



■ مهندس امیر نظام آذرشب

کارشناس مهندسی برق
مجتمع صنعتی سیمان تهران

نکاتی آموزنده در مورد نقش روغن و نحوه سرویس و آزمایش‌های مختلف بر روی ترانسفورماتورهای قدرت (بخش اول)

چکیده:

از آنجائیکه ترانسفورماتورها مهمترین و گرانبه‌ترین تجهیزات شبکه‌های برق‌رسانی می‌باشند، حفاظت و نگهداری آن از تصمیمات ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی ترانسفورماتورها پایدارترین و مطمئن‌ترین تجهیزات پست‌ها می‌باشند که نسبت به سایر تجهیزات شبکه احتیاج به مراقبت بسیار کمتری دارند. اما نباید فراموش کرد که بعضی از قسمت‌های ترانسفورماتورها به مرور زمان یا به‌علت شرایط نامطلوب کار و یا در اثر فشارهای ناشی از حوادث غیرمترقبه شبکه و یا حتی بی‌توجهی در امر سرویس دوره‌ای، دستخوش تغییرات و یا صدماتی می‌گردد که در صورت عدم رسیدگی به‌موقع می‌تواند موجب ضایعات جبران‌ناپذیری گردد. در این رابطه می‌توان به اهمیت کنترل کیفیت روغن در زمان بهره‌برداری و سرویس‌های دوره‌ای که شامل آزمون روغن ترانس نیز می‌شود، اشاره نمود. با صرف هزینه‌ای بسیار ناچیز، برای بررسی به‌موقع و دوره‌ای بر روی روغن‌های نمونه‌برداری شده در فواصل زمانی منظم و بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی آنها، قادر خواهیم بود از سلامت کار ترانس اطمینان حاصل نموده و به‌موقع با تعویض یا تصفیه روغن و خارج نمودن ناخالصی‌ها و رطوبت از آن، از احتمال بروز خرابی‌های بعدی که موجب خارج شدن ترانس از مدار و ضایعات سرمایه‌ای بزرگ می‌شود، جلوگیری نمود. به‌منظور دستیابی به یک روغن مناسب در طول عمر مفید بهره‌برداری از ترانس، باید تغییرات خواص روغن به‌وسیله انجام آزمایش‌های دوره‌ای و بر اساس برنامه زمان‌بندی شده صورت گیرد. به‌منظور دستیابی به یک روغن مناسب در طول عمر مفید بهره‌برداری ترانس، باید تغییرات خواص روغن به‌وسیله انجام آزمایش‌های دوره‌ای و بر اساس برنامه‌زمان‌بندی شده، کنترل گردد. به این دلیل سعی شده است در این تحقیق به‌طور خلاصه نکاتی در مورد مشخصات فنی و شیمیایی انواع روغن‌ها و نحوه نگهداری در زمان بهره‌برداری - نمونه‌برداری - آنالیز گازهای موجود و محلول در روغن ترانسفورماتور، کنترل کیفیت و سرویس آن ارائه گردد.

کلمات کلیدی: روغن ترانسفورماتور، آنالیز گاز، ولتاژ شکست، منبع انبساط، نقطه ریزش، سیلیکاژل

۱- مقدمه

می‌باشد که باید در پرونده‌های مربوط به هر ترانس که در واقع شناسنامه ترانس است، ثبت و نگهداری شود و اگر هر کدام از مشخصات روغن به مقدار حدی خود برسد، تدابیری متناسب با آن انتخاب نمود. در نتیجه بازرسی و اقدامات انجام شده بر روی ترانس‌ها، حتی نتایج آزمون‌های روغن پس از تصفیه در سال‌های متمادی و یا تعمیرات اساسی در این شناسنامه‌ها جهت پیگیری بعدی ذخیره می‌گردد. با توجه به ویژگی‌های فنی ترانسفورماتورها از نظر مشخصات و شرایط خاص حاکم بر آن از نظر حرارتی و الکتریکی ایجاب می‌نماید تا با استفاده از یک ماده عایقی، هم محیط عایق مناسبی بین بخش‌های

امروزه تأمین بدون وقفه انرژی الکتریکی و پایدار نگه‌داشتن سیستم برق‌رسانی، یکی از اصول اساسی شرکت‌های برق می‌باشد. قبل از اقدام جهت سرویس و تعمیرات باید به فکر درست نگه‌داشتن سیستم و مراقبت درست و صحیح از تجهیزات بود که یکی از تجهیزات بسیار گران‌قیمت در پست‌های برق، ترانسفورماتورهای قدرت می‌باشند. هرگونه تغییر مشخصات روغن بهترین معرف تغییرات تدریجی و یا ناگهانی کارکرد ترانسفورماتورها



شکل ۱- ترانسفورماتور روغنی شعله ور شده

- خاموش کردن جرعه الکتریکی

۲-۲- ویژگی روغن ترانس خوب

وظایفی که یک روغن خوب به عنوان یک سیال عایق و یک ماده انتقال دهنده حرارت باید داشته باشد، عبارت است از:

- استقامت دی الکتریک یا ولتاژ شکست
- قابلیت انتقال حرارت خوب
- ویسکوزیته پائین
- نقطه ریزش یا سیلان پائین
- نقطه اشتعال بالا
- تمایل به اکسیداسیون و تشکیل لجن کم
- ضریب تلفات عایق پائین
- مقاومت مخصوص زیاد
- شرایط کار روغن
- خواص عمده روغن از نظر ارزیابی قابلیت سرویس دهی آن به شرایط محیط بهره‌برداری از آن بستگی دارد. قبل از انتخاب روغن باید شرایط سرویس و مکان مورد استفاده را ملاحظه نمود.

۲-۳- عوامل موثر بر خواص و شرایط روغن

مهمترین عوامل بر روی خواص و شرایط روغن عبارتند از:

- تغییرات درجه حرارت محیط
- بار سیستم و سطوح مورد استفاده
- آلودگی و ناخالصی‌های موجود
- امکان حضور هوا و نفوذ آن در سیستم روغن
- فضا و موقعیت نصب ترانس از لحاظ حریق و ...
- عملیات و نحوه نگهداری واحدها

۲-۴- عوامل خرابی روغن ترانس

عواملی که باعث خراب شدن روغن ترانس و در نتیجه عدول از خصوصیات استاندارد آن می‌شود، عبارتند از:

مختلف با پتانسیل‌های گوناگون ایجاد نمود و هم حرارت ناشی از تلفات نامناسب و آهنی را به نحو مطلوب به خارج هدایت کرد تا ترانسفورماتور بتواند در شرایط مطلوب و پیش‌بینی شده در استانداردها مورد بهره‌برداری قرار گرفته و از حداکثر عمر مفید خود برخوردار باشد. از این نظر و با توجه به ویژگی‌های شناخته شده‌ای که در نفت خام از نظر تأمین انتظارات عایقی و حرارتی فوق وجود داشت، اقدام به تهیه روغن مایع (برش ۴۵۰ تا ۵۵۰ درجه سانتیگراد) از نفت خام گردید. ولی انتظارات عایقی و حرارتی از روغن و سایر ویژگی‌های اساسی آن از نظر مقاومت در مقابل اکسیداسیون و سیالیت به مرور زمان و تناسب با افزایش سطوح ولتاژ قدرت ترانسفورماتورها چنان افزایش یافت که سبب گردید تا انواع روغن عایق با پایه معدنی حاصل کیفیت‌های متفاوت و متناسب با شرایط بهره‌برداری و موقعیت‌های اقلیمی گوناگون تولید گردد.

۲- روغن نسوز (آسکارل)

اصولاً روغن مایع قابل اشتعال بوده و در اثر تغییرات درجه حرارت اکسید شده و ایجاد لجن می‌کند. لذا در محل‌هایی که آتش‌سوزی ترانسفورماتور ممکن است زیان‌های جانی و مالی همراه داشته باشد، استفاده از این نوع ترانسفورماتورها مناسب نیست و باید در این محل‌ها از ترانسفورماتورهایی که با روغن نسوز پر شده است، استفاده شود.

روغن نسوز اولین بار در آمریکا به اسم آسکارل ساخته شد و سپس کشورهای دیگر آن را با نام‌های دیگر، از جمله در آلمان بنام کلوفن^۱، در انگلستان بنام پیراکلر^۲ و در فرانسه بنام پیرالن^۳ تهیه و به بازار عرضه نمودند.

مواد عایقی که در روغن نسوز حل می‌شوند عبارتند از: انواع صمغ‌های طبیعی و بعضی از لاک‌ها، کائوچو و فرآورده‌های آن. مواد عایقی که در روغن نسوز حل نمی‌شوند نیز عبارتند از: کاغذ، الیاف پنبه‌ای، سلولزها و بعضی از پلیمرهای صنعتی.

۲-۱- خواص روغن در ترانسفورماتورها

به‌طور کلی دلایل اصلی به‌کار بردن روغن‌ها در ترانسفورماتورها را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- عایق کاری الکتریکی
- کنترل درجه حرارت داخلی ترانس و انتقال حرارت
- جلوگیری از خوردگی مواد عایق و قسمت‌های فلزی ترانسفورماتور
- طول عمر زیاده‌تر و تضمین پایداری شیمیائی برای ترانسفورماتور
- آب‌بندی و جمع‌آوری و حمل مواد ناخالصی ناشی از کارکرد به خارج از محیط سیستم

1- Clophen
2- Pyraclor
3- Pyralene

- نفوذ رطوبت و آب
- درجه حرارت بالا و شدید
- اکسیداسیون و اسیدی شدن روغن
- وارد شدن ذرات معلق و ناخالصی در روغن

سرویس و بهره‌برداری خیلی پایین‌تر از نقطه اشتعال مجاز می‌باشد، اختلاف کوچک در مقدار نقطه اشتعال اهمیت چندانی نخواهد داشت. نقطه اشتعال روغن در محیط بسته توسط دستگاهی به نام پنسکی - مارتن اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۷- دانسیته یا چگالی روغن

باید با شرایط محیط بهره‌برداری ترانسفورماتور متناسب باشد، بنا بر استاندارد، مقدار حداکثر دانسیته در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد مقدار ۰/۸۹۵ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد.

۲-۸- نقطه ریزش

حداقل درجه حرارت یا خمیری شدن روغن در مناطق سردسیر باید دارای مقدار مناسبی باشد و به حد کافی پایین در نظر گرفته شود. نقطه ریزش کمترین درجه حرارتی است که در آن روغن می‌تواند جاری شود؛ به طوری که در مواردی که سیستم از سرویس خارج می‌شود و شرایط محیط سرد باشد، هیچگونه امکان یخ زدن روغن نباشد. برای حداکثر نقاط نقطه ریزش ۳۰- درجه سانتیگراد انتخاب می‌شود.

۳- خواص الکتریکی روغن ترانسفورماتور

گروه دیگری از مشخصات روغن مربوط به آزمایش‌های الکتریکی روغن می‌باشد که استفاده از روغن را به‌عنوان عایق خوب مشخص کرده و علاوه بر آن شرایط فیزیکی روغن را تعیین می‌نماید. تحمل الکتریکی روغن به‌طور خیلی زیاد تحت تأثیر ناخالصی‌های موجود در روغن می‌باشد، بنابراین خواص الکتریکی روغن باید به‌طور مرتب آزمایش شود. این مشخصات عبارتند از: استقامت دی الکتریک، ضریب تلفاتی عایقی و مقاومت مخصوص.

۳-۱- استقامت دی الکتریک یا ولتاژ شکست عایقی

برای استفاده از روغن ترانسفورماتور به‌عنوان عایق، بایستی آن عاری از رطوبت و ذرات معلق ناخالصی‌ها باشد. پایین آمدن مشخصه دی الکتریک ناشی از رطوبت و اجسام خارجی، باعث کم شدن ولتاژ شکست عایقی روغن می‌شود. استقامت دی الکتریک مهمترین مشخصه الکتریکی روغن محسوب می‌شود؛ بنابراین روغن باید عاری از هرگونه ناخالصی و به‌ویژه آب باشد. اصلاحاً به روغن تمیز و رطوبت‌زدا شده و تصفیه شده، روغن خشک گفته می‌شود. روغن نو به دلیل پالایش دقیق آن، تقریباً عاری از آب و ناخالصی‌ها است و از این جهت نگهداری آن اهمیت ویژه‌ای دارد. ناخالصی‌ها عمدتاً شامل: پوسته‌های فاسد شده پوشش تانک روغن، ذرات فیبر و کاغذ عایقی، ذرات روغن فاسد شده در سرویس و ... می‌باشد. ذرات آب جذب شده نیز در نتیجه رطوبت موجود در مخازن ذخیره و تأسیسات ترانسفورماتور و یا از طریق نفس کشیدن ترانسفورماتور و حتی به‌واسطه عمل اکسیداسیون

برای آشنایی و مشخص شدن ارتباط مشخصات روغن و شرایط سرویس و بهره‌برداری در ترانسفورماتور، می‌تواند خواص روغن‌ها را در سه حالت کلی بررسی نمود که عبارتند از: خواص فیزیکی، الکتریکی و شیمیایی.

از مشخصات روغن و آزمایش‌های مربوطه به طبیعت فیزیکی روغن است که اهم آنها ویسکوزیته، چسبندگی جنبشی یا غلظت، نقطه اشتعال در محیط بسته، دانسیته یا چگالی و نقطه ریزش می‌باشند. برخی از آزمایش‌های فیزیکی که باید روی روغن ترانسفورماتورها انجام گیرد، عبارت است از:

- تست اسیدیته
- تست گازهای حل شده در روغن
- تست کشش سطحی
- تست بی‌فیل پلی کلرید (pcb)

۲-۵- ویسکوزیته روغن

از مشخصه‌های روغن‌های خوب، کمتر بودن ویسکوزیته و درجه چسبندگی آن است. زیرا هرچه ویسکوزیته کمتر باشد، روغن به‌راحتی می‌تواند به عنوان یک سیال انتقال دهنده حرارت انجام وظیفه نماید. با توجه به اینکه جابجایی روغن در انتقال حرارت بسیار موثر است، حرارت تولید شده در داخل ترانسفورماتور به وسیله انتقال و جابجایی روغن از عایق‌های جامد نزدیک هسته به روغن عایقی منتقل شده و این سیلان روغن می‌باشد که قادر است هرچه زودتر این حرارت را به خارج از ترانس رسانده و یا در رادیاتورها به وسیله تبادل حرارت ترانس را خنک کند. عامل تعیین کننده در این عمل مقدار ویسکوزیته می‌باشد. هر چقدر ویسکوزیته کمتر باشد، این فرآیند به‌راحتی انجام می‌شود. ویسکوزیته به‌وسیله لوله شیشه‌ای شکل مدرج به نام ویسکومتر اندازه گرفته می‌شود. درجه حرارت محیط بر روی تعیین درجه غلظت تأثیر به‌سزایی دارد. لذا برای تعیین ویسکوزیته، دمای ۲۰ درجه به‌عنوان مبنا مد نظر قرار می‌گیرد.

۲-۶- نقطه اشتعال در محیط بسته

درجه حرارتی که در آن گازهای جمع شده در بالای روغن شعله‌ور می‌گردد را نقطه اشتعال گویند. برای جلوگیری از تلفات اضافی روغن توسط تبخیر، نقطه اشتعال باید ثابت نگهداشته شود. به منظور رعایت اصول ایمنی، نقطه اشتعال روغن باید بالا در نظر گرفته شود. البته چون درجه حرارت روغن در زمان



شکل ۲

روغن‌های عایق از لحاظ ساختمان مولکولی شیمیایی به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

- روغن‌های متانی که بیش از دو سوم وزن آنها پارافین بوده و پیوند مولکولی بین آنها زنجیره‌ای است.
- روغن‌های نفتی که بیش از دو سوم وزن آنها نفت است و پیوند مولکولی بین آنها حلقوی می‌باشد.
- روغن‌های متانی نفتی که در آنها نسبت نفت به متان هیچ کدام به حد قابل توجهی زیادتر از یکدیگر نیستند.

هیدروکربن‌ها در اثر تنش‌های بسیار شدید نظیر آنچه در کابل‌های فشار قوی به وجود می‌آید، تمایل به تصاعد گاز دارند. این گازها عمدتاً از هیدروژن و احتمالاً تعداد کمی از هیدروکربن‌های سبک تشکیل یافته‌اند. در نتیجه این عمل، پلیمری سنگین با ماهیت مومی شکل به وجود می‌آید. تمایل روغن‌های پایه نفتتیک به تصاعد گاز بسیار کمتر از روغن‌های پایه پارافینیک است. بنابراین برخی از استانداردها برای حصول اطمینان از جذب گازهای متصاعد شده، وجود مقدار حداقلی از ترکیبات حلقوی روغن (روغن با پایه نفتتیک) را جزء مشخصات آن قید می‌کنند. روغن‌های پالایش شده در ایران به علت نوع نفت خام موجود در ایران، از پایه پارافینیک می‌باشند، در صورتی که روغن‌های وارداتی از خارج کشور اکثراً پایه نفتتیک دارند. نقطه انجماد روغن‌های پایه پارافینیک (متانی) بالا بوده و زودتر یخ می‌زنند. لذا از این جهت، در دستگاه‌های نصب شده در محوطه آزاد نباید مورد استفاده قرار گیرند؛ در حالی که روغن‌های نوع نفتتیک نقطه انجماد پایین‌تری دارند.

۴-۲- سولفور خورنده

نفت خام معمولاً حاوی ترکیبات گوگردی نیز می‌باشد که اکثر آنها در ضمن فرآیندهای پالایش از نفت جدا می‌شوند. این پارامتر نشان‌دهنده مقادیر کم سولفور آزاد خورنده در روغن می‌باشد. وجود سولفور خورنده در روغن منجر به ایجاد خوردگی حفره‌ای و رسوب سیاه در سطح مس‌کاری از پوشش در ترانسفورماتور می‌گردد که این مسئله مانع دفع

روغن، ایجاد می‌گردند. جذب رطوبت توسط روغن، استقامت دی الکتریک آن را به میزان قابل ملاحظه‌ای پائین آورده و تلفات عایقی آن را بالا می‌برد. به دلیل امکان جذب رطوبت در حمل و نقل روغن، ذخیره‌سازی و شارژ آن در مراحل نصب و بهره‌برداری، باید استقامت دی الکتریک روغن‌های نو بیش از حد مجاز تعیین شده در جدول استاندارد در نظر گرفته شود تا در طول انجام آن مراحل، دوام روغن از دست نرود.

۳-۲- ضریب تلفات عایقی

با قرار گرفتن عایق‌ها در میدان الکتریکی، علاوه بر تلفات اهمی، یک تلفات دی الکتریک ناشی از جریان ناشی از عایق به وجود می‌آید. در مدلسازی الکتریکی یک عایق، آن را به صورت یک خازن سری شده با یک مقاومت نشان می‌دهند. مقدار تلفات دی الکتریک ناشی از ناشی از محدوده جریان عایق است که متناسب با فرکانس نیز می‌باشد.

۳-۳- مقاومت مخصوص عایق

نشان‌دهنده کیفیت الکتریکی روغن و کارایی روغن عایقی می‌باشد. سنجش مقاومت الکتریکی روغن نیز مانند اندازه‌گیری ضریب تلفات، مبین کیفیت روغن می‌باشد. در عملیات برخی از ترانسفورماتورها، تنش‌های الکتریکی زیادی پیش می‌آید و از این نظر قابلیت مقاومت الکتریکی روغن در ارزیابی آن متداول شده است. روش اندازه‌گیری به وسیله اعمال ولتاژ ۲۰۰۶/۶/۱۱ بین دو الکترود و اندازه‌گیری جریان عبوری می‌باشد. در صنعت به وسیله میگر زدن این مقادیر ثبت و مقایسه می‌شود.

۴- خواص شیمیایی روغن ترانسفورماتور

مشخصه‌های شیمیایی روغن ترانسفورماتور به‌طور کلی عبارت است از: مقدار سولفور خورنده، مقدار آب محلول در روغن و پایداری روغن در مقابل اکسیداسیون که خود شامل اسیدیته کل و لجن ته‌نشینی در روغن می‌باشد. قبل از پرداختن به این مشخصات، داشتن یک دید کلی از ساختمان مولکولی و شیمیایی روغن نفتی بسیار کمک خواهد نمود تا در این بحث و در دیگر فرآیندهای شیمیایی روغن از قبیل اضافه کردن مواد ضد اکسید کنندگی، مخلوط کردن روغن‌های تصفیه شیمیایی و ... بسیار مفید خواهد بود.

۴-۱- ساختمان مولکولی روغن‌های عایق

از جمله عایق‌های مایع در صنعت برق، روغن‌های معدنی می‌باشند که از ترکیبات هیدروکربنی تشکیل شده‌اند. این روغن‌ها از پالایش نفت خام بدست می‌آیند. از روغن‌های معدنی بدست آمده در پالایشگاه‌ها تنها تعدادی از آنها برای عایق‌های الکتروتکنیک مناسب می‌باشند. بنابراین روغن‌هایی که برای این منظور به کار برده می‌شوند، کاملاً شناخته شده بوده و به آنها روغن‌های عایق اطلاق می‌شود.



شکل ۳- دستگاه آنالیز گاز در ترانسفورماتور

رطوبت نیز یکی از خطاهای مخرب در روغن ترانسفورماتور و بر روی عایق‌های آن است. عمر عایق‌ها متناسب با میزان جذب رطوبت آنهاست و از طرفی با افزایش میزان رطوبت در نواحی با شدت میدان الکتریکی بیشتر، موجب آستانه شروع تخلیه جزیی و افزایش شدت آن می‌شود و در نهایت باعث وارد شدن خسارات جدی به ترانسفورماتورهای قدرت می‌شود.

علاوه بر هیدروژن و رطوبت، میزان منو اکسید کربن که در اثر تغییرات در مواد عایقی در داخل ترانسفورماتور تولید می‌شود، یکی از علایم افزایش حرارت نقطه‌ای در داخل سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور است. میزان منو اکسید کربن تولیدی می‌تواند نشان‌دهنده سطح وقوع تجزیه حرارتی سلولز باشد.

۶- پایداری در مقابل اکسیداسیون

مقاومت روغن در مقابل اکسید شدن یکی دیگر از مشخصات مهم آن می‌باشد. برای شناخت این خاصیت باید دو مقدار عدد خنثی‌سازی و مقدار لجن موجود در روغن بررسی شود. پایداری روغن نو در مقابل اکسیداسیون معمولاً بر حسب نتایج آزمایش پیر کردن روغن (که به صورت مشابه با عملکرد واقعی روغن در شرایط سرویس در طول عمر مفید آن می‌باشد) بیان می‌شود. بعد از آزمایش نمونه روغن، نتایج از نظر درجه آلودگی از نظر اکسیداسیون که باعث حضور رسوب و لجن می‌شود، با مقدار استاندارد مقایسه می‌گردد. اطلاع از درجه فساد مجاز روغن که در آن حد، رسوب لجن موجود در روغن، مسئله مهمی ایجاد نمی‌نماید و مجاز است، مهم می‌باشد. زیرا تشکیل رسوب به علت کاهش هدایت حرارتی، بسیار زیان‌بخش می‌باشد.

ترانسفورماتورهایی که به طور دائم در درجه حرارت کمی بالاتر از درجه حرارت معمول کار می‌کنند، با کاهش شدید عمر عایق و افزایش درجه فساد روغن مواجه خواهند شد. به همین مناسبت نگهداری روغن و آزمایش‌های دوره‌ای آن و تصفیه روغن از کارهای مهم در زمینه نگهداری بهینه کل ترانسفورماتورهای شبکه محسوب می‌شود.

ادامه دارد ...

حرارت از ترانس و در نتیجه کم کردن کارایی آن می‌شود.

۴-۳- مقدار رطوبت در روغن

در طول مدت زمان بهره‌برداری و کار روغن به دلایل مختلف مشخصات روغن در ترانسفورماتور تغییر می‌کند. یکی از عوامل این تغییر، جذب رطوبت می‌باشد. جذب رطوبت توسط روغن، استقامت الکتریکی آن را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و تلفات عایقی را افزایش می‌دهد و در نتیجه نقش عایقی روغن تحت تأثیر سوء آن واقع می‌شود. بدین لحاظ ثابت و اندازه‌گیری مقدار رطوبت روغن از مشخصات شیمیایی آن تلقی می‌گردد. استقامت الکتریکی روغن به میزان زیادی بستگی به مقدار رطوبت آن دارد. مقدار آبی که روغن در درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد می‌تواند در خود حل کند در حدود ۴۰ الی ۱۰۰ ppm می‌باشد.

۵- آنالیز گازهای موجود و محلول در روغن ترانسفورماتور

یکی از روش‌های خوب و مناسب جهت بررسی تحولات داخل ترانسفورماتورهای قدرت، آنالیز گازهای موجود و محلول در روغن ترانسفورماتور می‌باشد. این گازها از تنش‌های الکتریکی، حرارتی و مکانیکی در داخل ترانسفورماتور تولید می‌شوند و معمولاً عبارتند از هیدروژن (H_2)، متان (CH_4)، منو اکسید کربن (CO)، دی اکسید کربن (CO_2)، اتیلن (C_2H_4)، اتان (C_2H_6) و استیلن (C_2H_2) که اندازه و مقدار موجود هر یک از این گازها در روغن ترانسفورماتور بیانگر یک عیب ویژه در داخل ترانس قدرت است (مطابق با استاندارد IEC 61599) و عدم توجه به میزان این گازها، موجب خسارت‌های مالی و جانی خواهد بود.

جهت اندازه‌گیری گازهای داخل روغن دستگاههای کوچک و بزرگ متفاوتی وجود دارد که در مدل‌های مختلف کار مشابهی را انجام می‌دهند. یکی از انواع این دستگاهها که بر روی خود ترانس نصب می‌شود و به صورت مداوم با روغن داخل ترانس ارتباط دارد، در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد. از جمله کارایی‌های این نوع آنالیزورها، بررسی مداوم روغن ترانسفورماتور و تجزیه و تحلیل گازهای موجود در ترانسفورماتور است که حتی زیر بار و در حالت برق‌دار نیز کار می‌کنند. با تعبیه کنتاکت‌های کمکی جهت ارسال آلام و هشدار به اتاق فرمان در زمان زیاد شدن این نوع گازها در روغن ترانسفورماتور، این دستگاهها در هر زمانی که اشکالی در ترانس به وجود آید؛ حتی اگر خیلی جزیی باشد، با اعلام هشدار از وارد شدن صدمات بیشتر جلوگیری می‌کند. یکی از دستگاههای متداول جهت نصب بر روی ترانسفورماتورهای قدرت، دستگاه آنالیز گاز هیدروژن و سنجش رطوبت است. چراکه در اغلب خطاهای داخل ترانسفورماتورها، گاز هیدروژن تولید می‌شود.