بسم الله الرحمن الرحیم

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت

عنوان :

آشکار سازی اشباع در ترانسفورماتور جریان بر مبنای تبدیل موجک گسسته و تصحیح خطای آن با استفاده از روش عصبی-فازی

نگارش:

حامد جعفری راد

استاد راهنما:

دکتر حمید جوادی

مهر ماه ۱۳۹۱

دانشگاه صنعت آب و برق
دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت آقای حامد جعفری راد

تحت عنوان:

آشکار سازی اشباع در ترانسفورماتور جریان بر مبنای تبدیل موجک گسسته و تصحیح خطای آن با استفاده از روش عصبی-فازی

در تاریخ ۱۳۹۱/۰۷/۱۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنما: دکتر حمید جوادی

۲- استاد ممتحن (داخلی): دکتر محمدآقا شفیعی

۴- استاد ممتحن(خارجی): دکتر سید حسین حسینیان

۵- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده برق: دکتر محمد رضا آقامحمدی

«تعهد اصالت اثر»

اینجانب «حامد جعفری راد» تأیید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه ماحصل کار پژوهشی اینجانب بوده و به پژوهش دیگران که در این نوشتار از آنها استفاده شده، مطابق قوانین و مقررات ارجاع گردیده است.

این پایان‌نامه قبلاً برای هیچ مدرک هم‌سطح و یا بالاتر ارائه نشده و کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعت آب و برق می‌باشد.

نام و نام خانوادگی: حامد جعفری راد

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که منت نهاد، هستی بخشید و توفیق کسب علم و دانش داد. اکنون که به فضل خدا این پژوهش را به پایان رسانیده‌ام، بر خود لازم می‌دانم که از اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر حمید جوادی، به جهت راهنمایی‌های ارزشمند ایشان تشکر نمایم. همچنین بر خود لازم می‌دانم از تمامی دوستان و عزیزانی که در طی انجام این پژوهش از یاری و مساعدت ایشان بهره برده‌ام، تشکر و قدردانی نمایم. امید است که توانسته باشم در سایه لطف خداوند گامی هر چند کوچک در راستای توسعه و تعالی کشور بردارم.

چکیده

در این پایانامه از یک الگوریتم مبتنی بر تبدیل موجک گسسته به منظور آشکارسازی زمان وقوع خطا و دوره‌های اشباع (زمان‌های شروع و پایان اشباع) استفاده شده و سیستم‌های وفقی فازی-عصبی برای تصحیح خطای اشباع از روی جریان ثانویه، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

اطلاعات لازم جهت آموزش سیستم‌های فازی-عصبی با تغییر پارامترهای تاثیر گذار بروی اشباع ترانسفورماتور جریان از جمله ظرفیت اتصال کوتاه منبع، مقاومت خطا، مکان خطا، زمان (زاویه) وقوع خطا، میزان شار پسماند موجود در هسته CT و اندازه بردن ثانویه CT از مدار نمونه طراحی شده استخراج می‌گردد.

در مرحله اول و برای آشکارسازی دوره‌های اشباع و زمان وقوع خطا، از یک الگوریتم بر پایه تبدیل موجک گسسته که بر اساس خروجی‌های دو واحد محاسباتی عمل می‌کند استفاده شده است. بمنظور پوشش کاملتر و جامعتر انواع حالات خطا و آموزش بهینه سیستم‌های ANFIS جهت تصحیح خطا، پس از استخراج دو مشخصه از جریان‌های خطا در لحظه‌ی تشخیص وقوع خطا، کلیه جریان‌ها بوسیله این اطلاعات دوبعدی و توسط الگوریتم دسته‌بندی FCM در ۶ دسته تقسیم بندی می‌شوند. ۶ سیستم وفقی فازی-عصبی بوسیله اطلاعات موجود در هر دسته به منظور جبرانسازی جریان ثانویه در زمان‌هایی که ترانسفورماتور جریان به اشباع رفته است، آموزش می‌بینند. نهایتاً قوانین فازی TSK طراحی شده به منظور تعیین درصد مشارکت هر سیستم ANFIS در تصحیح خطاهای جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند.

برای شبیه‌سازی شبکه قدرت جهت تولید اطلاعات مورد نیاز بمنظور آموزش و تست سیستم‌های فازی-عصبی از نرم‌افزار EMTP-RV و برای پیاده‌سازی سیستم‌های فازی-عصبی، سیستم استنباط فازی TSK و الگوریتم دسته‌بندی FCM از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است.

کلمات کلیدی: ترانسفورماتور جریان، آشکارسازی اشباع، تبدیل موجک گسسته، سیستم وفقی فازی-عصبی، سیستم استنباط فازی TSK

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده ۳

۱-۳ ساختار پایانامه ۵

فصل دوم

ترانسفورماتور جریان

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ دسته بندی ۷

۲- ۳ مشخصات عمومی ۷

۲-۴ مشخصات هسته و سیم پیچها ۸

۲-۵ کمیتهای مهم در ترانسفورماتور جریان ۹

۲-۶ مدار معادل ترانسفورماتور جریان ۱۱

۲-۷-مدلسازی هسته ۱۲

۲-۸-عوامل تاثیر گذار بر اشباع CT ۱۲

۲-۹-جمع بندی ۱۵

فصل سوم

روش‌های آشکارسازی و جبرانسازی اشباع در ترانسفورماتورهای جریان

۳-۱ مقدمه ۱۷

۳-۲ آشکارسازی اشباع ۱۷

۳-۲-۱ آشکارسازی اشباع با استفاده از پیش بینی جریان اولیه [۷] ۱۷

۳-۲-۲ آشکار سازی اشباع بر اساس اندازه گیری امپدانس [۸] ۱۸
۳-۲-۳ آشکار سازی اشباع بر اساس مشتقات جریان ثانویه [۹]،[۱۰]، و [۲۵] ۱۹
۳-۲-۴ استفاده از شبکه های عصبی [۱۲] ۲۰
۳-۳ جبرانسازی اشباع ۲۰
۳-۳-۱ جبرانسازی اشباع بر مبنای محاسبه شار هسته [۶] و [۲۶] ۲۰
۳-۳-۲ جبرانسازی اشباع با استفاده از ثابت زمانی اشباع [۲۷] ۲۱
۳-۳-۳ استفاده از مشخصات سیگنال خطا قبل از بروز اشباع [۲۸] ۲۱
۳-۳-۴ استفاده از جزء DC میرا شونده [۲۹] ۲۲
۳-۳-۵ جبرانسازی اشباع با استفاده از شبکه های عصبی ۲۲
۳-۳-۶ جبرانسازی اشباع با استفاده از روش ترکیبی موجک و رگرسیون[۳۰] ۲۳
۳-۳-۷ جبرانسازی اشباع با استفاده از تبدیل موجک گسسته، رگرسیون و تئوری فازی [۳۱] ۲۴
۳-۴ جمع بندی ۲۴

فصل چهارم

معرفی الگوریتم‌های مورد استفاده

۴-۱ مقدمه ۲۶
۴-۲ تبدیل موجک ۲۶
۴-۲-۱ کاربرد تبدیل موجک ۲۶
۴-۲-۲ تبدیل موجک چیست؟ ۲۶
۴-۲-۳ اصول اولیه تبدیل موجک ۲۹
۴-۲-۳-۱ مراحل محاسبه تبدیل موجک ۲۹
۴-۲-۳-۲ موجک مادر ۳۰
۴-۲-۴ تبدیل موجک گسسته ۳۱

۴-۲-۵ تجزیه سیگنال با استفاده از بانکهای فیلتری(آنالیز چند دقتی) ۳۳
۴-۳ شبکه های عصبی-فازی ۳۵
۴-۳-۱ سیستم استنتاج فازی ۳۵
۴-۳-۲ از فازی تا فازی-عصبی ۳۷
۴-۳-۲-۱ ساختار و قوانین یادگیری پایهای ۴۱
۴-۳-۲-۳ شبکه عصبی-فازی ۴۴
۴-۳-۲-۴ سیستم استنتاج فازی مبتنی بر شبکههای تطبیقی (ANFIS) ۴۵
۴-۴ جمع بندی ۴۹

فصل پنجم

آشکارسازی دوره‌های اشباع

۵-۱ مقدمه ۵۱
۵-۲ آماده سازی داده جهت آموزش ۵۱
۵-۳ آشکارسازی دوره های اشباع و زمان وقوع خطا ۵۴
۵-۳-۱ الگوریتم تشخیص زمان خطا ۵۶
۵-۳-۲ تعیین آستانه: ۵۹
۵-۳-۳ مقایسه روش پیشنهادی با روش مشتق مرتبه سوم جریان ۶۲
۵-۴ جمع بندی ۶۵

فصل ششم

جبرانسازی اشباع

۶-۱ مقدمه ۶۷
۶-۲ دسته بندی اطلاعات آموزش ۶۷
۶-۲-۱ استخراج مشخصه ها ۶۸
۶-۲-۲ الگوریتم FCM ۷۲

۶-۳ آموزش سیستمهای وفقی فازی-عصبی ۷۴
۶-۴ عملیات تصحیح نهایی ۸۲
۶-۵ جمع بندی ۹۲

فصل هفتم

جمع بندی، نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات

۷-۱ جمع بندی و نتیجه گیری ۹۴
منابع و مراجع: ۹۷

فهرست اشکال

شکل ۲- ۱: ترانسفورماتور جریان با چهار هسته برای اهداف اندازه گیری و حفاظت به همراه منحنی اشباع این هسته ها..... ۹
شکل ۲- ۲: دیاگرام برداری یک ترانسفورماتور جریان ۱۰
شکل ۲- ۳: مدار معادل ترانسفورماتور جریان..... ۱۲
شکل ۲- ۴: شکل موج جریان ثانویه (خط چین) و اولیه ی ارجاع داده شده به ثانویه (خط) برای مقادیر مختلف شار پسماند و زاویه ی وقوع خطای ۹۰ درجه ۱۳
شکل ۲- ۵: شکل موج جریان ثانویه(خط چین) و اولیه ارجاع داده شده به ثانویه(خط) برای مقادیر مختلف شار پسماند و زاویه وقوع خطای ۲۷۰ درجه..... ۱۴
شکل ۲- ۶: شکل موج جریان ثانویه (خط چین) و اولیه ارجاع داده شده به ثانویه (خط) برای مقادیر مختلف بار اهمی..... ۱۵
شکل ۴- ۱: یک موجک از خانواده دبوچی ۲۷
شکل ۴- ۲: تجزیه یک سیگنال توسط تبدیل فوریه..... ۲۸
شکل ۴- ۳: تجزیه یک سیگنال توسط تبدیل موجک ۲۸
شکل ۴- ۴: اعمال تبدیل موجک بروی یک سیگنال ۳۰
شکل ۴- ۵: موجکهای خانواده دابیچیز ۳۱
شکل ۴- ۶: تجزیه سیگنال با استفاده از بانک فیلتری ۳۳
شکل ۴- ۷: نویز زدایی از یک سیگنال سینوسی یا استفاده از بانک فیلتری..... ۳۴
شکل ۴- ۸: عملیات تجزیه سیگنال با استفاده از بانکهای فیلتری..... ۳۵
شکل ۴- ۹: سیستم استنتاج فازی ۳۸
شکل ۴- ۱۰: سیستم فازی نوع ۲ مساله دستمزد رستوران..... ۳۹
شکل ۴- ۱۱: سیستم فازی نوع ۳ (sugeno) مربوط به مساله دستمزد رستوران ۴۰
شکل ۴- ۱۲: یک شبکه تطبیقی..... ۴۱
شکل ۴- ۱۳: ساختار کلی شبکه فازی-عصبی ۴۵
شکل ۴- ۱۴: سیستم فازی معادل..... ۴۷
شکل ۵ - ۱: مدل شبیهسازی شده در نرم افزار EMTP-RV ۵۲
شکل ۵ - ۲: مشخصه مغناطیسی CT..... ۵۳
شکل ۵ - ۳: a) جریان ثانویه(نقطه چین) و جریان اولیه(توپر) b) ضرایب مولفه دقیق تبدیل موجک(d۱[n]) ۵۵
شکل ۵ - ۴: جریان اولیه و ثانویه اشباع شده و اندازه ضرایب جزئیات سطح اول(|d۱[n]|) و ضرایب انرژی(sum[n]) ۵۸
شکل ۵ - ۵: اشباع شدید a)جریان اولیه و ثانویه b) انرژی ضرایب و آستانه ۶۰
شکل ۵ - ۶: اشباع ضعیف a)جریان اولیه و ثانویه b) انرژی ضرایب و آستانه ۶۰
شکل ۵ - ۷: فلوچارت الگوریتم آشکارساز..... ۶۱

شکل ۵ - ۸: a)جریان اولیه(خط) و جریان ثانویه(خط توخالی) b)مقادیر انرژی ضرایب و آستانه c)آشکارسازی اشباع توسط الگوریتم ارائه شده d)مشتق مرتبه سوم و مقدار آستانه ۶۳
شکل ۵ - ۹: a) جریان اولیه(خط) و جریان ثانویه(خط توخالی) b)مقادیر انرژی ضرایب و آستانه c)آشکارسازی اشباع توسط الگوریتم ارائه شده d)مشتق مرتبه سوم و مقدار آستانه ۶۴
شکل ۶- ۱: جریان اولیه(خط) و جریان ثانویه (خط توخالی) a) زاویه وقوع خطای ۱۵۵ درجه b) زاویه وقوع خطای ۳۳۵ درجه (۱۵۵+۱۸۰)..... ۶۹
شکل ۶- ۲: جریان اولیه(خط) و جریان ثانویه (خط توخالی) a) زاویه وقوع خطای ۱۵۵ درجه b) زاویه وقوع خطای ۱۷۵ درجه ۷۰
شکل ۶- ۳: جریان اولیه(خط) و جریان ثانویه (خط توخالی) a) شارپسماند صفر b) شار پسماند ٪۷۰+ ۷۱
شکل ۶- ۴: تابع هدف الگوریتم دستهبندی FCM ۷۳
شکل ۶- ۵: دستهبندی انواع خطا به همراه مراکز هر دسته ۷۴
شکل ۶- ۶: a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS اول (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۷۸
شکل ۶- ۷ :مقدار موثر جریان اولیه، ثانویه و خروجی سیستم ANFIS۱ ..... ۷۸
شکل ۶- ۸ :a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS دوم (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۷۹
شکل ۶- ۹: مقدار موثر جریان اولیه، ثانویه و خروجی سیستم ANFIS۲ ..... ۷۹
شکل ۶- ۱۰: a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS سوم (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۸۰
شکل ۶- ۱۱: مقدار موثر جریان اولیه، ثانویه و خروجی سیستم ANFIS۳..... ۸۰
شکل ۶- ۱۲: سیستم استنباط فازی با دو رول ۸۳
شکل ۶- ۱۳: a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۸۵
شکل ۶- ۱۴: a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۸۶
شکل ۶- ۱۵: a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۸۷
شکل ۶- ۱۶: a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۸۸
شکل ۶- ۱۷: a) جریان اولیه b) ضرایب انرژی و آستانه c) آشکارساز اشباع d) خروجی سیستم ANFIS (خط) و جریان ثانویه(خط چین) ۸۹

فهرست جداول

جدول ۵- ۱ : مشخصات سیستم نمونه ۵۲
جدول ۵- ۲: پارامترهای CT ۵۲
جدول ۵- ۳: شرایط مختلف خطا و CT ۵۴
جدول ۶- ۱: تعداد خطاهای دستهبندی شده در هر دسته ۷۴
جدول ۶- ۲: سیستمهای ANFIS و اطلاعات آموزش آنها ۷۷
جدول ۶- ۳: تست پاسخ سیستمهای ANFIS آموزش دیده نسبت به خطاهای آزمایش توسط . ضریب تصمیم (R۲-test) ۸۲
جدول ۶- ۴ :پارامترهای توابع عضویت هر رول سیتم فازی طراحی شده ۸۴
جدول ۶- ۵: اطلاعات مربوط به تصحیح خطا توسط سیستمهای فازی ۸۵
جدول ۶- ۶: اطلاعات مربوط به تصحیح خطا توسط سیستمهای فازی ۸۶
جدول ۶- ۷ :اطلاعات مربوط به تصحیح خطا توسط سیستمهای فازی ۸۷
جدول ۶- ۸: اطلاعات مربوط به تصحیح خطا توسط سیستمهای فازی ۸۸
جدول ۶- ۹: اطلاعات مربوط به تصحیح خطا توسط سیستمهای فازی ۸۹

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ مقدمه

رشد اندازه و پیچیدگی سیستم‌های قدرت سبب افزایش سطح جریان‌های اتصال کوتاه شده است. رله‌های حفاظتی در سیستم‌های قدرت نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند.آنها باید خطاهای سیستم را با درجه بالایی از قابلیت اطمینان در کوتاهترین زمان ممکن رفع کنند. این رله‌ها برای کارکرد مناسب به بازسازی دقیق سیگنال ولتاژ و جریان اولیه در طول خطا نیاز دارند. برای این منظور ترانسفورماتورهای جریان برای تولید یک سیگنال جریان مشابه اولیه ولی با دامنه کوچکتر، به کار گرفته می‌شوند. اکثر ترانسفورماتورهای جریان از هسته‌های آهنی برای بیشینه کردن شار پیوندی بین سیم پیچی اولیه و ثانویه استفاده می‌کنند. با این وجود ترانسفورماتورهای جریان با هسته آهنی به دلیل غیر خطی بودن مشخصه‌ی تحریک وقابلیت آنها برای نگهداری شار زیاد در هسته که به عنوان شار پسماند شناخته می‌شود، ایده‌آل نیستند و در نتیجه مستعد اشباع شدن می‌باشند. در نقاط بالاتر از زانوی منحنی مغناطیس شوندگی ترانسفورماتور جریان، جریان تحریک عبوری از هسته بسیار سریعتر افزایش خواهد یافت. اگر شار ترانسفورماتور جریان به بالاتر از زانوی منحنی افزایش یابد، آنگاه ترانسفورماتور جریان دیگر جریان اولیه را دنبال نمی‌کند و خطای نسبت تبدیل ترانسفورماتور جریان افزایش زیادی پیدا می‌کند.

در اثر بروز خطای اتصال کوتاه، جریان بالای خطا موجب به اشباع رفتن ترانسفورماتور جریان و در نتیجه همانطور که گفته شد اعوجاج دار شدن شکل موج جریان ثانویه می‌شود. برای محدود کردن این اثر، رله‌های حفاظتی به طور معمول برای مواجهه با اشباع طراحی می‌شوند. راه حل معمول استفاده از ترانسفورماتورهای جریان بزرگ به همراه الگوریتم‌های عملکرد غیر حساس به اثرات اشباع می‌باشد. به عنوان مثال اکثر رله های دیفرانسیلی امپدانس کم، یک مشخصه عملکرد بایاس شده را به کار می‌برند که ثبات در برابر جریان‌های بزرگ خطای خارجی را حتی وقتی ترانسفورماتورهای جریان اشباع شده‌اند، تضمین می‌کند.

در هر حال حساسیت کافی به خطاهای داخلی، به یک ترانسفورماتور جریان با ابعاد مناسب نیاز دارد که به معنی به کار بردن یک ترانسفورماتور با ابعاد بزرگتر و در نتیجه هزینه‌ی بالاتر خواهد بود. اگر ترانسفورماتور جریان خیلی کوچک باشد، ثبات در برابر خطاهای خارجی فقط در شرایطی که مشخصه عملکرد در حالت بسیار غیر حساس

باشد، تضمین خواهد شدکه در این صورت رله قادر به آشکار سازی خطاهای داخلی با جریان کم به خصوص در شرایطی که جریان بار بزرگ باشد، نخواهد بود.

بنابراین آشکارسازی و جبرانسازی مناسب اشباع ترانسفورماتورهای جریان در سیستم‌های قدرت از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد و منجر به کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان سیستم قدرت خواهد شد.

۱-۲ مروری بر کارهای انجام شده

همانطور که اشاره شد، اشباع ترانسفورماتور جریان می‌تواند تاثیر منفی بروی عملکرد رله‌ها داشته باشد. در [۳]-[۱] مشکلات ناشی از بروز اشباع در ترانسفورماتورهای جریان مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در [۴] به بررسی تاثیر اشباع ترانسفورماتور جریان بروی امپدانس محاسبه شده توسط رله دیستانس با توجه به روش‌های مختلف محاسبه امپدانس پرداخته شده است.

در [۵] یک روش برای آشکارسازی اشباع در ترانسفورماتورهای جریان بر اساس این واقعیت که جریان در هنگام شروع اشباع به تندی تغییر می‌کند، ارائه شده است. این روش اشباع ترانسفورماتور جریان را هنگامیکه با شروع اشباع تغییرات جریان به نزدیکی صفر سقوط کند، با موفقیت تشخیص می‌دهد ولی در صورتیکه یک فیلتر پایین گذر آنتی الیاسینگ نصب شده باشد یا تغییرات جریان بعد از اشباع به صفر سقوط نکند، با مشکل مواجه خواهد شد. در [۶] یک الگوریتم برای محاسبه شار هسته از روی جریان ثانویه و سپس جبرانسازی جریان ثانویه اعوجاج دار پیشنهاد شده است. این الگوریتم به خوبی شار هسته را محاسبه می‌کند و اشباع ترانسفورماتور جریان را در شرایط مختلف تشخیص می‌دهد. با این وجود در این روش از این فرض استفاده شده است که شار پسماند در شروع محاسبات برابر صفر است که در شرایط واقعی فرض مناسبی نمی‌باشد.

یک روش دیگر برای آشکارسازی اشباع با محاسبه متوشط خطا و متوسط و واریانس دامنه جریان در [۷] پیشنهاد شده است. مقدار خطا با این فرض که اگر یک جریان سینوسی کامل باشد، جمع آن جریان با مشتق دومش باید صفر باشد، تعیین می‌گردد. در [۸] یک روش امپدانسی برای آشکار سازی اشباع در یک ترانسفورماتور جریان به منظور حفاظت دیفرانسیلی باس-بار پیشنهاد شده است. این روش بر پایه معادله دیفرانسیل مرتبه اول امپدانس منبع

سیستم قدرت در محل رله می‌باشد و در آن از ولتاژ باس-بار و جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان برای محاسبه امپدانس استفاده شده است. تغییرات در این امپدانس برای تعیین وضعیت ترانسفورماتور جریان به کار می‌روند.

در [۹] و [۱۰] یک روش برای آشکارسازی اشباع ترانسفورماتور جریان بر اساس دیفرانسیل سوم جریان ثانویه ارائه شده است. در این مقالات اثر فیلتر پایین گذر آنتی الیاسینگ در نظر گرفته شده است.

همچنین در مورد اثرات شار پسماند در هسته، اندازه اندوکتانس مغناطیس کنندگی و حالات مختلف خطا بحث شده است. در [۱۱] یک روش آشکارسازی با استفاده از مولفه‌های متقارن برای حفاظت دیفرانسیل پیشنهاد شده است. در [۱۲] یک روش دیگر برای آشکارسازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. در این روش از شبکه عصبی به منظور تشخیص اشباع و از الگوریتم ژنتیک برای پیدا کردن ساختار بهینه شبکه عصبی از نظر تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌ها در هر لایه استفاده شده است. در [۱۳] یک روش جدید ترکیبی با استفاده از مشتق دوم جریان خروجی ترانسفورماتور جریان و قاعده گذر از صفر ارائه شده است.

در [۶] و [۱۴] یک روش برای جبرانسازی پیشنهاد شده است که جریان مغناطیس کنندگی هسته ترانسفورماتور جریان را تخمین می‌زند و سپس این جریان به جریان ثانویه اندازه‌گیری شده اضافه می‌شود تا جریان ثانویه درست تخمین زده شود. این الگوریتم برای شرایط مختلف خطا و سیستم به خوبی کار می‌کند ولی بر این فرض استوار است که شار پسماند قبل از وقوع خطا صفر است. الگوریتم پیشنهاد شده در [۱۵] جریان ثانویه اعوجاج دار را جبران می‌کند و سطح شار پسماند روی آن اثر نامطلوب ندارد. این الگوریتم از یک تایع دیفرانسیل مرتبه دوم برای تشخیص لحظه به اشباع رفتن استفاده می‌کند.

یک روش جایگزین بکار بردن یک شبکه عصبی-مصنوعی برای تخمین تابعی است که جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان که در اثر اشباع اعوجاج دار شده است را تصحیح کند. این روش در مقالات زیادی استفاده شده است[۲۰]-[۱۶]. وابستگی به ظرفیت ثانویه ترانسفورماتور جریان، عدم در نظر گرفتن کلیه عواملی که می‌توانند روی اشباع تاثیر بگذارند و بهینه نبودن ساختار شبکه عصبی از نقایصی است که در این مقالات به چشم می‌خورند. در [۲۱] از دو شبکه عصبی مصنوعی که تعداد نرون‌ها و لایه‌های این دو شبکه بوسیله الگوریتم بهینه سازی PSO بهینه شده است بمنظور آشکارسازی و جبرانسازی اشباع استفاده شده است.

۱-۳ ساختار پایانامه

در فصل دوم به معرفی ترانسفورماتورهای جریان، مدار معادل آن، مدل هسته و در نهایت بررسی اثر پارامترهای موجود بروی اشباع پرداخته می‌شود. فصل سوم به معرفی و مرور کلی روش‌های ارائه شده برای آشکار سازی و جبرانسازی اشباع در ترانسفورماتورهای جریان اختصاص داده شده است. در فصل چهارم تکنیک‌های مورد استفاده در پایان نامه شامل تبدیل موجک، سیستم‌های فازی و سیستم‌های وفقی فازی-عصبی معرفی خواهند شد. مراحل شبیه سازی و پیاده سازی روش‌های آشکارسازی اشباع و تصحیح خطای آن در فصول پنجم و ششم شرح داده شده است. در ابتدا مراحل آماده سازی مجموعه آموزشی برای آموزش و تست شبکه فازی-عصبی شرح داده می‌شود و شبیه سازی شبکه مورد استفاده در نرم افزار EMTP-RV ارائه می‌شود. سپس الگوریتم تبدیل موجک مورد استفاده جهت آشکارسازی زمان وقوع خطا و دوره‌های اشباع معرفی شده و مراحل خوشه‌بندی و جداسازی داده‌های گردآوری شده برای آموزش و تست شبکه‌های فازی-عصبی شرح داده می‌شوند. در ادامه نحوه‌ی آموزش این شبکه‌ها توضیح داده شده و نهایتا سیستم فازی مورد استفاده جهت تعیین خروجی نهایی جریان ثانویه‌ی تصحیح شده معرفی می‌گردد. در پایان، در فصل هفتم، نتیجه‌گیری انجام شده و پیشنهادات ارائه خواهند شد

فصل دوم:

ترانسفورماتور جریان

۲-۱ مقدمه

در پستهای فشار قوی از وضعیت کمیت‌های ولتاژ و جریان به دو منظور اساسی اندازه‌گیری و حفاظت استفاده می‌شود. از آنجاییکه مقادیر کمیت‌های مذکور در پستها و خطوط فشار قوی بسیار بالاست، دسترسی مستقیم به آنها نه اقتصادی است و نه عملی. بنابراین از ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ استفاده می‌شود. ثانویه این ترانسفورماتورها نمونه‌هایی با مقیاس کم از کمیتهای مذکور، که با حد بسیار بالایی تمام ویژگی‌های کمیت اصلی را داراست، در اختیار می‌گذارد که کلیه دستگاه‌های اندازه‌گیری، حفاظت و کنترل که برای ولتاژ و جریان پایین ساخته شده‌اند از طریق آنها به کمیت‌های مورد نظر پست دست می‌یابند [۲۱] و [۲۲].

۲-۲ دسته‌بندی

ترانسفورماتورهای جریان به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند [۲۱] و [۲۳]:

۱- ترانسفورماتورهای جریان حفاظتی، که برای سیستم‌های حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع ترانسفورماتورهای جریان تا چندین برابر جریان نامی و در جریانهای اتصال کوتاه به اشباع نمی‌روند که این مطلب تفاوت عمده‌ی آنها با ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری است.

۲- ترانسفورماتورهای ابزاز دقیق یا ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری که برای آمپرمتر، وات متر و نظیر آن بکار می‌رود.

۲- ۳ مشخصات عمومی

اتصال ترانسفورماتورهای جریان در شبکه‌ها بگونه‌ایست که سیم‌پیچ اولیه‌ی آن بطور سری با شبکه قرار می‌گیرد، به این معنی که تمام جریان فاز مربوطه از آن عبور می‌کند. برای اندازه‌گیری جریان لازم است که ثانویه‌ی این ترانسفورماتورها دائماً به وسائل اندازه‌گیری یا حفاظت متصل باشد. جریان ثانویه ترانسفورماتور جریان مستقل از