دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

پروژه کارشناسی

موضوع: بررسی انواع روش‌های پایش وضعیت ترانسفورماتور قدرت

استاد رهنما:

جناب آقای دکتر اوجاقی

دانشجو و محقق:

بهرام نوری ۹۳۴۴۵۲۳۳

سال ۹۷-۹۸

و بعد از مدت‌ها، پس از پیمودن راه‌های فراوان که با حضور شیرین اساتید عزیزم، باراهنمایی‌ها و دغدغه‌های فراوانشان و شیطنت‌های زیبای آن دوران، نگاه‌های امیدبخش پدر و مادرم و زیبایی حضور برادرم در کنارم که خستگی‌های این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کرده و امیدوارم بتوانم در آینده‌ای نزدیک جوابگوی این‌همه محبت آن‌ها باشم ...

اکنون، با احترام فراوان برای این‌همه تلاش این عزیزان برای موفقیت من ....

این پروژه را به پدر و مادر، اساتید و برادر مهربانم تقدیم می‌کنم

امیدوارم قادر به درک زیبایی‌های وجودشان باشم

تقدیم به:

پدر و مادرم

به‌پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و ازخودگذشتگی

به‌پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این

سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به‌پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید

و به‌پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

چکیده:

در دوره استفاده وسیع از سیستم‌های قدرت و با وجود رقابت بین شرکت‌های عرضه کننده انرژی با بودجه‌های محدود، لازم است که عمر تجهیزات با عملکرد قابل‌قبول افزایش داده شود. این امر با پایش مداوم وضعیت (CM) تجهیزات الکتریکی حاصل می‌گردد. پایش وضعیت سبب تغییر روند تجهیزات و شناسایی خطاهای پنهان می‌گردد. علاوه بر این سبب بهینه‌سازی توان انسانی و مدت ازکارافتادگی تجهیز و هزینه‌های تعمیر آن می شود. درنتیجه طول عمر تجهیز با عملکرد تضمینی قابل‌قبولی افزایش می‌یابد. ترانسفورماتور یکی از مهم‌ترین تجهیزات در سیستم قدرت است.. ترانسفورماتورهای جدید در برابر وضعیت‌های نامعمول سیستم دارای مقاومت الکتریکی و مکانیکی خوبی هستند ولی افزایش عمر آن‌ها سبب کاهش مقاومت در برابر حوادثی مثل خطاهای اتصال کوتاه و اضافه ولتاژهای گذرا می‌گردد. انفجار حاصله از خرابی ترانسفورماتورها برای افراد خطرآفرین بوده و نشت روغن به محیط زیست آسیب می رساند.جایگزین سازی ترانسفورماتور نیز بسیار پرهزینه است ؛ بنابراین، تشخیص و مانیتورینگ آن‌ها برای جلوگیری از این اتفاقات بسیار ارزشمند بوده و سبب تصمیم‌گیری مناسبی در زمان وقوع مشکل می‌گردد. روش های تشخیص و پایش این اتفاقات و شکست‌ها همواره در حال پیشرفت بوده و روش‌های مختلفی ازجمله تحلیل‌های پاسخ فرکانسی و ترموگرافی و تخلیه جزئی و ارتعاشات و گازهای محلول در روغن در این زمینه مورداستفاده قرار می‌گیرند.در این مطالعه به ارائه راهکارهایی در مورد سیستم پایش وضعیت ترانسفورماتورها نیز می‌پردازیم که این راهکارها سبب ایجاد سیستم یکپارچه و اتوماسیون مداوم پایش وضعیت می‌گردد.

واژگان کلیدی: ترانسفورماتور،پایش وضعیت[1]، اتوماسیون پایش وضعیت، تکنیک‌های مانیتورینگ، خرابی ترانسفورماتور[2]،ترموگرافی،تحلیل تخلیه جزئی،تحلیل ارتعاشات،تحلیل پاسخ فرکانسی،تحلیل گازهای محلول در روغن

1.Condition Monitoring
2.Transformator Failure

فهرست:

فصل اول: کلیات پایش وضعیت ترانسفورماتور..... ۱

۱-۱) مقدمه..... ۲

۱-۲) علل خرابی ترانسفورماتور..... ۶

۱-۲-۱) علل الکتریکی..... ۱۰

۱-۲-۲) علل الکترومغناطیسی..... ۱۱

۱-۲-۳) علل عایقی..... ۱۱

۱-۲-۴) علل حرارتی..... ۱۲

۱-۲-۵) علل شیمیایی..... ۱۲

۱-۳) پایش وضعیت ترانسفورماتور..... ۱۲

۱-۴) لزوم اتوماسیون پایش دائم..... ۱۴

۱-۴-۱) لزوم پایش دائم از دیدگاه عمر ترانسفورماتور..... ۱۵

۱-۴-۲) لزوم پایش دائم از دیدگاه مالی..... ۱۶

۱-۴-۲-۱) هزینه حمل‌ونقل..... ۱۷

۱-۴-۲-۲) هزینه تعمیرات اساسی..... ۱۸

۱-۴-۲-۳) هزینه تست‌های دوره‌ای..... ۱۸

۱-۴-۲-۴) هزینه‌های بی‌برقی..... ۱۸

۱-۵) پارامترهای قابل‌سنجش در ترانسفورماتور..... ۱۹

۱-۶) مدل پیشنهادی برای پایش دائم و برخط ترانسفورماتورهای شبکه..... ۲۲

فصل دوم: روش‌های پایش وضعیت ترانسفورماتور با کمیت های فیزیکی(حرارت و ارتعاش)..... ۲۶

۲-۱) تحلیل وضعیت و مانیتورینگ وضعیت ترانسفورماتور..... ۲۷

۲-۲) تکنیک‌های پایش وضعیت ترانسفورماتور..... ۲۸
۲-۳) تحلیل حرارتی ۲۸
۲-۴) تحلیل ارتعاشات..... ۳۱
۲-۴-۱)تئوری تحلیل ارتعاشات..... ۳۴
۲-۴-۲) اندازه‌گیری میزان لرزش و ارتباط آن با ولتاژ و جریان..... ۳۶
۲-۴-۳) سیستم اندازه‌گیری، دریافت و پردازش داده‌های لرزش..... ۳۶
۲-۴-۴)اندازه‌گیری میزان لرزش با استفاده از حسگر نصب‌شده در بالای تانک..... ۳۸
۲-۴-۵) تحلیل فرکانسی لرزش اندازه‌گیری شده..... ۴۰
فصل سوم: روش های پایش وضعیت ترانسفورماتور با کمیت های الکتریکی..... ۴۲
۳-۱) تحلیل تخلیه جزئی PD..... ۴۳
۳-۲) مانیتورینگ عایق ترانسفورماتور با استفاده از اندازه‌گیری تخلیه جزئی..... ۴۶
۳-۳) مدار آشکارسازی الکتریکی تخلیه جزئی..... ۴۹
۳-۴) تحلیل پاسخ فرکانسی(FRA)..... ۵۰
۳-۴-۱) مبنای تئوری آنالیز پاسخ فرکانسی ۵۱
۳-۴-۲)روش‌های اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی..... ۵۲
۳-۴-۳) روش‌های مقایسه پاسخ‌های فرکانسی..... ۵۳
۳-۴-۴) عیوب قابل‌تشخیص به روشFRA ۵۴
۳-۴-۵) روش تحلیل اندازه‌گیری‌هایFRA ۵۵
۳-۴-۶)روش FRA و چالش‌های موجود..... ۵۶
۳-۴-۷)نمونه تست و اندازه‌گیری عملی FRA..... ۵۷
۳-۴-۸) اثرات مدار اندازه‌گیری و شرایط تست..... ۵۸

۳-۲-۹)اثر عیوب بر نحوه تغییر پاسخ فرکانسی..... ۶۰
فصل چهارم: روش پایش وضعیت ترانسفورماتور با تحلیل گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور..... ۶۵
۴-۱) روغن ترانسفورماتور..... ۶۶
۴-۱-۱)انواع روغن‌های ترانسفورماتور..... ۶۷
۴-۱-۲) ویژگی‌های روغن‌های عایق ترانسفورماتور..... ۶۸
۴-۱-۳) مشخصات فیزیکی و شیمیایی روغن..... ۶۹
۴-۱-۴) مقایسه انواع روغن‌های ترانسفورماتور..... ۷۰
۴-۱-۵) ایجاد گاز در ترانسفورماتور..... ۷۲
۴-۱-۶) عوامل ایجاد گاز در داخل روغن ترانسفورماتور..... ۷۲
۴-۱-۷) مکانیزم تشکیل گاز..... ۷۴
۴-۱-۸)انواع روش‌های آزمایش گازهای محلول در روغن..... ۷۷
۴-۲) آنالیز گازهای محلول در روغن(DGA)..... ۷۸
۴-۲-۱) خطاهای قابل‌تشخیص توسط DGA..... ۷۹
۴-۲-۲) ارزیابی ارتباط گازها و خطاها..... ۷۹
۴-۲-۳) مراحل جذب گازهای موجود در روغن توسط دستگاه گاز کروماتوگراف..... ۸۰
۴-۳) روش‌های مختلف تحلیل گازهای محلول در روغن..... ۸۲
۴-۳-۱) روش غلظت گازهای محلول در روغن..... ۸۲
۴-۳-۲) روش گازهای کلیدی IEEE..... ۸۳
۴-۳-۳) روش‌های دورنبرگ و راجرز..... ۸۴
۴-۳-۴) روش استاندارد IEC 60599 ..... ۸۶
۴-۳-۴-۱)نسبت‌های اساسی گاز روش استاندارد IEC 60599 ..... ۸۷

۴-۳-۴-۲)نسبت CO_2/Co ۸۹
۴-۳-۴-۳)نسبت O_2/N_2 ..... ۸۹
۴-۳-۴-۴)نسبت C_2H_2/H_2 ..... ۸۹
۴-۳-۴-۵)هیدروکربن‌های C_3 ..... ۹۰
۴-۳-۵) روش مثلث دوال ۹۰
۴-۴) استفاده از منطق فازی در آنالیز گازهای محلول در روغن ۹۲
۴-۴-۱) راجر فازی ۹۵
۴-۴-۲)IEC فازی ۹۹
۴-۴-۳)روش مقادیر آستانه گازها (فازی شده) ۱۰۱
نتیجه‌گیری ۱۰۲
مراجع ۱۰۳

فصل اول:

کلیات پایش وضعیت

ترانسفورماتور

۱-۱)مقدمه

مانیتورینگ وضعیت ترانسفورماتور(CM) امری لازم برای افزایش قابلیت اطمینان و دستیابی به مدیریت عملیاتی بهینه است. برآورد اطلاعاتحاصل از پایش وضعیت، تشخیص خطا در مراحل اولیه پیشرفت را فراهم می‌سازد و سبب تعمیر در این مراحل و وضعیت می‌گردد. قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع با استفاده از سیستم‌های مانیتورینگ خودکار ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت افزایش می‌یابد. اپراتورهای انتقال برق و سیستم‌های توزیع به تشخیص خطاهای اولیه در تجهیزات الکتریکی توجه دارند که سبب افزایش طول عمر تجهیز می‌شوند. برخی از این خطاها در چرخه عادی اورهال تشخیص داده می‌شوند درحالی‌که برخی از این خطاهای اولیه توانایی گسترش داشته و سبب ایجاد مشکلات زیادی پیش از چرخه اورهال می‌گردند. تشخیص بسیاری از خطاها در تجهیزات الکتریکی میسر نیست و خصوصاً در خطاهای حاصله پیش از چرخه عادی اورهال این تشخیص به‌مراتب کم‌تر است.

ترانسفورماتورها مهم‌ترین تجهیز در سیستم قدرت می‌باشند و این اهمیت به دلیل تأثیر آن‌ها بر سهم عمده‌ای از صنایع نیروگاهی و یا بر روی مصرف‌کنندگان خانگی است. یکی از روش‌های تشخیص خطاهای عمده ترانسفورماتور استفاده از تکنیک‌های CM است. تمرکز CM بر روی کارکرد و بهبود اهداف مخصوص تجهیزات است که این کار را با به دست آورن اطلاعات و اصلاح تکنیک‌های جدید برای پیش‌بینی روند تمایلات تجهیز مانیتور شده انجام می‌دهد و عملکرد فعلی آن را نیز ارزیابی می‌کند.

تکنیک CM مزیت‌های زیادی دارد که این مزایا به گونه زیر قابل‌ذکر می‌باشند:

- سبب کاهش هزینه‌های اورهال[1] می‌شود که این امر به‌واسطه تشخیص خطاهای اولیه و جلوگیری از رشد و تبدیل آن‌ها به مشکلات بزرگ‌تر حاصل می‌گردد.
- سبب محدودسازی شکست‌های مخرب می‌گردد که به کیفیت منبع و ایمنی افراد تأثیر می‌گذارد.
- سبب محدودسازی شدت صدمات وارده می‌شود و باعث حذف و کاهش فعالیت‌های تعمیراتی متعاقب می‌گردد.

1. Overhall

- توانایی شناسایی دلایل اصلی شکست را دارد و سبب فراهم‌سازی سیستم تشخیص خطای مطلوبی می‌گردد.
- با استفاده از مانیتورینگ یکپارچه وضعیت تمامی تجهیزات مهم، توانایی فراهم‌سازی اطلاعاتی در مورد چرخه زندگی نیروگاه را دارد.
- سبب افزایش عمر باقی‌مانده تجهیز می‌گردد.
- سبب بهبود توان اضافه‌باری تجهیز می‌شود.

از سوی دیگر موانعی نیز در برابر تکنیک‌های CM وجود دارند که این مشکلات و موانع را می‌توان به‌طور زیر بیان کرد:

- هزینه اضافی سیستم که به‌واسطه افزودن سنسورهای مانیتورینگ و مدارات اضافی و سیستم کنترل حاصل می‌شوند.
- افزایش پیچیدگی پیش‌بینی وضعیت و سیستم مانیتورینگ کلی
- نیاز به سیستم‌های پردازشگر سرعت‌بالایی برای پردازش اطلاعات و تصمیم‌گیری دارد. همچنین به حافظه مناسبی برای اطلاعات پایگاه داده نیاز دارد.

سیستم CM بایستی به‌گونه‌ای باشد که تمامی این وظایف را عمل کند. هزینه آن بایستی در مقایسه با هزینه‌های شکست و اورهال کم‌تر باشد ولی درعین‌حال نتایج آن بایستی قابل‌فهم باشند.

درگذشته روش اورهال زمان محور به‌عنوان استراتژی اورهال اصلی بکار گرفته می‌شد. اورهال زمان محور از بسیاری از شکست‌ها جلوگیری می‌کرد ولی سبب خاموشی‌های غیرضروری می‌شد و هنوز حوادث غیرمنتظره‌ای در فواصل بین هر دو فعالیت اورهال رخ می‌داد. با استفاده از CM، نیروی انسانی و زمان و هزینه صرفه جویی می‌شود.CM به اپراتورها امکان اطلاع‌یابی از وضعیت تجهیزات را می‌دهد و زمان و چگونگی اورهال را نیز مشخص می‌کند. بنابراین نیروی انسانی و هزینه و خاموشی‌های غیرضروری کاهش می‌یابد. البته بایستی به تشخیص دقیق نیز اشاره داشت زیرا که تشخیص اشتباه در هر حالت سبب هزینه می‌گردد و تشخیص بدبینانه نیز سبب سرمایه‌گذاری غیرضروری برای تعمیر یا جایگزین سازی تجهیز می‌گردد. البته بایستی از تشخیص خوش‌بینانه نیز

اجتناب کرد که باعث خرابی‌های غیرمنتظره و هزینه‌های بسیار بالایی می‌گردد. به‌طورکلی شکست‌های ترانسفورماتور به سبب دلایل و شرایط مختلفی رخ می‌دهد که بدین‌صورت می‌توان دسته‌بندی کرد:

- ✓ هرگونه فشار حاصل از قطع برق ناشی از اشکالات در سیستم برق که به ترانسفورماتور مورداستفاده در شبکه وارد می‌شود (مثل صدمات سیم‌پیچی، خرابی تپ چنجر)
- ✓ مشکلاتی که نیازمند حذف ترانسفورماتور برای برگشت به بخش تعمیر تأسیسات را دارد و یا نیازمند تعمیر میدانی گسترده‌ای است (مثل تولید گاز زیاد، وجود رطوبت سطح بالا)

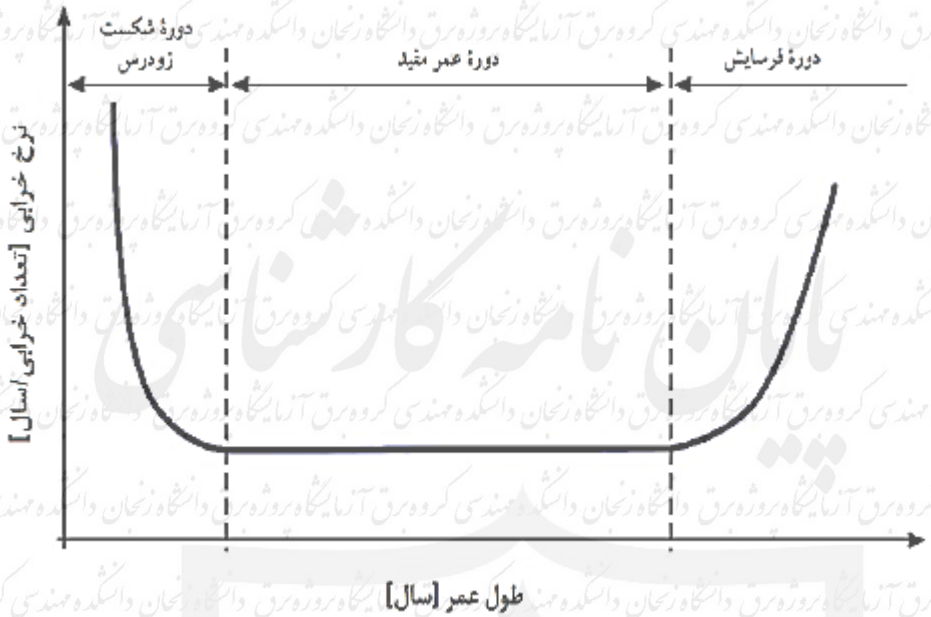
دلیل خرابی می‌تواند خارجی یا داخلی باشد. جدول ۱-۱ دلایل عمده خرابی‌ها را نشان می‌دهد:

جدول ۱-۱: عوامل معمول خرابی‌های ترانسفورماتور

داخلی	خارجی
تخریب عایق	برخورد رعدوبرق
کمبود مهارهای سیم‌پیچی	عملیات کلید زنی سیستم
حرارت بیش‌ازحد	اضافه‌بار سیستم
اکسیژن	خطاهای سیستم (اتصال کوتاه)
رطوبت	
وجود آلودگی جامد در عایق روغن	
تخلیه جزئی	
نقص طراحی و ساختار	
تشدید سیم‌پیچ	

علاوه بر این خرابی‌های موجود در تانک اصلی، شکستگی در بوشینگ ها و تپ چنجر ها و یا لوازم الحاقی به ترانسفورماتور نیز رخ می‌دهد.

الگوی خرابی ترانسفورماتورها همانند "منحنی وانی " شکل ۱-۱ است.



شکل ۱-۱:منحنی "وانی "ترانسفورماتورها

علاوه بر این طول عمر نرمال ترانسفورماتور، خطاهای دیگری نیز در ترانسفورماتور پیشرفت می‌کند که طول عمر نرمال ترانسفورماتور را کوتاه می‌کند و به خرابی‌های احتمالی منجر می‌شود. ترانسفورماتورهای قدرت در حالت کارکرد عادی قابل‌اطمینان بوده و دارای نرخ خرابی سالیانه ۱ الی ۲ درصدی می‌باشند. پایان عمر ترانسفورماتور معمولاً با کاهش قدرت مکانیکی عایق جامد در سیم‌پیچی مشخص می‌گردد. این ترانسفورماتورها در مرحله انتهایی منحنی وانی می‌باشند. نرخ خرابی افزایشی آن‌ها در طی چندین سال آینده پیش‌بینی می‌شود.

برآوردها نشان‌دهنده این موضوع هستند که ۵۱ درصد خرابی ترانسفورماتورها در ۴۵ سال اخیر به سبب عوامل زیر می‌باشد:

- ✓ رطوبت، آلودگی و افزایش عمر که سبب کاهش قدرت عایق داخلی ترانسفورماتور می‌گردد.
- ✓ آسیب به سیم‌پیچ یا فشارهای شدید ناشی از اتصال کوتاه
- ✓ آسیب بوشینگ های ترانسفورماتور به دلیل کاهش قدرت عایق داخلی

پس از بررسی دلایل بروز خرابی ، حال به علل عمده خرابی در ترانسفورماتورها می‌پردازیم.

۱-۲) علل خرابی ترانسفورماتور

برای نظارت بر پارامترهای مرتبط نیاز است که علل اصلی خرابی در ترانسفورماتور را بررسی کنیم. علل اصلی خرابی ناشی از مورد تنش قرارگرفتن سیستم عایقی است. خرابی ها معمولاً ناشی از علل ذیل می‌باشند:

- تنش های الکتریکی
- تنش های الکترومغناطیسی
- تنش های عایقی
- تنش های حرارتی
- تنش های شیمیایی

این تنش‌ها قابلیت دی‌الکتریک ترانسفورماتور را کاهش می‌دهد و احتمال خرابی را افزایش می‌دهد. علت اصلی آلودگی روغن، اختلالات الکتریکی و تجزیه حرارتی است. آلاینده‌هایی که به‌صورت معمول در روغن ترانسفورماتور یافت می‌شوند عبارت‌اند از: رطوبت، لجن، گازهای محلول و اسیدها که به بیان عوامل به وجود آورنده و اثرات آن‌ها می‌پردازیم:

الف) رطوبت

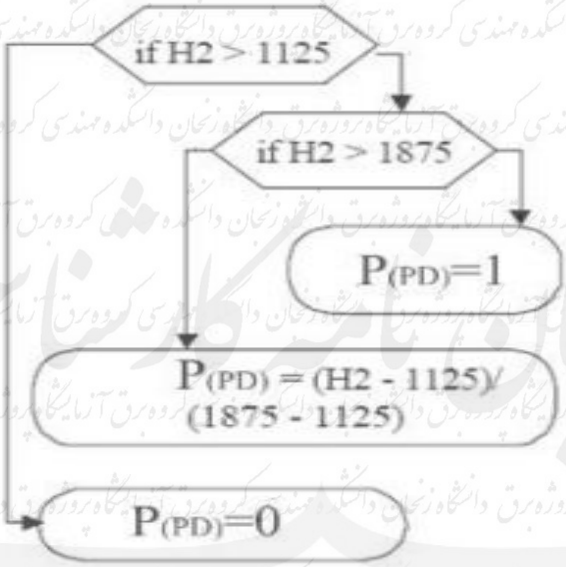
حضور حتی یک درصد بسیار کم از رطوبت در روغن، از دیدگاه عایقی بسیار مضر است، زیرا تا حد زیادی بر خواص دی‌الکتریک روغن و عایق‌های جامد ترانسفورماتور تأثیر می‌گذارد. هنگامی‌که ترانسفورماتور با روغن پر می‌شود، کاغذ رطوبت را از روغن (به علت ماهیت هیگروسکوپیک کاغذ) جذب می‌کند و بر روی ویژگی‌های عایق تأثیر می‌گذارد و درنتیجه باعث کاهش عمر آن می‌شود. منشأ آب می‌تواند از دو منبع زیر باشد:

اتمسفر:

- از طریق نفوذ ژل سیلیکا (سیلیکای خشک همیشه آبی‌رنگ است)
- از طریق نشتی به تجهیزات برق، مسدود کردن بد بدنه، عایق ترک‌خورده، پوشش لولای شل، دیافراگم انفجار پراکنده و غیره

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.



شکل ۴-۸: طریقه محاسبه میزان احتمال وقوع تخلیه جزئی به‌وسیله روش مقادیر آستانه گازها (فازی شده)

نتیجه‌گیری

ترانسفورماتور اصلی‌ترین تجهیز تأمین برق در شبکه قدرت بوده و شناسایی عیوب احتمالی آن برای جلوگیری از قطعی‌های احتمالی بسیار حائز اهمیت است. پس پایش وضعیت ترانسفورماتور به دلایل مختلفی صرفه اقتصادی و تجاری داشته و بایستی این پایش وضعیت به‌گونه‌ای ارزیابی گردد تا پیش از قطعی یا خرابی تشخیص داده شود. این شکست‌ها عموماً به دلایل الکتریکی، الکترومغناطیسی، حرارتی، عایقی و شیمیایی رخ می‌دهند و باعث لرزش و تولید گازها و واکس و لجن و ... در داخل ترانسفورماتور می‌شود. پایش دائمی ترانسفورماتور، به‌عنوان ارزشمندترین عنصر شبکه برق‌رسانی، به‌منظور بهره‌گیری از مزایای آن در زمینه‌های مدیریت، بهره‌برداری، نگهداری و تعمیرات ترانسفورماتور همواره مدنظر بوده است. علیرغم کوشش‌های بسیاری که در زمینه شناسایی پارامترهای ضروری پایش و نحوه تأثیر آن‌ها بر عملکرد ترانسفورماتور انجام‌شده است، مدل جامعی که مجموعه نیازمندی‌های کلیه مؤسسات و شرکت‌های درگیر با موضوع ترانسفورماتور را پاسخ دهد ارائه نشده است. هدف این پروژه معرفی مدلی برای پایش ترانسفورماتور و تحلیل وضعیت آن بوده است. ویژگی‌هایی که باید در مدل مطلوب پایش برخط ترانسفورماتور مدنظر قرار گیرد، ضرورت تشکیل مرکزی برای ارائه خدمات جامع در این حوزه را عیان می‌سازد. به همین منظور روش‌های بسیاری برای تحلیل پایش وضعیت ترانسفورماتور ارائه گردیده است که هر یک ازاین‌روش‌ها برای نوع خاصی از عیوب کارآرایی بیشتری دارند. در تمامی مدارات

آشکارساز این روش‌ها نیز معرفی گردیده‌اند که توسط این مدارات می‌توان نوع عیب ترانسفورماتور را تشخیص و در جهت بهبود و اصلاح آن گام برداشت. در بین تمامی این روش‌ها، تحلیل گازهای محلول در روغن (DGA) به‌عنوان بروزترین و کارآراترین روش بوده که امروزه در بسیاری از آزمایشگاه‌ها جهت تست ترانسفورماتور استفاده می‌شود. همچنین در این تحلیل‌ها می‌توان از منطق فازی نیز استفاده نمود که موجب کارآیی و بازده هر چه بیشتر این روش‌ها و شناسایی دقیق‌تر هر نوع عیبی می‌گردد و تشخیص خطا را در شرایط مرزی نیز مهیا می‌کند. ازآنجایی‌که می‌توان از روش‌های هوشمند مختلفی برای اهداف مشکوک استفاده نمود، در این پروژه به کمک منطق فازی، مطابق استاندارد معتبر، تشخیص عیوب عایقی مهم ترانسفورماتورها انجام گرفت و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. با توجه به نتایج حاصله و همچنین قیود اولیه، روش فازی پاسخ دقیق‌تری را ارائه نموده است. لیکن ازآنجایی‌که به دست آوردن قواعد فازی گاها مشکل و دشوار است اخیراً بیشتر از روش شبکه‌های عصبی برای تشخیص حالات مختلفی استفاده می‌شود.

مراجع

۱) ح.محسنی، «مهندسی فشارقوی الکتریکی پیشرفته»، انتشارات دانشگاه تهران، شماره استاندارد بین‌المللی کتاب ۲-۳۴۱۶-۰۳-۹۶۴، فروردین ۱۳۷۳، تهران، ایران

۲) ا.رحیم‌پور و ح.محسنی، «روش‌های نوین مانیتورینگ ترانسفورماتور»، انتشارات دانشگاه زنجان،۱۳۸۵.

۳) مهدی رمضانی "راهنمای آزمایش‌ها و تعمیر و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت " بر اساس استاندارد IEEE،۱۳۸۹.

۴) امیرحسین زائری، رحمت ا... هوشمند، محمدحسین کافی، " تعیین هوشمند خطا در ترانس‌های قدرت با استفاده از آنالیز گازهای غیرمحلول بر اساس استانداردهای مختلف با استفاده از منطق فازی "، فصلنامه علمی-تخصصی مهندسی برق مجلسی، سال اول، شماره ۲، صفحه ۳۳-۳۸، پاییز ۱۳۸۶.

۵) میرزایی، ح، ر، اکبری، ا، جعفری، ع، م، و خارزی، م، " نسل جدید سیستم‌های اندازه‌گیری تخلیه جزئی و کاربرد آن‌ها در تشخیص نوع عیب عایقی تجهیزات فشارقوی "، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، سال ۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸.

۶) مهدی بیگدلی، مهدی وکیلیان، ابراهیم رحیم‌پور، " بررسی روش‌های مقایسه تابع تبدیل به‌منظور تشخیص عیب سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور " بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق- ۱۳۸۸ تهران، تهران

۷) مرتضی اسلامیان، وحید نبئی، ابراهیم ولدخانی "ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن "اولین نمایشگاه و کنفرانس بین‌المللی ترانسفورماتور،۱۳۹۳.

۸) شرکت ایران ترانسفو،۱۳۸۳، راهنمای ترانسفورماتورهای توزیع روغنی (۲۵ الی ۵۰۰۰ کیلوولت آمپر)

9) Belkasim, S. O, Shridhar, M, and Ahmadi, M. "Pattern Recognition with Moment Invariants: A Comparative Study and New Results," IEEE Trans. On Pattern Recognition, 24(12), 1117-1138, 1991.

10) Markalous, S.; Tenbohlen, S.; Feser, K., “Detection and location of partial discharges in power transformers using acoustic and electromagnetic signals”, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 2008

11) Rahimpour, E., Christian, J., Feser, K., Mohseni, H.: „Transfer function method to diagnose axial displacement and radial deformation of transformer windings“, IEEE Trans. Power Deliv., 2003, 18, (2), pp. 493–505

12)] Tenbohlen. S, S.Ryder. “Making Frequency Response Analysis measurement: a Comparison of the Swept frequency and Impulse Response Methods”, Proceedings of 13th International Symposium on High Voltag Engineering, Delft, Netherlands, 2003.

13) Petkova Nikolina, Miadenov Valeri, Tsolov Angel, Nakov Petar and Bozukov Georgi, "Study and Analysis of Systems for Monitoring in Power Substations", 15th WSEAS international conference on Systems, Wisconsin, USA, 2011.

14) H. Bartley P.E William, "Analysis of Transformer Failures", International Association of Engineering Insurers 36th Annual Conference – Stockholm, 2003.

15) Dias G.A.D, Ostermaan R, Layher M.R, Gewher O.P, Correa S.M, Gazzana D, Tello M, dos Santos C.F.H and Santana B, "Transformer Management System", 5th

WSEAS int. Conf. on Power System and Electromagnetic Compatibility, Corfu, Greece, August 2005.

16) M. Moradi, and A. Gholami, “Transformer Condition Assessment Via Oil Quality Parameters and DGA” International Conference on Condition Monitoringand Diagnosis, Beijing, China, April 21-24, 2008.

17) G.Swift, T. S. Molinski, and W. Lehn, “Afundamental approach to transformer thermalmodeling—Part I: Theory and equivalentcircuit”, IEEE Trans. Power Del., Vol. 16, No. 2, April 2001,pp. 171–175.

18) M. Arshad, S. M. Islam and Abdul Khaliq, “Power Transformer Asset Management,” in proc. International Conference on Power System Technology PowerCon 2004, Vol. 2, pp 1395, 1398, Nov. 2004.

19) A.G.Starr,"A Structured Approach to the Selection of Condition Based Maintenance",5th International Conference on FACTORY 2000,IEE,131-138,1997.

20) IEEE C57.104, “IEEE Guide for the interpretation of gases generated inoil immersed transformer”, 1991.

21) K. Tomsvic, M. Tapper, T. Ingvasson, "A Fuzzy Information Approach to Integrating Different Transformer Diagnostic Methods", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 8 No. 3, July 1993,pp1638-1646.

22) E. Gockenbach: A Diagnosis and Condition Monitoring System for the Insulation System of Power Transformers, CMD 2006, 2006, Changwon, Korea.