بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق و الکترونیک

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی برق گرایش ماشینهای الکتریکی و درایو

شبیه سازی خطاهای ترانسفورماتور قدرت به وسیله المان محدود و تحلیل آن به وسیله هوش مصنوعی

استادان راهنما:

دکتر پیمان معلم

دکتر آرش کیومرثی

استاد مشاور:

دکتر بهزاد میرزاییان

پژوهشگر:

محمد امین جعفریان

شهریور ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه
اصفهان است.

دانشگاه اصفهان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق و الکترونیک

پایان نامه ی کارشناسی ارشد رشته ی مهندسی برق گرایش ماشینهای الکتریکی و درایو

آقای محمدامین جعفریان تحت عنوان

شبیه سازی خطاهای ترانسفورماتور قدرت به وسیله المان محدود و تحلیل آن به وسیله هوش مصنوعی

در تاریخ ۹۰/۷/۳۰ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استادان راهنمای پایان نامه دکتر پیمان معلم با مرتبه ی علمی دانشیار امضا

دکتر آرش کیومرثی با مرتبه علمی دانشیار امضا

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر بهزاد میرزاییان با مرتبه ی علمی دانشیار امضا

۳- استاد داور داخل گروه دکتر مدنی با مرتبه ی علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از گروه دکتر منجمی با مرتبه ی علمی دانشیار امضا

امضای مدیر گروه

بدینوسیله مراتب سپاسگزاری و قدردانی خود را از اساتید

گرانقدر آقایان دکتر پیمان معلم و آرش کیومرثی که در تدوین

این پایان نامه رهنمون ایشان بوده اند اعلام می دارم.

تقدیم به مادر مهربانم که هرچه دارم از حمایتها و

از خودگذشتگی های بی دریغ اوست.

چکیده

با توجه به اهمیت ترانسفورماتورها در سیستمهای قدرت و لزوم وجود حفاظت مناسب در حین کار بر روی آنها، در این پایان نامه به بیان روش حفاظت از ترانسفورماتورهای قدرت با استفاده از تلفیق روش اجزاء محدود و سیستمهای هوش مصنوعی پرداخته شده است. با انتخاب یک ترانسفورماتور نمونه، ابتدا تحلیل اجزاء محدود بر روی آن صورت گرفته است و پارامترهای مغناطیسی و الکتریکی آن شبیه سازی شده است. سپس با انتخاب دو خطای فاز به زمین و فاز به فاز و اعمال آنها به ترانسفورماتور، تحلیل اجزاء محدود بر روی این خرابی ها صورت گرفته است. با استخراج جریانهای اولیه سه فاز در هر حالت به عنوان پارامترهای خروجی سیستم اجزاء محدود؛ تحلیل موجک بر روی سیگنالهای جریان انجام گرفته است تا اطلاعات دقیق ترانسفورماتورها در حوزه زمان و فرکانس با توجه به هارمونیکها و وقوع خرابی استخراج شود. چهار موجک مناسب انتخاب شده و مقدار متوسط آنها به عنوان پارامترهای ورودی به سیستم هوش مصنوعی داده شده است. سپس با انتخاب دو سیستم هوشمند شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی و شبکه فازی–عصبی، شبکه های هوشمند طراحی و مدل شده اند. با آموزش مناسب این دو شبکه با داده های کافی و مناسب که از ایجاد تغییرات در پارامترهای منبع ورودی ترانسفورماتور و مشخصه مغناطیسی هسته صورت گرفته است، شبکه عصبی و همین طور فازی–عصبی کامل شده اند و نهایتاً با استفاده از سیگنالهای تست مقدار خطا در هر حالت برای تشخیص وضعیت کار ترانسفورماتور به دست آمده است.

کلید واژه‌ها: ترانسفورماتور قدرت، روش اجزاء محدود، تحلیل موجک، شبکه عصبی، شبکه فازی–عصبی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- مروری بر خطاها وحفاظتهای رایج در ترانسفورماتور ۲

۱-۳- تشریح روش پیاده سازی جهت تشخیص خطا ۴

فصل دوم: ترانسفورماتور و حفاظتهای آن

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- ساختمان الکتریکی ترانسفورماتور ۸

۲-۲-۱- هسته ۸

۲-۲-۲- سیم پیچ ۹

۲-۲-۳- تپ چنجر ۱۰

۲-۳- ساختمان خارجی ترانسفورماتور ۱۱

۲-۳-۱- تانک ترانسفورماتور ۱۱

۲-۳-۲- منبع انبساط روغن (کنسرواتور) ۱۲

۲-۳-۳- بوشینگ ۱۲

۲-۴- مدار معادل الکتریکی ترانسفورماتور ۱۳

۲-۴-۱- قانون القای فاراده ۱۳

۲-۴-۲- معادله ایده‌ال توان ۱۴

۲-۴-۳- شار پراکندگی ۱۵

۲-۵- انواع خطاهای ترانسفورماتور قدرت ۱۶

۲-۶- حفاظت های مورد استفاده در ترانسفورماتور قدرت ۱۷

۲-۶-۱- رله بوخهلتز ۱۷

۲-۶-۲- پریشر رله ۱۸

۲-۶-۳- شیر اطمینان ترانسفورماتور ۱۸

۲-۶-۴- درجه حرارت سنج های ترانسفورماتور ۱۹

عنوان **صفحه**

۲-۶-۵- روغن نما ۲۰
۲-۶-۶- فشار شکن ۲۰
۲-۶-۷- رطوبت گیر ۲۰
۲-۷- حفاظت های خارجی ترانسفورماتور ۲۱
۲-۷-۱- رله دیفرانسیل ۲۱
۲-۷-۲- حفاظت خطای زمین محدود شده ۲۳
۲-۷-۳- حفاظت افزایش شار/ ولتاژ ۲۳
۲-۷-۴- رله کاهش ولتاژ ۲۳
۲-۷-۵- رله جریان زیاد ۲۳
۲-۷-۶- حفاظت اضافه جریان فاز و خنثی ۲۴
۲-۷-۷- حفاظت تپ چنجر ۲۴
۲-۸- حفاظت روغن ترانسفورماتور ۲۴
۲-۹- الگوریتم های حفاظت ترانسفورماتور ۲۵
۲-۹-۱- روش تحلیل گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور ۲۶
۲-۹-۲- روش پاسخ فرکانسی ۲۸
۲-۹-۳- استفاده از سیگنال صوتی ۳۰
۲-۹-۴- روشهای هوشمند ۳۰

فصل سوم : تحلیل ترانسفورماتور با روش اجزاء محدود

۳-۱- مقدمه ۳۱
۳-۲- تاریخچه اجزاء محدود ۳۲
۳-۳- روش اجزاء محدود ۳۳
۳-۴- تحلیل ترانسفورماتور به وسیله اجزاء محدود ۳۴
۳-۵- نحوه شبیه سازی ترانسفورماتور نمونه به کمک اجزاء محدود ۳۵
۳-۵-۱- ترانسفورماتور نمونه انتخاب شده ۳۵
۳-۵-۲- پارامترهای به کاررفته در شبیه سازی ترانسفورماتور با نرم افزار Maxwell ۳۷
۳-۵-۳- ایجاد خطاهای خارجی در ترانسفورماتور و شبیه سازی آن ۴۲

عنوان **صفحه**

۳-۶- نتایج شبیه سازی ۴۴

۳-۶-۱- شبیه سازی ترانسفورماتور بدون خطا ۴۴

۳-۶-۲- نتایج شبیه سازی برای حالت خطای فاز A به زمین ۵۰

۳-۶-۳- نتایج برای حالت خطای فاز A به فاز B ۵۲

۳-۶-۴- نتایج برای حالت خطای فازهای A و B به زمین ۵۵

۳-۶-۵- نتایج برای حالت خطای فازهای A و B و C به زمین ۵۷

فصل چهار : تحلیل موجک

۴-۱- مقدمه ۶۰

۴-۲- تاریخچه ۶۱

۴-۳- روشهای تحلیل سیگنال ۶۲

۴-۳-۱- تحلیل فوریه ۶۲

۴-۳-۲- تحلیل فوریه پنجره کوتاه ۶۳

۴-۳-۳- تحلیل موجک ۶۴

۴-۳-۴- مقایسه تحلیل موجک با تبدیل فوریه ۶۵

۴-۴-تبدیل های موجک ۶۶

۴-۴-۱- تبدیل موجک پیوسته ۶۷

۴-۴-۱-۱- تغییر مقیاس ۶۸

۴-۴-۱-۲- انتقال ۶۹

عنوان **صفحه**

۴-۴-۱-۳- مقیاس و فرکانس ۷۱

۴-۴-۲- تبدیل موجک گسسته ۷۲

۴-۴-۲-۱- فیلتر کردن یک مرحله ای ۷۳

۴-۴-۲-۲- تجزیه چند مرحله ای ۷۵

۴-۴-۲-۳- بازسازی سیگنال ۷۵

۴-۴-۲-۴- تحلیل موجک بسته ای ۷۷

۴-۴-۳- انواع موجک های مادر ۷۸

۴-۵- نتایج شبیه سازی ۷۹

فصل پنجم : شبکه عصبی

۵-۱- مقدمه ۸۷

۵-۲- تاریخچه ۸۸

۵-۳- کاربردهای شبکه عصبی ۹۰

۵-۴- ساختار شبکه عصبی ۹۱

۵-۴-۱- شبکه عصبی طبیعی ۹۱

۵-۴-۲- نرون مصنوعی ۹۲

۵-۴-۳- تابع محرک ۹۳

۵-۴-۴- نرون با چند ورودی ۹۴

۵-۵- لایه ها در شبکه عصبی ۹۶

عنوان **صفحه**

۵-۵-۱- شبکه عصبی تک لایه ۹۶

۵-۵-۲- شبکه چند لایه ۹۸

۵-۶- شناسایی الگو ۱۰۰

۵-۷- آموزش در شبکه عصبی ۱۰۱

۵-۷-۱- شبکه های پس خور یا برگشتی ۱۰۱

۵-۷-۲- قانون یادگیری پس انتشار خطا ۱۰۲

۵-۸- طراحی شبکه عصبی و نتایج شبیه سازی ۱۰۳

فصل ششم : شبکه عصبی-فازی

۶-۱- مقدمه ۱۱۴

۶-۲- تابع عضویت ۱۱۷

۶-۳- عملیات منطقی در فازی ۱۱۹

۶-۳-۱- سه عمل منطقی AND، OR و NOT ۱۱۹

۶-۳-۲- تابع منطقی اگر-آنگاه ۱۲۰

۶-۴- فازی Suegno-type ۱۲۳

۶-۵- شبکه ANFIS ۱۲۵

۶-۶- شبکه طراحی شده و نتایج شبیه سازی ۱۲۵

فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات ادامه کار

۷-۱- نتیجه گیری ۱۳۲

عنوان **صفحه**

۷-۲- پیشنهادات ادامه کار..... ۱۳۳

پیوست ها

پیوست ۱ : ماتریس داده ها..... ۱۳۴

پیوست ۲ : برنامه های matlab ۱۴۰

منابع..... ۱۵۰

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱) : هسته ترانسفورماتور ۹

شکل (۲-۲) : سیم پیچ ترانسفورماتور ۹

شکل (۲-۳) : سیم پیچی دیسکی ۱۰

شکل (۲-۴) : تانک ترانسفورماتور ۱۱

شکل (۲-۵) : کنسرواتور ۱۲

شکل (۲-۶) : مدار معادل ترانسفورماتور ایده آل ۱۳

شکل (۲-۷) : مدار معادل ترانسفورماتور ۱۶

شکل (۲-۸) : رله بوخهلتز ۱۸

شکل (۲-۹) : درجه حرارات سنج ترانسفورماتور ۱۹

شکل (۲-۱۰) : رطوبت گیر ۲۱

شکل (۲-۱۱) : رله دیفرانسیل ۲۲

شکل (۲-۱۲) : مثلث دووال ۲۷

شکل (۲-۱۳) : مدار معادل فرکانس بالای ترانسفورماتور ۲۹

شکل (۳-۱) : ترانسفورماتور نمونه ۱۵KVA ۳۶

شکل (۳-۲) : نمای جانبی ترانسفورماتور ۳۶

شکل (۳-۳) : ابعاد ترانسفورماتور نمونه از بالا ۳۶

شکل (۳-۴) : ابعاد ترانسفورماتور نمونه از روبرو ۳۷

عنوان **صفحه**

شکل (۳-۵) : مش بندی اجزاء محدود ۳۸

شکل (۳-۶) : مش بندی ترانسفورماتور ۳۹

شکل (۳-۷) : منحنی B-H هسته ترانسفورماتور در اجزاء محدود ۴۰

شکل (۳-۸) : مدار خارجی اعمالی به ترانسفورماتور ۴۱

شکل (۳-۹) : شماتیک منبع ولتاژ مدار خارجی ۴۱

شکل (۳-۱۰) : مدار خارجی اعمالی به ترانسفورماتور در خطای فاز به زمین ۴۲

شکل (۳-۱۱) : مدار خارجی اعمالی به ترانسفورماتور در خطای دو فاز به هم ۴۳

شکل (۳-۱۲) : مدار خارجی اعمالی به ترانسفورماتور در خطای دو فاز به زمین ۴۳

شکل (۳-۱۳) : مدار خارجی اعمالی به ترانسفورماتور در خطای سه فاز به زمین ۴۴

شکل (۳-۱۴) : چرخش شار مغناطیسی ترانسفورماتور در جریان هجومی ۴۷

شکل (۳-۱۵) : چرخش شار مغناطیسی ترانسفورماتور در حالت ماندگار ۴۹

شکل (۳-۱۶) : چرخش شار مغناطیسی ترانسفورماتور در اتصال کوتاه فاز a به زمین ۵۲

شکل (۳-۱۷) : چرخش شار مغناطیسی ترانسفورماتور در اتصال کوتاه فاز a و b به هم ۵۴

شکل (۳-۱۸) : چرخش شار مغناطیسی ترانسفورماتور در اتصال کوتاه فاز a و b به زمین ۵۷

شکل (۳-۱۹) : چرخش شار مغناطیسی ترانسفورماتور در اتصال کوتاه سه فاز به زمین ۵۹

شکل (۴-۱) : موجک های میر، مورله، کلاه مکزیکی ۶۱

شکل (۴-۲) : تبدیل فوریه ۶۲

شکل (۴-۳) : تبدیل فوریه پنجره کوتاه ۶۳

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۴) : موجک db۱۰ ..... ۶۱

شکل (۴-۵) : تبدیل موجک..... ۶۴

شکل (۴-۶) : مقایسه تبدیلهای فوریه و موجک..... ۶۵

شکل (۴-۷) : تبدیل موجک یک موج سینوسی..... ۶۶

شکل (۴-۸) : روش تبدیل فوریه..... ۶۷

شکل (۴-۹) : روش تبدیل موجک..... ۶۸

شکل (۴-۱۰) : تغییر مقیاس موج سینوسی..... ۶۸

شکل (۴-۱۱) : تغییر مقیاس در تبدیل موجک ۶۹

شکل (۴-۱۲) : انتقال در تبدیل موجک..... ۶۹

شکل (۴-۱۳) : مرحله ۱ تبدیل موجک..... ۷۰

شکل (۴-۱۴) : مرحله ۳ و ۴ تبدیل موجک..... ۷۰

شکل (۴-۱۵) : یک نمونه از ضرایب تبدیل موجک..... ۷۱

شکل (۴-۱۶) : مقیاس پایین و بالا در تبدیل موجک..... ۷۲

شکل (۴-۱۷) : فیلتر کردن سیگنال..... ۷۳

شکل (۴-۱۸) : محاسبه ضرایب موجک گسسته..... ۷۴

شکل (۴-۱۹) : تقریب و جزئیات یک سیگنال نمونه ۷۴

شکل (۴-۲۰) : تجزیه چند مرحله ای..... ۷۵

شکل (۴-۲۱) : شماتیک تجزیه و بازسازی سیگنال در تبدیل موجک ۷۶

عنوان **صفحه**

شکل (۴-۲۲) : فرآیند افزایش نمونه ۷۶

شکل (۴-۲۳) : درخت تبدیل موجک ۷۶

شکل (۴-۲۴) : تحلیل موجک بسته ای ۷۷

شکل (۴-۲۵) : تحلیل موجک بسته ای یک سیگنال نمونه ۷۸

شکل (۴-۲۶) : موجک هار ۷۹

شکل (۴-۲۷) : موجک انتخاب شده در شبیه سازی ۷۹

شکل (۴-۲۸) : درخت موجک در شبیه سازی ۸۰

شکل (۴-۲۹) : سیگنال اصلی جریان اولیه فاز a و چهار موجک نمونه آن ۸۱

شکل (۴-۳۰) : نتایج شبیه سازی برای حالت کار عادی ترانسفورماتور ۸۳

شکل (۴-۳۱) : نتایج شبیه سازی برای حالت خطای فاز a به زمین ۸۵

شکل (۴-۳۲) : نتایج شبیه سازی برای حالت خطای فاز a به b ۸۶

شکل (۵-۱) : یک نرون طبیعی ۹۱

شکل (۵-۲) : ساختار یک نرون تک ورودی ۹۲

شکل (۵-۳) : تابع محرک خطی ۹۳

شکل (۵-۴) : تابع محرک آستانه ای ۹۴

شکل (۵-۵) : تابع محرک سیگموئید ۹۴

شکل (۵-۶) : ساختار یک نرون با چند ورودی ۹۵

شکل (۵-۷) : مدل فشرده یک نرون چند ورودی ۹۶

عنوان **صفحه**

شکل (۵-۸) : مدل شبکه عصبی تک لایه ۹۷

شکل (۵-۹) : مدل فشرده شبکه عصبی تک لایه ۹۷

شکل (۵-۱۰) : مدل شبکه عصبی چند لایه ۹۹

شکل (۵-۱۱) : مدل فشرده شبکه عصبی چند لایه ۹۹

شکل (۵-۱۲) : روش آموزش شبکه برگشتی ۱۰۱

شکل (۵-۱۳) : مدل فشرده یک شبکه MLP دو لایه ۱۰۲

شکل (۵-۱۴) : شماتیک روش گرادیان نزولی ۱۰۳

شکل (۵-۱۵) : توپولوژی شبکه طراحی شده ۱۰۶

شکل (۵-۱۶): مدل فشرده شبکه طراحی شده در نوار ابزار matlab ۱۰۷

شکل (۵-۱۷) : تخصیص ورودی ها برای آموزش شبکه ۱۰۸

شکل(۵-۱۸) : آموزش شبکه عصبی (۱) ۱۰۹

شکل(۵-۱۹) : آموزش شبکه عصبی (۲) ۱۱۰

شکل (۵-۲۰) : نمودار رگرسیون خطی خروجی واقعی بر حسب نتایج (۱) ۱۱۰

شکل (۵-۲۱) : نمودار رگرسیون خطی خروجی واقعی بر حسب نتایج (۲) ۱۱۱

شکل (۵-۲۲) : نمودار رگرسیون خطی خروجی واقعی بر حسب نتایج (۳) ۱۱۲

شکل (۶-۱) : مثال روزهای پایان هفته ۱۱۶

شکل (۶-۲) : مثال بلند قدی ۱۱۶

شکل (۶-۳) : مثال بلند قدی در تئوری مجموعه ها ۱۱۶

عنوان **صفحه**

شکل (۶-۴) : مثال بلند قدی در منطق فازی ۱۱۷

شکل (۶-۵) : تابع عضویت مثلثی ۱۱۷

شکل (۶-۶) : تابع عضویت ذوزنقه ای ۱۱۸

شکل (۶-۷) : تابع عضویت زنگوله ای ۱۱۸

شکل (۶-۸) : تابع عضویت سیگموئید ۱۱۹

شکل (۶-۹) : تابع عضویت چند جمله ای ۱۱۹

شکل (۶-۱۰) : عملیات منطقی در فازی ۱۲۰

شکل (۶-۱۱) : مثال پیاده سازی تابع اگر-آنگاه مراحل ۱ تا ۳ ..... ۱۲۱

شکل (۶-۱۲) : مثال پیاده سازی تابع اگر-آنگاه مرحله ۴ ..... ۱۲۲

شکل (۶-۱۳) : مثال defuzify کردن ۱۲۳

شکل (۶-۱۴) : تابع فازی suegno ۱۲۴

شکل (۶-۱۵) : مثال پیاده سازی تابع suegno ۱۲۴

شکل (۶-۱۶) : تابع عضویت شبکه انتخاب شده ۱۲۶

شکل (۶-۱۷) : نوار ابزار انفیس جهت آموزش شبکه ۱۲۷

شکل (۶-۱۸) : مراحل تکرار آموزش و مقدار خطا در هر مرحله ۱۲۸

شکل (۶-۱۹) : تست شبکه با داده های آموزش داده شده ۱۲۸

شکل (۶-۲۰) : نتایج تست داده ها (۱) ۱۲۹

شکل (۶-۲۱) : نتایج تست داده ها (۲) ۱۳۰