بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق–گرایش قدرت

بهبود حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتورهای قدرت با استفاده از یک روش جدید

نگارش:

مسعود احمدی پور

استاد راهنما

خانم دکتر زهرا مروج

اسفند ۸۹

Semnan University

Faculty of Electrical & Computer Engineering

M.Sc. Thesis in Electrical Engineering

Improving Power Differential Transformer Using a New Method

By:

Masoud Ahmadipour

Supervisor

Dr. Zahra Moravej

February 2011

چکیده

ترانسقورماتور قدرت یکی از مهمترین اجزای سیستم قدرت می باشد. بنابراین حفاظت ترانسفورماتور یکی از مسائل مهم و اساسی است. خطاها در ترانسفورماتورها نسبتا نادر هستند ولی باعث آسیبهای جدی می شوند. زمان رفع خطا تاثیر زیادی روی آسیب های ناشی از خطا دارد، خرابی یک ترانسفورماتور ممکن است بر تعادل در شبکه قدرت اثر گذاشته و باعث از دست رفتن پایداری شبکه گردد. بنابراین کیفیت طراحی سیستم حفاظتی آن یک مسئله اساسی در سیستم قدرت است. حفاظت از آسیب دیدن تجهیزات برای انواع مختلف خطا یک امر ضروری است. طراح باید مواردی را که عدم عملکرد رله برای حفاظت تجهیزات نیاز است مورد دقت قرار دهد. بعضی از این موارد جریان هجومی مغناطیس کننده، فوق تحریک، به اشباع رفتن ترانسفورماتور جریان و نسبت تبدیل متغیر ترانسفورماتور به واسطه تپ چنجر ترانسفورماتور است. حفاظت ترانسفورماتور قدرت معمولا توسط حفاظت دیفرانسیل انجام می شود. رله دیفرانسیل باید به گونه ای طراحی شود که به هنگام رخداد پدیده های گذرا، موجب عملکرد رله نشود.

در این پایان نامه، یک روش کلاس بندی جدید بر مبنای تبدیل موجک اصلاح شده (اسلنت لت) ترکیبی با شبکه عصبی مصنوعی برای حفاظت ترانسفورماتور قدرت، برای تشخیص بین شرایط خطاهای داخلی و شرایط غیر خطا مثل (نرمال، جریان هجومی مغناطیس کننده، فوق تحریک و اشباع رفتن ترانسفورماتور جریان ناشی از خطای خارجی) مطرح می شود. تبدیل اسلنت لت به عنوان تکامل هم زمان در زمینه آنالیز چند حله، و به عنوان نسخه بهبود یافته تبدیل موجک گسسته در این مسئله در نظر گرفته می شود. برای ارزیابی الگوریتم مطرح شده در این کار، شرایط عملکرد و ترانسفورماتور توسط نرم افزار EMTDC/PSCAD شبیه سازی می شوند. برای هر کدام از شکل موج های کاندید، ویژگی های مناسب توسط آنالیزورگر اسلنت لت استخراج می شود و به عنوان ورودی های شبکه عصبی جهت کلاس بندی سیگنال ها استفاده می شود. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این روش، سریعتر، دقیقتر و با امنیت تر است وقتی که مقایسه می شود با کارهای انجام شده در این زمینه، که اخیرا انتشار یافته است. دقت کلاس بندی در روش مطرح شده در فاز تست حدودا ۱۰۰ درصد است.

کلید واژگان: ترانسفورماتور قدرت، حفاظت دیفرانسیل، شبکه عصبی مصنوعی، تبدیل موجک گسسته اصلاح شده(تبدیل اسلنت لت)

Abstract:

The power transformer is one of the most important links in a power system, and thus transformer protection is of critical important. Fault in transformers is relatively infrequent but they cause damage expensive to repair. The fault clearance time greatly affects the extent and cost of removal of the damage. Outage of a transformer may upset the power balance in the power system and cause loss of system stability. Therefore, the quality of the design of its protective system is the key to the whole of the power system. Prevention of damage to equipment for different types of fault is a challenging problem. The designer has to consider various effects, which might cause mal-operation of the protective relay equipment. Some of these effects are magnetizing inrush current, CT saturation and variable transformation ratio due to transformer tap-changing. The protection of power transformers is usually provided by means of differential protection scheme. The transformer differential relay should be designed such that it does not mal-operate during transient a phenomenon which fools differential relay operation.

This paper proposed a new classification method based on Slantlet Transform (ST) combined with an automated classification mechanism based on Artificial Neural Network (ANN) for power transformer protection to discriminate between internal faults and no fault conditions (normal, inrush condition, over excitation and external faults with current transformer saturation) in three phase power transformers. ST has been regarded as a contemporary development in the field of multi-resolution analysis, which is proposed as an improvement over the discrete wavelet transform (DWT). For the evaluation of the developed algorithm, transformer modeling and simulation of fault and no fault condition are carried out in power system computer–aided designing PSCAD/EMTDC. For each candidate internal fault or no fault conditions current waveform suitable features are extracted by employing ST. Then, a successfully trained ANN based classifier, developed utilizing inputs comprising the features extracted from a training set of waveforms, is implemented for a testing set of sample waveforms. The simulation results obtained show that the method is faster, more reliable and accurate when compared with some of the most recently published research works in the area. The proposed scheme could achieve nearly 100% classification accuracy in the testing phase.

Index terms- power transformer, differential protection, Slantlet transform, Artificial Neural network.

فهرست

چکیده

۱ مقدمه ۱

۲–حفاظت ترانسفورماتور ۵

۲–۱– تعریف خطاهای سراسری و خطاهای داخلی ۶

۲–۲– ماهیت یک ترانسفورماتور ۷

۲–۲–۱– اساس کلی ترانسفورماتور ۷

۲–۲–۲– ترانسفورماتور واقعی ۷

۲–۳– جریان های هجومی مغناطیس کننده در یک ترانسفورماتور قدرت ۹

۲–۳–۱– مطالعه زیر ولتاژ قرار دادن ترانسفورماتور و فوران و جریان گذاری آن در لحظات اول بعد از اتصال به شبکه ۹

۲–۳–۲– اتصال ترانسفورماتور در حالت بی‌باری به شبکه ۹

۲–۴– حفاظت دیفرانسیل ترانسفورماتور ۱۵

۲–۴–۱– حفاظت دیفرانسیلی ۱۵

۲–۴–۲– نشانه‌گذاری نقطه‌ای ۱۵

۲–۴–۳– حفاظت دیفرانسیلی ساده ۱۸

۲–۴–۳–۱–حفاظت دیفرانسیلی ساده: در هنگام تغذیه بار ۱۸

۲–۴–۳–۲– رله دیفرانسیلی ساده (در هنگام وقوع خطای خارجی) ۱۹

۲–۴–۳–۳– رله دیفرانسیلی ساده (در هنگام وقوع خطای داخلی) ۱۹

۲–۴–۳–۴–حفاظت دیفرانسیلی ساده از دو سر تغذیه: در هنگام وقوع خطای داخلی ۲۰

۲-۴-۴- ناحیه حفاظتی رله دیفرانسیلی ۲۱
۲-۴-۵-شماتیک یک رله دیفرانسیل در حالت واقعی ۲۱
۲-۴-۵-۱- پایداری خطای مستقیم و نسبت پایداری ۲۲
۲-۴-۵-۲- مدار معادل ترانسفورماتور جریان ۲۳
۲-۴-۶- شماتیک دیفرانسیلی با در نظر گرفتن مدار معادل ترانسفورماتورهای جریان ۲۶
۲-۴-۷- رله دیفرانسیلی درصدی ۲۶
۲-۴-۷-۱- بلوک دیاگرام رله دیفرانسیل درصدی ۲۹
۲-۵- محدودیت های رله های دیفرانسیل ۳۰
۳-آشنایی بارله های دیجیتال در حفاظت سیستم قدرت و روش های پردازش سیگنال ۳۲
۳-۱- مزایای رله های دیجیتالی ۳۲
۳-۲- بلوک دیاگرام رله دیجیتالی ۳۴
۳-۳-قضیه نمونه برداری ۳۵
۳-۴- همبستگی با یک موج مبنا ۳۸
۳-۴-۱- تحلیل فوریه سیگنال های آنالوگ ۴۰
۳-۵- روش حداقل مربعات خطا ۴۹
۳-۶-فیلترینگ دیجیتال ۵۲
۳-۶-۱-فیلتر پایین گذر ساده ۵۳
۳-۶-۲-فیلتر بالا گذر ساده ۵۳
۳-۶-۳-فیلتر های پاسخ ضربه محدود (FIR) ۵۴
۳-۶-۴-فیلتر پاسخ ضربه نامحدود ۵۵
۳-۶-۵- مقایسه فیلتر های FIR و IIR ۵۷

۳-۷- حفاظت دیفرانسیل دیجیتالی ترانسفورماتور ۵۷

۴- تئوری شبکه های عصبی ۶۰

۴-۱- کاربردهای شبکه‌های عصبی ۶۲

۴-۲- ساختار شبکه های عصبی ۶۴

۴-۲-۱-مدل نرون ۶۴

۴-۲-۱-۱- مدل تک ورودی ۶۴

۴-۲-۱-۲- توابع محرک (تبدیل) ۶۵

۴-۲-۲-مدل چند ورودی ۶۷

۴-۲-۲-۱- فرم خلاصه شده نرون ۶۸

۴-۲-۳-شبکه تک لایه ۷۰

۴-۲-۴-شبکه‌های چند لایه ۷۲

۴-۲-۵-تعریف لایه خروجی ۷۲

۴-۲-۵- شبکه‌های پسخور یا برگشتی ۷۳

۴-۳-فرآیند یادگیری ۷۴

۴-۴- شبکه‌های عصبی به عنوان سیستم‌های دینامیکی آموزش‌پذیر ۷۶

۴-۴-۱-معادله یادگیری در حالت کلی ۷۶

۴-۵- یادگیری شبکه ۷۷

۴-۵-۱- انواع یادگیری ۷۸

۴-۵-۱-۱- یادگیری با ناظر ۷۸

۴-۵-۱-۲- یادگیری تشدیدی (تقویتی) ۷۹

۴-۵-۲- یادگیری بدون ناظر ۸۰
۴-۵-۲-۱- یادگیری با ناظر ۸۰
۴-۵-۲-۲-یادگیری تشدیدی ۸۱
۴-۵-۲-۳-یادگیری بدون ناظر ۸۲
۴-۶-عملکرد شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی ۸۲
۴-۷- عملکرد شبکه های عصبی چند لایه پیش خور ۸۴
۴-۸-الگوریتم پس انتشار ۸۵
۴-۸-۱- شاخص اجرایی ۸۵
۴-۸-۲- فرمول‌بندی الگوریتمBP ۸۷
۴-۸-۲-۱- تنظیم پارامترهای لایه خروجی ۸۷
۴-۸-۲-۲- نظیم پارامترهای لایه میانی ۹۱
۴-۸-۲-۳- پس‌انتشار حساسیتها ۹۵
۴-۸-۲-۴- خلاصه الگوریتم BP ۹۶
۴-۸-۲-۵- محدودیت الگوریتم BP ۹۸
۴-۹- ملاحظاتی در مورد الگوریتم پس انتشار ۱۰۰
۴-۹-۱- نحوه ارائه داده‌های یادگیری ۱۰۰
۴-۹-۲- انتخاب مقدار اولیه ۱۰۰
۴-۹-۳- سرعت پایین همگرایی ۱۰۲
۴-۱۰- الگوریتم BP از نوع دسته‌ای (BBP) ۱۰۲
۴-۱۰-۱- انگیزه ۱۰۲
۴-۱۰-۲- فرم دسته‌ای ۱۰۳
۴-۱۰-۳- الگوریتم تقریبی BBP ۱۰۴

۴-۱۱- بهبود بر BP ۱۰۵
۴-۱۱-۱-انتخاب مقادیر اولیه پارامترها ۱۰۵
۴-۱۱-۲- روش ممنتم برای BP ۱۰۶
۴-۱۱-۳- آنالیز MBP ۱۰۷
۴-۱۱-۴- نرخ یادگیری متغیر (VLR) ۱۰۸
۴-۱۲- تعمیم‌پذیری ۱۱۰

۵- تبدیل اسلنت لت ۱۱۶
۵-۱- فیلتر بانک اسلنت لیت ۱۱۸
۵-۲- استخراج ۱۲۲

۶- سیستم شبیه سازی شده ۱۲۶
۶-۱- استخراج داده ها ۱۲۸
۶-۲- اعمال الگوریتم شبکه عصبی چند لایه پیش خور ترکیبی با تبدیل اسلنت لت
۶-۲-۱- آموزش شبکه ۱۳۴
۶-۲-۲- الگوریتم پس انتشار ۱۳۴
۶-۲-۳- آموزش دسته ای ۱۳۵
۶-۳- اعمال الگوریتم شبکه عصبی تابع پایه شعاعی ترکیب شده با تبدیل اسلنت لت
۷- جمع بندی و پیشنهاد ها ۱۴۷
پیوست ۱۴۹

۱ مقدمه

حفاظت سیستم قدرت مبحثی مهم و جذاب است. نقش حفاظت یک سیستم قدرت بر اساس کنترل پیوسته آن، جهت بالا بردن اطمینان و داشتن انرژی الکتریکی با حداقل تلفات طراحی می شود. در طراحی این نقشه ها پایداری و خصوصیات ویژه خطاهای سیستم از پارامترهای مهمی هستند که باید مد نظر قرار گیرند. نکته مهمی که باید متذکر شد این است که تریپ رله های مختلف حفاظتی از جهت اینکه بدانیم رله چه زمانی و با چه مشخصاتی عمل تریپ را انجام می دهد و قسمت معیوب سیستم را از قسمت سالم آن جدا می کند بسیار حائز اهمیت است. یکی از وظائف مهم مهندسین حفاظت برقرای تعادل بین خصوصیات خطاها و نحوه تریپ رله ها است. در طراحی حفاظتی سیستم قدرت باید اطمینان حاصل کرد که رله ها می توانند وضعیت های نامطلوب را شناسایی و بر اساس کنترل زمان های مربوطه آنها را از مدار قطع کنند. شواهد آماری نشان می دهد که تریپ ها و تنظیمات نابجا و نامناسب می تواند خسارت جبران ناپذیری را به سیستم ها و مدار های مربوطه وارد کند.

زمانی که در قسمتی از سیستم تریپ صورت می گیرد نگرانی هایی در مورد وجود نقض و خطا در سیستم به وجود می آید. مسئولیت بسیاری از مهندسان عیب یاب این است که بفهمند رله به چه دلایلی، چه موقع و کجا تریپ کرده است. اینها فقط بعضی از سئوالاتی است که دانستن آنها بسیار مهم است، زیرا سیستم قدرت بسیار پیچیده و دارای یک موجودیت پویا است. به دلیل اینکه سیستم قدرت همیشه در حال دگرگونی و تحول است (بطور مثال وارد یا خارج کردن ژنراتور به سیستم و یا کم و زیاد کردن بار سیستم) می توان فهمید که یک نقص کوچک و بی اهمیت، اختلالات وسیعی را در سیستم به وجود می آورد. بنابراین در مجموع می توان گفت که سیستم های حفاظتی می توانند اکثر بخش های یک سیستم قدرت را در برابر اغتشاشات و خطاها بیمه کنند. مهمترین وظیفه رله های حفاظتی کاهش اثرات خطا برروی سیستم قدرت است. رله ها وسایل بسیار دقیقی هستند و به همین دلیل خطای ناشی از عناصر موجود در رله بسیار کم است.

ابزارهای سیستم قدرت می بایست در برابر خطاها، شرایط غیرطبیعی سیستم و دیگر شرایط غیر عادی، محافظت شود. یکی از گرانترین و حیاتی ترین ابزار ها در سیستم های قدرت، ترانسفورماتور ها می باشند. نظارت پیوسته از ترانسفورماتور قدرت می تواند از تلفات فاجعه آمیزی که بر اثر نواقص الکتریکی به وجود می آیند جلوگیری کند. این خطاها را به حداقل می رساند و یک منبع تغذیه بی وقفه را عرضه می نماید. سیستم ها و رله های حفاظتی برای این منظور عرضه می شوند. قابلیت اطمینان، امنیت، و سرعت عملکرد بالا،انتظاراتی است که از رله های حفاظتی می توان داشت. تحولات اخیر در ضمینه الکترونیک دیجیتال این امکان را برای ساخت رله های مکروپروسسوری فراهم کرده است.

رله های میکروپروسسوری [۱] از نرم افزاری برای تفسیر سیگنالها و اجرای منطقی بهره می جوید. ظرفیت های ذخیره کردن اطلاعات در حافظه این رله ها، برای ذخیره کردن اطلاعات مفید راجع به جریان ها و ولتاژهای خطا، استفاده می شوند. این اطلاعات بعدا می تواند برای طراحی رله، آزمایش و آنالیز شوند. با ظهور میکروپروسسورها، الگوریتم های دیجیتالی مختلفی توسعه داده شده اند و به طور موفقیت آمیزی برای حفاظت سیستم های قدرت مورد استفاده قرار گرفته اند.

وقتیکه، تغییر ناگهانی و بزرگی در ولتاژ ترمینال ورودی ترانسفورماتور، یا در خلال برق دار کردن و یا در خلال بهبود از خطای خارجی موجود باشد، یک جریان بزرگی در سیم پیچ ترانسفورماتور شکل می گیرد و باعث اشباع هسته ترانسفورماتور می شود. این پدیده به عنوان جریان مغناطیس کننده هجومی شناخته می شود که شبیه به خطای داخلی است و باعث عملکرد نادرست رله دیفرانسیل می شود. تمایز قائل شدن بین خطای داخلی و جریان هجومی، یکی از مهمترین چالش هایی است که سیستم های قدرت با آن روبه رو هستند. برای غلبه بر این عیب، از رله های دیفرانسیل درصدی استفاده شد. اما، هنوز رله های دیفرانسیل درصدی در برابر جریان هجومی، تمایل به عملکرد نادرست دارند. و این امر باعث قطع ابزارهای غیرضروری در هنگام برق دار کردن ترانسفورماتور در سیستم قدرت می شود.

سه روش کلاسیکی که برای جلوگیری از عملکرد نادرست رله استفاده می شوند عبارت اند از:

۱) غیر حساس کردن رله برای یک مدت زمانی کوتاه، لحظه ای بعد از انرژی دار کردن.
۲) محدود کردن یا بلوکه کردن عملکرد رله مطابق با محتوای هارمونیک جریان اندازه گیری شده.
۳) مفهوم تشخیص شکل موج

اولین روش به دلیل احتمال بسیار بالای شکست عایقی، لحظه ای بعد از انرژی دار کردن و دوم اینکه رله غیر حساس شده ممکن است خطاهای اتفاق افتاده در زمان های بحرانی را نبیند، نامناسب است. دومین روش که از مولفه های هارمونیکی استفاده می کند، از جریان های دیفرانسیل برای جلوگیری کردن از عملکرد رله در خلال شرایط هجومی مغناطیس کننده، استفاده می شود. جریان هجومی مغناطیس کننده، مملو از محتوای هارمونیک دوم هستند بطوریکه به عنوان معیار تشخیص استفاده می شود[۲].

برای بالا بردن قابلیت اطمینان حفاظت دیفرانسیل، چندین روش از سیگنال ولتاژ همچون سیگنال جریان استفاده کرده اند[۳]. در [۴]، روش توان دیفرانسیل برای تشخیص خطای داخلی از جریان هجومی مطرح شده است روش مطرح شده در مقاله [۵] بر مبنای تبدیل مودال شکل موج های جریان و ولتاژ است. عیب اساسی این روش ها، نیاز داشتن به استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ و افزایش هزینه محاسبات الگوریتم حفاظتی است. در روش های دیگر، شرایط خطا توسط مشخصه اغتشاش شکل موج جریان دیفرانسیل، تشخیص داده می شود.

یکی از این روش ها، توسط اندازه گیری فاصله زمانی بین دو پیک متوالی شکل موج جریان دیفرانسیل، عمل می کند[۷،۶]. تاخیر در کشف خطا، یکی از بزرگترین عیب این گروه از الگوریتم هاست. روش های گوناگون دیگری همچون مقایسه شکل موج و روش تخمین خطا [۸]، روش های مبنی بر منطق فازی [۹]، روش آنالیز مولفه اصلی [۱۰]، و روش آنالیز همبستگی [۱۱] برای تمایز قائل شدن بین شرایط خطای داخلی از شرایطی غیر از خطا مطرح شده است.

پژوهش های زیادی در ضمینه توسعه شبکه های عصبی درچند ده گذشته انجام شده است. این روش می تواند برای تشخیص الگوها از رفتار شبکه های الکتریکی، الهام بگیرد[۱،۱۲]. الگوریتم پس انتشار برای مانیتورینگ و تشخیص منبع هارمونیکی، استفاده شده است [۱۷،۱۶،۱۵،۱۳] یک مقاله جدید [۱۸]، تلاش هایی را برای استفاده کردن از شبکه عصبی برای تشخیص جریان های هجومی مغناطیس کننده ، گزارش می دهد. تبدیل موجک، یک ابزار نیرومند در آنالیز پدیده گذرا ترانسفورماتورهای قدرت است بطوریکه به طور وسیعی از توانایش برای استخراج اطلاعات از پدیده گذرا ترانسفورماتورهای قدرت برای تشخیص بین خطاهای داخلی و دیگر پدیده ها استفاده می شود[۱۹].

هدف از این پایان نامه، یک روش کلاس بندی جدید برمبنای ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و تبدیل اسلنت لیت، برای تشخیص بین خطاهای داخلی و شرایط غیر خطا مثل (جریان هجومی مغناطیس کننده، جریان فوق تحریک، اشباع ترانسفورماتور جریان ناشی از خطای خارجی، جریان نرمال) در ترانسفورماتور سه فاز است.الگوریتم مطرح شده از دو ساختار متفاوت شبکه عصبی مصنوعی الهام می گیرد. یکی بعنوان یک آشکار ساز خطای داخلی و دیگری برای آشکارسازی و تمایز قائل شدن شرایط عملکرد دیگر مثل (جریان هجومی مغناطیس کننده، جریان فوق تحریک، اشباع ترانسفورماتور جریان ناشی از خطای خارجی، جریان نرمال) و مانیتورینگ استفاده می شود. یک شبکه عصبی تغذیه جلو با استفاده از الگوریتم پس انتشار و یک شبکه عصبی با تابع پایه شعاعی، برای تمایز قائل شدن شرایط خطای داخلی از دیگر شرایط، آموزش داده می شود. این یابنده های جریان خطا مبنی برANN ، توسط داده های شبیه سازی شده از EMDC/PSCAD ، آموزش و تست می شوند. توانایی این شبکه های آموزش دیده برای پاسخ دادن به شرایط تولید شده، توسط جریان های به دست آمده از یک ترانسفورماتور آزمایشگاهی تست می شوند.

این پایان نامه به هفت بخش تقسیم می شود. در بخش اول، با موضوع حفاظت سیستم قدرت آشنا می شویم. بخش دوم، اساس کلی حفاظت خطای داخلی ترانسفورماتور، مشکلات متناظر با رله های دیفرانسیل و روش های غلبه کردن برآنها را شکل می دهد. همچنین تاثیرات جریان هجومی مغناطیس کننده و چگونگی تشخیص بین این جریان و جریان خطا، مرور می شود. بخش سوم، یک آشنایی مختصری از رله های دیجیتال در حفاظت سیستم قدرت و روش های پردازش سیگنال و مزایای این رله ها را عرضه می کند.

بخش چهارم، مرور کلی بر شبکه عصبی مثل نرون ها، لایه ها و ساختار این شبکه ها را بررسی می کند. اهمیت کاربرد شبکه عصبی تابع پایه شعاعی[1] و شبکه عصبی تغذیه جلو[2] و الگوریتم پس انتشار توضیح داده می شود. در فصل پنجم مروری بر آنالیزگر تبدیل اسلنت لت[3] داریم. پیاده سازی الگوریتم مطرح شده را در فصل ششم خواهیم دید. و در فصل هفتم، نتایج و بعضی پیشنهادات برای مطالعه در آینده داده شده است. لیست مراجع در ادامه فصل هفتم آورده شده است.

[1] Ridal basic funtion
[2] Feed forward neural network
[3] Slantlet transform

فصل دوم

حفاظت ترانسفورماتور

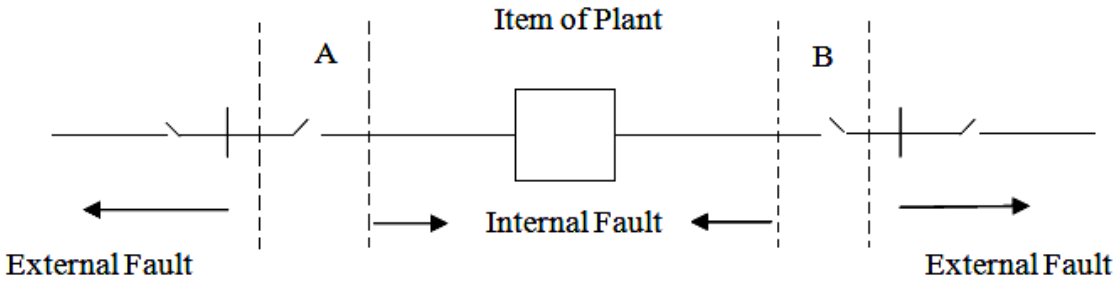
ترانسفورماتور ها، یک قسمت کلی از سیستم های قدرت مدرن هستند. تمام قسمت های تاسیسات برقی در سیستم های قدرت می بایست در برابر خطا محافظت شود، به علاوه ترانسفورماتور ها. اما، مشکلاتی که در ترانسفورماتورها خاص است، ما در دیگر بخش های تاسیسات سیستم قدرت با آنها مواجعه نمی شویم. یکی از این مشکلات، جریان هجومی مغناطیس کننده بزرگی است که توسط مشخصات شار جریان غیر خطی به وجود می آید[۲۰]. به محض اینکه ترانسفورماتور به سیستم قدرت متصل می شود، یک جریان بزرگی ممکن است در شاخه موازی مغناطیس کننده در خلال دوره ی گذرایی جاری شود. دامنه های این جریان هجومی مغناطیس کننده ممکن است به بلندی دامنه های جریان خطای داخلی برسد. این امر باعث عملکرد نادرست مدارشکن ها در قطع مدار می شود. تفاوت اساسی بین جریان هجومی مغناطیس کننده و جریان خطای داخلی این است که جریان هجومی مغناطیس کننده،دومین مولفه های هارمونیکی بزرگ آن ، بزرگترین است در صورتیکه خطاهای داخلی این مولفه هارمونیکی را ندارند. به خاطر مشکل جریان هجومی، حفاظت کردن ترانسفورماتورها مشکل است. پس می بایست مشکلات ترانسفورماتورها و روش های سنتی برای حفاظت کردن از آنها میبایست قبل از توسعه یک روش جدید برای حفاظت کردن از آنها، مرور شود.

در این فصل، ابتدا تاثیرات نوع های مختلفی از خطاها بر روی عملکرد ترانسفورماتورها به طور مختصری مرور می شود. ماهیت ترانسفورماتور و روش ها، برای کشف خطاها و جدا کردن ترانسفورماتورهای عیب دیده از سیستم، توضیح داده می شود. همچنین ماهیت جریان هجومی مغناطیس کننده و چگونگی تشخیص بین این جریان ها با جریان خطاهای داخلی توضیح داده می شود.

۲-۱- تعریف خطاهای سراسری و خطاهای داخلی

خطاها، شرایط عملکرد غیر قابل قبول سیستم قدرت هستند و می بایست خیلی سریع حذف شوند. جریان های شدید ناشی از اتصال کوتاه و یا اتصال کوتاهای جزیی، باعث آسیب زدن می شوند و همچنین ممکن است منجر به کاهش ولتاژ و تغییرات فرکانس شود. خطاها، توسط مکان استراتیژیک مدارشکن ها در سیستم های قدرت رفع می شوند. در مورد مهمترین قسمت هایی از تاسیسات (ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال ، و غیره)، یک مدار شکن در هر گره ای که بخش ها را به سیستم قدرت متصل می کند ، موجود است. پس معمولا یک مدار شکن در هر انتهای خط موجود است، و برای هر سیم پیچ ترانسفورماتور (۲ یا ۳) به وجود سومین سیم پیچ وابسته است.

با مراجعه به دیاگرام پایین :



شکل(۲-۱) تعریف خطاهای سراسری و خطاهای داخلی

یک خطایی که اتفاق می افتد روی قسمتی ازاین تاسیسات، می تواند توسط بریکر A و B برطرف شود که این خطا، خطای داخلی نامیده می شود. خطاهای دیگری که به عملکرد دیگر بریکرها نیاز دارد خطای خارجی نامیده می شود. بدیهی است که یک خطای داخلی برای یک قسمت از تاسیسات، خطای خارجی برای دیگر قسمت است. طرح حفاظت نیاز دارد به اینکه خطاهای داخلی در کوتاهترین پریود زمانی رفع شوند.

۲-۲- ماهیت یک ترانسفورماتور

یک ترانسفورماتور یک ابزار استاتیکی است و شامل دو یا چند سیم پیچ که توسط یک میدان مغناطیسی متقابل جفت می شوند. ترانسفورماتور ها به طور وسیعی استفاده می شوند و ابزارهای گران قیمت در سیستم های قدرت می باشند.

۲-۲-۱- اساس کلی ترانسفورماتور

وقتی یک ولتاژ به ترمینال های سیم پیچ اولیه اعمال مشود، یک جریان متناوب در آن سیم پیچ جاری خواهد شد و یک شار متناوب به وجود می آید. این سبب به وجود آمدن یک ولتاژ در پیچه می شود که تقریبا با ولتاژ اعمال شده برابر است. ولتاژ کاهش یافته توسط مقدار شار هسته ϕو چگالی شار B تعیین می شود.

با اتصال نکردن باری در ترمینال ثانویه، جریانی که در سیم پیچ اولیه جاری می شود جریان تحریک یا مغناطیسی گویند و با وصل بار در ترمینال ثانویه، جریانی که در سیم پیچ ثانویه جاری می شود، مقدارش بستگی دارد به مقاومت بار، و جریان اضافی در سیم پیچ اولیه جاری می شود و توسط نسبت تبدیل ترانسفورماتور تعیین می شود.

رابطه های یک ترانسفورماتور ایده آل (با صرف نظر کردن از تلفات و جریان مغناطیسی) عبارت اند از:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

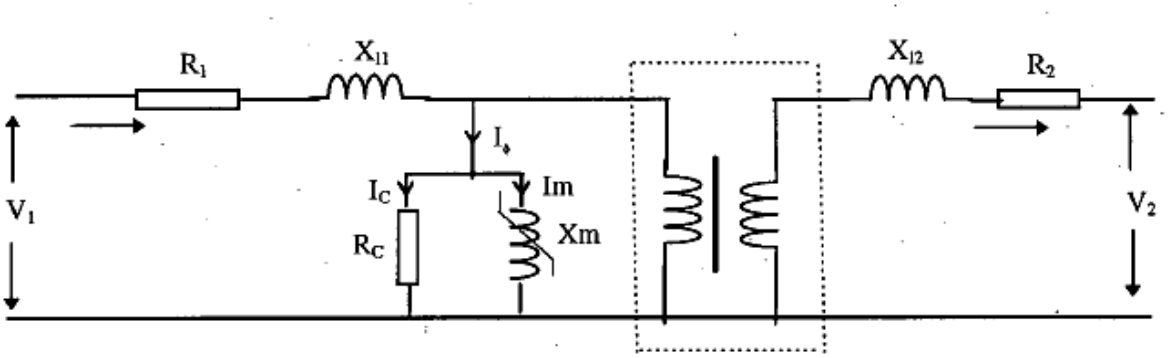
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

۲-۲-۲- ترانسفورماتور واقعی

برای یک ترانسفورماتور واقعی ، رسیم پیچ ها مقاومت دارند. گذشته از شار متقابل ϕ_m، یک مقدار کمی شار که به شار نشتی ϕ_1 مرسوم است وجود دارد که مربوط به سیم پیچ اولیه هست و هر سیم پیچ شار نشتی مربوط به خودشان را دارند. مقاومت های R_1و R_2 و مقاومت نشتی آن $X_{11} = 2\pi fL_1$و $X_{12} = 2\pi fL_2$ می تواند نشان داده شود. داشتن نفوذپذیری محدود در یک هسته مغناطیسی واقعی، برای برقرار کردن شار در هسته، یک جریان مغناطیس کنندگی I_m نیاز می شود.

این اثر می تواند توسط اندوکتانس مغناطیس کننده L_m نشان داده شود. همچنین، تلفات هسته در مواد مغناطیسی می تواند توسط یک مقاومت R_c نشان داده شود. اگر هم این عیوب محاسبه شود، از این رو یک ترانسفورماتور عملی معادل یک ترانسفورماتور ایده آل است که امپدانس های خارجی مثبت برای نشان دادن عیوب یک ترانسفورماتور واقعی است.

شماتیک یک ترانسفورماتور واقعی در شکل (۲-۲) نشان می دهد:



شکل(۲-۲) مدار معادل ترانسفورماتور واقعی

$$X_{11} = 2\pi f L_{11}$$

$$X_{12} = 2\pi f L_{12}$$

$$X_m = 2\pi f L_m$$

L_{l1} = اندوکتانس نشتی سیم پیچ اولیه $= \dfrac{N_1 f_{l1}}{I_1}$

L_{l2} = اندوکتانس نشتی سیم پیچ ثانویه $= \dfrac{N_2 f_{l2}}{I_2}$

L_m = اندوکتانس مغناطیس کننده در سیم پیچ.

۲-۳- جریان های هجومی مغناطیس کننده در یک ترانسفورماتور قدرت

۲-۳-۱- مطالعه زیر ولتاژ قرار دادن ترانسفورماتور و فوران و جریان گذاری آن در لحظات اول بعد از اتصال به شبکه

یک ترانسفورماتور را با بستن کلیدی به شبکه اتصال می‌دهند. در این لحظه که عمل پیوست انجام می‌گیرد موجهای فوران مغناطیسی و جریان در آن بلافاصله مقادیر و فرم دایمی خود را پیدا نمی‌کنند. بلکه مدتی طول می‌کشد و این حالت گذرا بعد از بسته شدن کلید حادث می‌شود و پس از نوساناتی به حالت عادی با رژیم دایمی خود میل می‌کند. شکل موج ولتاژ و لحظه بسته شدن کلید و اندازه و جهت پسماند مغناطیسی به طولانی شدن زمان گذرا این پدیده کمک می‌کند به طوری که در لحظه اولیه بسته شدن کلید دامنه جریان در اولیه در حالی که سرهای ثانویه ترانسفورماتور باز است از چندین برابر جریان نامی ترانسفورماتور تجاوز می‌نماید و این پدیده دارای اثراتی چون ذکر شده در زیر که برای ترانسفورماتور مخاطره‌آمیزند همراه می‌باشند:

۱. پدیدار شدن نیروهای مکانیکی بسیار شدید بین سیم‌پیچی‌ها و اجزای مربوط به آنها.

۲. توزیع نامساوی ولتاژ میان قسمتهای سیم‌پیچها و بین حلقه‌های آنها

۳. پیدایش اضافه جریان در سیم‌پیچها.

این اثرات خصوصاً در ترانسفورماتورهای با قدرت زیاد اهمیت خاص دارد.

به این جهت امروزه سعی می‌شود تا استحکام مکانیکی و مقاومت الکتریکی و حرارتی ترانسفورماتورها تا حد امکان زیاد باشد.

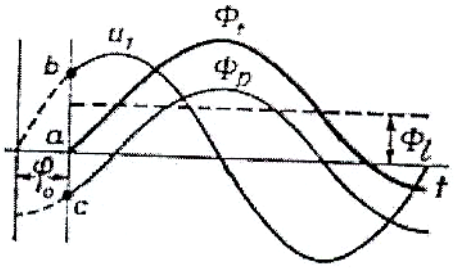
کمیت‌های اصلی که در حالت گذرا تعیین کننده هستند عبارتند از: اضافه جریانها و اضافه ولتاژهای ناگهانی که در موقع اتصال به شبکه و اتصال کوتاه ایجاد می‌شوند.

۲-۳-۲- اتصال ترانسفورماتور در حالت بی‌باری به شبکه

فرض می‌کنیم در حالت اتصال سرب‌های طرف دوم ترانسفورماتور باز باشد. از طرفی می‌دانیم که اندازه جریان بی‌باری در حالت رژیم دایمی ۳ تا ۸ درصد جریان نامی است ولی در موقع اتصال به شبکه این مقدار به طور شدیدی در لحظات ابتدایی کار زیاد می‌شود. که علت آن را به شرح زیر چنین بازگو می‌کنیم:

با فرض اینکه معادله ولتاژ ورودی برابر $U_1 = U_{1m}\sin(\omega t + \varphi_0)$ باشد در آن اختلاف فاز φ_0 مشخص می‌کند که در لحظه $\omega t = 0$ ولتاژ U_1 که به ترانسفورماتور وصل می‌شود دارای چه مقدار و اندازه می‌باشدکه در شکل زیر در ازا $\omega t = 0$ و $U_1 = ab$ و اندازه فوران مغناطیسی در حالت رژیم دایمی که با آن مقدار از U_1 مطابقت خواهد کرد برابر $\varphi_p = ab$ می‌شود. البته اگر از اثر پسماند مغناطیسی صرف‌نظر شده بود در لحظه اتصال اندازه‌های جریان i_0 و فوران مغناطیسی φ_0 می‌بایست صفر می‌گردید. برای همین در موقع اتصال ترانسفورماتور به شبکه فورانی به نام فوران آزاد φ_μ در آن ایجاد می‌گردد، که با فوران حالت دایمی رژیم دایمی مقابله می‌کند و داریم:

$$\varphi_P + \varphi_\mu = 0$$



شکل(۲-۱) نمایش شار و ولتاژ

اگر مقاومت اهمی سیم‌پیچ اولیه را برابر $r_1 = 0\Omega$ باشد انرژی الکترومغناطیسی ایجاد شده بوسیله φ_1 نمی‌تواند خود به خود از بین برود نتیجتاً از نظر مقدار و علامت برای مدتی ثابت می‌ماند که در شکل (۶-۱) به طور خطچین نشان داده شده است و از اضافه شدن φ_1 به φ_p که به طور سینوسی در هسته جاری است و به علت ثابت بودن φ_1 آن دو در هسته به طور جبرانی با هم جمع می‌شوند نتیجتاً هسته را خیلی زودتر از حالت رژیم دایمی بی‌باری به اشباع می‌رسانند و همین طور جریان مغناطیس کننده هسته متناسب با آن افزایش می‌یابد.

درواقع امر چون r_1 همواره در ترانسفورماتور وجود دارد در نتیجه انرژی الکترومغناطیسی حاصل φ_1 به مرور در آن مستهلک شده و به طرف صفر میل می‌کند. حال با فرض اینکه ولتاژ اعمال شده به ترانسفورماتور سینوسی است و مستقل از کار ترانسفورماتور می‌باشد و می‌توانیم معادله افت ولتاژها را در اولیه آن به صورت زیر بنویسیم:

$$U_1 = U_{1m}\sin(wt + \varphi_0) = ri_0 + N_1 d\varphi / dt \qquad (۱-۲)$$