بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحمٰنِ الرَّحِيمِ

٣٣٥٠

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

۱۳۷۴ /۸/ ۲۸
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

طراحی رله دیجیتال دیستانس با استفاده از سیمولاتور پردازنده TMS320C25

پایان نامه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی برق - قدرت

روح‌ا... فدائی نژاد

بهمن ۱۳۷۳

۴۳۴۵

بسمه تعالی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای روح‌ا... فدائی‌نژاد بهرامجردی

تحت عنوان :

طراحی رله دیجیتال دیستانس با استفاده از سیمولاتور پردازنده TMS320C25

در تاریخ ۱۳۷۳/۱۱/۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت .

۱ - استاد راهنمای پایان‌نامه — آقای دکتر فروزان قاسمی

۲ - استاد کمیته تخصصی پایان‌نامه — آقای دکتر مهدی معلم

مسئول کمیته کارشناسی ارشد دانشکده — آقای دکتر محمدرضا عارف

سپاسگذاری

برخود لازم می‌دانم از زحمات و راهنمائیهای استاد گرامی دکتر فروزان قاسمی که درطی مراحل انجام این پروژه از راهنمائیهای ایشان بهره برده‌ام، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از آقای دکتر مهدی معلم استاد مشاور پروژه، که در نگارش این پایان‌نامه از نظرات و پیشنهادات ارزنده ایشان بهره‌مند شده‌ام، تشکر می‌کنم. از آقای دکتر حسین علوی به خاطر حضور در سمینار دفاع از تز اینجانب سپاسگزاری می‌نمایم.

همینطور از اساتید گرانقدر، آقایان دکتر ولی‌ا... طحانی، دکتر حسن قوجه‌بکلو و دکتر جعفر سلطانی که از محضر درس ایشان بهره‌مند گشته‌ام، تشکر می‌کنم.

روحا... فدائی نژاد

بهمن ۱۳۷۳

باسپاس از خدای حکیم و علیم که به لطف او این پایان‌نامه به ثمر رسید.

با تشکر از پدر و مادرم که زحمات بسیار رشد مرا تحمل کردند .

و با قدردانی از کلیه دوستانم که در مراحل مختلف زندگی مرا یاری نموده‌اند .

تقدیم به :

آنان که عشق می‌ورزند

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

● فصل اول : مقدمه

● فصل دوم : رله‌های دیجیتال دیستانس

۲-۱ - مقدمه ۴

۲-۲ - تکنیکهای رله دیستانس دیجیتال ۵

۲-۳ - الگوریتم حل باایجاد فاصله زمانی رله دیستانس ۹

۲-۳-۱ - طرح الگوریتم رله دیستانس ۹

۲-۳-۲ - آنالیز تک فرکانس سیگنالها در حالت دائمی ۱۰

۲-۳-۳ - آنالیز با پردازش سیگنالهای گسسته ۱۱

● فصل سوم : معرفی پردازنده TMS320C25 و سیمولاتورآن

۳-۱ - ویژگیهای پردازش سیگنال دیجیتال ۱۴

۳-۲ - روشهای DSP ۱۶

۳-۳ - معماری پایه TMS320 ..... ۱۸

۳-۴ - پردازنده TMS320C25 ..... ۲۲

۳-۴-۱ - ساختمان داخلی TMS320C25 ..... ۲۴

۳-۴-۲ - نظام حافظه ۲۷

۳-۴-۳ - مدهای آدرس‌دهی ۲۷

۳-۵ - اجرای برنامه اسمبلی با سیمولاتور TMS320C2x ۳۱

عنوان | صفحه

● فصل چهارم: جزئیات طرح و نحوه پیاده سازی رله دیجیتال دیستانس براساس امکانات پردازندهٔ TMS320C25

۴-۱ - سیستم اولیه ۳۶

۴-۲ - قسمتهای اصلی رله دیجیتال دیستانس ۳۸

۴-۳ - قسمت آنالوگ ۳۸

۴-۳-۱ - واسطه‌های ولتاژ و جریان ۴۰

۴-۳-۲ - تضعیف کننده ۴۰

۴-۳-۳ - محدود کننده ۴۰

۴-۳-۴ - فیلتر آنالوگ ۴۱

۴-۳-۵ - مالتیپلکسر ۴۲

۴-۳-۶ - مبدل آنالوگ به دیجیتال ۴۲

۴-۴ - قسمت دیجیتال ۴۴

۴-۴-۱ - فیلتر دیجیتال ۴۷

۴-۴-۲ - جبرانسازی جریانی و ساختن سیگنالهای ولتاژ و جریان مناسب‌برای المانهای رله ۵۴

۴-۴-۳ - محاسبه مشتق جریان ۵۷

۴-۴-۴ - محاسبه امپدانس ۵۹

۴-۴-۵ - متوسط‌گیر امپدانس ۶۰

۴-۴-۶ - منحنی مشخصه رله و رژیم تصمیم‌گیری ۶۲

۴-۴-۷ - روش تصمیم‌گیری ۶۴

۴-۴-۸ - پلاریزاسیون رله ۶۸

عنوان | صفحه

● فصل پنجم : بررسی و تست عملکرد رله دیجیتال دیستانس

۵-۱ - امواج سیار ۷۷

۵-۲ - مؤلفه DC ۷۷

۵-۳ - هارمونیکها ۷۹

۵-۴ - خطا در ۱۵٪ پشت رله ۸۰

۵-۵ - خطا روی باس بار پشت رله ۸۰

۵-۶ - خطا واقع در جلو CVT ۸۱

۵-۷ - خطا در ۱۵٪ خط انتقال ۸۱

۵-۸ - خطا در ۵۰٪ خط انتقال ۸۲

۵-۹ - خطا در ۷۸٪ خط انتقال ۸۲

۵-۱۰ - خطا در ۸۲٪ خط انتقال ۸۳

۵-۱۱ - خطا روی باس بار انتهای خط ۸۴

۵-۱۲ - عملکرد بقیه المانها ۸۴

۵-۱۳ - نتایج و پیشنهادات ۸۵

ضمائم ۲۰۷

مراجع ۲۳۱

چکیده انگلیسی

● چکیـده

پیشرفتهای اخیر در زمینه پردازنده‌ها باعث افزایش اطمینان ، کاهش قیمت ، افزایش سرعت و انعطاف‌پذیری درکار با آنها شده است . پردازنده‌ها می‌توانند در ساخت رله‌های حفاظتی مورد استفاده قرار گیرند . یکی از مهمترین رله‌های حفاظتی خطوط انتقال ، رله دیستانس می‌باشد . دراین پروژه سعی شده که یک رله دیستانس دیجیتال بااستفاده از امکانات پردازنده TMS320C25 طراحی و قسمتهای مختلف آن شبیه سازی شود .از جمله امکانات پردازنده مذکور می‌توان به سیمولاتور آن اشاره نمود که بااستفاده از آن میتوان قبل از پیاده سازی یک الگوریتم روی سخت‌افزار چگونگی عملکرد آن را مشاهده کرد و اشکالات احتمالی را رفع نمود .

رله دیستانس دیجیتال از دوقسمت اصلی آنالوگ و دیجیتال تشکیل شده است . قسمت آنالوگ رله بایک برنامه نوشته شده به زبان C مدل شده است و در شبیه سازی قسمت دیجیتال رله سیمولاتور پردازنده TMS320C25 بکار برده شده است .

برای بررسی عملکرد رله احتیاج به سیگنالهای ولتاژ و جریان سیستم قدرت می‌باشد .دراین پروژه سیستم قدرت بااستفاده از نرم‌افزار پرقدرت ATP مدل شده است .

دراین رساله ابتدا به معرفی الگوریتمهای رله دیستانس پرداخته می‌شود .در ادامه پس از معرفی پردازنده TMS320C25 و سیمولاتور آن جزئیات طرح و چگونگی پیاده سازی آن ارائه می‌گردد و در انتها نتایج مربوط به تستهای انجام شده برای بررسی نحوه عملکرد رله در حالات مختلف آورده شده است.

***

فصل اول
مقدمه

در سالهای اخیر تحقیقاتی در زمینهٔ حفاظت فوق سریع سیستمهای قدرت انجام گرفته و سعی شده تا با طراحی عناصر حفاظتی سریع ، حالت خطای پیش آمده در شبکه‌های قدرت سریعاً رفع گردد . محدودیتهای انتقال توان در سیستمهای قدرت بعضاً به صورت محدودیت روی اندازهٔ ولتاژ و جریان نامی خطوط انتقال و همچنین حداکثر زمان رفع اتصال کوتاه در خطوط نمایان می‌گردد .

در حالت اتصال کوتاه در شبکه‌های قدرت به دلیل عدم انتقال توان الکتریکی از ژنراتور به شبکه روتور ژنراتور تحت تأثیر گشتاور مکانیکی شتاب می‌گیرد و اگر اتصال کوتاه بطور سریع رفع نگردد ، ژنراتور ناپایدار می‌شود و باصطلاح حالت لغزش قطب[۱] پیش می‌آید [۱] . با رفع سریع خطا در شبکه قدرت می‌توان پایداری را بهبود بخشید و ضمناً از توانائیهای سیستمهای انتقال بهتر استفاده نمود [۲] .

در حال حاضر مهمترین عنصر حفاظتی خطوط فشارخیلی قوی[۲] رله دیستانس می‌باشد . این رله‌ها نوعاً دارای زمان عمل ۱۵ میلی ثانیه برای ناحیهٔ اصلی[۳] هستند. رله‌های حفاظتی بااستفاده از تجهیزات کامپیوتری موضوع تحقیقات زیادی در سالهای اخیر بوده است [۳، ۴] . اوائل اینگونه به نظر می‌رسید که

۱- *Pole Slip*

۲- *Extra High Voltage*

۳- *Main Zone*

تجهیزات کامپیوتری و دیجیتال نمی‌توانند در محیط پستهای فشار قوی مورد استفاده قرار گیرند و ضمناً قیمت این وسائل هم نسبتاً زیاد بود . اما با گسترش و پیشرفت تکنولوژی ساخت میکروپروسسورها و تجهیزات کامپیوتری قیمت آنها بطور نسبی پائین آمده است . این مسئله بیشتر مرهون پیشرفت تکنولوژی VLSI[۱] بوده است . پیشرفتهای مذکور علاوه برکاهش نسبی قیمت پردازنده‌ها ، موجب افزایش سرعت آنها نیز گردیده است . این موضوع سبب شده تا پردازنده‌ها دارای انواع جدیدتر با امکانات عملیاتی بیشتر بشوند [۵].

بعضی از این پردازنده‌ها برای رسیدن به اهداف خاص پردازش سیگنال طراحی شده‌اند . از آن جمله می‌توان به پردازنده‌های خانوادهٔ TMS320 اشاره نمود . همانگونه که در فصل سوم بطور مفصل توضیح داده خواهد شد ، نسلهای مختلف این خانواده دارای امکانات خاصی هستند که بعضی اعمال پردازش سیگنال را به سهولت انجام می‌دهند .

یکی از پرقدرت‌ترین نمونه‌های این خانواده ، پردازندهٔ TMS320C25 می‌باشد . این پردازنده توانائیهای بسیار دارد و می‌تواند کاربردهای گسترده‌ای داشته باشد . از آن جمله می‌توان به کاربردهای مخابراتی ، صنعتی ، کنترلی و نظامی اشاره کرد [۶]. پردازنده‌های خانوادهٔ TMS320 دارای امکانات جنبی خوبی نیز می‌باشند . این امکانات به دو دستهٔ نرم‌افزار و سخت‌افزار تقسیم می‌گردند . سیمولاتور[۲] TMS320C2x یکی از مهمترین امکانات نرم‌افزاری می‌باشد . بااستفاده از این ابزار می‌توان قبل از ساخت سخت‌افزار عملکرد طرح را آزمایش کرد و پس از رفع اشکالات احتمالی اقدام به ساخت سخت‌افزار مورد نظر نمود . ضمناً با سیمولاتور می‌توان امکان پیاده کردن یک طرح را از لحاظ عملی به صورت زمان واقعی[۳] بررسی نمود . این مسئله اهمیت سیمولاتور را بیش از پیش نمایان می‌کند .

امروزه کامپیوتر به صورت یک ابزار فوق‌العاده قدرتمند در کلیهٔ علوم ، خصوصاً علوم مهندسی درآمده است . بااستفاده از این وسیله می‌توان مسائل مختلف فنی را بررسی کرد . مثلاً بااستفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری می‌توان بعضی از مسائل سیستمهای قدرت از قبیل پخش بار[۴] و طراحی خطوط را مورد بررسی دقیق قرار داد .یکی از نرم‌افزارهای قوی برای بررسی سیستمهای قدرت نرم‌افزار ATP[۵]

۱- *Very Large Scale Integration*

۲- *Simulator*

۳- *Real Time*

۴- *Load Flow*

۵- *Alternative Transients Program*

می‌باشد . همانطور که در فصل چهارم گفته خواهد شد، این نرم‌افزار قادر است کلیهٔ حالات گذرای شبکهٔ قدرت را درنظر گرفته ، ولتاژ و جریانهای مورد نیاز را با دقت خیلی خوب محاسبه کند [۷].

مطالب گفته شده اطلاعاتی می‌باشد در مورد ابزاری که دراین پروژه بکار گرفته شده است . دراین پروژه هدف طراحی یک رله دیستانس دیجیتال براساس امکانات پردازندهٔ TMS320C25 می‌باشد . ضمناً سعی شده عملکرد این طرح در حالات مختلف تست شده و اشکالات احتمالی آن رفع گردد . همانطورکه در فصل چهارم به طور مفصل شرح داده خواهد شد ، رله‌دیستانس از دو قسمت اصلی آنالوگ و دیجیتال تشکیل یافته است . قسمت آنالوگ با یک برنامه نوشته شده به زبان C شبیه‌سازی گردیده است . برای شبیه‌سازی قسمت دیجیتال هم از سیمولاتور پردازندهٔ TMS 320C25 استفاده شده است .

قسمت دیجیتال مهمترین بخش این پروژه می‌باشد . محاسبهٔ امپدانس و تصمیم‌گیری رله دراین قسمت انجام می‌گیرد . الگوریتم محاسبهٔ امپدانس استفاده شده دراین پروژه به الگوریتم TSS[۱] معروف می‌باشد . الگوریتم مذکور با زبان اسمبلی پردازندهٔ TMS320C25 پیاده گردیده و پس از تبدیل برنامه اسمبلی به کدهای متناظر ، کدهای مذکور روی سیمولاتور قرار داده[۲] شده و اجرا می‌گردد . برای تست طرح رله دیستانس باید عملکرد آن در حالات مختلف بررسی شود . بدین منظور باید انواع خطاها از نظر نوع و همچنین از نظر فاصله تا محل استقرار رله ایجاد شده و سیگنالهای مربوطه به رله اعمال گردد . برای تولید این سیگنالها سعی شده تا از مدل دقیق سیستم قدرت استفاده شود . نرم‌افزار ATP برای شبیه‌سازی و مدل کردن شبکه قدرت بکار برده شده است . این نرم‌افزار سیگنالهای ولتاژ و جریان سه فاز را با نرخ نمونه‌برداری ۸kHz در یک فایل خروجی قرار می‌دهد . ابتدا این سیگنالها به مدل قسمت آنالوگ رله وارد می‌شوند . درقسمت آنالوگ پس از انجام عملیات مربوطه سیگنالهای ولتاژ و جریان به صورت مالتیپلکس شده و با اعداد برمبنا ۱۶[۳] در دو فایل خروجی قرار می‌گیرند . این دو فایل داده معّرف دو کانال ولتاژ و جریان هستند . اطلاعات موجود در این دو فایل نیز بوسیلهٔ سیمولاتور TMS320C2x که در واقع مدل قسمت دیجیتال رله می‌باشد ، مورد استفاده قرار می‌گیرد . از جمله عواملی که در نحوهٔ عملکرد رله‌های دیستانس اثر دارند می‌توان به هارمونیکها ، امواج سیار و مؤلفه DC اشاره کرد . اثر این عوامل نیز روی طرح مذکور مورد بررسی قرارگرفته که نتایج آن در فصل پنجم ارائه شده است .

۱- *Time Spaced Solution*

۲- *Load*

۳- *Hex*

فصل دوم
رله‌های دیجیتال دیستانس

۲-۱) مقدمه

امروزه کامپیوترهای دیجیتال به صورت وسایل قدرتمندی در تمام رشته‌های مهندسی در آمده‌اند. آنها می‌توانند برای شبیه‌سازی دقیق و تست یک سیستم و اجزاء آن قبل از آنکه آن سیستم ساخته شود مورد استفاده قرار گیرند.

روشهای پیشرفته‌ای برای مدل کردن و تست سیستمهای قدرت وجود دارد [۱۱، ۱۰، ۹، ۸]. برنامه‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده برای شبیه‌سازی نه تنها حالت دائمی بلکه حالت گذرا را نیز مورد بررسی قرار می‌دهند. این موضوع برای طراحان رله‌های حفاظتی مهم می‌باشد. خصوصاً اگر طراحی یک سیستم حفاظتی خیلی سریع مورد نظر باشد. پیشرفتهای اخیر در زمینه میکروپروسسورها باعث شده است که این وسائل کاربردهای جدیدی در علوم مهندسی پیدا کنند. از آن جمله می‌توان به حفاظت سیستمهای قدرت اشاره نمود. ایدهٔ استفاده از پردازنده‌های دیجیتال در سیستمهای حفاظتی خصوصاً رله‌های دیستانس[۱] منجر به پیدایش الگوریتمهای جدید در این زمینه گردیده است.

رله‌های دیستانس همانطورکه از نامشان پیداست مسافت نقطهٔ خطا تا محل رله را محاسبه می‌کنند

۱- *Distance*

البته این کار را با اندازه گیری امپدانس مؤلفه مثبت خط،بین نقطهٔ رله و نقطهٔ خطا انجام می دهند . دراین فصل به بعضی الگوریتمهای رله دیستانس اشاره می شود و الگوریتم بکار رفته در این پروژه هم بطور مبسوط شرح داده خواهد شد .

۲-۲) تکنیکهای رله‌دیستانس دیجیتال

از سالها قبل الگوریتمهای مختلفی برای رله‌های دیستانس پیشنهاد شده است این الگوریتمها مبتنی بر اندازه‌گیری امپدانس به صورت زمان واقعی هستند . تکنیکهای مذکور به ۵گروه تقسیم‌بندی می‌شوند . این گروهها عبارتند از :

۱ . نمونه‌ها و محاسبهٔ مشتق

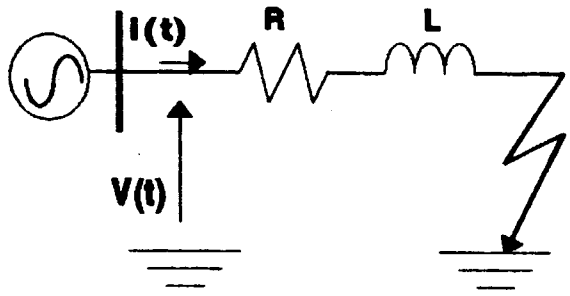
۲ . برازش منحنی سینوسی[۱]

۳ . آنالیز فوریه سیگنالهای رله

۴ . برازش منحنی با حداقل مربعات[۲]

۵. حل معادلهٔ دیفرانسیل مدل خط حفاظت شده

روش پنجم مبتنی بر معادلهٔ دیفرانسیل خط می‌باشد در صورتی که ۴ روش دیگر اساساً برمبنای شکل موج سیگنالهای مربوطه عمل می‌کنند . این روشها سعی می‌کنند بااستفاده از ولتاژ و جریانهای با فرکانس اصلی مقدار امپدانس خطا را محاسبه کنند . الگوریتمهای معادلهٔ دیفرانسیل هم به صورتی دیگر برمبنای مدل سیستم عمل می‌کنند .



شکل ۲-۱ مدل خط انتقال

مدل یک خط تکفازکه خطا در آن رخ داده را مطابق شکل ۲-۱ درنظر می‌گیریم . معادلات دیفرانسیل

۱- *Sinusoidal Curve Fitting*

۲- *Least Squares*

حاکم بر ولتاژ و جریان را در صورت صرف‌نظر کردن از خازن خط می‌توان به فرم زیر درنظر گرفت .

$$V(t) = R\, i(t) + L \frac{d}{dt} i(t) \qquad (۲-۱)$$

در رابطهٔ فوق هر دو سیگنال i(t) و V(t) قابل اندازه‌گیری هستند و این امکان وجود دارد که پارامترهای خط یعنی R ، L و بنابراین طول خط خطادار را بتوان تخمین زد . مکینز[۱] و موریسن[۲] [۱۲] معادلهٔ فوق را با انتگرال‌گیری از دو طرف معادله حل کرده‌اند .

$$\int_{t_0}^{t_1} V(t)dt = R\int_{t_0}^{t_1} i(t)dt + L(i(t_1) - i(t_0)) \qquad (۲-۲)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} V(t)dt = R\int_{t_1}^{t_2} i(t)dt + L(i(t_2) - i(t_1)) \qquad (۲-۳)$$

فواصل زمانی در فرمولهای مذکور بانمونه‌ها تخمین زده می‌شود .اگر نمونه‌ها در فواصل زمانی $T=\frac{1}{f}$ نمونه‌برداری شده باشند و قانون ذوزنقه[۳] برای انتگرال‌گیری مورد استفاده قرار گیرد داریم :

$$\int_{t_0}^{t_1} V(t)dt = \frac{T}{2}(V(t_1) + V(t_0)) = \frac{T}{2}(V_1 + V_0) \qquad (۲-۴)$$

پس معادلات (۲-۲) و (۲-۳) برای نمونه‌های Kام تا (K + ۲) ام را می‌توان به فرم زیر نوشت :

$$\begin{bmatrix} \frac{T}{2}(i_{k+1} + i_k) & (i_{k+1} - i_k) \\ \frac{T}{2}(i_{k+2} + i_{k+1}) & (i_{k+2} - i_{k+1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{T}{2}(V_{k+1} + V_k) \\ \frac{T}{2}(V_{k+2} + V_{k+1}) \end{bmatrix} \qquad (۲-۵)$$

سه نمونهٔ ولتاژ و جریان برای محاسبهٔ R و Lکافی به‌نظر می‌رسد . مقادیر R و Lلحظه‌ای را می‌توان از روابط زیر بدست آورد .

$$R_k = \left[\frac{(V_{k+1}+V_k)(i_{k+2}-i_{k+1}) - (V_{k+2}+V_{k+1})(i_{k+1}-i_k)}{(i_{k+1}+i_k)(i_{k+2}-i_{k+1}) - (i_{k+2}+i_{k+1})(i_{k+1}-i_k)} \right] \qquad (۲-۶)$$

$$L_k = \frac{T}{2}\left[\frac{(V_{k+2}+V_{k+1})(i_{k+1}+i_k) - (V_{k+1}+V_k)(i_{k+2}+i_{k+1})}{(i_{k+1}+i_k)(i_{k+2}-i_{k+1}) - (i_{k+2}+i_{k+1})(i_{k+1}-i_k)} \right] \qquad (۲-۷)$$

یک اشکال اساسی که به روش فوق وارد می‌باشد این است که روش فوق در واقع متوسط‌گیری است نه

۱- *McInnes*

۲- *Morrison*

۳- *Trapezoidal Rule*