دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان :

بررسی اثرات مخرب رطوبت در ترانسفورماتورهای قدرت و مزایای اندازه گیری آن به روش آنلاین

استاد راهنما: : دکتر سعید جلیل زاده

نگارش: : علی اکبر آب شالان

تابستان ۸۹

چکیده

رطوبت به عنوان یکی از عوامل مخرب، نقش مهمی در کاهش عمر عایقی ترانسفورماتور دارد. عمر عایقی کاغذ متناسب با مقدار رطوبت آن است به طوری که اگر مقدار رطوبت کاغذ دو برابر شود عمر آن به نصف کاهش می‌یابد. از طرف دیگر افزایش رطوبت در نواحی با شدت میدان الکتریکی بالا موجب کاهش آستانه شروع تخلیه جزیی و افزایش شدت آن می‌شود و در نهایت باعث وارد شدن خسارات جدی به ترانسفورماتور می‌شود. در ترانسفورماتورها معمولاًمقداری رطوبت طی فرآیند خشک کردن باقی می‌ماند که به مرور زمان این مقدار در اثر رطوبت هوا و تجزیه روغن و مواد سلولزی بیشتر می‌شود. از آنجایی که میل ترکیبی کاغذ به جذب رطوبت خیلی بیشتر از روغن است بیشتر رطوبت جذب کاغذ می‌شود. توزیع میزان رطوبت بین سیستم عایقی ثابت نبوده و بسته به شرایط کارکرد ترانسفورماتور تغییر می‌کند. حرکت رطوبت از کاغذ به روغن بسیار وابسته به دما است به طوری که با افزایش دما رطوبت از کاغذ به روغن وارد می‌شود و باعث کاهش استحکام عایقی روغن می‌شود. در حال حاضر روغن ترانسفورماتور به صورت دوره‌ای نمونه‌برداری می‌شود و به روش آفلاین[1] رطوبت آن اندازه‌گیری و در صورت لزوم تصفیه می‌شود. از آنجایی که نمونه‌برداری به صورت دوره‌ای است ممکن است در زمان مناسب صورت نگیرد و علاوه بر آن اندازه‌گیری به روش آفلاین دقت مناسبی ندارد.

امروزه با توجه به اهمیت شناسایی به موقع رطوبت از روش‌های آنلاین[2] جهت اندازه‌گیری آن استفاده می‌شود که به صورت مداوم مقدار رطوبت روغن را اندازه‌گیری می‌کند. در این سیستم در صورت افزایش رطوبت با تولید آلارم، بهره‌بردار جهت انجام تست دوره‌ای مطلع شود.

[1] - Off-line
[2] -On-line

فهرست

عنوان	صفحه
فصل اول- اثرات مخرب رطوبت	۱
۲.۱. آب در ترانسفورماتورهای توسط کاغذ و روغن عایق شده	۱
۱.۲.۱. انتشار و تعادل رطوبت	۱
۲.۲.۱. مقدار تعادل و رطوبت نسبی	۲
۳.۱. محلول آب در روغن	۳
۴.۱. حلالیت آب در سلولز	۵
۵.۱. اندازه گیری رطوبت	۶
۱.۵.۱. اندازه گیری رطوبت از طریق وزن - کارل فیشر تیتراسیون	۶
۲.۵.۱. اندازه گیری رطوبت از طریق سطح اشباع – پروبهای خازنی	۹
۶.۱. نمودار تعادل رطوبت	۱۰
۱.۶.۱. استفاده کاربردی از نمودارهای تعدل	۱۰
۲.۶.۱. نمودارهای تعدیل شده به ظرفیت جذب رطوبت	۱۲
۳.۶.۱. نمودارهای تعادل پیشرفته تعدیل شده	۱۵
۴.۶.۱. کاربرد در سیستم های مانیتورینگ آنلاین	۱۸
۷.۱. اندازه گیری آب فعال	۱۸
فصل دوم- آشنایی با سیستم مانیتورینگ	۲۱
۲-۲- روشهای مختلف مانیتورینگ	۲۷
۲-۲-۱- آنالیز گازهای حل شده در روغن	۲۷
۲-۲-۲- اندازه‌گیری استقامت الکتریکی روغن	۲۷
۲-۲-۳- اندازه‌گیری ضریب تلفات عایقی	۲۸
۲-۲-۴- اندازه‌گیری حرارت	۲۸
۲-۲-۵- روش پاسخ دی الکتریک	۲۹
۲-۲-۵-۱- روش ولتاژ برگشتی (RVM)	۲۹
۲-۲-۵-۲- جریان دپلاریزه(PDC) یا جریان Relaxation	۲۹
۲-۲-۵-۳- اسپکتروسکوپی در حوزه‌فرکانس (DSFD)	۲۹
۲-۲-۶- اندازه‌گیری تخلیهٔ جزئی	۳۰
۲-۲-۶-۱- باند باریک	۳۰
۲-۲-۶-۲- باند عریض	۳۰
۲-۲-۷- روش تشخیص عیب بوشینگ	۳۱
۲-۲-۷-۱- تست ضریب تلفات عایقی $(\tan\delta)$	۳۱
۲-۲-۷-۲- تست مقاومت عایقی (dc) یا مِگر	۳۱
۲-۲-۷-۳- تست روغن درون بوشینگ	۳۲
۲-۲-۷-۴- اندازه‌گیری تخلیهٔ جزئی	۳۲
۲-۲-۷-۵- اندازه‌گیری خازن بوشینگ بطور پیوسته	۳۲

۲-۲-۸- آنالیز تابع تبدیل ۳۲
۲-۲-۸-۱- روش آزمایش ضربهٔ فشار ضعیف (LVI) ۳۴
۲-۲-۸-۲- روش آزمایش ضربهٔ فشار قوی (HIV) ۳۵
۲-۲-۸-۳- روش پاسخ فرکانسی (FRA) ۳۵
فصل سوم-مزایای سیستم های مانیتورینگ آنلاین (On-line) ۳۷
۱.۳. مزایای سیستم مانیتورینگ آنلاین (On-line) از نظر فنی ۳۷
۱.۱.۳.قابلیت‌های سیستم‌های مانیتورینگ آنلاین (On-line) ترانسفورماتور ۳۹
۱.۱.۱.۳. اندازه‌گیری دماهای بالا و پایین روغن ۳۹
۲.۱.۱.۳. محاسبه دمای نقطه داغ سیم‌پیچ ۳۹
۳.۱.۱.۳. اندازه‌گیری و نمایش ولتاژ و بار و توان ۴۰
۴.۱.۱.۳. محاسبه پیری حرارتی عایق ترانسفورماتور ۴۰
۵.۱.۱.۳. آشکار سازی گازهای محلول ۴۱
۶.۱.۱.۳. اندازه‌گیری رطوبت در روغن ۴۱
۷.۱.۱.۳. کنترل سیستم خنک‌کنندگی ۴۲
۸.۱.۱.۳. پیش‌بینی زمان سرویس تجهیزات سیستم خنک‌کننده ۴۲
۹.۱.۱.۳. اندازه‌گیری دمای روغن تپ‌چنجر ۴۲
۱۰.۱.۱.۳. نمایش وضعیت تپ(Tap-Position) ترانسفورماتور ۴۳
۱۱.۱.۱.۳. پیش‌بینی زمان سرویس قطعات تپ‌چنجر ۴۳
۱۲.۱.۱.۳. تعیین عملکرد رله‌های حفاظتی ۴۳
۱۳.۱.۱.۳. محاسبه ظرفیت اضافه بار ۴۳
۲.۱.۳. ویژگی‌های سیستم مانیتورنیگ آنلاین(On-line) ترانسفورماتور ۴۵
۲.۳.بررسی مزایای اقتصادی سیستم های مانیتورینگ آنلاین (on-line)مبتنی بر تجربه برای ترانسفورماتور قدرت ۴۵
۲.۲.۳ . شرح سیستم مانیتورینگ ۴۷
۱.۲.۲.۳. نصب سنسور ۴۸
۲.۲.۲.۳. معماری ۴۹
۳.۲.۲.۳. توزیع و نظارت داده های مانیتورینگ ۵۰
۳.۲.۳. تجربه عملی ۵۱
۱.۳.۲.۳. اکتیو پارت ۵۲
۱.۱.۳۲۳.مقدار گاز در روغن ۵۲
۲.۱.۳.۲.۳. رطوبت روغن ۵۳
۲.۳.۲.۳. بوشینگ ۵۴
۱.۲.۳.۲.۳. تشخیص اضافه ولتاژها ۵۴
۲.۲.۳.۲.۳. تغییرات ظرفیت خازنی ۵۶
۳.۲.۳.۲.۳. فشار در بوشینگ غوطه ور در روغن ۵۸

۳.۳.۲.۳.تپ چنجر قابل تنظیم تحت بار ۵۹
۱.۳.۳.۲.۳. موقعیت تپ چنجر ۵۹
۲.۳.۳.۲.۳. بررسی وضعیت مکانیکی ۵۹
۴.۳.۲.۳. واحد خنک کننده ۶۲
۴.۲.۳.محاسبه اضافه بار ۶۳
۵.۲.۳. کنترل واحد خنک کننده ۶۵
۶.۲.۳. مزایای اقتصادی سرویس های مانیتورینگ ۶۵
۱.۶.۲.۳.پیشگیری از شکست و از کار افتادگی ۶۵
۲.۶.۲.۳.اجتناب از خسارات جنبی ۶۹
۳.۶.۲.۳. استفاده در شرایط مبتنی بر نگهداری به جای زمان مبتنی بر تعمیر و نگهداری ۷۰
۴.۶.۲.۳.ظرفیت اضافه باری بهتر ۷۱
۵.۶.۲.۳. پرهیز از سرمایه گذاری ۷۲
نتیجه گیری ۷۳
منابع و مأخذ ۷۴

فصل اول- اثرات مخرب رطوبت

۱.۱.مقدمه

ارزیابی قابل اطمینان از حالت پیر شدن ترانسفورماتور قدرت ولتاژ بالا شرط اساسی برای سرویس شکست امن و صرفه جویی در هزینه است. رطوبت در روغن و سلولز شتاب دهنده پیری و تعیین کننده چرخه عمر عایق ترانسفورماتور در کنار دیگران است. نمودار رطوبت تعادل نمایانگر رطوبت در سلولز و در روغن تحت شرایط تعادل در دماهای مختلف است. تنها تعداد کمی از تحقیقات در خصوص تعادل رطوبت وجود دارد و علاوه بر آنها این مفهوم را می رسانند صرفا مطالب جدید است.این تحقیق ابتدا با استفاده از مواد اضافی در سالمندان ، در مرحله دوم توسط نمایندگی پیشرفته و ثالثا با استفاده از محتوای آب فعال است نمودار تعادل را بهبود می بخشد. نتایج برای ارزیابی دقیق تری از رطوبت ترانسفورماتوردر بهره برداری ، خصوصا در سیستم آنلاین کنترل خودکار است.

۲.۱. آب در ترانسفورماتورهای توسط کاغذ و روغن عایق شده

۱.۲.۱. انتشار و تعادل رطوبت

سیستم تمایل دارد به تعادل برسد چون در این حالت آنتروپی سراسری بالاترین است. لذا مقدار ثابت تعادل به پتانسیل های ترمودینامیکی و شیمیایی سیستم بستگی دارد. تبادل آب بین سلولز و نفت به حلالیت آب در دما بستگی دارد. با افزایش دما پتانسیل شیمیایی در سلولز برای جذب آب کاهش می یابد در حالی در نفت افزایش می یابد. بنابراین تمایل به رسیدن به بالاترین آنتروپی ممکن مولکول های آب را مجبور می

کند تا از سلولز به نفت اتشار پیدا کنند. برای کاهش دما واضح است که راه دیگری وجود دارد.زمانی به تعادل ترمودینامیکی می رسد که خواص ماکروسکوپی (نظیرفشار ، دما و غیره) آن را متوقف به با زمان تغییر پیدا کند. تا کنون در ترانسفورماتور قدرت تعادل ترمودینامیکی سراسری به سختی بدست آمده است. ثابت زمان در دمای کم بسیار طولانی است.

دمای همگن و توزیع فشار در طول خدمت غیر ممکن است. با این حال تعادل ترمودینامیکی محلی (LTE) رخ خواهد داد. برای LTE خواص ماکروسکوپی در فضا و زمان مختلف هستند ، ولی تا به آرامی، که برای هر نقطه تعادل ترمودینامیکی می تواند در برخی همسایگی در مورد آن نقطه می تواند فرض شود. بنابراین LTE رخ خواهد داد اگر ترانسفورماتور در بار ثابت با زمان کافی به کار گرفته شود. لذا نمودارهای تعادل قابل کاربرد هستند، اما کاربرد انها محدود به نواحی با LTE مشخص است. در دماهای پایین حتی LTE وجود نخواهد داشت.

۲.۲.۱. مقدار تعادل و رطوبت نسبی

انتشار رطوبت برای ایجاد تعادل در راه تلاش می کند ، که پتانسیل آب (Ψ) درهرنقطه درسیستم یکسان می باشد. پتانسیل آب یا انرژی آزاد گیبس در بخش خاص حالت ترمودینامیکی آب در مواد اولیه و اندازه گیری تعادل را توصیف می کند.

با توجه به معادله ۱ (۱) بیش از همه آن به فعالیت آب(a_W) ، بیشتر در مورد دمای کلوین (T) ، ثابت گاز (R)و وزن مولکولی آب (M_W) بستگی دارد.

$$\Psi = \frac{RT}{M_W} \ln(a_W)$$

فعالیت آب اندازه گیری مستقیم وضعیت انرژی آب در مواد می باشد. آن عددی وابسته به رطوبت نسبی(C_W) است که

$C_W = a_w\ 100\%$

می باشد.

بنابراین تبادل رطوبت می تواند توسط یک گزاره ساده شرح داده شود : رطوبت نسبت به سطح اشباع (C_W) ، که در کنار مواد نوشته می شود برابر است.

$$C_{w,rel,air}=C_{w,rel,cel}=C_{w,rel,oil}$$

از این طریق LTE و بالاترین آنتروپی در سیستم محقق می شود.

۳.۱. محلول آب در روغن

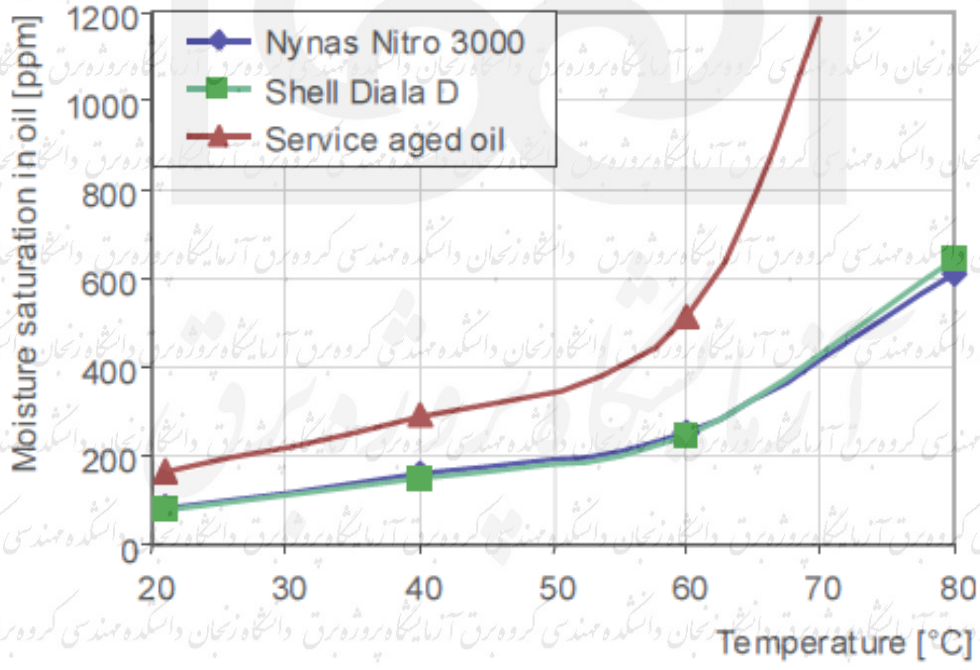
روغن معدنی خالص ترانسفورماتور متشکل از هیدروکربن های اشباع شده مانند پارافینها و نفتنها می باشد.به دلیل ساختار غیر قطبی مولکول خود روغن خالص نمی تواند آب را در خود حل کند. با این حال در عایق روغن ترانسفورماتور قدرت به دلیل آلودگی باقی مانده از تصفیه خانه ، پیری فراوردههای فرعی و ذرات سلولز آلوده می شود. بنابراین می توانند آب را درخود حل کنند و در حالت های زیر است :

- متصل به پیری فراوردههای فرعی پیری توسط واندروالها و پیوندهای هیدروژنی
- جذب ناخالصی دیگرالیاف سلولزی
- قطره های کوچک ، هنگامی که از سطح اشباع فراتر رفته باشد.

مقدار رطوبت (C_W) معمولا به وزن روغن (PPM که مقدار روغن بر حسب گرم تقسیم برمقدارآب بر حسب میکروگرم می باشد) و یا به سطح اشباع بر حسب درصد بستگی دارد.

$$C_{W,rel} = \frac{C_W}{C_{W,S}} \cdot 100\%$$

دلیل اینکه روغن معدنی به دلیل اکسیداسیون رو به زوال می رود اینست که به سایر عوامل نظیر سطح اکسیژن ، دما و رطوبت بستگی دارد. محصولات فرسودگی الکل ها ، آلدئیدها ، کتون ها و در نهایت اسیدها می باشد. همه محصولات این اکسیداسیون ذاتا" قطبی هستند و می توانند زنجیره های هیدروژن و وندروالها را در هم آمیخته کنند و در نتیجه باعث حل شدن آب در روغن می شوند. زنجیره های واندروالس برپایه تعامل دو قطبی می باشند (جاذبه بارهای ناهمنام).این زنجیره بین آب ومحصولات فرسودن روغن وهمچنین بین مولکولهای آب اتفاق می افتد چنان که آب به شکل قطره ها می شود اگر مقدار آن از سطح اشباع فراتر رفته باشد.زیرا محصولات فرسودگی در روغن معدنی می نوانند آب را در خود حل کنند.حلالیت و سطح اشباع با فرسودگی افزایش می یابد.به شکل زیر نگاه کنید:



شکل۱- سطح اشباع رطوبت نیترو نیناس ۳۰۰۰ جدید ، شل دیالا دی جدید و روغن ۲۵ ساله کارکرده .

۴.۱. حلالیت آب در سلولز

تخته فشرده و کاغذ مصرفی به عنوان مواد عایقی تا ۹۰ درصد از سلولز،۳ تا ۷ درصد هم از lignin و pentosan تشکیل شده اند.درادامه توضیحات سلولز باید نام جامعی برای مواد عایقی مانند تخته فشرده ،تخته ترانسفورماتور(ساخته شده توسط ویدمن) ، کاغذ کرافت (کاغذ عایق بندی) وکاغذ حرارتی ارتقا یافته تعریف کرد.سلولز متشکل از زنجیره گلوکز قطبی است و در نتیجه قادر به حل کردن مقادیر بالایی از آب در حالت های زیر است :

- به شدت گروههای OH^- با زنجیره های هیدروژنی تشکیل زنجیره های قویتر می دهند.
- پیوند ضعیف توسط وندروالها ، ممکن است مولکول های آب لایه های چند گانه جذب شده به زنجیره گلوکز را تشکیل دهند.
- اتفاق افتاده توسط نیروهای مویرگی
- همانند آب آزاد در مویرگ ها

توانایی آن برای حل کردن آب ، بسته به دما، در مقایسه با نفت هزار بار قویتر است. عایق روغن به عنوان وسیله ای برای انتقال آب ، نه به عنوان یک وسیله ذخیره سازی بکار گرفته می شود.

هیدرولیز تسلط روند پیرشدن فرض می شود. این کاهش درجه پلیمریزاسیون (داده پردازی ، تعداد حلقه در هر زنجیره ای مشترک گلوکز سلولز ، به **شکل۲ نگاه** کنید) از حدود ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ به حدود ۲۰۰تا۴۰۰ در پایان عمر سلولز می باشد.

نتیجه گیری

توجیه برای سیستم مانیتورینگ در حین کار(on-line)روی ترانسفورماتورهای قدرت این است که تاسیسات الکتریکی برای کاهش هزینه های عملیاتی و بهبود دسترسی آنها و قابلیت اطمینان تجهیزات نیاز دارند. ارزیابی داده های به دست آمده توسط سیستم مانیتورینگ درحین کار (on-line) ،ظرفیت تشخیص شکستهای آینده در اکتیوپارت، بوشینگها ، تپ چنجر قابل تنظیم زیر بار و واحدهای خنک کننده را نشان می دهد. با استفاده از مزایای فناوری اطلاعات مدرن ، توزیع فن آوری اطلاعات در مورد وضعیت تجهیزات به راحتی می تواند با استفاده از فن آوری استاندارد مرورگر انجام شود.

وقتی که نصب سیستم مانیتورینگ درحین کار (on-line) شرح داده می شود، اندازه ، اهمیت و وضعیت ترانسفورماتور قدرت باید تجزیه و تحلیل شود. خصوصا برای ترانسفورماتورهای کهنه و درکل در مکان های راهبردی در شبکه های برقی ، سیستم مانیتورینگ درحین کار (on-line) ضروری و با ارزش می باشد زیرا اگر از شکست های اصلی پیشگیری کنیم،در هزینه ی خاموشی، تعمیر و خسارات جنبی مربوطه را می توان صرفه جویی کرد .

منابع و مأخذ :

منابع و ماخذ :

۱. بررسی اثرات مخرب رطوبت در ترانسفورماتورهای قدرت و معرفی مزایای اندازه‌گیری آن به روش ON-LINE _ مهندس بهیه شهبازی- مهندس مجتبی گیلوانژاد منبع : ماهنامه صنعت برق ۲۰-۰۹-۱۳۸۷

۲. Dr.Oleg Roizman, Valery Davtydov and jim _F06-WaterInPaper_Abstrac IEEE FALL 2006 _dukarm

۳. Y.Du,M.Zahn, B.C. _ Moisture Equilibrium in transformer paper-oil system February 1999 _ Lesieutre and A.V. Mamishev

۴. مونیتورینگ وضعیت عایق ترانسفورماتوربا استفاده از اندازه گیری جریان پلاریزاسیون و دی پلاریزاسیون_ناهید کیوانی _ بهزاد کیوانی

۵. Mike _Advanced on-line moisture measurement in power transformers CMD2006_Koch, Stefan Tenbohlen and Tobias Stril