بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکدهٔ مهندسی

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد برق (قدرت)

(حفاظت دیستانس دیجیتالی خطوط انتقال)

استاد راهنما :
جناب آقای دکتر اصغریان

ارائه‌کننده :
سیدقدرت الله سیف السادات

اسفند ۱۳۷۰

۱۷۷۰۹

تقدیم به

مادر و همسر و فرزندان عزیزم که در این راه رنج های فراوانی رامتحمل شدند ولی باوجود این مرادر ادامه راه یاری کرده و موجب دلگرمی اینجانب شدند و امیدوارم که انشاء الله بتوانم درآینده گوشه‌ای از این زحمات راجبران کنم .

باتشکر و قدردانی

از آقای دکتر اصغریان که درانجام این پروژه راهنمائی های لازم رابعمل آوردند و همچنین از برادران مرکز تحقیقات جهاد سازندگی استان خراسان که دراجرای این پروژه امکانات لازم رادر اختیار اینجانب حقیر قراردادند .

فهرست مطالب — صفحه

مقدمه ۱

فصل اوّل اجزای رله‌های کامپیوتری

۱-۱- مقدمه ۱۱

۱-۲- اجزاء رلهٔ کامپیوتری ۱۳

۱-۳- مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۹

۱-۴- فیلترهای آنتی الیاسینگ ۲۳

۱-۵- وظایف یك سیستم حفاظتی ۲۹

۱-۶- رله‌های دیستانس ۳۲

۱-۷- عملکرد ترانس‌های ولتاژ و جریان ۳۶

— ترانس جریان ۳۶

— ترانس ولتاژ ۳۸

خلاصه ۴۰

فصل دوّم - الگوریتم های رله گذاری خطوط انتقال

۲-۱- مقدمه ۴۲

۲-۲- منابع خطا در سیستم ۴۴

۲-۳- تخمین پارامترها ۴۸

۲-۴- بررسی خواص عمومی الگوریتمهای رله گذاری ۵۰

۲-۵- بررسی الگوریتم‌های رله گذاری ۵۶

۲-۶- الگوریتم ۷۰ Prodar ۶۲

۲-۷- الگوریتم گیلبرت ۶۵

۲-۸- الگوریتم Curve fitting ۶۹

۲-۹- الگوریتم فوریهٔ تمام سیکل ۷۵

۲-۱۰- الگوریتم فوریهٔ نیم سیکل ۷۹

۲-۱۱- فرمهای Recursive الگوریتم‌های فوریه ۸۲

۲-۱۲- الگوریتم معادلات دیفرانسیل ۸۵

۲-۱۳- الگوریتم LSEQ ۹۳

۲-۱۴- الگوریتم کالمن فیلتر ۱۰۲

۲-۱۵- طیف سیگنال گذاری بعد از خطا ۱۱۰

۲-۱۶-	برطرف کردن مؤلفهٔ	۱۱۳
۲-۱۷-	الگوریتم تشخیص خطا	۱۱۷
۲-۱۸-	الگوریتم تعیین نوع خطا	۱۱۹
۲-۱۹-	حفاظت تطبیقی	۱۳۱
	— اساس حفاظت دیستانس تطبیقی	۱۳۲
	— حفاظت دیستانس تطبیقی	۱۳۳
	— روشهای تطبیقی	۱۳۴
	— اثر فرکانس سیستم قدرت	۱۳۵
	— اثر روی پریود نمونه‌برداری	۱۳۵
	— اثر روی رآکتانس	۱۳۶
	— اثر مقاومت خطا در خطاهای تك فاز به زمین	۱۳۸
	— تغییرتطبیقی‌مشخصهٔ عملکرد	۱۴۰
۲-۲۰-	نتیجه‌گیری	۱۴۳

فصل سوّم- شبیه سازی خط انتقال و مطالعه حالت‌گذرا در اثر وقوع یک خطا در خط

۳-۱-	مقدمه	۱۴۶
۳-۲-	محاسبهٔ پارامترهای خط	۱۴۷
۳-۳-	بررسی سیستم تك فاز	۱۵۱
۳-۴-	بررسی سه فاز	۱۵۵
۳-۵-	تبدیل لاپلاس معکوس عددی	۱۶۳
۳-۶-	تست الگوریتم‌های مختلف	۱۷۵
۳-۷-	نتیجه‌گیری	۱۸۲

فصل چهارم نرم افزار وسخت افزار رله

۴-۱-	مقدمه	۱۸۴
۴-۲-	تعیین زوج ولتاژوجریان لازم برای محاسبهٔ خطاهای مختلف	۱۸۵
	— خطای تك فاز به زمین	۱۸۶
	— خطاهای دوفاز و سه فاز	۱۸۷
۴-۳-	نرم افزار رله	۱۹۰
	— الگوریتم تقسیم ۶۴ بیتی بر ۶۴ بیتی	۲۰۵
۴-۴-	سخت افزار رله	۲۰۶

صفحه

۵-۴- تست رله ۲۱۱

فصل پنجم ـ نتیجه گیری و پیشنهادات ۲۱۴

ضمیمه الف ـ برنامهٔ کامپیوتری شبیه سازی خط انتقال ۲۱۹

ضمیمه ب ـ برنامه اسمبلی رلهٔ دیستانس دیجیتالی ۲۲۷

مراجع ۲۵۶

چکیـــــده :

در سالهای اخیر تحقیقات زیادی در بارهٔ رلـه‌های کامپیوتری صـــورت گرفته است که در این میان سهم حفاظت دیجیتالی خطوط انتقال بیشتر از دیگـر اجزاء سیستم قدرت بوده است . در این رساله حفاظت دیستانس دیجیتالی خطوط انتقال بررسی شده و براساس آن یک رلهٔ میکروپروسسوری طراحی و ساختـــه شده است . انواع آلگوریتم‌های موجود بررسی شده و پاسخ فرکانسی ایـــن آلگوریتم‌ها بدست خواهد آمد . یک آلگوریتم بر اساس معادلهٔ دیفرانسیـــل مرتبهٔ اول خط انتقال ارائه میشود . یک خط انتقال شبیه‌سازی شده وسیگنالهای ولتاژ و جریان فازهای مختلف برای خطاهای مختلف ومکانهای متفاوت محاسبـه میشوند . در این روش از تبدیل لاپلاس معکوس عددی استفاده میشود . با استفاده از نتایج بدست آمده از برنامهٔ شبیه‌سازی خط انتقال ، آلگوریتم‌های مختلف تست شده و با هم مقایسه میشوند . خواهیم دید که آلگوریتم ارائه شده در این رساله (LSEO) دارای پاسخ فرکانسی و سرعت و دقت مناسبی میباشـــد . قسمتهای نرم‌افزار و سخت‌افزار یک رلهٔ دیستانس دیجیتالی ساخته شده بررسی میشود . در نرم‌افزار این رله از آلگوریتم (LSEQ) استفاده میشود . ایـن رله دارای یک مشخصهٔ عملکردی دو ناحیه‌ای میباشد . از ناحیهٔ اول ایـــن رله برای حفاظت سریع خط انتقال و از ناحیهٔ دوم آن برای حفاظت پشتیبـان خط بعدی استفاده میشود . درسخت‌افزار این رله ازپروسسور ۱۶ بیتی بنـــام MC 68000 استفاده شده است . قسمت اکتساب دادهٔ این رله از فیلتر RC دوطبقهٔ پائین گذر با فرکانس قطع حدود 250 HZ و ۶ تا S/H و یک مالتـــی پلکسر آنالوگ و یک ۱۲ A/D بیتی تشکیل یافته است . فرکانس نمونه‌بـــرداری 600 Hz میباشد . در پایان نتایج قسمت رلهٔ ارائه شده است .

مقدمه

***

یکی از مهمترین کاربردهای صنعتی کامپیوترهای دیجیتالی ، استفاده از آنها در صنعت برق می باشد . بعد از کامپیوتری کردن محاسبات اتصال کوتاه، پخش بارو پایداری سیستمهای قدرت ، مسئله کامپیوتری کردن وظایف رله های حفاظتی در سیستمهای قدرت ، یکی از موضوعات جالب و جدید در سالهای اخیر بوده که تحقیقات در مورد آن هنوز ادامه دارد .

موضوع رله های کامپیوتری در اواخر دههٔ ۱۹۶۰ شروع گردید . در اوایل بدلیل قیمت بالای کامپیوترهای دیجیتالی و سرعت پائین آنها و همچنین قدرت مصرفی بالای آنها ، انگیزه‌ای جهت کاربرد این وسایل بجای رله های معمولی وجود نداشت . پیشرفتهای قابل توجه کامپیوترهای دیجیتالی ، کاهش قیمت و قدرت مصرفی و اندازهٔ آنها بهمراه افزایش سرعت محاسباتی آنها باعث شده است که این واقعیت ظاهر گردد که اقتصادی ترین و تکنیکی ترین روش ساخت سیستمهای رله‌ای در آینده ، ساخت رله‌های دیجیتالی می باشد .

از میان عنوانهای مختلف رله بندی کامپیوتری ، رله بندی خطوط انتقال ، محققین بیشتری را به خود جذب کرده است . دلیل این موضوع آن است که

اولا" محاسبات مربوط به این حفاظت بسیار پیچیده بوده و ثانیا" بعلت قیمت زیاد حفاظتهای مرسوم خطوط انتقال، نیاز به کار بیشتر بمنظورکاهش قیمت را می توان توجیه کرد.

یکی از قدیمی ترین مقاله‌ای که در زمینهٔ رله های کامپیوتری منتشر شده است، مرجع شمارهٔ [۱] می باشد که درآن، این ایده مطرح شده بود که تمام تجهیزات موجود در یك پست را می توان با یك کامپیوتر دیجیتالی حفاظت نمود. بدون شك این ایده از آنجا ناشی شده بود که درآن زمان بدلیل گران بودن قیمت کامپیوترهای دیجیتالی، روش قابل تصوری برای جانشین کردن رله های معمولی با چندین کامپیوتر در یك پست وجود نداشت بعبارت دیگر این کار از نظر اقتصادی یك عمل خوشایندی نبود. بعلاوه سرعت کامپیوترهای آن موقع برای حفاظت سرعت بالا، مناسب نبودند. چندین مقالهٔ دیگر تقریبا" در همان زمان منتشر شد [۲و۳] و منجر به بوجود آمدن الگوریتمهائی برای حفاظت خطوط انتقال فشار قوی گردید. این مقالات مطالعه روی الگوریتمهای حفاظت دیستانس خطوط انتقال راشروع کردند. دراین الگوریتمها برای شکل موج جریان وولتاژ بعد از خطا، یك شکل موج سینوسی فرض شده بود. بااین فرض، امپدانس خط تا نقطهٔ خطا رامحاسبه کرده و در نتیجه رله می توانست تصمیم بر قطع یا عدم قطع را بگیرد. در مرجع [۲] فقط از مشتق اول استفاده کرده و برای مشتق در لحظهٔ K ام از تقریبی از نمونه‌های $K-1$، K، $K+1$ ام استفاده می‌کرد.

در مرجع [۳] هدف آن بود که این الگوریتم ، مؤلفه‌های زیرفرکانس سیستم که در اثر تشدید در خط جبران خازنی تشکیل میشود را حذف کند . دراین الگوریتم از مشتق اول و دوم استفاده شده بود . استفاده از مشتق گیرها دراین دو الگوریتم ، باعث تقویت هارمونی های بالا می شود . همچنین به دلیل وجود هارمونی های غیراساسی در شکل موج جریان و ولتاژ بعد از خطا فرض سینوسی بودن این شکل موجها ، باعث بوجود آمدن خطای زیادی در امپدانس محاسبه شده می شود . در مرجع [٤] که یك الگوریتم برازش منحنی ارائه کرده بود ، از سه تا نمونهٔ پشت سرهم ولتاژ و جریان برای برازش به یك منحنی سینوسی استفاده می کرد و مستقیماً مقاومت و راکتانس تا نقطهٔ خطا را بدست می آورد . این الگوریتم دارای سرعت بالائی بود ولی به مؤلفه های گذرا با فرکانس بالا حساس بود . در مرجع [٥] نیزکاری مشابه با [٤] انجام گرفته است . دراین مقاله ، مقادیر پیك ولتاژ و جریان و همچنین توان حقیقی با استفاده از دو نمونهٔ پشت سرهم محاسبه شده و از روی آن امپدانس تا نقطهٔ خطا بدست می‌آمد . درمرجع [٦] یك الگوریتم ارائه شد که در آن نمونه‌های داده ، به یك منحنی که شامل یك مؤلفه میرائی نمائی و یك مؤلفه سینوسی با فرکانس سیستم بود برازش داده می شود . دراین کار از روش حداقل کردن مربعات خطا (LS یا) استفاده شده بود . در مرجع [٧] یك الگوریتم بنام فوریهٔ تمام سیکل ارائه گردید که در آن از همبستگی بین داده های یك سیکل از شکل موج ولتاژ

یا جریان و نمونه‌های مبنای ذخیره شده از یك شكل موج سینوسی جهت استخراج مؤلفه اساسی شكل موج ولتاژ و جریان استفاده می شد . سپس با استفاده از این مؤلفه های اصلی ، امپدانس تا نقطهٔ خطا محاسبه می گردید . این الگوریتم دارای قدرت فیلترینگ بالائی بود و همچنین دارای جواب دقیقی می بود اما دارای سرعت كندی بود و به مؤلفهٔ dc میرائی هم حساس بود . در مرجع [٨] یك الگوریتم بنام فوریهٔ نیم سیكل ارائه شد كه دارای همان اساس [٧] بود ، فقط جهت سریعتر شدن الگوریتم ، از نیم سیكل داده استفاده می كرد . این الگوریتم قدرت فیلترینگ الگوریتم فوریهٔ تمام سیكل را نداشت و به مؤلفهٔ dc میرائی هم حساس بود در مرجع [٩] از الگوریتم تبدیل فوریهٔ گسسته با ٤ نمونه در سیكل برای استخراج ولتاژ و جریان مؤلفهٔ اساسی استفاده می شد . درمراجع [١٢ و ١١ و ١٠] یك الگوریتم دیستانس با استفاده از مؤلفه های متقارن ارائه شد و نیز مورد آزمایش روی یك خط قرارگرفت . اساس این الگوریتم همان الگوریتم فوریه بود . بدینترتیب كه با استفاده از نمونه های ولتاژ و جریان و الگوریتم فوریه ، مؤلفه های اساسی ولتاژ و جریان بدست آمده و سپس با استفاده از آن ، مؤلفه‌های مثبت و منفی و صفر ولتاژ و جریان بدست می آید . سپس با استفاده از یك فرمول كه برای انواع خطاها مورد استفاده قرار می گیرد ، درصد خط تحت خطا محاسبه میشود . در این الگوریتم با توجه به مقادیر مؤلفه های منفی و صفر ، میتوان انواع خطاها را تشخیص داد .

در مرجع [۱۳] یك الگوریتم برازش منحنی دیگر ارائه شد که در آن منحنی مورد نظر شامل یك مؤلفهٔ نهائی میرائی و مؤلفهٔ اصلی و چند هارمونیك از مؤلفهٔ اصلی می باشد . علاوه بر تعداد هارمونی ها و اندازه افست ، ثابت زمانی خط هم باید جزو پارامترهای مورد تخمین باشد . در این کار نیز از روش حداقل کردن مربعات خطا استفاده شده است . در مرجع [۱۴] یك الگوریتم بنام الگوریتم معادل دیفرانسیل ارائه شد . در این مقاله از یك مدل سری RL برای خط انتقال استفاده شده بود و در آن با استفاده از انتگرال گیری روی دو فاصلهٔ متوالی از معادله دیفرانسیل خط، دو پارامتر R و L تا نقطه خطا تعیین می شد . در این الگوریتم از روش انتگرال گیری ذوزنقه‌ای استفاده شده بود . امتیاز این الگوریتم این بود که مؤلفهٔ dc میرائی بعنوان یك مؤلفهٔ ناخواسته در نظر گرفته نمی شد بلکه آنرا یك مؤلفهٔ صادق در معادلهٔ دیفرانسیل خط در نظر می گرفت . در مرجع [۱۵] مانند مرجع قبلی از مدل RL سری برای خط استفاده کردند . در این الگوریتم هدف حذف هارمونی های دلخواه از شکل موج ولتاژ و جریان بود . این کار با تعیین حدود انتگرال گیری صورت می گرفت . البته این کار باعث افزایش پنجرهٔ داده می شد . در این الگوریتم مانند حالت قبل مؤلفهٔ dc میرائی مسئله‌ای را بوجود نمی آورد و همچنین اثر هارمونی های پائین را کاهش می داد . در مراجع [۱۶ و ۱۷] یك الگوریتم دیفرانسیل دیگر ارائه گردید ولی در آن الگوریتم این معادلهٔ دیفرانسیل با استفاده از تقریب دیفرانس

حل می شد نه از روش انتگرال گیری . این الگوریتم از پنجرهٔ دادهٔ سه تائی استفاده می‌کرد بنابراین دارای سرعت بالائی بود . در این مقاله قسمتهای مختلف نرم افزار مورد نیاز مختصراً توضیح داده شده بود . در این برنامه برای رله یك حفاظت دو زونی در نظر گرفته شده بود . همچنین یك نشانه (FLAG) برای مشخص‌کردن جهت خطا ارائه شده بود . با استفاده از موئلفه‌های کلارك یك الگوریتم تعیین نوع خطا ارائه شده بود . این الگوریتم روی یك مدل خط و روی یك خط تست گردیده بود .

در مقاله [۱۸] یك الگوریتم معادلهٔ دیفرانسیل ارائه شد که در آن از یك مدل Π (R-L-C) برای خط استفاده شده بود . در این الگوریتم برای محاسبهٔ R و L و C احتیاج به محاسبات ماتریسی وقت گیری می باشد که بدلیل همین بار محاسباتی زیاد مورد توجه قرارنگرفته است .

در مرجع [۱۹] یك الگوریتم معادلهٔ دیفرانسیل ارائه شده است که در آن با تقریب دیفرانس ، معادلهٔ دیفرانسیل خط حل شده است . این معادله برای چندین نمونهٔ پشت سرهم نوشته شده و حاصل بصورت یك معادلهٔ ماتریسی با بردار مجهول R و L می باشد . این معادله از روش حداقل کردن مربعات خطا حل شده و R و L خط تا نقطهٔ خطا بدست می آیند در این مرجع از فرکانس نمونه برداری ۱۲۰۰ HZ یعنی ۲۴ نمونه در یك سیکل استفاده شده است . با توجه به نتایج تست الگوریتم فوق ، خطای R زیاد می باشد و همچنین احتیاج به پروسسور با سرعت بالائی می باشد . درمرجع

[۲۰] یك الگوریتم معادلهٔ دیفرانسیل ارائه شده است که در آن توجه زیادی به هارمونی های دوم‌وسوم که در شکل موج ولتاژ و جریان بعد از خطا وجود دارد و توسط فیلتر پائین گذر باندازه کافی تضعیف نمی شوند ، شده است . دو ثابت K_1 K_2 طوری در نظر گرفته می شوند که انحراف امپدانس برای ورودیهائی که دارای هارمونی دوم وسوم هستند ، حداقل شوند . نویسندگان این مقاله ، زمان عملکرد رله را کمتر از ۵ ms ادعا کرده اند که مقدار قابل توجه‌ای می باشد . در مراجع [۲۱و۲۲و۲۳] الگوریتم فیلتر کالمن برای رلهٔ دیستانس ارائه شده است . دراین الگوریتم برای ولتاژ یك مدل دوحالته و برای جریان یك مدل سه حالته در نظر گرفته شده است . دراین مراجع با شبیه سازی یك خط انتقال که از دو طرف توسط دوژنراتور تغذیه می شود ، واریانس نویز ولتاژ و جریان بدست آمده است . سپس با توجه به نتایج بدست آمده ، یکسری فرمولهای تجربی برای این پارامترها ارائه شده است . با توجه به اینکه مدار پشت خطا در شکل موج ولتاژ و جریان بعد از خطا موثرند ، بنابراین معادلات فوق برای حالت کلی مناسب نمی باشند . دراین الگوریتم مانند الگوریتم فوریه ، توسط فیلتر کالمن ، مولفه‌های اساسی ولتاژ وجریان از روی نمونه‌هائی که از شکل موج ولتاژ جریان گرفته می شود را استخراج می‌کند و با استفاده از آنها ، امپدانس تا نقطهٔ خطا را تعیین می‌کند . در مرجع [۲۴] اساس فیلتر کالمن ، توضیح داده شده است و همچنین یك مدل ۱۱ حالته برای جریان ارائه شده است