دانشکده مهندسی

گروه برق

ارائه شده جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان

حفاظت دیجیتالی ترانسفورماتور قدرت سه فاز با استفاده از تکنیک تبدیل موجک

نگارنده

مسلم قاسمی پور

استاد راهنما

دکتر سید قدرت الله سیف السادات

دکتر رضا کیانی نژاد

استاد مشاور

دکتر محمود جورابیان

تیر 1389

بسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

مدیریت تحصیلات تکمیلی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه دوره کارشناسی ارشد/دکتری)

بدین وسیله گواهی می‌گردد پایان نامه آقای/خانم دانشجوی رشته
از دانشکده به شماره دانشجویی تحت عنوان:

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد/ دکتری در تاریخ توسط هیئت داوران
مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه تصویب گردید.

1- اعضا هیئت داوران: مرتبه علمی امضا

الف - استاد راهنما:
ب - استاد مشاور:
ج – داور1:
د – داور 2:
هـ – نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (استاد ناظر):

2- مدیر گروه:

3- معاون پژوهشی دانشکده:

4- مدیر کل تحصیلات تکمیلی:

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر از جانم

به رسم پاسداشت زحمات بی پایانشان که

وجودشان همچون فانوسی در کوره راههای

زندگی ام نورافشانی می کند.

و

برادران و خواهران عزیزم

تنها بهانه هایم برای زیستن

و مجید

که یادش همیشه گرامی است

تقدیر و تشکر

در اینجا بر خود لازم می دانم از زحمات اساتید گرامی **آقای دکتر سیف السادات و دکتر کیانی نژاد** که با صبر و حوصله، فراوان و راهنمایی های ارزنده خویش، این پایان نامه را راهنمایی کردند، کمال سپاسگزاری را داشته باشم.

و با تشکر از استاد گرامی، **دکتر جوادیان** که مرا در انجام این پروژه یاری نمودند.

در پایان برای تمام دوستانم آقایان **مهدی رضایی، علی قادری، سعید محمدزاده، مجتبی آجودانی، مازیار رهبر، ولی الله طلایی زاده، مصطفی احمدزاده، جمشید براقی، اسکان لیموری، کاظم شیرازی، ایمان اورک و مالک رمضانی** که همواره در کنار من بودند، آرزوی موفقیت و کامیابی دارم.

همچنین با یاد و نام همکلاسی از دست رفتمان، سرکار خانم **آتوسا هادی پور** که بر اثر سانحه دلخراش تصادف، به دیار باقی شتافت، روحشان شاد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فرم ارزشیابی ..... أ

اهدانامه ..... RK NOT DEFINED.

تقدیر و تشکر ..... ت

فهرست مطالب ..... ث

فهرست شکل‌ها ..... د

فهرست جدول‌ها ..... ث

فهرست علامت‌ها ..... ث

فهرست اختصارها ..... ج

چکیده پایان نامه ..... ث

فصل اول

مقدمه 1

فصل دوم

حفاظت ترانسفورماتور 7

1.2 مقدمه 7

2.2 اساس حفاظت دیفرانسیلی در ترانسفورماتور های قدرت 10

3.2 حفاظت دیفرانسیلی 10

4.2 جریان هجومی در ترانسفورماتور قدرت 12

1.4.2 جریان هجومی به چه علت به وجود می آید؟ 14

2.4.2 محتوای هارمونیکی جریان هجومی 20

3.4.2 هجوم در ترانسفورماتورهای سه فاز 22

4.4.2 هجوم در حالتی که که خطا برداشته شود 24

5.4.2 ارائه دو روش برای بازدارندگی هجوم 24
6.4.2 بررسی مدار معادل در حالت پدیده هجوم 26
5.2 فوق تحریک 30
6.2 اشباع CT 31
7.2 رله دیفرانسیلی با بازدارنده هارمونیک 31

فصل سوم

مدل کردن ترانسفورماتور 35

1.3 مقدمه 35
2.3 معرفی مدل ماتریسی (BCTRAN MODEL)MATRIX REPRESENTATION 36
3.3 مدلهای ترانسفورماتور 37
1.3.3 مدل ترانسفورماتور قابل اشباع(Saturable Transformer Component (STC Model 39
2.3.3 مدلهای بر مبنای توپولوژی Topology-Based Models 40
3.3.3 مدل های با مبنای دوگانی 41
4.3.3 مدلهای هندسی 43
4.3 محاسبات در مدل های ATP 44
5.3 مدار معادل تونن یک ترانسفورماتور 45
6.3 نمایش ماتریس اندوکتانس ترانسفورماتورهای دو سیم پیچه و سه سیم پیچه 47
1.6.3 ترانسفورماتور دو سیم پیچه 48
2.6.3 ترانسفورماتور های سه سیم پیچه 50
7.3 ترانسفورماتورهای دوسیم پیچه 50
8.3 ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه 51
9.3 مدل ترانسفور ماتور برای مطالعات خطای سیم پیچ 55
1.9.3 اصول اولیه مدل کردن 55
2.9.3 خطای دور به زمین 57
3.9.3 خطای دور به دور 62

فصل چهارم

تبدیل موجک 68

1.4 مقدمه 68
۲.۴ تبدیل فوریه زمان کوتاه(STFT) 72
1.2.4 تفکیک پذیری چندگانه 78

3.4 تاریخچه تئوری موجک 79
4.4 تبدیل موجک پیوسته(CWT) 80
5.4 تبدیل موجک گسسته(DWT) 85
6.4 تبدیل موجک پکت 91
1.6.4 انتخاب سطح تجزیه و درخت بهینه در تبدیل موجک پکت 93

فصل پنجم

حفاظت دیجیتالی ترانسفورماتور 95

1.5 مقدمه 95
2.5 معرفی چند الگوریتم برای حفاظت ترانسفورماتور 97
3.5 الگوریتمی براساس ویژگی سیگنال اغتشاش برای تشخیص جریان هجوم از جریان خطا با موجک 97
4.5 حفاظت ترانسفورماتور با استفاده از سیگنال های جهتی فرکانس بالای توان براساس تبدیل موجک 100
1.4.5 پیش پردازش سیگنال 101
2.4.5 تشخیص اغتشاش 102
3.4.5 جداسازی خطاها 102
5.5 ارایه الگوریتمی برای حفاظت ترانسفورماتور با استفاده از تبدیل موجک پکت 104
6.5 ترکیب تبدیل موجک و شبکه عصبی برای حفاظت دیجیتالی ترانسفورماتورهای قدرت 109
1.6.5 آنالیز تبدیل موجک 111
2.6.5 تبدیل موجک جریان هجومی 112
3.6.5 تبدیل موجک جریان خطای داخلی 114
4.6.5 انتخاب ورودیهای شبکه عصبی 115
5.6.5 ساختار شبکه عصبی 116
6.6.5 ترکیب شبکه عصبی و تبدیل موجک 116
7.5 حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور با استفاده از موجک 118

فصل ششم

نتایج شبیه سازی 120

1.6 الگوریتمی بر اساس تبدیل موجک به منظور جداسازی خطاهای داخلی از جریان های هجومی در ترانسفورماتور قدرت 120
1.1.6 حفاظت دیفرانسیلی 120
2.1.6 روش جداسازی 122
3.1.6 نمونه مورد مطالعه (case study) 124

4.1.6 نتایج 124
2.6 کاربرد تبدیل موجک گسسته برای حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور قدرت با استفاده از انرژی سیگنال .. 133
1.2.6 الگوریتم حفاظتی پیشنهاد شده 134
2.2.6 تشخیص اغتشاش (بلوک 1) 135
3.2.6 جداسازی اغتشاش(بلوک 2) 135
4.2.6 نمونه مورد مطالعه 138
5.2.6 شبیه سازی خطای سیم پیچ ترانسفورماتور 147
3.6 حفاظت با استفاده از الگوریتم هارمونیک بازدارنده 150
4.6 مقایسه الگوریتم IRELE با الگوریتم هارمونیک بازدارنده 162

فصل هفتم

نتیجه‌گیری 163
1.7 مزایا و معایب روش های گفته شده 164
مراجع 165

فهرست شکل‌ها

شکل2-15: اتصالات CTها در حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور 11
شکل2-16: حفاظت دیفرانسیلی درصدی برای ترانسفورماتور تکفاز..... 12
شکل2-1: کلید زنی در ترانسفورماتور تکفاز..... 14
شکل2-2: تغییرات شار و جریان در تراتسفورماتور بر اثر کلیدزنی 15
شکل2-3: شار سینوسی و جریان غیرسینوسی در انرژی دار کردن ترانسفورماتور 18
شکل2-4: نمونه ای از جریان هجومی 20
شکل2-5: جریان هجومی ایده آل برای آنالیز طیفی 20
شکل2-6: محتوای هارمونیکی جریان هجومی ایده آل برای 60,90,120= α درجه..... 21
شکل2-7: محتوای هارمونیکی جریان هجومی..... 22
شکل2-8: نمونه ای از جریان هجومی در ترانسفورماتور سه فاز 23
شکل2-9: تاثیر اشباع CT روی جریان هجومی..... 23
شکل2-10: مشخص سازی قسمت صاف جریان هجومی(معیار اول)..... 25
شکل2-11: تغییرات علامت در پیک های جریان هجومی و خطا(معیار دوم)..... 26
شکل2-12: مدار معادل ساده ترانسفورماتور تکفاز برای تحلیل جریان هجومی..... 27
شکل2-13: منحنی تقریبی اشباع هسته در ترانسفورماتور 27
شکل2-17: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور..... 33
شکل2-18: ساختار مداری رله هارمونیک بازدارنده برای حفاظت دیفرانسیلی..... 34
شکل3-1: مدل ماتریسی ترانسفورماتور با اضافه کردن اثر هسته..... 38
شکل3-2: مدار ستاره ای مدل ترانسفورماتور قابل اشباع 39
شکل3-3: ترانسفورماتور زرهی تکفاز 42
شکل3-4: مدار الکتریکی معادل ترانسفورماتور زرهی..... 42
شکل3-5: شبکه مورد استفاده شده تست ها در CEMIG ، Brazil 46
شکل3-6: مدار معادل برای شبکه ، مقادیر راکتانس بر حسب .p.u (100 MVA در 60 HZ)..... 46
شکل3-7: مدار معادل تونن در توالی های مختلف..... 47

شکل3-8: مدار معادل تونن سه فاز 47
شکل3-9: مدار معادل T ترانسفورماتور 48
شکل3-10: مدار معادل ستاره ای برای ترانسفورماتور سه فاز 52
شکل3-11: مدار بصورت مثلث 53
شکل3-12: ترانسفورماتورهای سه فاز 54
شکل3-13: مدل ماتریسی ترانسفورماتور 56
شکل3-14: مدل ماتریسی ترانسفورماتور با خطای دور به زمین و خطای دور به دور 57
شکل3-15: پایستگی شار در سیم پیچ خطا دیده(خطای دور به زمین) 59
شکل3-16: پایستگی شار در سیم پیچ خطا دیده(خطای دور به دور) 63
شکل3-17: پایستگی شار در سیم پیچ خطا دیده(خطای دور به دور) با در نظر گرفتن ماتریس7×7 65
شکل4-1: a) تابع ساکن x(t) و b) تبدیل فوریه آن 70
شکل4-2: سیگنال غیر ایستا در حوزه زمان 71
شکل4-3: سیگنال غیر ایستا در حوزه فرکانس 71
شکل4-4: نمایش پنجره های زمانی در تبدیل فوریه زمان کوتاه 73
شکل4-5: نمایش پنجره های زمان-فرکانس در تبدیل فوریه زمان کوتاه 74
شکل4-6: تفکیک پذیری سیگنال f(t) با استفاده از تبدیل STFT 75
شکل4-7: STFT متناظر با طول پنجره های مختلف 77
شکل4-8: نمایش پنجره های زمان-فرکانس در تفکیک پذیری چندگانه 78
شکل4-9: تفاوت میان موج و موجک 80
شکل4-10: تغییر مقیاس در موجک ها 82
شکل4-11: پارامتر انتقال در موجک 82
شکل4-12: جابجایی و تغییر مقیاس در موجک 83
شکل4-13: محاسبه CWT در مقیاس S=1 83
شکل4-14: محاسبه CWT در مقیاس S=5 84
شکل4-15: محاسبه CWT در مقیاس S=20 84
شکل4-16: بانک های فیلتر برای تفکیک پذیری زمان-فرکانس در DWT 85
شکل4-17: فیلترهای تجزیه کننده و بازسازی کننده در DWT 86
شکل4-18: نمونه برداری کاهشی با مرتبه M 86

شکل4-19: نمونه برداری افزایشی با مرتبه M 87
شکل4-20: تجزیه سیگنال با استفاده از DWT 88
شکل4-21: جزئیات و تقریبات در DWT 88
شکل4-22: نمایش جزئیات و تقریبات در تجزیه چند سطحی با استفاده از DWT 89
شکل4-23: تجزیه جند سطحی سیگنال با استفاده از DWT 89
شکل4-24: تجزیه جند سطحی سیگنال با استفاده از DWT با مشخص کردن باندهای فرکانسی 90
شکل4-25: تجزیه سیگنال S با استفاده از تبدیل موجک گسسته 91
شکل4-26: تجزیه سیگنال S با استفاده از تبدیل موجک پکت 91
شکل4-27: تجزیه جریان خطای نمونه در سه سطح با استفاده از تبدیل موجک پکت 92
شکل4-28: تجزیه جریان هجومی نمونه در سه سطح با استفاده از تبدیل موجک پکت 93
شکل5-1: ساختمان اصلی رله دیجیتالی به منظور حفاظت ترانسفورماتور 96
شکل5-2: تغییرات شیب در جریان هجومی 97
شکل5-3: کلید زنی در ترانسفورماتور تکفاز 97
شکل5-4: تبدیل موجک سطح پنجم جریان تفاضلی 98
شکل5-5: فلوچارت حفاظتی ترانسفورماتور در الگوریتم اول 99
شکل5-6: عملکرد رله برای خطای فاز به زمین 99
شکل5-7: عملکرد رله برای جریان هجومی 100
شکل5-8: پیش پردازش سیگنال 101
شکل5-9: تجزیه سیگنال با تبدیل موجک گسسته 101
شکل5-10: منطق تشخیص اغتشاش 102
شکل5-11: سیگنال جهتی به منظور جداسازی خطا 103
شکل5-12: فلوجارت مربوط به الگوریتم دوم 104
شکل5-13: تبدیل موجک پکت با 5 سطح تجزیه 106
شکل5-14: سیگنال های ولتاژ و جریان برای خطای داخلی 106
شکل5-15: تجزیه سیگنال در 4 سطح 107
شکل5-16: فلوچارت الگوریتم سوم 109
شکل5-17: سیستم قدرت مورد مطالعه 110
شکل5-18: ساختار حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور 110

شکل5-19: تجزیه چند سطحی سیگنال 111
شکل5-20: جزئیات و تقریب تا 5 سطح تجزیه جریان هجومی 113
شکل5-21: جزئیات و تقریب تا 5 سطح تجزیه جریان خطای دو فاز به زمین 115
شکل5-22: فلوچارت الگوریتم چهارم 117
شکل5-23: حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور 118
شکل5-24: فلوچارت الگوریتم پنجم 119
شکل6-1: حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور 120
شکل6-2: ویژگی جریان هجومی و جریان خطا 122
شکل6-3: فلوچارت الگوریتم اول 123
شکل6-4: شبکه مورد مطالعه 124
شکل6-5: جریان سه فاز اولیه ترانسفورماتور بر اثر خطای سه فاز به زمین 125
شکل6-6: جزئیات سطح سوم ، چهارم و پنجم برای فاز A(جریان خطا) 125
شکل6-7: جزئیات سطح سوم ، چهارم و پنجم برای فاز B(جریان خطا) 126
شکل6-8: جزئیات سطح سوم ، چهارم و پنجم برای فاز C(جریان خطا) 126
شکل6-9: جریان هجومی سه فاز اولیه ترانسفورماتور بر اثر کلید زنی 128
شکل6-10: جزئیات سطح سوم ، چهارم و پنجم برای فاز A(جریان هجومی) 128
شکل6-11: جزئیات سطح سوم ، چهارم و پنجم برای فاز B(جریان هجومی) 129
شکل6-12: جزئیات سطح سوم ، چهارم و پنجم برای فاز C(جریان هجومی) 129
شکل6-13: فلوچارت الگوریتم دوم 134
شکل6-14: تجزیه چند سطحی در موجک با فیلتر بانک 136
شکل6-15: پنجره های محاسباتی IRELE در جریان خطا 137
شکل6-16: پنجره های محاسباتی IRELE در جریان هجومی 137
شکل6-17: عملکرد الگوریتم با محاسبه IRELE 138
شکل6-18: خطا روی 50 درصد سیم پیچ فاز a در سمت اولیه 148
شکل6-19: خطا روی 75 درصد سیم پیچ فاز b در سمت اولیه 148
شکل6-20: خطا روی 25 درصد سیم پیچ فاز c در سمت ثانویه 149
شکل6-21: نمونه جریان هجومی سه فاز برای مطالعه الگوریتم هارمونیک بازدارنده 150
شکل6-22: طیف هارمونیکی فاز A(جریان هجومی) 151

شکل6-23: طیف هارمونیکی فاز B(جریان هجومی)..... 151
شکل6-24: طیف هارمونیکی فاز C(جریان هجومی)..... 151

فهرست جدول‌ها

جدول2-1: دامنه مولفه های هارمونیکی در جریان هجومی 32
جدول3-1: معادلات مربوط به خطای دور به دور 63
جدول3-2: معادلات مربوط به خطای دور به دور با در نظر گرفتن ماتریس 7×7 66
جدول5-1: پنجره ها و باندهای فرکانسی آنها 107
جدول6-1: t_p برای جریان خطا در شرایط مختلف 127
جدول6-2: t_p برای جریان هجومی در زمان کلیدزنی مختلف 130
جدول6-3: t_p برای جریان هجومی در شار باقیمانده مختلف 131
جدول6-4: عملکرد رله با تغییر مقاومت خطا 132
جدول6-5: عملکرد رله با تغییر زمان کلیدزنی 132
جدول6-6: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای صفر 139
جدول6-7: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای 10 اهم 139
جدول6-8: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای 25 اهم 140
جدول6-9: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای 50 اهم 141
جدول6-10: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای 80 اهم 142
جدول6-11: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای 100 اهم 142
جدول6-12: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای 150 اهم 143
جدول6-13: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با مقاومت خطای 200 اهم 143
جدول6-14: مقدار **IRELE** برای خطای داخلی با زمان خطای متفاوت 143
جدول6-15: مقدار **IRELE** برای جریان هجومی با شار باقیمانده مختلف 144
جدول6-16: مقدار **IRELE** برای جریان هجومی با لحظه کلید زنی مختلف 145
جدول6-17: مقدار **IRELE** برای جریان خطای سیم پیچ دور به زمین 149
جدول6-18: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت صفر 152
جدول6-19: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت 10 اهم 153

جدول6-20: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت 25 اهم 154
جدول6-21: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت 50 اهم 155
جدول6-22: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت 80 اهم 155
جدول6-23: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت 100 اهم 156
جدول6-24: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت 150 اهم 157
جدول6-25: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطا با مقاومت 200 اهم 157
جدول6-26: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای جریان هجومی با شار باقیمانده مختلف 157
جدول6-27: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای لحظه کلید زنی مختلف 159
جدول6-28: الگوریتم هارمونیک بازدارنده برای خطای سیم پیچ 161
جدول6-29: مقایسه الگوریتم IRELE با الگوریتم هارمونیک بازدارنده 162

فهرست علامت‌ها

ϕ	شار
$\boldsymbol{w}$	فرکانس زاویه ای
V	ولتاژ
$\boldsymbol{f}_R$	شار باقیمانده در هسته ترانسفورماتور
$\boldsymbol{f}_m$	مقدار پیک شار
λ	شار پیوندی
R_n	مقاومت خنثی
$\boldsymbol{I}_0$	شار پیوندی اولیه
f	فرکانس شبکه
$\mathbf{D}$	سیم پیچ مثلث در ترانسفورماتور
Y	سیم پیچ ستاره در ترانسفورماتور
$[L]$	ماتریس خودالقایی معادل ترانسفورماتور
$[R]$	ماتریس مقاومت معادل ترانسفورماتور
P_{loss}	تلفات بی باری ترانسفورماتور
S_{rating}	توان ظاهری نامی ترانسفورماتور
Z_{zero}	امپدانس توالی صفر ترانسفورماتور
Z_{pos}	امپدانس توالی مثبت ترانسفورماتور
$\boldsymbol{s}$	فاکتور نشتی ترانسفورماتور
$\boldsymbol{y}(t)$	تابع موجک مادر
s	پارامتر مقیاس در تبدیل موجک
$E(s)$	انتروپی سیگنال
h_n	تابع تبدیل فیلتر پایین گذر
g_n	تابع تبدیل فیلتر بالاگذر
a_i	تقریب در سطح i
d_i	جزئیات در سطح i

i_p	جریان اولیه ترانسفورماتور
i_s	جریان ثانویه ترانسفورماتور
V_s	ولتاژ اولیه ترانسفورماتور
V_p	ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور
WT	تبدیل موجک
B	سوسپتانس

فهرست اختصارها

Electro-Magnetic Transient Program	EMTP
Continous Wavelet Transform	CWT
Short Term Fourier Transform	STFT
Discrete Wavelet Transform	DWT
Wavelet Packet Transform	WPT
Saturable Transformer Component	STC
Multi Resolution Analysis	MRA
Arifical Neural Network	ANN

چکیده پایان نامه

نام خانوادگی: قاسمی پور **نام: مسلم**

عنوان پایان نامه: حفاظت دیجیتالی ترانسفورماتور قدرت با تبدیل موجک

استاد راهنما: دکتر سید قدرت الله سیف السادات - دکتر رضا کیانی نژاد

استاد مشاور: دکتر محمود جورابیان

درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته: مهندسی**

محل تحصیل(دانشگاه): شهید چمران اهواز

دانشکده: مهندسی

تاریخ فارغ التحصیلی: **تعداد صفحه:**

کلیدواژه ها: حفاظت دیفرانسیلی، جریان هجومی، جریان خطای داخلی، تبدیل موجک

چکیده:

در این پایان نامه ، دو الگوریتم برای حفاظت دیجیتالی ترانسفورماتور قدرت ارائه شده است.

اولین الگوریتم ، روش جدیدی برای حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور براساس تشخیص الگوی جریان تفاضلی ارائه می دهد. منطق تصمیم گیری براساس تبدیل موجک می باشد که ویژگیهای جریان تفاضلی به علت جریان خطا و جریان هجومی را استخراج می کند. در این منطق ، معیار تشخیص براساس تفاوت زمانی دامنه ضرایب موجک در یک باند فرکانسی خاص است. الگوریتم فوق با استفاده از نرم افزار EMTP مدل شده است. نتایج مطالعات نشان می دهد که طرح حفاظت دیفرانسیلی با موجک، خطای داخلی را از جریان هجومی در کمتر از 5 میلی ثانیه تشخیص می دهد.

الگوریتم دوم ، با استفاده از محاسبات طیف انرژی طبق یک فرمول بندی، الگوریتم حفاظتی را مشخص می کند. تبدیل موجک گسسته برای استخراج ویژگیهای گذرای جریان های دیفرانسیلی سه فاز برای تشخیص شرایط جریان خطا ارائه شده است. عملکرد الگوریتم مذکور، با شبیه سازی نمونه های تست خطا و غیر خطا روی یک ترانسفورماتور قدرت با استفاده از نرم افزار ATP/EMTP ارزیابی شده است. به منطور تست عملکرد این فرمول، روش پیشنهادی از نرم افزار MATLAB استفاده نموده است.مقایسه نتایج شبیه سازی با روش حفاظت دیفرانسیلی درصدی با فرمول هارمونیک بازدارنده نشان می دهد که تکنیک پیشنهادی عملکرد جداسازی را بهبود می دهد. نمونه های تست شبیه سازی جریان هجومی و خطای خارجی به منظور تست عملکرد روش پیشنهادی در شرایط مختلف استفاده شده است.