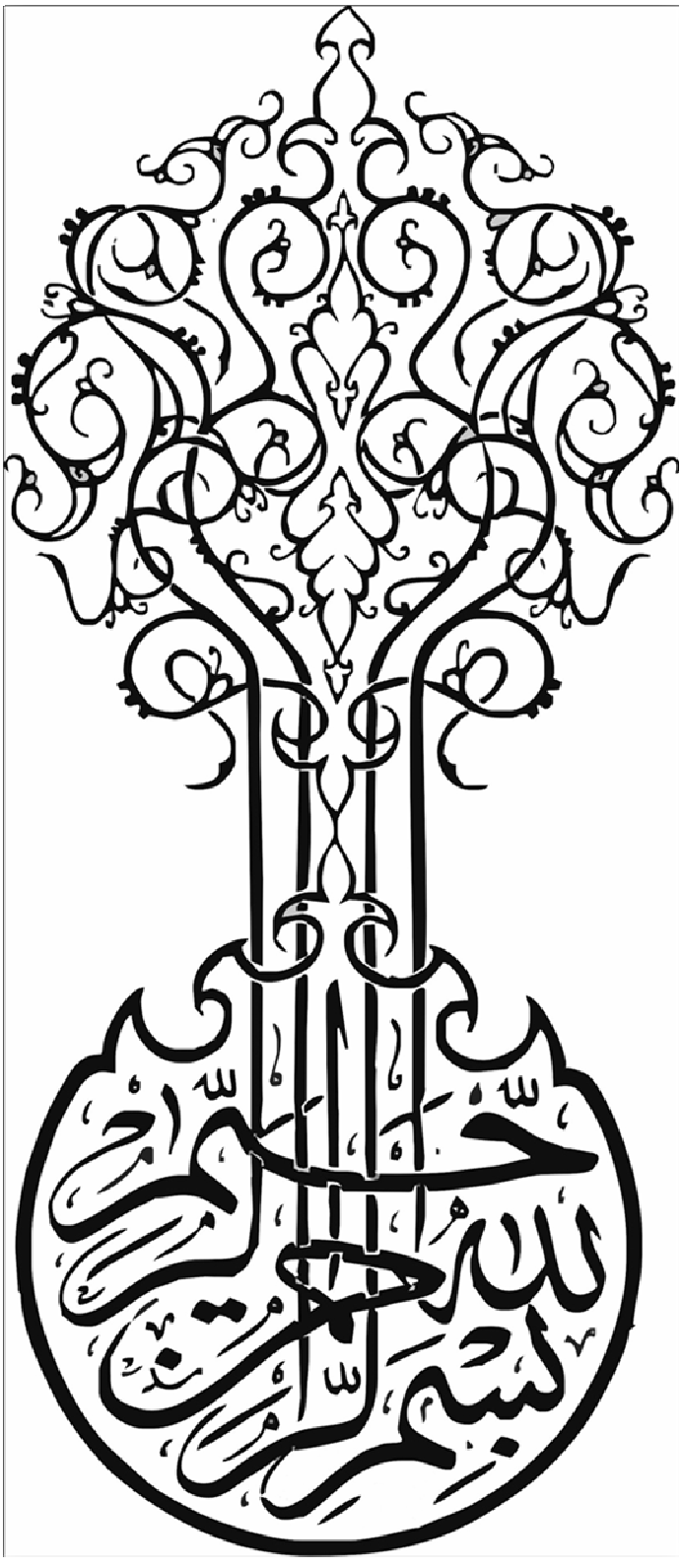
دکتر ابراهیم بابائی

دکتر هیرش سیدی

پژوهشگر

وحید فتحی

شهریور ۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. آموزگارانی که برایم زندگی، بودن و انسان بودن را معنا کردند حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان...

نام خانوادگی: فتحی **نام:** وحید

عنوان: ارائه راهکار جدید برای بهبود عملکرد رله های حفاظتی دیجیتال در خطوط انتقال کوتاه

استاد راهنما: دکتر ابراهیم بابائی و دکتر هیرش سیدی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی برق قدرت **گرایش:** الکترونیک قدرت

دانشگاه: تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی:** شهریور ۱۳۹۰

تعداد صفحه: ۱۲۰

کلیدواژه‌ها: خط انتقال، رله‌های دیجیتال، مقاومت خطا

چکیده

خط انتقال یکی از مهمترین تجهیزات سیستم قدرت است، حفاظت خط انتقال از دیدگاه حفظ پایداری سیستم و جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزات در اثر عبور جریان اتصال کوتاه دارای اهمیت بسیار زیادی است. با توجه به فاصله زیاد بین ترمینالهای ابتدا و انتهای خط، حفاظت خط انتقال یکی از پیچیده‌ترین انواع حفاظت در سیستم قدرت است. حفاظت خط انتقال به طرق مختلف صورت می‌گیرد. عمده‌ترین حفاظت در مورد خطوط متوسط و بلند حفاظت دیستانس است. این گونه حفاظت با محاسبه امپدانس و مقایسه آن با نواحی حفاظتی از قبل تعریف شده، عمل حفاظت را انجام می‌دهد. اما در مورد خطوط کوتاه استفاده از حفاظت دیستانس خطوط بلند با مشکلاتی روبرو است. به دلیل کوچک بودن امپدانس خطوط کوتاه، نسبت امپدانس منبع به امپدانس خط انتقال عدد بزرگی است و به همین علت خطوط کوتاه در رابطه با حفاظت دیستانس دچار مشکل هستند. افت ولتاژ روی خط انتقال که در محل رله به عنوان ولتاژ دیده شده توسط رله استفاده می‌شود بسیار کوچکتر از ولتاژ نامی سیستم است (این ولتاژ از تقسیم ولتاژ بین خط و منبع حاصل می‌شود). همین امر باعث می‌شود که کوچکترین خطا در اندازه‌گیری ولتاژ، عملکرد رله را دچار اختلال نماید. با توجه به اینکه ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری در حوالی مقادیر نامی‌شان عملکرد مناسبی دارند؛ و در صورتی که ولتاژ محل رله بسیار کمتر از ولتاژ نامی سیستم باشد، دچار مشکل خواهند شد. همچنین ناحیه حفاظتی رله دیستانس برای خط کوتاه کوچکتر بوده و مقاومت خطا باعث خارج شدن خطا از حوزه حفاظت رله دیستانس می‌شود و رله برای خطای داخلی عمل نخواهد کرد. این دو مشکل اساسی رله‌های دیستانس در خطوط کوتاه باعث استفاده از روش‌های جریانی در حفاظت خطوط کوتاه شده است. روش‌های جریانی به دو صورت انجام می‌گیرد: مقایسه فاز جریان و استفاده از تفاضل جریان. این گونه روش حفاظتی نیاز به کانال مخابراتی پیچیده و سریع دارد تا اطلاعات بین دو پست با یکدیگر مبادله شوند. یک مزیت مهم روشهای جریانی عدم نیاز به اطلاعات ولتاژ می‌باشد. پس رله‌ای که از این روش استفاده می‌کند ساده‌تر است اما عیبی که برای این روش وجود دارد این است که هرگونه خطا در کانال مخابراتی باعث عملکرد نابجا و یا نادرست رله خواهد شد.

روش مورد استفاده برای بهبود عملکرد سیستم حفاظت خطوط کوتاه بر مبنای رله‌های میکروپروسسوری است. یعنی فرض بر این است که با در اختیار داشتن یک پروسسور قوی، امکان انجام سریع هر گونه محاسبه ریاضی در فضای دیجیتال فراهم است. این فرض دور از واقع نیست. زیرا تقریبا تمامی رله‌هایی که در سیستم‌های قدرت جدید در حال نصب هستند از نوع میکروپروسسوری می‌باشند. با استفاده از امکانات رله‌های میکروپروسسوری، می‌توان به صورت نرم‌افزاری توابع جدیدی را در حفاظت مورد استفاده قرار داد. استفاده مناسب از این امکانات باعث می‌شود که انعطاف‌پذیری و قابلیت رله‌های حفاظتی میکروپروسسوری نسبت به انواع استاتیکی و الکترومکانیکی به طور چشمگیری افزایش یابد. در این پایان‌نامه از این امکان جدید به نحو مناسب استفاده خواهد شد. انتظار می‌رود روش جدید ارائه شده، در مقابل اثر مقاومت خطا، اثر Infeed و اثر افت ولتاژ بیش از حد در خطوط انتقال کوتاه عملکرد مناسبی داشته باشد.

فهرست

فهرست شکل‌ها ix

فهرست جدول‌ها xi

فصل اول: مقدمه و بررسی منابع ۱

فصل دوم: حفاظت دیستانس و مشکلات آن ٦

۲-۱-مقدمه ۷

۲-۲-حفاظت دیستانس ۷

۲-۳-دیاگرام R-X ۱۱

۲-٤-نحوه عملکرد رله‌های دیستانس سه فاز ۱٤

۲-٤-۱-خطاهای فاز-فاز ۱۵

۲-٤-۲-خطای تکفاز به زمین ۱۷

۲-۵- انواع مشخصه های رله دیستانس ۱۹

۲-۵-۱-رله نوع امپدانسی یا تخت ۲۰

۲-۵-۲-رله نوع ادمیتانسی یا مهو ۲۲

۲-۵-۳-رله راکتانسی ۲۳

۲-۵-٤-رله با مشخصه کوآد یا چهارگوش ۲۳

۲-٦-معرفی رله میکروپروسسوری ۲٤

۲-٦-۱-مزایای رله‌های میکروپروسسوری ۲۵

۲-٦-۱-۱-هزینه ۲۵

۲-٦-۱-۲-چک خودکار و تضمین عملکرد درست رله ۲٦

۲-٦-۱-۳-محیط دیجیتال ۲٦

۲-٦-۱-٤-انعطاف‌پذیری ۲۷

۲-٦-۱-۵-سخت‌افزار جداشونده ۲۷

۲-٦-۱-٦-اندازه‌گیری ۲۷

۲-٦-۱-۷-سایز و اندازه ۲۷

۲-٦-۱-۸-تنظیم آسان ۲۸

۲-٦-۱-۹-میزان خطای کم ۲۸

۲-٦-۲-ساختمان رله‌های میکروپروسسوری ۲۸

۲-٦-۲-۱-ورودی‌های رله ۲۹

۲-٦-۲-۲-نمونه‌برداری ۲۹

۲-٦-۲-۳-مبدل آنالوگ به دیجیتال ۳۲

۲-٦-۲-٤-قسمت حافظه رله ۳٤

۲-٦-۲-۵-پدیده تشابه ۳۵
۲-٦-۳-نمونه‌برداری از سیگنال‌های آنالوگ ۳۵
۲-٦-٤-الگوریتم‌های تخمین فازور ۳۹
۲-٦-٤-۱-الگوریتم Mann-Morrison ۳۹
۲-٦-٤-۲-الگوریتم Rockefeller ٤۰
۲-٦-٤-۳-الگوریتم Miki-Mikano ٤۰
۲-٦-٤-٤-الگوریتم فوریه ٤۰
۲-٦-٤-۵-الگوریتم فوریه بازگشتی ٤۲
۲-۷-مشکلات رله دیستانس ٤۳
۲-۷-۱-عدم پوشش سریع تمام طول خط ٤٤
۲-۷-۲-حساسیت در مقابل اثر مقاومت خطا ٤٤
۲-۷-۳-اثر نوسان توان ٤٦
۲-۷-٤-حفاظت خطوط موازی ٤٦
۲-۷-۵-حفاظت خطوط چند ترمیناله ٤۸
۲-۷-۵-۱-اثر Infeed در عملکرد رله دیستانس ٤۸
۲-۷-۵-۲-اثر Outfeed در عملکرد رله دیستانس ۵۱
۲-۷-٦-حفاظت خطوط جبران شده با خازن سری ۵۳
فصل سوم: خطوط انتقال کوتاه ۵۸
۳-۱-خطوط انتقال کوتاه ۵۹
۳-۲-روش‌های جریانی برای حفاظت خط کوتاه ۵۹
۳-۳-رله دیستانس برای حفاظت خط کوتاه ٦۰
۳-٤-ترانسفورماتور جریان خط کوتاه ٦۰
۳-۵-ترانسفورماتور ولتاژ خازنی خط کوتاه ٦۱
۳-٦-اثر مقاومت خطا ٦۲
۳-۷-کمبود ولتاژ و در نتیجه تأثیر خطای اندازه‌گیری روی آن ٦۲
۳-۸-کمبود ولتاژ و در نتیجه عدم تولید گشتاور محرک ٦۳
۳-۹-جمع‌بندی ٦۳
فصل چهارم: مبانی و روش‌ها ٦٤
٤-۱-مقدمه ٦۵
٤-۲-شبکه‌های عصبی ٦۵
٤-۳-معرفی الگوریتم جدید بر اساس شبکه عصبی چندلایه ٦۸
٤-٤-ارائه روشی برای غلبه بر مشکل ولتاژ در خطوط کوتاه ۷۱
٤-۵-استفاده از روش‌های مختلف برای تخمین امپدانس خط و محل خطا ۷٤
٤-۵-۱-روش پیشنهادی اول ۷٤

٤-٥-٢-روش پیشنهادی دوم ٧٦
٤-٥-٣-روش پیشنهادی سوم ٨١
٤-٥-٤-روش پیشنهادی چهارم ٨٥
٤-٥-٥-روش پیشنهادی پنجم ٨٨
فصل پنجم: شبیه‌سازی و تحلیل ٩٠
٥-١-مدلسازی سیستم و نتایج شبیه‌سازی شبکه عصبی ٩١
٥-١-١- مدلسازی سیستم ٩١
٥-١-٢-نتایج شبیه‌سازی‌های اولیه ٩٤
٥-١-٣-بررسی اثر مقاومت خطا ٩٦
٥-١-٤- بررسی تأثیر امپدانسهای منابع معادل دو طرف خط ٩٧
٥-١-٥- بررسی اثر نوسان توان ٩٧
٥-٢- مدلسازی سیستم و نتایج شبیه‌سازی روش‌های تخمین محل و مقدار مقاومت خطا ٩٨
٥-٢-١-مدلسازی سیستم ٩٨
٥-٢-٣-مدلسازی ترانسفورماتور ولتاژ خازنی ٩٩
٥-٢-٤-شبیه‌سازی روش اول تخمین محل و مقدار خطا ١٠١
٥-٢-٥-شبیه‌سازی روش دوم تخمین محل و مقدار خطا ١٠٥
٥-٢-٦-شبیه‌سازی روش سوم تخمین محل و مقدار خطا ١٠٦
٥-٢-٧-شبیه‌سازی روش چهارم تخمین محل و مقدار خطا ١٠٨
٥-٢-٨-شبیه‌سازی روش پنجم تخمین محل و مقدار خطا ١١٠
٥-٢-٩-مقایسه پنج روش پیشنهادی ١١٣
فصل ششم: نتیجه‌گیری ١١٤
٦-١-نتیجه‌گیری ١١٥
٦-٢-پیشنهادات ١١٧
مراجع ١١٨

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ زون‌های رله دیستانس برای پوشش ۱۰۰ درصدی خط انتقال و حفاظت پشتیبان خط مقابل ۸
شکل ۲-۲ مدار کنترل رله دیستانس ۱۰
شکل ۲-۳ ولتاژ و جریانی که در محل رله دیده می‌شود ۱۲
شکل ۲-٤ دیاگرام R-X ۱۳
شکل ۲-۵ مدار مولفه های متقارن خطای b-c ۱۵
کل ۲-٦ مدار مولفه های متقارن خطای b-c-g ۱٦
شکل ۲-۷ مدار مولفه های متقارن خطای سه فاز ۱٦
شکل ۲-۸ مدار مولفه های متقارن خطای a-g ۱۸
شکل ۲-۹ مشخصه عملکرد رله امپدانسی ۲۱
شکل ۲-۱۰ مشخصه رله ادمیتانسی یا مهو ۲۲
شکل ۲-۱۱ مشخصه رله راکتانسی ۲۳
شکل ۲-۱۲ رله چهارگوش ۲٤
شکل ۲-۱۳ دیاگرام رله میکروپروسسوری متداول ۲۸
شکل ۲-۱٤ ساختار یک S/H ۲۹
شکل ۲-۱۵ شارژ و دشارژ شدن خازن و تاثیر آن روی ولتاژ ذخیره شده ۳۰
شکل ۲-۱٦ رله میکروپروسسور همراه با S/H ۳۱
شکل ۲-۱۷ سخت‌افزار اصلی رله میکروپروسسوری ۳۱
شکل ۲-۱۸ تبدیل مقادیر ولتاژ برای ورودی رله دیجیتال ۳۳
شکل ۲-۱۹ تبدیل مقادیر جریان برای ورودی رله دیجیتال ۳۳
شکل ۲-۲۰ تبدیل مقادیر جریان با استفاده از CT کمکی برای ورودی رله دیجیتال ۳٤
شکل ۲-۲۱ پاسخ فرکانسی تابع $x(t)$ ۳۷
شکل ۲-۲۲ تبدیل فوریه سیگنال $x'(t)$ ۳۷
شکل ۲-۲۳ تبدیل فوریه سیگنال $x'(t)$ ۳۸
شکل ۲-۲٤ مقاومت خطا و تاثیر آن روی دیاگرام R-X ٤۵
شکل ۲-۲۵ نوسان توان ٤٦
شکل ۲-۲٦ خطا در خطوط کوپل موازی ٤۷
شکل ۲-۲۷ اثر Infeed روی امپدانس اندازه‌گیری شده توسط رله دیستانس ٤۸
شکل ۲-۲۸ اثر Infeed در خطوط چند ترمیناله ٤۹
شکل ۲-۲۹ اثر Outfeed خطوط چند ترمیناله ۵۱
شکل ۲-۳۰ اثر Outfeed خطوط چند ترمیناله ۵۳
شکل ۲-۳۱ امپدانس دیده شده از محل پست A برای خطایی در پست B ۵٤
شکل ۲-۳۲ امپدانس دیده شده در فرکانس 60Hz در حالت خطا ۵۵
شکل ۲-۳۳ معکوس شدن ولتاژ و جریان ۵٦

شکل ۳-۱ اثر حالت گذرای ترانسفورماتور خازنی ٦٢
شکل ٤-۱ ساختار داخلی یک نورون ٦٦
شکل٤-۲ نمای کلی طرح ٦٨
شکل ٤-۳ نحوه تشخیص خطا توسط رله پست A ٧٠
شکل ٤-٤ سیستم قدرتی که برای محاسبه ولتاژ ابتدای خط کوتاه مطرح شده است ٧٢
شکل ٤-٥ سیستم قدرت مورد مطالعه ٧٥
شکل ٤-٦ سیستم قدرتی که خطایی با مقاومت R_f در داخل خط انتقال رخ داده است ٧٦
شکل ٤-٧ مدار معادل تونن شبکه در انتهای خط کوتاه ٨٣
شکل ٤-٨ مدار معادل مولفه‌های متقارن شبکه در حالت خطای تکفاز به زمین ٨٥
شکل ٤-٩ مدار مدل π خط بلند ٨٦
شکل ٤-۱۰ مدل ساده شده خط بلند ٨٧
شکل ٥-۱ سیستم شبیه‌سازی شده ٩١
شکل ٥-۲ نحوه قرارگیری جریانها و ولتاژهای ورودی شبکه عصبی ٩٢
شکل ٥-۳ نحوه نمونه‌برداری نیم سیکل از سیگنال ٩٣
شکل ٥-٤ پاسخ شبکه عصبی رله A برای خطای مستقیم در ۲۰ کیلومتری نقطه A ٩٥
شکل ٥-٥ پاسخ شبکه عصبی رله A برای خطای معکوس در ۱۵ کیلومتری نقطه A ٩٥
شکل ٥-٦ خطای مستقیم با مقاومت Ω ۳۰ در فاصله ۳۲ کیلومتری پست A ٩٦
شکل ٥-٧ خطای مستقیم با مقاومت ۳۰ اهمی که امپدانس معادل منبع سمت راست یک سوم مقدار اولیه‌اش می‌باشد ٩٧
شکل ٥-٨ عملکرد رله در حالت نوسان توان ٩٨
شکل ٥-٩ شبکه مورد نظر برای شبیه‌سازی حفاظت خط کوتاه ٩٨
شکل ٥-۱۰ مدار معادل ترانسفورماتور خازنی ١٠٠
شکل ٥-۱۱ حالت گذرای ترانسفورماتور خازنی زمانی که اتصال به زمین در لحظه عبور از صفر ولتاژ اتفاق افتد ١٠١
شکل ٥-۱۲ خطای تکفاز با مقاومت ۵ اهم در فاصله ۱ کیلومتری از ابتدای خط کوتاه ١٠٢
شکل ٥-۱۳ خطای تکفاز با مقاومت ۵ اهم در فاصله ۱۰ کیلومتری از ابتدای خط کوتاه ١٠٣
شکل ٥-١٤ خطای تکفاز با مقاومت ۱۰ اهم در فاصله ۱۰ کیلومتری از ابتدای خط کوتاه ١٠٤
شکل ٥-۱٥ خطای تکفاز به زمین در فاصله ٤ کیلومتری از ابتدای خط و با مقاومت ۵ اهم به زمین ١٠٥
شکل ٥-١٦ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱۰ کیلومتری از ابتدای خط و با مقاومت ۱۰ اهم به زمین ١٠٦
شکل ٥-۱۷ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱۰ کیلومتر از ابتدای خط و با مقاومت ۱۵ اهم ١٠٧
شکل ٥-۱۸ خطای تکفاز به زمین در فاصله ١٦ کیلومتر از ابتدای خط و با مقاومت ۱۰ اهم ١٠٧
شکل ٥-۱۹ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱۸ کیلومتر از ابتدای خط و با مقاومت ۱۰ اهم ١٠٨
شکل ٥-۲۰ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱۸ کیلومتر از ابتدای خط و با مقاومت ۱۰ اهم ١٠٩
شکل ٥-۲۱ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱۸ کیلومتر از ابتدای خط و با مقاومت ۱۵ اهم ١٠٩
شکل ٥-۲۲ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱۸ کیلومتر از ابتدای خط و با مقاومت ۲۰ اهم ١١٠
شکل ٥-۲۳ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱ کیلومتری و با مقاومت ۵ اهم ١١١

شکل ۵-۲٤ خطای تکفاز به زمین در فاصله ۱۰ کیلومتری و با مقاومت ۱۰ اهم ۱۱۲
شکل ۵-۲۵ خطای تکفازی در فاصله ۱۸ کیلومتری و با مقاومت ۱۵ اهم ۱۱۲

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱ جریان‌های خطای سه فاز ٦۰
جدول۵-۱: پارامترهای خطوط ۹۲
جدول ۵-۲ مشخصات CCVT ۱۰۰

فصل اول:

مقدمه و بررسی منابع

خط انتقال از جمله سیستم‌های گران‌قیمت و دارای اهمیت در شبکه‌های قدرت می‌باشد. بنابراین حفاظت از آن در درجه اهمیت بالایی قرار دارد. مشکلات متعددی در سیستم قدرت ممکن است پیش آید و خطاهای گوناگون امنیت شبکه قدرت را از لحاظ پایداری به خطر اندازد. به همین دلیل حفاظت خطوط انتقال در مقابل خطاها مهم بوده و روش‌های مختلفی برای این کار ارائه گردیده است.

عمده‌ترین روشی که در حفاظت خطوط انتقال مطرح شده حفاظت دیستانس است. این نوع حفاظت با اندازه‌گیری امپدانس خط از محل رله تا محل خطا و مقایسه آن با مشخصه تنظیم شده برای امپدانس رله عمل حفاظت را انجام می‌دهد. اما مشکلات حفاظت دیستانس باعث شده که روش‌های دیگری برای حفاظت خطوط مطرح شوند.

استفاده از مؤلفه منفی برای حفاظت خطوط فشار قوی به دلیل ویژگی بخصوص این مؤلفه مطرح شده است. مؤلفه منفی در مقابل نوسانات توان و اثر خازنی خط، متأثر نمی‌شود. همین امر باعث شده برای حفاظت خطوط بلند روش مناسبی باشد. اما این روش در هنگام قطع یک فاز از سیستم دچار ایراد می‌شود. در مرجع [۱] زاویه بار در محاسبات مربوط به مؤلفه منفی ولتاژ استفاده شده و از روی آن جریان مؤلفه منفی در شرایط قطع فاز محاسبه می‌گردد.

در مرجع [۲] الگوریتمی برای تشخیص محل خطا و خطاهای ناشی از جرقه[1] ارائه شده است. فازورهای ولتاژ و جریان توسط واحدهای اندازه‌گیر فازور[2] نصب شده در دو انتهای خط، اندازه‌گیری شده و از روی محاسبه مقدار ولتاژ جرقه در مورد گذرا یا ماندگار بودن آن تصمیم‌گیری می‌نماید.

[1] Arcing faults
[2] Phasor measurement units

در مرجع [۳] روش جدیدی برای جبران اثر مقاومت خطا ارائه شده است. این روش مقدار مقاومت خطا را با استفاده از توان اکتیو محل رله محاسبه می‌کند. بنابراین امپدانس دیده شده توسط رله دیستانس با استفاده از مقدار مقاومت خطا اصلاح می‌گردد.

در مرجع [٤] و [٥] روش جدیدی برای غلبه بر کاهش برد رله دیستانس خط کوتاه، در حضور امپدانس خطا معرفی می‌شود. در این روش اطلاعات مربوط به بار قبل از وقوع خطا، این امکان را فراهم می‌سازد که محل خطا و مقدار مقاومت خطا تعیین گردد.

زمانی که نوسان توان رخ می‌دهد، مؤلفه dc جریان برای تشخیص خطای سه فاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مرجع [٦] روش پرونی[1] برای استخراج مؤلفه‌های جریان معرفی شده است.

در مرجع [۷] روشی بر پایه استخراج مؤلفه‌های فرکانس بالای انرژی از موج‌های سیار حاصل از خطاها ارائه شده است. تشخیص سریع خطاهای متقارن حین نوسان توان توسط این روش امکان پذیر است.

استفاده از روش‌های جریانی در حفاظت خطوط کوتاه متداول است. روش‌های جریانی به صورت‌های مختلفی از جمله مقایسه فاز جریان[2] و استفاده از تفاضل جریان[3] پیاده‌سازی شده‌اند[۸] تا [۱۲]. این روش‌ها عموماً نیاز به کانال مخابراتی پیچیده و سریع دارند تا اطلاعات بین دو پست با یکدیگر مبادله شوند. بنابراین استفاده از این روشها علاوه بر پرهزینه بودن اجرا، دارای این مشکل هستند که هرگونه خطا در کانال مخابراتی باعث عملکرد نابجا و یا نادرست رله خواهد شد. البته یک مزیت روشهای جریانی عدم نیاز به اطلاعات ولتاژ می‌باشد. لذا رله‌ای که از این روش استفاده می‌کند ساده‌تر است و ضمناً نیاز به ترانسفورماتور ولتاژ نیز از بین می‌رود. البته هنوز برای

[1] Prony method
[2] Phase comparison
[3] Current differential

مقاصدی مانند اندازه‌گیری و سنکرونایزینگ وجود ترانسفورماتور ولتاژ ضروری است. در مقابل، این روش به کانال ارتباطی وابستگی شدیدی دارد و هر گونه خطا در کانال باعث عدم عملکرد یا عملکرد نادرست رله خواهد شد. بنابراین تجهیزات مخابراتی مورد استفاده نیاز به تجهیزات پشتیبان دارند و در نتیجه هزینه طرح بالا می‌رود.

علاوه بر روش‌های فوق‌الذکر روش‌های متفاوت دیگری نیز برای حفاظت خط کوتاه مطرح شده‌است. در مرجع [۱۳] روشی برای حفاظت خط انتقال کوتاه ارائه شده است که دارای دو مرحله اساسی تشخیص وقوع خطا و تشخیص محل خطا می‌باشد. وقوع خطا با عبور دامنه جریان از حداکثر مقدار مجاز آن تشخیص داده می‌شود. برای تشخیص محل خطا پس از برآورده شدن شرط اول با استفاده از نمونه‌های ربع سیکل، تفاضل جریان ابتدا و انتها محاسبه شده با تفاضل نمونه‌های سیکل قبل مقایسه می‌شود. در صورتی که اندازه این تفاضل در دو حالت یکی باشد، خطای خارجی و در صورتی که اندازه تفاضل جدید بزرگتر از اندازه قبلی باشد خطای داخلی خواهد بود. به دلیل مقایسه دامنه جریان، امپدانس خطا در تشخیص آن تأثیر خواهد داشت.

در مرجع [۱٤] روش متفاوتی برای حفاظت خط انتقال کوتاه ارائه گردیده است. این روش از یک سیگنال فرکانس بالا که از محل رله به سمت خط ارسال می‌شود کمک گرفته و با استفاده از یک مقایسه‌گر فاز، بین جریان‌های پیش‌فاز و پس‌فاز، هنگام بروز خطای زمین تمایز ایجاد می‌کند. مزیتی که این روش دارد، سرعت عملکرد بالا است.

اما یکی دیگر از روشهایی که می‌تواند در حفاظت خطوط کوتاه مورد استفاده قرار گیرد، استفاده از شبکه‌های عصبی است. استفاده از شبکه‌های عصبی برای حفاظت خط انتقال در مراجع متعددی مورد بررسی قرار گرفته است[۱۵] تا [۲۳]. در برخی از این روش‌ها شبکه عصبی بر اساس اطلاعات ولتاژ و جریان دو طرف خط، محل خطا را مشخص می‌کند[۱۵]. طبیعتاً این روش

نیازمند کانال مخابراتی سریع و مطمئنی برای انتقال اطلاعات سه فاز ولتاژ و سه فاز جریان به پست مقابل است.

برخی دیگر از روشهای هوشمند فقط بر اساس اطلاعات ولتاژ و جریان محلی، وقوع خطا و مکان آن را تشخیص می‌دهند[۱۶] تا [۲۰]. این روشها به کانال مخابرتی نیاز ندارند. اما عملکرد آنها در شرایط مختلفی مانند تغییر امپدانسهای منابع معادل دو طرف خط حفاظت شونده، وجود نوسان توان، اثر امپدانس خطا و غیره می‌بایست مورد ارزیابی قرار گیرد.

در مرجع [۲٤] و [۲۵] یک روش سریع و موثر از لحاظ محاسباتی، برای حفاظت خطوط انتقال معرفی شده است. منطق رله شامل سه بخش است: واحد جهت‌یاب، تشخیص نوع خطا و تشخیص محل خطا. تبدیل موجک[1] برای استخراج اطلاعات از حالت گذرای خطا به کار رفته و فقط از مؤلفه‌های فرکانس بالای ولتاژ و جریان استفاده شده است. منطق حفاظتی ارائه شده، جهت سیگنال‌های دو ترمینال را برای تفکیک خطای داخلی و خارجی مقایسه می‌کند. نوع خطا با استفاده از اطلاعات جریان محلی تشخیص داده می‌شود. تخمین محل خطا با بکارگیری اطلاعات جریان خطای تک فاز به زمین هر دو ترمینال بدست می‌آید.

در مرجع [۲٦] روشی ارائه شده است که اساس آن بر این مبنا است که امپدانسی که در مسیر خطا قرار می‌گیرد کاملا اهمی است و در نتیجه ولتاژ نقطه خطا و جریان عبوری از مقاومت خطا همفاز هستند. در این روش اطلاعات ولتاژ و جریان لحظه‌ای نمونه‌برداری می‌شوند و زمانی که خطایی رخ می‌دهد تشخیص آن با استفاده از تغییر ناگهانی جریان و با در نظر گرفتن فازور ولتاژ صورت می‌گیرد. در این روش از مجموع جریان ترتیب مثبت و منفی برای تشخیص خطا استفاده می‌شود.

[1] Wavelet

فصل دوم:

حفاظت دیستانس و

مشکلات آن

۲-۱-مقدمه

خط انتقال از سیستم‌های پراهمیت در شبکه قدرت می‌باشد. حفاظت خط انتقال از دیدگاه حفظ پایداری سیستم و جلوگیری از آسیب دیدن تجهیزات در اثر عبور جریان اتصال کوتاه دارای اهمیت بسیار زیادی است. به دلیل وجود فاصله زیاد بین ترمینالهای ابتدا و انتهای خط، حفاظت خط انتقال یکی از پیچیده‌ترین انواع حفاظت در سیستم قدرت است. حفاظت از خط انتقال به طرق مختلف صورت می‌گیرد که متداول‌ترین روش حفاظت خط در مورد خطوط متوسط و بلند حفاظت دیستانس است. این روش حفاظتی با محاسبه امپدانس دیده شده از محل رله تا محل خطا و سپس مقایسه آن با نواحی حفاظتی از قبل تعریف شده عمل حفاظت را انجام می‌دهد.

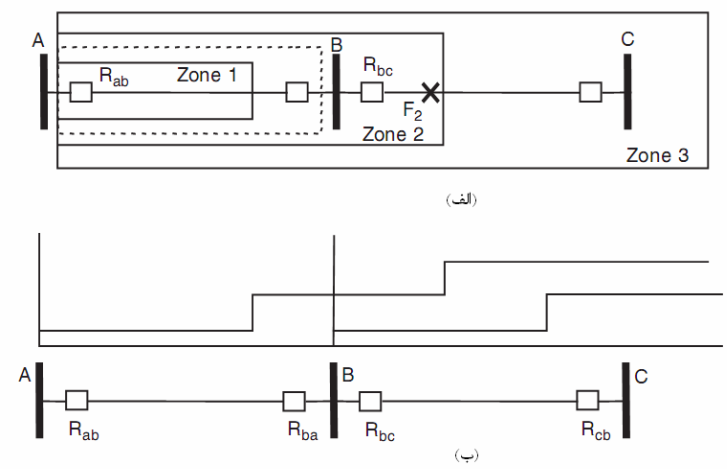
۲-۲-حفاظت دیستانس

همانطور که در مقدمه ذکر شد، متداول‌ترین روش حفاظت خطوط انتقال، حفاظت دیستانس است. رله‌های دیستانس، امپدانس بین محل رله تا محل خطا را اندازه‌گیری می‌کنند. به دلیل ثابت ماندن امپدانس واحد طول خط انتقال این رله‌ها قادر به تشخیص محل خطا هستند. تحت شرایط بخصوصی این رله‌ها قادرند پارامترهای دیگری از قبیل ادمیتانس یا راکتانس بین محل رله تا محل خطا را اندازه‌گیری کنند. استفاده از دیاگرام R-X برای توصیف و آنالیز عملکرد رله‌های دیستانس ابزار مناسبی است.

همانطور که از نام رله مشخص است، رله ولتاژی را به جریان خاصی تقسیم کرده و حاصل را که از جنس امپدانس است با مشخصه تنظیم شده خود مقایسه می‌کند. در صورتی که امپدانس حاصل در ناحیه حفاظتی تعریف شده رله قرار گیرد فرمان تریپ باید صادر شود و در غیر

اینصورت رله هیچ خطایی را در ناحیه حفاظتی خود تشخیص نداده و سیستم باید به حالت کار عادی خود ادامه می‌دهد.

رله‌های دیستانس نواحی مختلف حفاظتی دارند که به ترتیب ناحیه اول، ناحیه دوم و در برخی موارد ناحیه سوم هستند. ناحیه اول همانطور که در شکل ۲-۱ نشان داده شده است حدود ۸۰ الی ۸۵ درصد خط را پوشش می‌دهد و به دلیل اینکه هماهنگی بین رله‌های متوالی دچار مشکل نشود ۱۵ الی ۲۰ درصد انتهای خط انتقال حفاظت آنی ندارد[۲۷].



شکل ۲-۱ زون‌های رله دیستانس برای پوشش ۱۰۰ درصدی خط انتقال و حفاظت پشتیبان خط مقابل

قبل از شروع بحث در مورد حفاظت دیستانس، چند تعریف در این رابطه قابل بیان است.

اصطلاح "کاهش برد رله[1]": زمانیکه خطایی داخل ناحیه حفاظتی رله اتفاق بیفتد ولی رله اشتباهاً خطا را خارج ناحیه حفاظتی تشخیص داده و عمل نکند، اصطلاحاً رله دچار کاهش برد شده است.

[1] Relay Underreach

اصطلاح "افزایش برد رله[1]": زمانیکه خطایی خارج از ناحیه حفاظتی رله اتفاق افتاده است ولی رله در حال مشاهده این خطا داخل ناحیه حفاظتی است، در این حالت رله اشتباهاً عمل خواهد کرد.

ناحیه عملکرد رله‌های دیستانس در سمت انتهایی خط، ناحیه کاملاً ثابت و معینی نیست. به همین علت نمی‌توان محدوده حفاظت رله دیستانس را به دلیل افزایش برد رله تعریف کرد.

با توجه به شکل ۲-۱-الف، ناحیه حفاظتی مطلوب و ایده‌آل برای خط، همان ناحیه‌ای است که با خطوط نقطه‌چین نشان داده شده است. در صورتی که هر گونه خطا در این ناحیه رخ دهد، رله بایستی فوراً عمل کند. اما به دلیل نیاز به عدم پوشش آنی کل خط، ناحیه‌ای به نام ناحیه اول تعریف می‌شود که به تنهایی کل خط را پوشش نمی‌دهد. فاصله بین انتهای ناحیه اول و باس B بدون حفاظت باقی مانده است. در نتیجه رله دیستانس مجهز به ناحیه حفاظتی دیگری است که حفاظت از ترمینال پست مقابل و قسمتی از خطوط بعدی را بر عهده دارد. این ناحیه حفاظتی به نام ناحیه دوم رله دیستانس مشهور است.

عملکرد ناحیه دوم بایستی با تأخیر باشد، زیرا همان طور که در شکل ۲-۱ نیز مشخص است در صورتی که خطایی در نقطه F_2 در مقابل ترمینال B اتفاق افتد، امپدانسی که رله R_{ab} می‌بیند همان امپدانس کل خط AB است و در این صورت هم رله R_{bc} و هم R_{ab} همزمان عمل خواهند کرد. عملکرد همزمان دو رله باعث می‌شود که خط AB با این که هیچ خطایی در آن رخ نداده است، از مدار خارج شود و این حالت در پایداری سیستم قدرت ایجاد اختلال خواهد کرد. تأخیری که باعث می‌شود رله R_{bc} زودتر خطای موجود را از مدار خارج نماید، به صورت تأخیر هماهنگی رله R_{ab} در ناحیه دوم آن اعمال می‌شود و معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۵ ثانیه می‌باشد.

[1] Relay Overreach