

## نکاتی آموزنده در مورد نقش روغن و نحوه سرویس و آزمایشات مختلف بر روی ترانسفورماتورهای قدرت (بخش ۲)



■ مهندس امیرنظام آذرشب  
کارشناس مهندسی برق، مجتمع صنعتی سیمان تهران

### ۷- عدد خنثی سازی

اندازه گیری اسیدپتته کل روغن، مناسب ترین و سریع ترین راه ارزیابی قابلیت روغن برای عدم تشکیل اسید در سرویس بوده و افزایش آن مشخص کننده ضرورت احیاء یا تعویض روغن ترانسفورماتور می باشد. عدد خنثی سازی مشخص کننده میزان اسیدهای آزاد آلی و غیرآلی موجود در روغن بوده و بر حسب میلی گرم پتاس مورد نیاز برای خنثی کردن کل این اسیدهای آزاد در یک گرم روغن بیان می شود. اکسیداسیون روغن نتیجه واکنش بین هیدروکربن های موجود در روغن و اکسیژن می باشد. اکسیژن ممکن است به واسطه تماس روغن با هوای محیط در ضمن تنفس - یا همان دم و بازدم - ترانسفورماتور به صورت اتمسفری بوده و یا ممکن است به علت گاززدائی ناقص از روغن به صورت حل شده در آن باقی مانده باشد. همچنین اکسیژن می تواند از اثر حرارت بر عایق سلولزی بوجود آمده باشد. اکسیداسیون روغن یک واکنش زنجیره ای بوده که در اثر آن اسیدهای آلی و لجنی تشکیل می شود.

### ۸- رسوب یا لجن ته نشین شده

بالا رفتن رسوب و لجن ته نشین از میزان مشخص شده استاندارد، نشان دهنده نامناسب بودن روغن بکار رفته در ترانسفورماتور می باشد. میزان آلودگی و محصولات زوال روغن، مشخص کننده لجن قابل ته نشینی می باشد. میزان این آلودگی ها برای روغن در سرویس به وسیله نمونه برداری و آزمایش تعیین می شود. از طرف دیگر اسیدهای به وجود آمده، میزان لجن ایجاد شده را که بر روی سیم پیچ ها و دیگر قسمت های ترانسفورماتور رسوب خواهد نمود را افزایش می دهد. این مسئله از چرخش مناسب روغن و انتقال طبیعی حرارت نیز جلوگیری می کند و زوال مواد عایق را تسریع می بخشد که بسیار نامطلوب خواهد بود. برای جلوگیری از این رویدادها از مواد آلی که از عمل اکسیداسیون جلوگیری می کنند، به روغن می افزایند و به آن مواد بازدارنده یا پایدار کردن روغن در مقابل اکسیداسیون (آنتی اکسیداسیون) می گویند.

## ۹- افزودن مواد ضد اکسیداسیون در روغن

افزایش کردن مواد بازدارنده اکسیداسیون علاوه بر افزایش مقاومت روغن در برابر اکسید شدن نقش کاتالیزوری فلزات مانند مس سیم پیچها را در عمل اکسیداسیون خنثی می نماید. بنابراین مواد بازدارنده به قسمی انتخاب می گردند که مشخصات اصلی روغن را برای مدت طولانی زمان بهره برداری از آن حفظ نمایند. این زمان که در پایان آن اسیدیته روغن شروع به ظاهر شدن می نماید را دوره القایی می گویند.

بعد از پایان این دوره، روغن از مواد بازدارنده عاری می شود و فساد روغن شروع می گردد و پیشروی آن درست مانند روغنی است که از ابتدا بدون ماده بازدارنده بوده است.

از سال ۱۹۷۹ میلادی مصرف مواد افزودنی به مقدار کم جهت کاهش میزان اکسیداسیون، اهمیت ویژه ای در صنعت ساخت روغن های عایق پیدا نمود. در مورد روغن ترانسفورماتور، به علت شرایط خاص این روغن، از جمله زمان بهره برداری نسبتاً طولانی و شرایط کاربرد متعدد آنها، لزوم بررسی اثر و قابلیت این مواد و تعریف حد استاندارد برای آن، کاری طولانی و بس دشوار می نمود و مجوز به کار بردن مواد آنتی اکسیداسیون با احتیاط صادر می شد. با مرور زمان آزمایش های متعددی در آزمایشگاه انجام گردید و کارائی روغن ها مورد بررسی قرار گرفت و بر حسب نتایج حاصله، استفاده از روغن های محتوی آنتی اکسیداسیون اکنون رو به افزایش است.

## ۱۰- انواع مواد آنتی اکسیداسیون

مواد آنتی اکسیداسیون را بر حسب مکانیسمی که برای واکنش های اکسیداسیون محتمل است به دو گروه می توان تقسیم نمود:

- آنتی اکسیداسیون های مستقیم: این گروه واکنش های زنجیره ای اکسیداسیون را شکسته و از فعالیت پراکسیدها جلوگیری می کنند.

- آنتی اکسیداسیون های غیرمستقیم: این گروه فلزات را که به عنوان کاتالیست واکنش اکسیداسیون محسوب می شوند را از فعالیت باز داشته و یا حتی خنثی می کند.

## ۱۱- مخلوط کردن انواع روغن

گاهی به دلایلی روغن ترانسفورماتورها کم می شود و می بایستی به آن روغن اضافه نمود که اصلاحاً شارژ روغن می گویند. مخلوط کردن انواع مختلف روغن ها بدون مطالعه مجاز نمی باشد، زیرا از نظر بررسی امکان اختلاط روغن ترانس، بایستی کلیه موارد زیر به طور آزمایشگاهی مطالعه شود:

## ۱۱-۱- کلاس روغن های عایق

روغن ها دارای سه کلاس می باشند که دمای ریزش ویسکوزیته و اشتعال آنها فرق می کند.

## ۱۱-۲- ساختمان مولکولی شیمیائی

روغن ها با پایه نفتنیک و روغن های با پایه پارافنیک دارای عکس العمل های جداگانه می باشند.

## ۱۱-۳- میزان خاصیت اسیدی

روغن های دارای مواد افزودنی ضد اکسیدکنندگی و بدون مواد افزودنی؛ درجه اسیدی و مقدار لجن مربوطه به خود را داشته و نباید مخلوط شوند. لذا در صورتی که اجبار به مخلوط کردن دو نوع روغن مختلف به میزان معینی باشد، می توان ابتدا مقداری از این مخلوط را با همان درصد اختلاط تهیه نمود. اگر پایداری مخلوط در برابر اکسیداسیون همچنان پابرجا بود و با توجه به درجه حرارت محیط بهره برداری، دمای منجمد شدن روغن و ویسکوزیته نتیجه قابل قبولی داشته باشد، مخلوط کردن دو نوع روغن با میزان در نظر گرفته شده بلامانع خواهد بود.

## ۱۱-۴- روغن های مخصوص

ترانسفورماتورهای با روغن های معمولی باید در مکانی به کار روند که در معرض آتش و انفجار نباشند و احتمال جرقه های دائمی در اثر قطع و وصل کلید وجود نداشته باشد. همچنین برای نصب ترانس در زیرزمین ها و مناطق مهم، دستورالعمل های خاصی وجود دارد. این موارد در سیستم های توزیع به علت شرایط محیط بهره برداری و محدودیت های اجرایی، کاربرد ترانس های مخصوص همچون ترانس های خشک و ترانس های مقاوم در برابر آتش سوزی و انفجار، بسیار کاربرد پیدا نموده است.

روغن هایی که در ترانس های مخصوص به کار می روند، قابل اشتعال نبوده و کهنه نمی شوند؛ پس لجنی نیز تشکیل نمی شود. اما از نظر اقتصادی نسبت به روغن های معمولی گران تر هستند. با در نظر گرفتن مناطق پرتراکم مانند شهرهای پرجمعیت و حتی سالن کارخانجات، استفاده از ترانس های مخصوص در زیرزمین ها و فضاهای محدود اجتناب ناپذیر می باشد. روغن های سنتزی مقاوم در برابر حریق برای این ترانس ها قابل استفاده می باشند، ولی خواص الکتریکی آنها مانند روغن های عایقی نمی باشند. این روغن ها همچنین لعاب عایق ها و همچنین لاستیک را در خود حل می نمایند. بنابراین آنها را نبایستی در ظروفی که دارای این پوشش ها هستند، به کار برد.

آن روغن را وارد یک محفظه نسبتاً بزرگ که خلاء شده است، می‌نمایند تا رطوبت آن بخار شود. برای جدا شدن رطوبت از روغن، سطح تماس روغن و هوا (خلاء) را زیاد می‌نمایند. این عمل یا به صورت پودر کردن روغن و یا پاشیدن آن به داخل محفظه خلاء انجام می‌گردد. در نتیجه استفاده از این سیستم علاوه بر گرفتن تمام آب آزاد از روغن، مقدار آب محلول در آن را تا مقدار ۱۰ ppm کاهش می‌دهند و مقدار گاز حل شده به ۰/۲۵ درصد حجم کاهش می‌یابد.

#### ۱۱-۵-۲- تصفیه فیزیکی شیمیایی روغن

در محل نصب ترانس معمول نیست. در اینجا در مورد نوعی تصفیه که اصطلاحاً احیاء فیزیکی شیمیایی خوانده می‌شود، صحبت خواهد شد. این تصفیه در صورتی لازم می‌شود که مشخصات روغن به مقادیر حدی جدول ۲ رسیده باشد.

جدول ۲- حد مشخصات روغن برای انجام تصفیه فیزیکی شیمیایی

|                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| شکست الکتریکی یا ولتاژ شکست      | حداقل ۳۰ کیلو ولت برای ۲/۵ میلیمتر |
| کشش بین سطحی آب و روغن           | حداقل $18 \times 10^{-2}$ N/M      |
| عدد اسیدی                        | حداکثر ۰/۴ mg KOH/g                |
| ضریب تلفات عایقی ( $^{\circ}$ C) | حداکثر $5 \times 10^{-2}$          |

در این روش علاوه بر تصفیه فیزیکی، روغن از خاک رنگ‌بر عبور داده می‌شود و خواص فیزیکی و شیمیایی آن تغییر می‌کند. خاک رنگ‌بر در ایران جهت تصفیه روغن نباتی خوراکی نیز مصرف زیادی دارد. با افزایش میزان اکسیداسیون، شرایط تشکیل لجن در روغن ایجاد می‌شود و چون عمل تصفیه فیزیکی به تنهایی قادر به جبران تغییرات شیمیایی ناشی از فساد روغن نیست، روغن به تدریج کارایی خود را از دست می‌دهد و بالاخره حالتی پیش می‌آید که تکرار عمل تصفیه فیزیکی تغییری در شرایط آن نشان نمی‌دهد.

برای این منظور علاوه بر تصفیه فیزیکی، به آن یک پمپ و یک منبع اضافه می‌گردد. در این منبع خاک رنگ‌بر ریخته شده و پمپ، روغن گرم را از این خاک عبور می‌دهد. در بعضی از دستگاه‌های تصفیه فیزیکی شیمیایی دو منبع خاک رنگ‌بر وجود دارد که در آن صورت زمانی که از یک منبع روغن عبور داده می‌شود، می‌توان خاک مصرف شده منبع دیگر را عوض نمود و آن را تمیز نموده و دوباره پر نمود. قیمت دستگاه اضافی برای تصفیه شیمیایی در مقایسه با عملکرد آن زیاد نیست و عمر آن به واسطه سادگی طولانی است.

با انجام عمل تصفیه فیزیکی شیمیایی عدد اسیدی به ۰/۰۲ میلی گرم KOH برای هر گرم روغن می‌رسد و دیگر

یکی از روش‌های افزایش دوام روغن در زمان بهره‌برداری، احیاء و بازسازی روغن است. در حال حاضر احیاء و اصلاح اغلب روغن‌ها عمل متداولی است. این عمل بر حسب شرایط بهره‌برداری از ترانس‌ها و کیفیت روغن در زمان بهره‌برداری به‌طور متناوب و یا بر حسب نتایج آزمایش روغن، انجام‌پذیر می‌گردد و مهمترین نقش اثر احیاء و اصلاح روغن، افزایش عمر مفید تجهیزات سیستم است. تصفیه روغن به دو صورت می‌باشد که هر دو شامل روش‌های تهنشین‌سازی، فیلتراسیون، سانتریفوژ و تصفیه مجدد می‌باشد.

هرگاه عمل تصفیه و احیاء روغن به صورت آگیری و خشک کردن روغن باشد، اصطلاحاً «تصفیه فیزیکی» خوانده می‌شود و زمانی که روغن به شرایط تشکیل لجن با افزایش میزان اکسیداسیون رسیده باشد، عمل تصفیه فیزیکی به تنهایی قادر به جبران و احیاء فساد روغن نمی‌باشد؛ لذا «تصفیه فیزیکی شیمیایی» روغن باید انجام گردد که در آن استفاده از فیلترهای فعال (اکتیو) مورد نظر است. در اینجا روغن در یک سیستم مستقل و متمرکز که طی آن با استفاده از عملیات مختلف پالایش مجدد روغن شامل تصفیه با حلال‌ها، تصفیه با اسید سولفوریک و فیلترهای فعال می‌باشد، شرایط روغن را می‌توان تا حد شرایط روغن نو ارتقاء داد. این روش برای مصرف‌کننده‌های بزرگ و یا کارخانه‌های ترانسفورماتورسازی و تعمیرات ترانسفورماتور با احیای شیمیایی روغن مقرون به صرفه می‌باشد.

بر مبنای نتایج آزمایش‌های فوق‌الذکر، اگر مشخصات تعیین شده جوابگوی مقادیر حدی استاندارد داده شده در جدول ۱ نباشد، می‌توان تصمیم به تصفیه فیزیکی گرفت.

جدول ۱- حد مشخص روغن برای انجام تصفیه فیزیکی

|                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| شکست الکتریکی یا ولتاژ شکست           | ۴۰ کیلو ولت برای ۲/۵ میلی‌متر      |
| عدد اسیدی                             | حداکثر ۰/۱ mg KOH/g <sub>oil</sub> |
| کشش بین سطحی آب و روغن                | حداقل $21 \times 10^{-2}$ N/M      |
| ضریب تلفات عایقی در ( $90^{\circ}$ C) | حداقل $15 \times 10^{-2}$          |
| مقدار آب                              | حداکثر ۳۵ ppm                      |

#### ۱۱-۵-۱- تصفیه فیزیکی روغن

این روش در ایران کاملاً معمول و رایج است. در این تصفیه، روغن به صورت پیوسته و در یک مدار بسته از قسمت پائین ترانس به کمک یک پمپ مکیده شده و گرم می‌شود. سپس روغن را از یک فیلتر عبور می‌دهند تا ذرات معلق آن جذب گردد. این فیلتر، خنثی و از جنس کاغذ و یا چینی است. بعد از

خواص روغن مانند ضریب تلفات عایقی و مقاومت مخصوص آن نیز در این تصفیه بهبود می‌یابد.

۱۱-۵-۳- دستگاه تصفیه فیزیکی شیمیایی روغن  
در شکل ۱ نمونه‌ای از دستگاه تصفیه فیزیکی شیمیایی نشان داده شده است.



شکل ۴- نمونه‌ای از دستگاه تصفیه فیزیکی شیمیایی

این تصفیه را می‌توان مانند تصفیه فیزیکی در سیستم بسته انجام داد. یعنی از ترانس روغن را مکیده و تصفیه نمود و دوباره وارد ترانس نمود. ولی اگر احتمال به وجود آمدن لجن برود و یا کاغذ ترانس رطوبت جذب کرده باشد، بهتر است ابتدا روغن را داخل یک منبع جداگانه که به این منظور کنار ترانس آورده می‌شود، وارد نموده و سپس سیم‌پیچی‌های کف تانک را از لجن تمیز نمود. برای تمیز نمودن سیم‌پیچ‌ها به آن روغن تمیز می‌پاشند و سپس با قرار دادن آن را خشک می‌کنند. بهترین روش برای خشک کردن کاغذ، خلاء می‌باشد و البته به شرط آنکه تانک ترانس قابلیت خلاء‌گیری را داشته باشد. خشک کردن به وسیله خلاء تنها قدری طول می‌کشد. در این روش بهتر است گرما هم وارد ترانس شود. برای این منظور در یک تانک جداگانه روغن را تا حد  $50^{\circ}\text{C}$  گرم می‌کنند و سپس آن را برای مدتی کوتاه وارد ترانس می‌نمایند و سپس دوباره روغن را خارج می‌کنند. البته برای سرعت عمل باید از الوهای بزرگ ترانس استفاده نمود و لوله‌های ضخیم به آن وصل کرد و از پمپ قوی روغن استفاده نمود و پر کردن تا نیمه اغلب به کار سرعت بیشتری می‌دهد و حرارت به قسمت‌های دیگر از طریق مس منتقل می‌گردد. باید دقت داشت که نقش عمده را خلاء بازی می‌کند و حرارت برای تبخیر آب است. گاهی نیز از هوای خشک و گرم برای این منظور استفاده می‌شود و سپس روغن تصفیه شده را وارد ترانس می‌نمایند. البته در اینجا نیز موقع وارد کردن روغن، ترانس تحت خلاء قرار دارد.

قسمت تصفیه فیزیکی شیمیایی جهت احیاء روغن پر شده در ترانس‌هایی که مدت زیادی کار کرده و یا معیوب شده و از مدار خارج گردیده‌اند، می‌باشد. این دستگاه امکان بهره‌برداری بیشتر را برای آنها به وجود می‌آورد و در ترانس‌هایی که روغن آنها بر اثر کارکرد زیاد روغن و یا ذرات معلق جامد نامحلول در آن فاسد شده باشد، استفاده می‌شود. خاک رنگ‌بر جذب کننده و خارج کننده این مواد از روغن می‌باشد و در واقع نوعی پالایش و نقش احیاء روغن را ایفا می‌کند.

منابع طوری ساخته شده‌اند که به صورت آونگ بوده و حالت چرخشی بر روی دو بازوی نگهدارنده خود را دارند و به راحتی با باز کردن درب منبع خاک رنگ‌بر، امکان تعویض و استفاده مجدد آن به راحتی انجام می‌گیرد.

#### ۱۲- خشک کردن ترانسفورماتور

در صورتی که به هر دلیلی سطح روغن ترانس برای مدتی پائین‌تر از سطح هسته و سیم‌پیچی داخل ترانس قرار گیرد، همچنین در صورتی که روغن موجود در ترانس یا روغنی که به آن افزوده می‌شود، مشکوک باشد؛ در این صورت احتمال جذب رطوبت توسط مواد عایق و در نتیجه پائین آمدن استقامت الکتریکی آنها وجود دارد. در چنین حالتی اگر ولتاژ استقامت الکتریکی عایق بین سیم‌پیچ‌ها و بدنه کمتر از ۳۰ کیلو ولت (طبق استاندارد ASTM-227) باشد، لازم است که عملیات خشک‌گردانی عایق و روغن داخل ترانس در محل انجام گیرد. خشک کردن ترانس در محل‌های مختلف به روش‌های متفاوت امکان‌پذیر می‌باشد. از جمله با استفاده از دستگاه‌های تصفیه روغن و خشک‌گردانی تحت خلاء که مورد استفاده آن

تصفیه فیزیکی شیمیایی با هزینه بیشتری همراه است. مقدار خاک لازم رنگ‌بر بستگی به میزان کهنگی روغن دارد و بین ۱ تا ۷ درصد روغن می‌باشد. ولی با توجه به قیمت این مقدار خاک رنگ‌بر در مقایسه با قیمت هر لیتر روغن نو جهت تعویض که باید از خارج وارد شود، این تصفیه بسیار به صرفه خواهد بود. به‌ویژه اگر ترانس تحت شرایط سخت نبوده و بیش از حد گرم نمی‌شود. عمل تصفیه فیزیکی شیمیایی فقط یک بار در طول عمر ترانس کفایت می‌نماید. با توجه به اینکه روغن تعویضی یا خارج شده از ترانس جز به عنوان یک سوخت نامرغوب مانند نفت مازوت ارزش دیگری ندارد. تفاوت قیمت تعویض روغن با تصفیه به کمک خاک رنگ‌بر قابل توجه می‌باشد. ضمناً باید متوجه بود که بر اثر باقی ماندن مقداری لجن در لابه‌لای سیم‌پیچ‌ها، روغن نو با سرعت بیشتری خراب می‌شود؛ به‌طوریکه هیچ فایده‌ای از این هزینه اضافی بدست نمی‌آید.



بیشتر در ترانس‌های بزرگ می‌باشد و در بخش قبل به آن اشاره شد. کاربرد آن در ترانس‌های توزیع در صورت لزوم می‌باید بر اساس دستورالعمل سازنده انجام گیرد.

ساده‌ترین روش متداول برای خشک کردن ترانس‌های کوچک، روش اتصال کوتاه و استفاده از گرمای حاصل از جریان الکتریکی در سیم‌پیچ ترانس است. در این روش می‌باید ابتدا جداره مخزن ترانس را در حد امکان با پوشش‌های عایق گرما پوشاند تا افزایش درجه حرارت آن سریع‌تر انجام گیرد. سپس با اتصال کوتاه سیم‌پیچی فشار ضعیف و اعمال ولتاژی معادل  $U=U_a * U_k / 100 \pm 10\%$  در طرف فشار قوی ترانس، جریانی معادل شدت جریان نامی در سیم‌پیچ‌های ثانویه آن برقرار نمود. در این رابطه  $U_k$  همان امپدانس اتصال کوتاه است که معمولاً روی پلاک مشخصه ترانس نوشته شده است. به عنوان مثال چنانچه  $U_k = 6\%$  باشد، ولتاژ اتصال کوتاه در سطح ۲۰ کیلوولت برابر  $U = 20000 * 6 / 100 = 1200$  ولت خواهد گردید.

برای خشک کردن یک ترانس توزیع به روش اتصال کوتاه وجود یک ترانسفورماتور افزایشده سه فاز با ولتاژ ثانویه ۱/۲ الی ۲ KV و ظرفیتی بیش از تلفات مس (تلفات اتصال کوتاه) ترانسفورماتور اصلی مورد نیاز می‌باشد. قبل از شروع عمل خشک کردن باید سطح روغن مخزن انبساط در جای مناسب خود باشد. پس از اعمال ولتاژ اتصال کوتاه می‌باید درجه حرارت روغن کم کم به ۹۰ الی ۱۰۰ درجه سانتیگراد برسد و درجه حرارت ترانس باید به مدت ۳ الی ۴ ساعت در این حد باقی بماند تا رطوبت موجود در روغن و مواد عایق آن به تدریج به منبع انبساط که درجه حرارت آن کمتر است، منتقل گردد. پس از این مدت باید روغن موجود در منبع انبساط را تعویض نمود و داخل آن را با روغن گرم شستشو داد و سپس به روشی که در زیر شرح داده خواهد شد آن را از روغن تازه شارژ و پر نمود.

#### ۱۳- روغن زدن و یا شارژ روغن ترانسفورماتور

در صورتی که منبع انبساط روغن در محل نصب گردیده یا ارتفاع سطح روغن بر روی درجه روغن‌نما با در نظر گرفتن تغییرات درجه حرارت محل، پائین‌تر از حد تعیین شده باشد، می‌باید مقداری روغن عایق به منبع انبساط اضافه شود. در این حالت چنانچه روغن عایق کارخانه سازنده در ظروف در بسته و مطمئنی در کارگاه موجود باشد، می‌توان آن را با اطمینان مورد استفاده قرار داد. به هنگام اضافه کردن روغن ترانس باید توجه داشت که اختلاف درجه حرارت بین روغن تازه و روغن موجود در ترانس نباید از ۵ درجه سانتیگراد تجاوز نماید. چنانچه سطح روغن ترانس پائین‌تر از درپوش آن باشد، باید

روغن به آرامی از دریچه بالای تانک به داخل آن ریخته شود و سپس این دریچه به خوبی مسدود و آب‌بندی گردد. سپس باقی روغن از دریچه مخزن انبساط ریخته شود تا از جمع شدن هوا در زیر درپوش جلوگیری به عمل آید. در این هنگام باید مجاری هواگیری بوشینگ‌ها باز باشد تا هوای موجود آنها تخلیه گردد. سپس به محض اینکه روغن از این مجاری سرریز نمود، پیچ‌های مربوطه باید محکم و آب‌بندی شوند.

جزئیات مربوط به هواگیری بوشینگ و مجاری آنها می‌باید بر اساس دستورالعمل‌های سازنده انجام شود. وقتی که سطح روغن به ارتفاع ۳۰ تا ۴۰ میلیمتری بالای خط نشان روی درجه روغن‌نمای منبع انبساط رسید، کار روغن‌زنی ترانس انجام شده است.

به هنگام هواگیری ترانس می‌باید دریچه بالایی رله بوخهلتز نیز به طور متناوب باز و بسته شود تا جریان روغن آن دیده شود. همچنین به منظور اطمینان از کارکرد درست رله بوخهلتز می‌باید ترانس را موقع نصب با قراردادن قطعات آهنی در زیر چرخ از طرف منبع انبساط روغن آن راه کمی بالاتر آورد تا بقایای هوای موجود و حباب‌های گازی که ممکن است در آن جمع شده باشد، به طرف رله بوخهلتز و منبع انبساط رانده شود. در عملیات روغن‌زنی باید توجه داشت که روغن مورد استفاده ترانس می‌باید از نظر همخوانی با کلیه نیازهای استانداردها چک شود و نیز کمبود روغن ترانس فقط با همان نوع روغنی که قبلاً در آن بوده است، جبران گردد. در طی این عملیات باید آتش‌گیر بودن روغن ترانس از نظر ایمنی بطور جدی مورد توجه قرار گیرد.

#### ۱۴- توصیه‌های کلی

با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان پیشنهادات زیر را با توجه به بهره‌برداری با راندمان بهتر و عمر طولانی‌تر از ترانس‌های قدرت در پست‌ها ارائه نمود. بدین طریق هزینه‌ای که صرف این برنامه‌ریزی می‌گردد، در طولانی مدت در ازای هزینه‌های سنگین و ناگهانی، صدمات جبران‌ناپذیر احتمالی ترانس‌ها که می‌تواند منجر به خروج آنها از شبکه با خسارات کلی و یا حتی منجر به تعویض کامل آنها و عمری کوتاه‌تر شود، جبران می‌گردد:

۱- طبق دستورالعمل‌های استاندارد در دوره‌های پیشنهاد شده از روغن ترانس نمونه‌برداری شده و به مراکز موجود آزمایش و کنترل روغن ارسال تا با حداقل وسائل لازم و صرف هزینه کمی، این آزمون‌های دوره‌ای انجام گردد.

۲- تغییر مشخصات این روغن‌ها که بهترین معرف تغییرات

تدریجی یا ناگهانی در کارکرد ترانس می‌باشد، در پرونده‌های مربوط به هر ترانس که در واقع تاریخچه کار آن می‌باشد، ثبت و نگهداری گردد.

۳- چنانچه نتایج آزمون، تغییرات نامطلوبی را نشان داد، علت آن پیگیری شده و چنانچه ناشی از تنش‌های الکتریکی ناگهانی و نامطلوبی در کار شبکه یا ترانس باشد، در جهت رفع آن برآمده و اگر ناشی از افزایش عمر روغن باشد، در حد مقادیر حدی تعیین شده در جداول باشد دستور تصفیه فیزیکی یا احیاء شیمیایی روغن و خشک کردن ترانس و یا پاک کردن آن از لجن صادر و تحت نظر کادر متخصص در کارگاه تعمیرات ترانس انجام گردد.

۴- نتایج کلیه آزمون‌ها، حتی پس از تصفیه نیز جهت پیگیری‌های بعدی ثبت گردد.

۵- با مهر و موم کردن کامل تانک ترانس و تعبیه امکانات انبساط روغن و دستگاه تنفس کننده (سیلیکاژل) روغن را کاملاً از هوا دور نگه داشته شود؛ زیرا یکی از عوامل تشدید فساد روغن حضور هوا می‌باشد.

۶- قبلاً توضیح داده شد که کنترل درجه حرارت روغن بسیار مهم است، زیرا افزایش  $4^{\circ}\text{C}$  تقریباً عمر موثر عایق سلولز را حدود ۳۰ درصد کاهش می‌دهد و فعل و انفعالات شیمیایی با افزایش درجه حرارت به اندازه  $8^{\circ}\text{C}$  مقدار دو برابر می‌گردد و به فساد روغن کمک می‌نماید، لذا با کاهش درجه حرارت محیط توسط تهویه، عمر آن را افزایش می‌دهیم.

۷- در فواصل زمانی مساوی مثلاً هر سه سال یک مرتبه در صورت امکان روغن ترانس‌های با ظرفیت بالا و مهم را با دستگاه تصفیه و فیلتراسیون بازسازی کنیم که این خود باعث کاهش مسائل روغن می‌گردد.

۸- از مخلوط کردن روغن‌ها با درجه آلودگی متفاوت و از محصولات مغایر با یکدیگر خودداری گردد.

## ۱۵- ادوات و تجهیزات روغن

### ۱۵-۱- دستگاه تست ولتاژ شکست

دستگاه آزمایش ولتاژ شکست برای مشخص کردن استقامت دی الکتریک عایق‌ها به کار برده می‌شوند. روش انجام آزمایش به صورت مشخص در منابع استاندارد (IEC-156) آورده شده است. لذا در اینگونه آزمایش‌ها عایق تحت ولتاژ متناوب فشار قوی قرار می‌گیرد تا شکست الکتریکی اتفاق بیافتد.

### ۱۵-۲- دستگاه آزمایش استقامت دی الکتریک (عایق‌های جامد)

ولتاژ شکست دی الکتریک مقدار ولتاژی است که در آن

اولین جرقه بین دو الکترود ظاهر می‌شود؛ خواه گذرا یا دائم باشد. طبق استاندارد IEC تعیین ولتاژ شکست برای روغن‌ها باید ۶ مرتبه تکرار شود و ولتاژ شکست الکتریکی روغن، مقدار متوسط شش نتیجه به دست آمده است (در استاندارد بریتانیا BS مقدار متوسط پنج نتیجه بعد از نتیجه اول منظور می‌گردد). به علت روتین و تکراری بودن روش آزمایش برای هر نمونه روغن، دستگاه‌های اتوماتیکی برای این کار در نظر گرفته شده است.

ساختمان این دستگاه‌ها به گونه‌ای است که برای آزمایش مواد عایق از جمله جامد، مایع و گازها قابل بهره‌برداری می‌باشد. تنظیم دستگاه و اجراء آزمایش بر مبنای استاندارد IEC-156 به شرح زیر می‌باشد:

فاصله هوایی برای گوی‌های با شعاع  $12/5$  میلی‌متر ( $0/5$  اینچ) که فاصله بین الکترودها  $2/5$  میلی‌متر و بر روی محور افقی قرار دارند، می‌باشد. برای این منظور محفظه و الکترودهای نرمال آزمایش روغن تدارک دیده می‌شود. جنس الکترودها از مس و برنج (برنز) یا فولاد ضدزنگ می‌باشد.

### ۱۵-۳- محفظه و الکترودهای آزمایش دی الکتریک روغن

بعد از اینکه از تمیز کردن محفظه مطمئن گردیدیم، محفظه را به آرامی تا خط مشخص شده بر روی آن پر می‌کنیم تا دیگر حباب هوا وجود نداشته باشد. دمای روغن باید حدود  $15$  تا  $20$  درجه سانتی‌گراد باشد. روش معمول انجام آزمایش بصورت تکراری برای ۶ مرتبه برای یک نمونه روغن توسط دستگاه اتوماتیک تست دی الکتریک انجام می‌باشد.

### ۱۵-۴- اجزاء دستگاه اتوماتیک تست دی الکتریک

اجزاء دستگاه اتوماتیک تست دی الکتریک به صورت زیر می‌باشد:

۱- ظرف شیشه‌ای آزمایش ( $0/41$  لیتری)

۲- محفظه فاراده (کلاهم محافظ)

۳- کنتاکت‌های کلاهم

۴- قفل کلاهم محافظ

۵- بهم‌زن روغن

۶- کلید نشان دهنده برای تنظیم وقفه زمانی

۷- نمایش دهنده ولتاژ فشار قوی

۸- کلید شروع آزمایش با چراغ کنترل

۹- کلید ولتاژ استقامت با چراغ کنترل

۱۰- کلید به هم زن با چراغ کنترل

۱۱- کلید نشان دهنده به همراه تنظیم افزایش ولتاژ

۱۲- کلید اصلی

۱۳- نمایش دهنده کلاhek محافظ

۱۴- نمایش دهنده ولتاژ (KV)

۱۵- نمایش دهنده کارکرد تایمر

#### ۱۵-۵- طرز کار دستگاه اندازه‌گیری استقامت دی الکتریک

بعد از تنظیمات مورد نظر و پر کردن محفظه از روغن نمونه برداری شده جهت آزمایش، کلاhek محافظ (محفظه فاراده) را بسته و قفل می‌کنیم. در کلیه دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار قوی، به خاطر اینکه با ولتاژهای بالا سر و کار دارند، علاوه بر ضرورت زمین کردن دستگاهها، از محفظه‌های ایمنی خاصی به نام محفظه‌های فاراده که به صورت کلاhek می‌باشد، استفاده می‌کنند. این کلاhek نقش حفاظتی در موقع انجام آزمایش دارد و در هر مرحله‌ای از انجام آزمایش که این کلاhek برداشته شود، جریان قطع شده و آزمایش متوقف می‌شود و باید برای ادامه از اول شروع نمود.

با زدن کلید اصلی، آزمایش شروع می‌شود. بر طبق استاندارد دوره زمانی میرا کننده‌ای وجود دارد که مقدار وقفه زمانی گفته شده و باید بعد از ریختن روغن صبر نمود و سپس ولتاژ اعمال نمود. کلید تنظیم زمان را در مقدار (صفر) قرار می‌دهیم. از طرف دیگر چون مقدار ولتاژ شکست به سرعت افزایش ولتاژ اعمالی (معکوس) نیز بستگی دارد، لذا باید مقدار (KV/S) را روی یکی از مقادیر محدوده‌های (۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵) ثابت نمود.

حال با زدن کلید شروع آزمایش، ولتاژ شروع به افزایش می‌نماید و نمایش دهنده ولتاژ مقدار آن را در هر لحظه نشان می‌دهد تا جایی که ولتاژ شکست اتفاق بیافتد و نتایج استقامت دی الکتریک معلوم شود. بعد از هر شکست به هم زن داخل روغن به طور خودکار برای مدت یک دقیقه شروع به کار کرده تا مسیر هادی شده بین دو الکتروود و حبابهای هوا ایجاد شده بین دو الکتروود را از بین ببرد. این اندازه‌گیری بعد از ثبت مقدار اول به صورت متوالی برای ۵ بار دیگر تکرار می‌شود که مدت زمان برای شروع آزمایش از هر شکست را می‌توان در مقادیر ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ دقیقه تنظیم نمود.

#### ۱۶- دستگاه تصفیه روغن ترانسفورماتور

در صورتیکه نتایج آزمایش روغن ضرورت انجام فیلتراسیون برای روغن ترانس را تجویز کند، با انتقال دستگاه تصفیه روغن به محل نصب ترانس، عمل تصفیه فیزیکی انجام خواهد شد. در این دستگاه که معمولاً جهت قرار گرفتن مواد معلق و ناخالصی

با استفاده از فیلترها می‌باشد و برای جدا کردن رطوبت روغن از سیستم آگیری در خلاء استفاده می‌شود. این روش در ایران کاملاً معمول و رایج می‌باشد. در این عمل، تصفیه روغن به صورت پیوسته و در یک مدار بسته از قسمت پائین ترانس و به کمک یک پمپ، مکیده شده و طی فرآیندی گرم و عمل فیلتر کردن آغاز می‌گردد.

شکل ۵ به صورت شماتیک یک دستگاه تصفیه روغن را نمایش می‌دهد. روغن ابتدا از یک فیلتر صافی فشرده عبور نموده و ذرات درشت تصفیه اولیه می‌شود. سپس روغن را وارد محفظه‌ای نسبتاً بزرگ نموده و گرم می‌نمایند. از آنجائیکه گرمای اضافی باعث تبخیر مواد ضد اکسیداسیون می‌گردد، درجه حرارت را بیش از ۶۰ °C اختیار نمی‌کنند. برای جدا کردن رطوبت از روغن باید سطح تماس روغن و هوا (خلأ) را زیاد نمود. این عمل به صورت پودر کردن روغن و پاشیدن آن به داخل محفظه خلاء انجام می‌گیرد. ظرف مذکور تحت خلاء کمتر یا مساوی می‌باشد. در طول این مرحله، گاز و رطوبت روغن حذف می‌شوند. روغن خشک و گاززدا شده در کف محفظه جمع می‌شود و از طریق پمپ و عبور از فیلتر شنی بر روی سینی‌هایی که داخل محفظه فیلتر خلاء قرار دارند، می‌ریزند تا همزمان با تبخیر آب، گازهای حل شده در روغن نیز خارج گردد و سپس روغن به داخل ترانس بازگردانده می‌شود. پس از یک مرحله تصفیه فیزیکی دستگاه، مقدار آب در روغن به مقدار ۱۰ ppm و مقدار گاز حل شده به ۰/۲۵ درصد حجم کاهش می‌یابد. در این دستگاه تصفیه روغن بایستی دارای دو پمپ خلاء مستقل باشد، یکی برای ظرف پاشش و گرمایش روغن و دیگری برای تولید خلاء در خود ترانس. بدین ترتیب می‌توان در ضمن خشک کردن و گازدار کردن روغن، خلاء را در تانک ترانس برقرار نمود.



شکل ۵- دستگاه تصفیه روغن

ادامه دارد ...