بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد برق

عنوان :

تشخیص جریان هجومی از جریان خطا در ترانسفورماتورهای قدرت با استفاده از اندوکتانس لحظه ای معادل

استاد راهنما :

دکتر عباس کتابی

بوسیله :

هادی شفیعی

بهمن ۸۸

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو: هادی شفیعی — شماره دانشجویی: ۸۵۳۳۱۱۰۰۰۲

رشته: مهندسی برق –قدرت — دانشکده: مهندسی

عنوان پایان نامه: تشخیص جریان هجومی از جریان خطا در ترانسفورماتور های قدرت با استفاده از اندوکتانس لحظه ای معادل

تعداد واحد پایان نامه: ۹واحد — **تاریخ دفاع: ۸۸/۱۱/۱۸**

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۸۸/۱۱/۱۸ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۱۸,۴۶ و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر عباس کتابی	استادیار	
۲. متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر حمیدرضا محمدی	استادیار	
۳. متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر ابوالفضل حلوایی	استادیار	
٤. متخصص و صاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر شهاب الدین اکبری	استادیار	
۵. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر علی اکبر عبدالله زاده	استادیار	

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

ن: کاشان-بلوار قطب راوندی
پستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
۵۵۵۹۹۳۰-دورنگار ۵۵۵۹۹۳۰
http: www.kashanu.ac

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا برخود لازم می دانم از تمامی اساتید بزرگوار بویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نمودند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر عباس کتابی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده اند نهایت تشکر و سپاسگذاری را دارم، همچنین از آقایان دکتر حمید رضا محمدی، دکترابوالفظل حلوایی و دکتر شهاب الدین اکبری که به عنوان اساتید داور این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده اند و در جلسه دفاع شرکت نموده اند تشکر می نمایم.

در پایان از جناب آقای دکتر علی اکبر عبدالله زاده که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده اند سپاسگذاری می نمایم.

چکیده

راه حل مشکل حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور ،تشخیص درست جریان هجومی از جریان خطای داخلی می باشد، روشی که در اینجا ارایه خواهد شد براساس اندوکتانس لحظه ای معادل خواهد بود که میتواند بطور درست جریان هجومی را از جریان اتصال کوتاه داخلی با استفاده از داده های ولتاژ و جریان مورد نیاز تشخیص دهد.

در مورد ترانسفورماتور با اتصال $\mathbf{Y-\Delta}$ جریان فاز سمت $\mathbf{\Delta}$ به دو مولفه گردشی و غیر گردشی تجزیه می شود. مولفه غیر گردشی از جریان خط بدست می آید اما مولفه گردشی از این روش بدست نمی آید. از طرفی اندوکتانس لحظه ای معادل بشدت تحت تاثیر جریان گردشی سمت $\mathbf{\Delta}$ قرار دارد و دقت این روش بخاطر وجود جریان گردشی، تضمین نمی شود.

در حال حاضر روشی برای تخمین دقیق جریان گردشی وجود ندارد بنابراین محاسبه دقیق اندوکتانس لحظه ای تحت تاثیر قرار میگیرد. در این پایان نامه یک روش برای اندازه گیری دقیق جریان گردشی بر اساس جریان فاز و جریان دیفرانسیلی به همراه شبیه سازی کلی با استفاده از نرم افزار MATLAB ارایه شده است.با استفاده از این روش نتنها اندوکتانس لحظه ای معادل می تواند بدون تاثیر جریان گردشی محاسبه شود بلکه نقاط کور در حفاظت دیفرانسیلی حذف می شود و حفاظت دیفرانسیلی می تواند با دقت و قابلیت اعتماد بالا کار کند.

نتایج بدست آمده از روش فوق نشان میدهد که وقتی جریان هجومی در ترانسفورماتور جاری می شود اندوکتانس لحظه ای معادل ،دستخوش تغیرات معنی داری می‌شود به این صورت که بطور متناوب از زیاد به کم و سپس از کم به زیاد تغییر می کند. این به دلیل آن است که در این حالت ،ترانسفورماتور بطور متناوب در ناحیه خطی و اشباع منحنی مغناطیسی هسته کار می کند و دائماً در

حال تغییر است. اما وقتی خطای داخلی اتفاق بیفتد اندوکتانس لحظه ای خیلی کوچک می شود. با این تغییرات ما می توانیم بطور موثر جریان هجومی را از جریان خطا تشخیص بدهیم. در این روش نیازی نیست جریان سیم پیچی دلتا را اندازه گیری کنیم بنابراین ضروری نیست ترکیب CT ها تغییر کند بعلاوه این تکنیک کاربرد زیادی برای کاربردهای عملی دارد و می تواند در ترانس های HV و کمتر از 220kv بکار برود.

کلمات کلیدی : حفاظت دیفرانسیلی ترانسفورماتور - جریان هجومی - اندوکتانس لحظه ای معادل - جریان گردشی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ روند ارائه مطالب ۶

فصل دوم: خطاها و حفاظتهای ترانسفورماتور

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ خصوصیات خطاهای ترانسفورماتور ۸

۲-۲-۱- خطای زمین روی سیم پیچی و نوترال زمین شده توسط امپدانس ۹

۲-۲-۲- خطای زمین روی سیم پیچی که نقطه نوترال آن مستقیماً زمین شده ۱۰

۲-۲-۳- خطای فاز به فاز ۱۰

۲-۲-۴- خطای بین دورهای سیم پیچی ترانسفورماتور ۱۱

۲-۲-۵- خطای هسته ترانسفورماتور ۱۱

۲-۲-۶- خطای بدنه ترانسفورماتور ۱۲

۲-۳- عوامل خارجی ایجاد خطا در ترانسفورماتور ۱۳

۲-۴- جریان های هجومی ۱۵

۲-۵ انواع حفاظت های ترانسفورماتور ۱۶

۲-۵-۱ حفاظت حرارتی ترانسفورماتور ۱۶

۲-۵-۲ حفاظت اضافه جریان ترانسفورماتور ۱۷

۲-۵-۳ حفاظت در برابر شار زیاد ۱۸

۲-۵-۴ حفاظت بدنه ترانسفورماتور ۱۹

۲-۵-۵ حفاظت روغن ترانسفورماتور ۱۹

۲-۶ حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور ۲۱

۲-۶-۱ اصول حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور ۲۱

۲-۶-۲ عوامل تأثیرگذار در حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور ۲۶

فصل سوم: جریان هجومی در ترانسفورماتور

۳-۱ مقدمه ۳۰

۳-۲ جریان هجومی در ترانسفورماتور ۳۰

۳-۳ بررسی روابط حاکم بر جریان هجومی ۳۵

۳-۴ دامنه ومدت عبور جریان هجومی ۴۱

۳-۵ انواع جریان هجومی ۴۳

۳-۶ فلوی پسماند و اثر آن در جریان هجومی ۴۶

۳-۷ روشهای کاهش جریان هجومی ۴۹

۳-۸ هارمونیکها در جریان هجومی ۵۱

فصل چهارم: روشهای تشخیص جریان هجومی از جریان خطا

۴-۱ مقدمه ۵۴

۴-۲ روش تاخیر زمانی ۵۴

۴-۳ روش بازدارنده هارمونیکی ۵۵

۴-۴ روشی بر پایه تغییرات مولفه های DC و هارمونیک دوم جریان تفاضلی ۵۹

۴-۵ روش استفاده از شکل موج جریان تفاضلی ۶۱

۴-۶ روش محدودیت شار ۶۴

۴-۷ روش کاهش ولتاژها ۶۵

۴-۸ روش تشخیص با استفاده از پارامتر های ترانسفورماتور ۶۷

فصل پنجم: تشخیص جریان هجومی از جریان خطا با استفاده از اندوکتانس لحظه ای معادل

۵-۱ مقدمه ۷۰

۵-۲ محاسبات اندوکتانس لحظه ای معادل در ترانسفورماتور تک فاز . ۷۳

۵-۳ محاسبات اندوکتانس لحظه ای معادل در ترانسفورماتور سه فاز .. ۷۵

۵-۴ بررسی حالات کاری ترانسفورماتور ۷۸

۵-۵ ترانسفورماتور تکفاز ۷۸

۵-۵-۱ کار نرمال ۷۹

۵-۵-۲ برقدار کردن ترانسفورماتور و تولید جریان هجومی ۸۰

۵-۵-۳ خطای داخلی ۸۱

۵-۵-۴ برقدار کردن ترانسفورماتور در شرایط خطای داخلی ۸۴

۵-۵-۵ اتصال باری بزرگ به ترانسفورماتورحین کار ۸۵

۵-۵-۶ خطای خارج ترانسفورماتور ۸۶

۵-۶ ترانسفورماتور سه فاز ۸۷

۵-۶-۱ کار نرمال ۸۸

۵-۶-۲ برقدار کردن ترانسفورماتور و تولید جریان هجومی ۸۹

۵-۶-۳ خطای داخلی ۹۱

۵-۶-۴ برقدار کردن ترانسفورماتور در شرایط خطای داخلی ۹۵

فصل ششم: نتایج و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری ۱۰۰

منابع و ماخذ ۱۰۳

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ جریان خطای زمین در طرف ستاره زمین شده با امپدانس ۹

شکل ۲-۲ جریان خطا در سیم پیچ ستاره که مستقیماً به زمین متصل شد ۱۰

شکل۲-۳ محل قرار گرفتن رله بوخهلس ۲۰

شکل۲-۴ شمای حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور ۲۱

شکل۲-۵ حفاظت دیفرانسیل بایاس شده برای ترانسفورماتور Δ /Y ۲۳

شکل۲-۶ مشخصه بایاس رله دیفرانسیل ۲۴

شکل۲- ۷ روش به کاربردن CT های میانی در حفاظت ۲۵

دیفرانسیل ترانسفورماتور

شکل۲-۸ جریان تحریک در حالت فوق تحریک ترانسفورماتور ۲۸

شکل ۳-۱ جریان مغناطیس کننده ترانسفورماتور ۳۱

شکل ۳-۲ حلقه هیستریس و منحنی مغناطیسی ترانسفورماتور ۳۲

شکل ۳-۳ منحنی مغناطیسی ترانسفورماتور در ولتاژهای مختلف ۳۳

شکل ۳-۴ وضعیت مغناطیسی هسته ترانسفورماتور در زمان وصل به منبع ۳۳

شکل ۳- ۵ فلوی هسته در حالت گذرا ۳۵

شکل ۳-۶ جریان و فلوی مغناطیسی در حالت گذرا ۳۶

شکل ۳-۷ مدل منحنی مغناطیسی ترانسفورماتور ۳۷

شکل ۳-۸ توصیف گرافیکی جریان هجومی ۴۰

شکل ۳-۹ شکل موج جریان هجومی در ترانسفورماتور سه فاز ۴۲

شکل ۳- ۱۰ جریان هجومی بازیابی ۴۴

شکل ۳-۱۱ جریان هجومی تبعی ۴۴

شکل ۳-۱۲ مدار معادل ترانسفورماتور با بار ۴۶

شکل ۳-۱۳ مشخصه مغناطیسی فولاد الکتریک ۵۰

شکل ۳-۱۴ طیف هارمونیکی جریان هجومی شکل(۳-۱)در$\alpha=45^{\circ}$ ۵۲

شکل ۴-۱ چگونگی تغییرات مولفه هارمونیک دوم و مولفه ۶۱

DC نرمالیزه شده جریان تفاضلی

شکل ۴-۲ جریان هجومی (نمونه و در حالت اشباع) ۶۳

شکل ۴-۳ دیاگرام بلوکی روش استفاده از شکل موج جریان تفاضلی . ۶۳

شکل ۴-۴ منحنی مشخصه ترانسفورماتور و نواحی مختلف کاری ۶۵

شکل۴-۵ مدار معادل ترانسفورماتور تک فاز ۶۵

شکل ۵-۱ مدار معادل ترانسفورماتور تکفاز ۷۳

شکل ۵-۲ مدار معادل ترانسفورماتور سه فاز با اتصال Δ-Y ۷۶

شکل ۵-۳ اندوکتانس لحظه ای معادل در وضعیت کاری نرمال ۷۹

شکل ۵-۴ اندوکتانس لحظه ای معادل در وضعیت کاری جریان هجومی ۸۱

شکل۵-۵ اندوکتانس لحظه ای معادل هنگام خطای داخلی ۸۲

(اتصال فاز به فاز)

شکل۵-۶ اندوکتانس لحظه ای معادل هنگام خطای داخلی ۸۳

(اتصال حلقه به حلقه)

شکل۵-۷ تاخیر در تشخیص خطا با کاهش درصد اتصال کوتاه ۸۴

شکل ۵-۸ برقدار کردن ترانسفورماتور در شرایط وجود خطای داخلی ۸۵

شکل ۵-۹ اندوکتانس لحظه ای معادل حین وصل بار بزرگ ۸۶

به ترانسفورماتور

شکل۵-۱۰- اندوکتانس لحظه ای معادل هنگام خطای خارج ترانسفورماتور ۸۷

شکل ۵-۱۱-اندوکتانس لحظه ای معادل در وضعیت کاری نرمال ۸۹

شکل ۵-۱۲- اندوکتانس لحظه ای معادل در وضعیت کاری جریان هجومی ۹۱

شکل ۵-۱۳- اندوکتانس لحظه ای معادل هنگام خطای داخلی ۹۲

شکل۵-۱۴- اندوکتانس لحظه ای معادل هنگام خطای داخلی ۹۴

شکل۵-۱۵- تاخیر در تشخیص خطا با کاهش درصد اتصال کوتاه ۹۴

شکل ۵-۱۶- برقدار کردن ترانسفورماتور در شرایط خطای داخلی ۹۶

شکل ۵-۱۷- تاثیر زاویه ولتاژ در لحظه برقدار کردن ۹۸

ترانسفورماتور روی جریان هجومی

فهرست علایم و اختصارات(Abbreviations)

AR	**Auto Regressive model**
MA	**Moving Average model**
KVA	**Kilo Volt Ampere**
ONAN	**Oil Natural Air Natural**
OFAF	**Oil Force Air Force**
CT	**Current Transformer**
Δ	**Angle**
Y	**Star**
V	**Voltage**
F	**Frequency**
HZ	**Hertz**
DC	**Direct Current**
L	**Inductance**

فصل اول

مقدمه

۱-۱ : مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت بزرگ دسته ای از اجزاء حیاتی و خیلی گران در سیستم های قدرت الکتریکی هستند. حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت نقش مهمی در جلوگیری از آسیب و خرابی این عنصر مهم شبکه و حفظ پیوستگی سیستم قدرت دارد. اگر یک ترانسفورماتور قدرت تحت شرایط خطا یا عملکرد غیر عادی قرار گیرد لازم است هر چه سریعتر از سیستم خارج شود تا این که میزان آسیب آن حداقل گردد. هزینه های تعمیر ترانسفورماتورهای قدرت بسیار بالا می باشد. بعلاوه از نظر طول عمر ترانسفورماتور، قطع کلید در حین شرایط هجومی وضعیت بسیار نامطلوبی است . قطع جریانی که دارای طبیعت القایی خالص است تولید اضافه ولتاژهای خطرناکی می کند که ممکن است به عایقبندی ترانسفورماتور آسیب رسانده و علت غیر مستقیم یک خطای داخلی شود. بعلاوه قطع برنامه ریزی نشده یک ترانسفورماتور قدرت برای شرکت های برق خسارات مالی فراوانی دارد.

حفاظت اصلی ترانسفورماتور در مقابل اتصال کوتاه های رخ داده روی سیم پیچی های آن توسط طرح حفاظتی دیفرانسیل ایجاد می شود. حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور یک سیستم حفاظت واحد است که با مقایسه کمیت های دو طرف، خطای داخل ناحیه ترانسفورماتور را آشکار می کند. به هنگام وقوع خطاهای داخلی حفاظت دیفرانسیل باید به سرعت عمل کند در حالی که در شرایط غیر خطا همچون جاری شدن جریان هجومی نباید کار کند. این نیازهای متفاوت در حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت یعنی قابلیت

اطمینان بالا و عملکرد سریع موجب شده که کار حفاظت از ترانسفورماتورهای قدرت بزرگ یکی از مشکل ترین مسایل در حوزه رله گذاری سیستم قدرت باشد.

برای سالیان متمادی پیشنهاد روشهایی برای افزایش سرعت عملکرد رله های دیفرانسیل در شرایط خطای داخلی و به طور همزمان امنیت آن درمقابل جریان هجومی از حوزه های مهم تحقیقاتی در موضوع حفاظت سیستم های قدرت بوده است. بخصوص با پیشرفت تکنولوژی دیجیتال و به بازار آمدن رله های دیجیتال و همچنین تغییرات اساسی رخ داده در ترانسفورماتورها و سیستم های قدرت مدرن مسایل جدیدی در این حوزه پدیدار شده است . وجود رله های دیجیتال این امکان را می دهد که از الگوریتم های پیچیده تر و در عین حال کارآمدتری استفاده شود. در این رله ها از جریان های تفاضلی ترانسفورماتور یا هر سیگنال مورد نیاز دیگر نمونه برداری شده و مطابق با الگوریتم های حفاظتی پردازش می شوند. از طرف دیگر در سیستم های قدرت تکامل یافته امروزی با سطوح جریان خطای بزرگ که از ترانسفورماتورهای مدرن با مواد مغناطیسی تکامل یافته استفاده می کنند، ممکن است حالت هایی پیش آید که در آنها تمایز بین جریان هجومی مغناطیس کنندگی و جریان خطای داخلی بوسیله روش های مرسوم نسبت به گذشته مشکل تر باشد. در واقع تغییر برخی از پارامترهای ترانسفورماتور یا سیستم قدرت ممکن است باعث شود الگوریتم جداسازی جریان هجومی از جریان خطا کارآیی خود را از دست داده و رله دیفرانسیل به اشتباه عمل کند.

انواع الگوریتم های بکار رفته در حفاظت دیفرانسیل از نظر نوع سیگنال ورودی به رله به سه دسته تقسیم می شوند. دسته اول فقط از اطلاعات جریان های تفاضلی استفاده می کنند، دسته دوم اطلاعات مربوط به تغییر ولتاژ ترمینال های ترانسفورماتور قدرت را به

کار می برند[۱]، برای افزایش قابلیت اطمینان حفاظت دیفرانسیل، دسته سوم هم از سیگنال جریان و هم از سیگنال ولتاژ استفاده می کنند. از جمله در [۲] روش توان تفاضلی برای شناسایی حالت خطا پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی در [۳] نیز مبتنی بر تبدیل مودال شکل موج های ولتاژ و جریان است. در روش حفاظتی پیشنهادی در [۴] نیز هرگاه ولتاژ هر کدام از فازهای ترانسفورماتور از ۷۰ درصد مقدار نامی آنها کمتر شود، رله سریعاً فرمان تریپ را صادر کرده و دیگر سراغ الگوریتم های متوقف کردن هارمونیکی نمی رود. عیب روش هایی که از سیگنال ولتاژ استفاده می کنند نیاز به ترانسفورماتورهای ولتاژ و افزایش هزینه محاسباتی الگوریتم است.

اغلب الگوریتم های آشکار سازی خطا در حفاظت دیفرانسیل دیجیتال ترانسفورماتور روی پردازش جریان های تفاضلی بنا شده اند. این روش ها در دو دسته اصلی قرار می گیرند. دسته اول شامل روش هایی است که مستقیماً از روی رفتار شکل موج زمانی جریان های تفاضلی، خطا را تشخیص می دهند. در متداولترین روش از این نوع عملکرد رله به مدت زمانی که شکل موج جریان تفاضلی نزدیک صفر است بستگی دارد [۵].

روش های دسته دوم بر پردازش محتوای هارمونیکی جریان تفاضلی بنا می شوند. این الگوریتم ها از دو بخش اصلی استخراج هارمونیک و تشخیص خطا تشکیل می شوند. برای استخراج مولفه های هارمونیکی جریان تفاضل الگوریتم هایی با استفاده از فیلترهای با پاسخ ضربه محدود، با استفاده از تحلیل فوریه، روش تبدیل مستطیلی، بر اساس تکنیک برازش منحنی با استفاده از روش حداقل مربعات و بر اساس تابع والش ارایه شده اند. پاسخ فرکانسی این الگوریتم های استخراج هارمونیک در [۶] بدست آمده و دقت عملکرد