فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عنوان مقاله: بررسی استفاده از گاز کروماتوگرافی به منظور تعیین نوع خطای ایجاد شده در داخل ترانسفورماتور
دوره ۶/ شماره ۱ / بهار ۱۴۰۱/ ص ۴۵-۲۸

بررسی استفاده از گاز کروماتوگرافی به منظور تعیین نوع خطای ایجاد شده در داخل ترانسفورماتور

اصغر قادری۱، رضا میرباقری جم ۱ و مسلم رضایی۳ *

۱ استادیار گروه برق (دکتری پلاسما) دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر

۲ مربی برق (دکتری پلاسما) دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر

۳کارشناسی ناپیوسته مهندسی برق، دانشگاه آزاد واحد ایرانشهر Email: mm.reza659@gmail.com

---

چکیده

با توسعه روزافزون الکترونیک قدرت و کاهش قیمت ادوات نیمه‌هادی قدرت، تمایل بکارگیری این فن‌آوری علاوه بر سطوح ولتاژ پایین در سطوح ولتاژ میانی ۱ و قدرت‌های بالا رشد چشم‌گیری پیدا کرده است. استفاده از توانائی‌ها و ویژگی‌های این فن‌آوری منجر به بهبود کیفیت توان، افزایش پایدار، افزایش قابلیت اطمینان و انعطاف‌پذیری بیشتر سیستم‌های قدرت گردیده است. از این رو در این مقاله استفاده از گاز کروماتوگرافی به منظور تعیین نوع خطای ایجاد شده در داخل ترانسفورماتور مورد بررسی قرار می‌گیرد. این‌گونه ترانسفورماتورها نسل جدیدی از ترانسفورماتورهای توزیع خواهد بود که ضمن برآورده نمودن اهداف ترانسفورماتورهای ۵۰ هرتز , قابلیتهایی ویژه ای نظیر اصلاح ضریب توان , تنظیم و تثبیت ولتاژ بار , حذف اغتشاشهای گذرای ولتاژ (کمبود و بیش بود ولتاژ) ۳ و حذف فلیکر را دارد . ساختاری که در این مقاله معرفی می شود بعلت قابلیت توسعه مدولار , امکان بکارگیری آنرا در سطوح ولتاژ و قدرتهای مختلف مهیا می سازد . از دیگر ویژگیهای ترانسفورماتور معرفی شده می توان کاهش وزن , کاهش حجم ,کاهش قیمت (با توجه به قابلیتهای افزوده شده) , عدم نیازمندی به روغنهای معدنی و قابلیت حفاظت در برابر خطا را نام برد.

واژگان کلیدی: گاز کروماتوگرافی، خطای ایجاد شده، ترانسفورماتور.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

مقدمه

با توجه به اینکه در اثر وجود خطاهای الکتریکی و حرارتی در داخل ترانسفورماتور، روغن آن تجزیه شیمیایی شده و تولید گاز می کند در نتیجه اگر در مواقع ضروری (با توجه به نوع و مقدار گازها) نسبت به رفع عیب اقدام فوری به عمل نیاید این عیوب باعث خسارات جبران ناپذیر و از کار افتادن ترانسفورماتور و در نتیجه باعث خاموشیهای طولانی می گردد. جهت جلوگیری از ایجاد خسارات مذکور لازم است که گازهای تولید شده در روغن ترانسفورماتور در زمانهای معینی مورد آزمایش قرار گرفته و با تشخیص نوع گاز و میزان آن، نوع عیب ترانسفورماتور مشخص گردد. که در این فصل به طور اجمال به آن پرداخته می شود. [۲۳] و [۲۴] و [۸]

ایجاد گاز در ترانسفورماتور

کارکرد طبیعی ترانسفورماتور باعث تولید مقداری گاز در روغن آن می شود. در مواقعی که ترانسفورماتور دارای اشکالی باشد یا خطایی در آن بوجود آید، مقدار گازهای تولید شده به مراتب بیشتر می گردند. با تعیین نوع و مقدار گازهای تولید شده در روغن ترانسفورماتور می توان تا حدود زیادی به نوع خطای داخلی ترانسفورماتور پی برد. گازهای تولید شده به مقدار زیادی در ترانسفورماتور محلول می باشند. بنابراین جهت تشخیص نوع و مقدار آنها می بایستی گازها را از روغن خارج نموده و سپس با استفاده از گاز کروماتوگراف آنها را مورد آزمایش قرار داد. گازهایی که جهت تشخیص عیوب ترانسفورماتور مورد ارزیابی قرار می گیرند عبارتند از : $Co, Co_2, C_2H_2, C_2H_6, C_2H_4, CH_4, H_2$

گازهای تولید شده با توجه به مقدار و ترکیبات شیمیایی به دو گروه زیر تقسیم می شوند :

نرمال

غیر نرمال

گازهای نرمال شامل گازهایی هستند که در اثر عیب های حرارتی بوجود می آیند و گازهای غیر نرمال در اثر بروز خطاهای الکتریکی در داخل ترانسفورماتور تولید می شوند.

گازهای تولید شده دارای وزن مولکولی و قابلیت حلالیت مختلفی در روغن می باشند و این امر نیز می تواند باعث کاهش استقامت الکتریکی روغن شود. به چند دلیل ممکن است گاز در داخل روغن ترانسفورماتور بوجود آید که عبارتند از :

ایجاد قوس الکتریکی با انرژی زیاد در داخل روغن

با بروز این خطا گازهای تولید شده شامل مقدار زیادی C_2H_2, H_2 و مقدار کمتری CH_4 و C_2H_4 می‌باشند. در صورتی که قوس الکتریکی از کاغذ عایقی عبور کند و یا در مجاورت آن باشد مقدار قابل ملاحظه ای Co و Co_2 نیز تولید خواهد شد. لازم به ذکر است حجم کل گازهایی که در اثر قوس الکتریکی در روغن تولید می شوند خیلی زیاد می باشند.

ایجاد قوس الکتریکی با انرژی کم در داخل روغن

قوس الکتریکی با انرژی کم در داخل روغن به تنهایی باعث تولید H_2 و مقداری CH_4 می‌شود. در هنگام بروز این خطا معمولا C_2H_2 تولید نمی شود. در شرایطی که قوس الکتریکی از کاغذ عایقی عبور کند و یا در مجاورت آن قرار گیرد مقداری Co و Co_2 نیز تولید خواهد شد. تولید گاز در اثر این نوع قوس معمولاً ناچیز است و با وجود چنین عیوبی ترانسفورماتور برای مدت زمان زیادی به کار خود ادامه می دهد.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

گرمای بیش از حد در محلهای به خصوص

این عیب معمولاً به علت وجود اشکال در بین سیم پیچ ها و یا بد بودن اتصالات بوجود می آید. در نتیجه مقدار قابل توجهی CH_4, H_2 و C_2H_4 تولید خواهد شد. در بعضی مواقع مقدار کمی C_2H_2 نیز مشاهده می شود. در محلهایی که کاغذ عایقی وجود دارد مقدار خیلی زیادی Co_2 و مقدار کمتری Co تولید خواهد شد.

تخلیه کرونا در داخل روغن ترانسفورماتور

تخلیه کرونا می تواند باعث شکست روغن شود و در نتیجه مقداری H_2، مقدار قابل توجهی CH_4 و مقدار خیلی کمی C_2H_6 و C_2H_4 تولید خواهد شد.

تجزیه عایق ترانسفورماتور در اثر گرما

عایق ترانسفورماتور در اثر حرارت بیش از حد که ناشی از بار اضافی و یا گرم کردن ترانسفورماتور (به خصوص دمای زیاد محیط نیز در این امر تاثیر بسزایی دارد) می باشد، تجزیه می گردد.

کار ترانسفورماتور در درجه حرارتهای معمولی نیز می تواند باعث تجزیه عایق آن گردد. گازهای حاصل از تجزیه کاغذ عایقی ترانسفورماتور عبارتند از Co_2 و Co و در بعضی مواقع با مقداری H_2 همراه می باشد. در شرایط خیلی بد، روغن ترانسفورماتور نیز تجزیه شده و در نتیجه هیدروکربن های با وزن مولکولی کم تولید خواهد شد.

حلالیت گازها در روغن ترانسفورماتور

موقعی که اشکالی در یک ترانسفورماتور اتفاق می افتد، گازهای جدیدی بوجود می آید که به طور
جزیی در روغن حل می شوند. در این حالت غلظت گازهای موجود در فضای بالای روغن و گازهای حل شده در روغن تغییر می نماید تا به یک حالت تعادلی جدید برسد که غلظت های جدید در حالت تعادل بستگی به فشارهای جزیی گازهای موجود و حلالیت آنها دارد.

بین اغلب گازهای تولید شده معمولی گاز Co_2 بیشترین حلالیت و گاز H_2 کمترین حلالیت را در روغن دارد. O_2 و N_2 حلالیت متوسطی دارند که حلالیت O_2 بیشتر از N_2 است. حلالیت هوا در روغن ترانسفورماتور بستگی زیادی به ترکیب مولکولی روغن دارد. هر گاه هوا در روغن به بیش از ۱۲ تا ۱۵ درصد برسد (حالت فوق اشباع) و یا فشار به طور ناگهانی کاهش یابد حباب-های هوا در روغن تشکیل می شود.

مقادیر مورد نیاز برای آنالیز گازها

قبل از بررسی هر روش تفسیر آنالیز گازها لازم است که اهمیت غلظت گازهای اندازه گیری شده آگاه شد. لذا باید سوالات زیر جواب داده شود :

آیا مقادیر اندازه گیری شده نسبت به حساسیت روش اندازه گیری و دستگاه استفاده شده به اندازه کافی بالاتر هستند؟

اگر جواب اول مثبت است، آیا غلظت گاز به اندازه کافی بالا بوده تا بررسیهای بیشتر به منظور وجود عیب در ترانسفوزماتور را ممکن سازد ؟

جواب اولین سوال بستگی به روش آنالیز و تجهیزات مورد استفاده دارد. قبل از توجه به وجود گازها باید غلظت آنها حداقل از حساسیت مورد نیاز روش آنالیز ۱۰ برابر بزرگتر باشد. جواب دومین سوال به احتمال حضور گاز در ترانسفورماتور در حالت

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عملیاتی نرمال بدون آنکه عیبی موجود باشد، بستگی دارد. حتی در ترانسفورماتورهای جدید نیز ممکن است گاز در مقادیر کافی وجود داشته و ایجاد خطا نماید. انواع گازهایی که می تواند باعث ایجاد خطا شوند عبارتند از:

گازهایی که در خلال فرایندهای پالایش تولید شده و به طور کامل از روغن خارج نگردیده اند.

گازهایی که در خلال خشک و پر کردن ترانسفورماتور در کارخانه ایجاد می شوند.

گازهایی که در هنگام تعمیرات لحیم کاری و جوشکاری و غیره بوجود می آیند.

برای آنکه این مشکل پیش نیاید بهتر است که نتایج آزمایش روغن قبل از بهره برداری از ترانسفورماتور که در فصل قبل بیان گردید ثبت شود و با مقایسه نتایج آزمایش جدید با نتایج قبلی اگر غلظت موجود گاز نسبت به حالت قبل تغییرات قابل ملاحظه نمود نشان دهنده وجود عیب در ترانسفورماتور می‌باشد.

مراحل آزمایش روش گاز کروماتوگرافی جهت مشخص کردن نوع خطا

برای انجام آزمایش باید اول گازهای محلول در روغن را از آن خارج نمود. این عمل باید خیلی به دقت انجام گیرد به طوریکه هیچگونه ناخالصی وارد گازهای جدا شده نگردد و مقداری از گاز تلف نشود. برای خارج نمودن گاز از روغن، روغن را در ظرف خلاء با حجم معین وارد نموده و سپس گازهای جدا شده را تحت فشار قرار می دهند تا اینکه به فشار یک اتمسفر برسد و سپس حجم گاز اندازه گرفته می شود. آنگاه نوع گازها با استفاده از گاز کروماتوگراف تعیین می گردد. برای بررسی نتایج بدست آمده از جداولی استفاده می نمایند که شکل (۴-۱) با توجه به نوع گازها خطا در داخل ترانسفورماتور را مشخص می کند. همچنین با استفاده از نسبت گازهای موجود که در جدول (۴-۲) آورده شده است، خطای حرارتی از خطای الکتریکی تفکیک می شود. جدول (۴-۳) نیز به طور دقیق نوع عیب را نشان خواهد داد.

به منظور تعیین روند کار براساس نتایج بدست آمده از گاز کروماتوگرافی، فلوچارت ارائه شده. لازم به تذکر است که براساس فلوچارت ارائه شده، در هر برق منطقه ای باید گروه متخصص و کاردانی به منظور نمونه برداری منظم از روغن ترانسفورماتور و آزمایش و بررسی آن وجو داشته باشند. همچنین این گروه باید وسایل و امکانات لازم را به منظور عملکرد اضطراری برای حضور در محل خطای بوجود آمده (براساس گزارشات ارسالی بهره برداران پست) را داشته باشند. تا به موقع و در اسرع وقت خطای بوجود آمده، تشخیص داده شود و تصمیم گیری برای بازرسی و تعمیر یا ادمه کار ترانسفورماتور انجام گیرد. همچنین بهتر است که نگهداری اطلاعات بدست آمده از نمونه روغن آزمایش شده هر ترانسفورماتور که در پریودهای زمانی انجام می گیرد در کامپیوتر ذخیره شود تا مراجعه و بررسی (در صورت لزوم) به راحتی امکان پذیر باشد. و جدول زمان بندی نمونه گیری از روغن براساس نوع خطر (نیمه جدی – جدی و بحرانی) اهمیت هر ترانسفورماتور برای هر برق منطقه ای مشخص گردد

جدول ۱: گازهای تولید شده در روغن ترانسفورماتور در اثر معایب مختلف

نوع عیب	گازهای تولید شده
ترانسفورماتوردر حالت نرمال قرار دارد	N_2 به اضافه ٪۵ یا کمتر O_2
ترانسفورماتور نشت دارد	N_2 و بیشتر از٪۵ O_2
ترانسفورماتور بار اضافی دارد و یا گرم کار می کند که باعث شکست الکتریکی کاغذ عایقی آن شده است شرایط کارکرد ترانسفورماتور بررسی شود.	N_2 و Co_2 یا CO و یا هز سه گاز
تخلیه کرونا و تجزیه آب و یا زنگ زدگی	N_2 و H_2
تخلیه کرونا در حضور کاغذ عایقی و یا بار اضافی خیلی زیاد ترانسفورماتور	N_2 و H_2 و CO_2 و CO
قوس الکتریکی و یا عیب های کوچک دیگر که باعث شکست الکتریکی	N_2 و H_2 و CH_4 همراه با مقدار کمی C_2H_6 و

ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

روغن شده است	C_2H_4
قوس الکتریکی یا عیب های کوچک دیگر در حضور کاغذ عایقی	N_2 و H_2 و CH_4 همراه با CO_2 و CO مقدار کمی از هیدروکربن های دیگر C_2H_2 معمولاً وجود ندارد
قوس الکتریکی با انرژی زیاد که باعث شده است روغن خاصیت خود را به سرعت از دست بدهد	N_2 همراه با مقدار زیادی H_2 و هیدروکربن های دیگر شامل C_2H_2
قوس الکتریکی در روغن در درجه حرارت بالا در محلهای به خصوص، برای مثال : بد بودن اتصالات سیم پیچ ها	N_2 همراه با مقدار زیادی۱ و EMBED Equation.3و مقدار زیادی EMBED Equation.3و مقداری EMBED Equation.3
قوس الکتریکی در روغن و کاغذ عایقی در درجه حرارت بالا در محلهای به خصوص برای مثال بد بودن اتصالات سیم پیچ ها	EMBED Equation.3همراه با مقدار زیادی EMBED Equation.3و EMBED Equation.3و مقدار زیادی EMBED Equation.3و مقداری EMBED Equation.3همراه با EMBED Equation.3و EMBED Equation.3

جدول ۲: تعیین نوع عیب حرارتی یا الکتریکی براساس نسبت گازهای حل شده در روغن ترانسفورماتور

نسبت / نوع عیب	$\frac{C_2H_2}{CH_4}$	$\frac{C_2H_6}{C_2H_2}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$
تجزیه حرارتی	< 0.3	> 0.4	< 0.75	> 1.0
تخلیه الکتریکی (بجز کرونا)	> 0.3	< 0.4	> 0.75	> 0.1 < 1.0
کرونا	< 0.3	> 0.4	خیلی ناچیز	< 0.1

جدول ۳: تعیین بهتر و مشخص تر نوع عیب براساس نسبت گازهای حل شده در روغن ترانسفورماتور

نوع عیب	CH_4/H_2	C_2H_6/CH_4	C_2H_4/C_2H_6	C_2H_2/C_2H_4
نرمال	> 0.1 < 1.0	< 1.0	< 0.1	< 0.5
تخلیه ناقص – کرونا	≤ 0.1	< 1.0	< 0.1	< 0.5
تخلیه ناقص – گرونا با گذاشتن اثر	≤ 0.1	< 1.0	< 0.1	≥ 0.5 یا ≥ 3 < 3.0
تخلیه مداوم	> 0.1 < 1.0	< 1.0	≥ 3.0	≥ 3.0
قوس – همراه با انتقال انرژی	> 0.1 < 1.0	< 1.0	≥ 1.0 یا ≥ 3 < 3.0	≥ 0.5 یا ≥ 3 < 3.0

1- Bypass

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

قوس – بدون انتقال انرژی	> 0.1 < 1.0	< 1.0	< 0.1	≥ 0.5 < 3.0
حرارت اضافی کم تا $150^{\circ}C$	≥ 3 یا ≥ 1.0 < 3.0	< 1.0	< 0.1	< 0.5
حرارت اضافی $150^{\circ}C$ -$200^{\circ}C$	≥ 3 یا ≥ 1.0 < 3.0	≥ 1.0	< 0.1	< 0.5
حرارت اضافی $200^{\circ}C$ -$300^{\circ}C$	> 0.1 < 1.0	< 1.0	< 10	< 0.5
حرارت اضافی در هادیهای عمومی	> 0.1 < 1.0	< 1.0	≥ 1.0 < 3.0	< 0.5
جریان گردنده در داخل سیم پیچ ها	≥ 1.0 < 3	< 1.0	≥ 1.0 < 3.0	< 0.5
جریان گردنده در هسته و تانک و بار اضافی مربوط به اتصالات	≥ 1.0 < 3.0	< 1.0	≥ 3.0	< 0.5

حلالیت گازها در روغن ترانسفورماتور

موقع که اشکالی در یک ترانسفورماتور اتفاق می افتد گازهای جدیدی بوجود می آیند که به طور جزئی در روغن حل می شوند. در این حالت غلظت گازهای موجود در فضای بالای روغن و گازهای حل شده در روغن تغییر می نماید تا به یک حالت تعادلی جدید برسد که غلظت های جدید در حالت تعادلی بستگی به فشارهای جزئی گازهای موجود و حلالیت آنها دارد. این کار می تواند تا به اشباع رسیدن روغن نیز برسد.

بین اغلب گازهای معمولی گاز Co_2 بیشترین حلالیت و گاز H_2 کمترین حلالیت را در روغن دارد. O_2 و N_2 حلالیت متوسطی دارند که O_2 حلالیت بیشتری از N_2 دارد. حلالیت هوا در روغن ترانسفورماتور بستگی زیادی به منبع روغن خام و ترکیب مولکولی روغن دارد. هر گاه هوا در روغن به بیش از ۱۲ تا ۱۵ درصد فوق اشباع شود تا فشار به طور ناگهانی کاهش یابد حبابهای هوا در روغن تشکیل می شود. جدول (۴-۴) حلالیت گازهای مختلف را در روغن ترانسفورماتور به خصوص، در mmHg ۷۶۰ و درجه حرارت $20^{\circ}C$ نشان می دهد.

جدول ۴: حلالیت گازهای متفاوت در یک نوع روغن ترانسفورماتور

نوع گاز	حلالیت (درصد حجمی)	نوع گاز	حلالیت (درصد حجمی)
هوا	۱۰	CH_4	۳۰
N_2	۷ (جزئی از هوا)	C_2H_6	۲۸۰
O_2	۳ (جزئی از هوا)	C_2H_4	۲۸۰
N_2	۸/۶	C_2H_2	۴۰۰
O_2	۱۶	C_3H_6	۱۲۰۰
H_2	۷	C_3H_8	۱۹۰۰
Co_2	۱۲۰	C_4H_{10}	۲۰۰۰
$Co`$	۹		

در فلو چارت ارائه شده برای محاسبه زمان لازم برای اشباع شدن روغن ترانسفورماتور با توجه به نرخ متوسط ماهانه افزایش تولید هر گاز و حداکثر حلالیت آن زمان لازم برای اشباع شدن روغن حدس زده می شود و بعد از اشباع روغن گازهای تولید شده باعث افزایش فشار تانک ترانسفورماتور شده تا جایی که رله بوخهلتز عمل نماید. در نتیجه فرصت لازم برای تعمیرات اساسی و یا تعویض روغن پس از حدس زدن زمان لازم تا اشباع روغن برای بهره برداران وجود خواهد داشت.

خرابی عایق سلولزی ترانسفورماتور (کاغذ ترانسفورماتور)

وقتی عایق سلولزی خراب شود به طور مشخص تولید Co_2 و Co همراه با هم و همچنین مقادیر کمی از سایر گازها را ایجاد می نماید. Co_2 و Co در درجه حرارتهای معمولی کارکرد ترانسفورماتور هم می توانند ایجاد شوند و همچنین در اثر پیر شدن معمولی عایق نیر تولید می گردند.

هر چند خشک کردن و بدون گاز کردن عایقهای مورد استفاده در ترانسفورماتور باعث بهبود خواص آن می شود ولی ممکن است مقداری Co_2 و Co در عایقها باقی بمانند. همچنین وقتی ترانسفورماتور بجای روغن با گاز پر می شود تا به مقصد حمل گردد، تقریباً غیر ممکن است که تمام این گاز در هنگام قبل از روغن گیری ترانسفورماتور از آن خارج شود و باید توجه داشت که ترانسفورماتور با مقداری گاز در مدار قرار می گیرد. همچنین از طریق محفظه سلیکاژل که برای تنفس ترانسفورماتور تعبیه شده است نیز Co_2 از طریق ترانسفورماتور وارد روغن می شود. (حدود ۳۰۰ میکرولیتر بر لیتر روغن)؛ بنابراین وقتی می توان گفت که عیب در کاغذ ترانسفورماتور وجود دارد که مقدار گازهای Co و Co_2 زیاد باشد. به همین دلیل باید غلظت Co_2 و Co حل شده در روغن امتحان گردد.

امتحان غلظت Co_2 و Co حل شده در روغن

در خرابی سلولز تنها در اثر گرما و درجه حرارتهای معمول کارکرد ترانسفورماتور، آنالیز آماری برای ترانسفورماتورهای که دارای $\frac{Co_2}{Co}$ محافظ[1] هستند و به طور نرمال کار می نمایند نسبت حدود ۷ می باشد. هر چند که محدوده قرار گرفتن اعداد بسیار گسترده است. (انحراف استاندارد حدود۴) در خرابی کاغذ در اثر درجه حرارت بالا بدون در نظر گرفتن علت آن، تمایل به افزایش مقدار نسبی Co بیشتر است، به هر حال سرعت تولید Co_2 و Co بستگی زیاد به حضور اکسیژن، میزان رطوبت و درجه حرارت دارد. در نتیجه هر حالتی که در آن نسبت Co_2 / Co زیر حدود ۳ و یا بیشتر از حدود ۱۱ باشد به عنوان امکان نمایش عیب در اثر خرابی سلولز بوده و نتایج بدست آمده از سایر گازها حاکی بر وجود خرابی بیشتر روغن می باشد. (در صورت امکان نسبتهای بدست آمده باید با مقادیر قبلی برای همان ترانسفورماتور و یا با مقادیر ترانسفورماتورهای مشابه که به طور یکسان بارگذاری شده اند، مقایسه گردد.) در ترانسفورماتورهایی که کنسرواتور نداشته (عایق شده از هوا) که غلظت Co_2 و Co در $\frac{Co_2}{Co}$ مدت زمان اولیه کارکرد ترانسفورماتور کم بوده، نسبت معمولاً زیر ۷ می باشد ولی با افزایش عمر ترانسفورماتور این نسبت نیز افزایش می یابد.

۴-۷-۲- امتحان غلظت Co_2 و Co در گازهای آزاد بدست آمده از رله های جمع آوری گاز

به عنوان یک قانون اگر غلظت اکسیدهای کربن گاز آزاد، به اندازه کافی از مقدار آنها در حالت تعادل با روغن بیشتر باشد، به عنوان خرابی جدی عایق سلولزی در نظر گرفته شده و معنی آن این است که مقدار زیادی از این گاز با سرعت تولید شده و از رله عبور نموده است بدون آنکه با روغن به تعادل رسیده باشد.

کاربرد روش تحلیلی در گازهای آزاد درون رله های جمع آوری گاز

در خلال بروز عیب، سرعت تولید هر نوع از گاز بستگی زیاد به انرژی خطای ایجاد شده دارد. بنابراین سرعت کم انرژی در تخلیه های جزئی یا نقاط داغ (با حرارت کمتر) باعث تولید آهسته گاز شده و لذا ممکن است تمام گاز تولید شده در روغن حل گردد. اما سرعت تولید گاز در یک تخلیه با انرژی زیاد یا نقاط بسیار داغ بوده و حبابهای گاز ایجاد شده و صعود کننده در کنسرواتور می توانند به صورت جزئی در روغن حل شوند و مقداری از این گازها ممکن است به رله جمع کننده گاز برسند. (ممکن است این گازها با گاز حل شده در روغن به تعادل برسند).

وقوع خطای با انرژی زیاد در ترانسفورماتور باعث تولید سریع و قابل توجهی از گاز شده (فشار گاز باعث عمل کردن رله جمع کننده گاز می شود) و حبابهای بزرگ با سرعت زیاد تا رله بالا می روند که احتمال تبادل گاز با روغن در اثر سرعت زیاد بسیار کم می باشد. در نتیجه به خصوص در هنگامی که خطای بوجود آمده باعث عمل نمودن رله جمع کننده گاز شود آنالیز گازهای موجود در محفظه رله جمع کننده امکان درست تری برای تعیین نوع خطا نسبت به آنالیز گازهای محلول درروغن می دهد.

اما اگر گاز مدت زمان زیادی در رله باقی بماند. به تدریج مقداری از آن در روغن حل شده و ترکیب گاز جمع شده در رله تغییر می کند. به همین علت به منظور بررسی خطا در هنگام بروز خطا (به خصوص بعد از عملکرد رله جمع کننده گاز) و تفسیر گازهای حل شده در روغن باید دقت نمود و اگر بررسی و نمونه برداری به سرعت بعد از وقوع خطا می باشد بهتر است که نمونه برداری از گازهای جمع شده در رله جمع کننده گاز نیز انجام گیرد.

اصولا آنالیز گازهای آزاد در رله جمع کننده گاز به همان صورت آنالیز گازهای حل شده در روغن انجام می شود. به هرحال وقتی گاز به مقدار کافی در رله جمع شود و رله عمل کند بدون هیچ شکی یک عیب جدی در کار ترانسفورماتور وجود دارد و حتماً باید آنالیز گاز انجام شود تا تشخیص عیب میسر شود. در حالیکه بعضی از بهره برداران بعد از عملکرد رله دوباره ترانسفورماتور را برق دار نمود.ه (یا پس از یک بررسی جزئی و عمومی از ترانسفورماتور) که این کار می تواند باعث خرابی اساسی ترانسفورماتور شود و هزینه تعمیرات را به شدت افزایش دهد.

ولی هنگامی که گاز به آرامی جمع شود، تشخیص گازهای حل شده در روغن اطلاعات آموزنده تری نسبت به آنالیز گازهای آزاد در بردارد. همچنین تعیین گاز در روغن ترانسفورماتور برای تعیین نرخ کل تولید گاز کافی بوده و امکان بررسی گسترش عیب (مهم ترین موضوع برای بررسی) را می دهد.

دقت گردد که هنگام آنالیز گازهای آزاد لازم است قبل از انجام روشهای تشخیص، غلظت گازهای مختلف در حالت آزاد به غلظتهای معادل آنها در حالت حل شده تبدیل گردد. با اعمال اصول گفته شده ممکن است مقایسه غلظتهای واقعی در روغن با غلظتهای معادل در گاز آزاد، حاوی اطلاعات با ارزشی از چگونگی صعود حبابهای گاز در روغن و در نتیجه نرخ تولید گاز باشد.

محاسبه غلظت های گاز حل شده معادل در روغن ترانسفورماتور با غلظت های گاز آزاد

این محاسبات توسط اعمال ضریب اتوالد[1]برای هر گاز به طور جداگانه انجام می شود. برای یک گاز مشخص ضریب استوالد به صورت زیر تعریف می شود :

$$K=\frac{\text{غلظت گاز در فاز مایع}}{\text{غلظت گاز در فاز گاز}}$$

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

ضریب استوالد برای گازهای مختلف در روغن‌های عایق معدنی در $20\ ^{\circ}C$ و $50\ ^{\circ}C$ در جدول (۴-۵) آورده شده است.

جدول ۵: ضرایب استوالد در $20\ ^{\circ}C$ و $50\ ^{\circ}C$

نوع گاز	K در $20\ ^{\circ}C$	K در $50\ ^{\circ}C$	نوع گاز	K در $20\ ^{\circ}C$	K در $50\ ^{\circ}C$
N_2	۰/۰۹	۰/۰۹	CH_4	۰/۴۳	۰/۴۰
O_2	۰/۱۷	۰/۱۷	C_2H_6	۲/۴۰	۱/۸۰
H_2	۰/۰۵	۰/۰۵	C_2H_4	۱/۷۰	۱/۴۰
Co	۰/۱۲	۰/۱۲	C_2H_2	۱/۲۰	۰/۹
Co_2	۱/۰۸۰	۱/۰۰			

با توجه به جدول (۴-۵) می توان دید که دما در ضریب K کم اثر است و به همین علت در عمل تغییر دمای فازهای مایع و گاز در تغییر ضریب K چندان موثر نیست (در نظر گرفته نمی شود).

روش تشخیص خطا با استفاده ازگازهای حل شده و حل نشده در روغن ترانسفورماتور

استاندارد IEEE-CS7-1991 [۲۵] روش جدیدی برای تعیین نوع خطا با استفاده از گازهای حل شده در روغن و حل نشده در روغن که در بالای کندانسور یا رله های جمع آوری گاز جمع می گردند، ارائه داده است و در این بخش به طور خلاصه به آن پرداخته می شود.

تعیین نرخ رشد گازها

بررسی میزان رشد گازها این امکان را خواهد داد که سرعت انتشار خطای داخلی ترانسفورماتور
مشخص گردد و دید درستی از چگونگی تغییرات گازهای حل شده و حل نشده در روغن بدست آورده شود.

$$R = \frac{(S_T - S_o) \times V \times 10^{-6}}{7.5 \times T}$$

R= نسبت رشد گازها ft^3/day

S_o = حجم گازها در آزمایش قبلی (ppm)

S_T = حجم گازها در آزمایش بعدی (ppm)

V= حجم روغن تانک $(gallons)$

T= فاصله زمانی بین دو آزمایش $days$

گازهای حل شده در روغن را با TDCG[۱] و گازهای حل نشده در روغن را با TCG[۱] نشان می دهند.

ارائه فلوچارت تصمیم گیری

این استاندارد، فلوچارت شکل (۲-۴) را برای تعیین نوع خطا با توجه به گازهای حل شده و حل نشده در رروغن ترانسفورماتور ارائه داده است. دقت گردد که با توجه به به این فلوچارت در ابتدا فقط آنالیز گازهای حل شده در روغن کافی است و در صورت غیر نرمال بودن ترانسفورماتور نیاز است که آنالیز گازهای حل نشده نیز انجام گیرد تا صحت و دقت تصمیم گیری بهتر باشد. در نتیجه

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

با توجه به این فلوچارت نیاز است که ایتدا آنالیز گازهای حل شده در روغن انجام گیرد تا شرایط چهارگانه کارکرد ترانسفورماتور با توجه به جدول (۶-۴) مشخص گردد. این شرایط شامل موارد زیر می باشند :

حالت اول : ترانسفورماتور در حالت کارکرد عادی و مشکل عمده ای ندارد.

حالت دوم : امکان خطا با احتمال کم وجود دارد.

حالت سوم : امکان خطا با احتمال زیاد وجود دارد.

حالت چهارم : حتما خطا وحود دارد.

حالت	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	Co	Co_2	$TDCG^*$
۱	۱۰۰	۱۲۰	۳۵	۵۰	۶۵	۳۵۰	۲۵۰۰	۷۲۰
۲	۱۰۱-۷۰۰	۱۲۱-۴۰۰	۳۶-۵۰	۵۱-۱۰۰	۶۶-۱۰۰	۳۵۱-۵۷۰	۲۵۰۰-۴۰۰۰	۷۲۱-۱۹۲۰
۳	۷۰۱-۱۸۰۰	۴۰۱-۱۰۰۰	۵۱-۸۰	۱۰۱-۲۰۰	۱۰۱-۱۵۰	۵۷۱-۱۴۰۰	۴۰۰۱-۱۰۰۰۰	۱۹۲۱-۴۶۳۰
۴	<۱۸۰۰	<۱۰۰۰	<۸۰	<۲۰۰	<۱۵۰	<۱۴۰۰	<۱۰۰۰۰	<۴۶۳۰

* منظور از $TDCG$ مجموع غلظت گازها بجز Co_2 است

دقت گردد که برای یک ترانسفورماتور تازه (تا عمر یک سال) باید شرایط حالت ۱ برقرار باشد و گرنه ترانسفورماتور مشکل ساختاری دارد.

تعیین زمان های آزمایش گاز کروماتوگرافی روغن

در صورت نیاز به آزمایش گازهای حل نشده در روغن و همچنین نرخ رشد گازهای حل نشده برای تعیین زمان آزمایش بعدی و نحوه عملکرد بهره برداران از جدول (۷-۴) استفاده می گردد. همچنین به منظور بررسی گازهای حل شده در روغن و تعیین زمان نمونه برداری و آزمایش بعدی و مشخص کردن نحوه عملکرد بهره برداران، جدول (۸-۴) ارائه شده است. در نتیجه بهره برداران با توجه به نتایج آزمایشهای گاز کروماتوگرافی با استفاده از دو جدول ارائه شده می توانند زمان بعدی آزمایش را تعیین کنند و همچنین نحوه عملکرد برای بررسی و جلوگیری از خطا نیز در این جداول مشخص شده است.

جدول ۶: نوع عملکرد در رابطه با نتایج آزمایش *TCG*

	مقدار **TCG** (%)	نرخ رشد **TCG** (%/day)	زمان نمونه برداری مجدد و روش عملکرد با توجه به نسبت رشد تولید گازها	
			زمان نمونه برداری	روش عملکرد
حالت۴	≤ ۵	٪۳<	روزانه	پیش بینی حداکثر زمان عملکرد (رله ها)[1]
		٪۳-٪۱	روزانه	آنالیز گازهای موجود
		< ٪۱	هفتگی	برنامه ریزی خروج ترانسفورماتور
				اخطار به بهره برداران
حالت۳	۵ > - >۲	٪۳<	هفتگی	پیش بینی حداکثر زمان عملکرد (رله ها)
		٪۳-٪۱	هفتگی	آنالیز گازهای موجود

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

		< ٪۱	ماهیانه	برنامه ریزی خروج ترانسفورماتور اخطار به بهره برداران
حالت۲	۰/۵ ≤ - <۲	< ٪۳	ماهیانه	پیش بینی عملکرد[۱]
		٪۳- ٪۱	ماهیانه	آنالیز گازهای موجود
		< ٪۱	هر سه ماه	بررسی بار ترانسفورماتور
حالت۱	< ۰/۵	< ٪۳	ماهیانه	پیش بینی عملکرد
		٪۳- ٪۱	هر سه ماه	آنالیز گازهای موجود
				بررسی بار ترانسفورماتور
		< ٪۱	سالیانه	شرایط عملکرد نرمال است

جدول ۷: نوع عملکرد در رابطه با نتایج آزمایش *TDCG*

	مقدار **TCG** (ppm)	نرخ رشد **TCG** (ppm/day)	زمان نمونه برداری مجدد و روش عملکرد با توجه به نسبت رشد تولید گازها	
			زمان نمونه برداری	روش عملکرد
حالت۴	< ۴۶۳۰	< ۳۰	روزانه	رفع خطا به وسیله سرویس
		۱۰-۳۰	روزانه	اخطار به بهره برداران
				پیش بینی حداکثر زمان عملکرد (رله ها)
		< ۱۰	هفتگی	آنالیز گازهای موجود
				برنامه ریزی خروج ترانسفورماتور
				اخطار به بهره برداران
حالت۳	۱۹۲۱-۴۶۳۰	۱۰-۳۰	هفتگی	پیش بینی حداکثر زمان عملکرد (رله ها)[۱]
				آنالیز گازهای موجود
		< ۱۰	ماهیانه	برنامه ریزی خروج ترانسفورماتور
		< ۳۰	ماهیانه	اخطار به بهره برداران
حالت۲	۷۲۱-۱۹۲۰	۱۰-۳۰	ماهیانه	پیش بینی عملکرد[۱]
		< ۱۰	هر سه ماه	آنالیز گازهای موجود
				بررسی بار ترانسفورماتور
حالت۱	=< ۷۲۰	< ۳۰	ماهیانه	پیش بینی عملکرد
		۱۰-۳۰	هر سه ماه	آنالیز گازهای موجود
				بررسی بار ترانسفورماتور
		< ۱۰	سالیانه	شرایط عملکرد نرمال است

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

تشخیص نوع خطا با استفاده از گازهای متصاعد شده

شناسایی نوع خطا با توجه به گازهای متصاعد شده که اصطلاحا به آن راه حل گازی[1]گفته می شوند برای چهار نوع خطای مهم از طریق نمودار شکل (۴-۳) مشخص می گردد. این چهار نوع خطا، خطای گرمایی در روغن، خطای گرمایی در کاغذ، کرونا در روغن و جرقه در روغن می باشند. با بوجود آمدن هر یک از خطاهای ذکر شده عموماً گازهایی با درصد نسبی بیان شده در شکل (۳-۴) متصاعد می گردند.

۱-خطای گرمایی در روغن:

گازهای اصلی متصاعدشده ناشی از این خطا اتیلن و متان به همراه مقدار کمی هیدروژن و اتان است. اگر خطا عوامل خطای الکتریکی نیز باشد امکان دارد استیلن نیز متصاعد گردد. گاز اصلی مشخصه : اتیلن

۲-خطای گرمایی در کاغذ :

گازهای اصلی متصاعد شده شامل دی اکسید کربن و منواکسید کربن است.گازهای هیدروکربنی (متان و اتیلن) در صورتی که خطا به روغن نیز انتشار یابد متصاعد خواهد شد

گاز اصلی مشخصه : منوکسید کربن

۳-خطای کرونا در روغن :

خطای الکتریکی با انرژی کم گازهای هیدروژن و متان با مقدار کمی اتان و اتیلن متصاعد می کند. تولید مقدار قابل توجه منواکسیدکربن و دی اکسید کربن ممکن است نتیجه تخلیه در کاغذ باشد.

گاز اصلی مشخصه : هیدروژن

۴- خطای جرقه در روغن :

مقدار زیادی هیدروژن و اتیلن با مقدار کمتری متان و اتان ناشی از این خطا بوجود می آید. ممکن است به خاطر گکسترش خطا در کاغذ، گازهای دی اکسید کربن و منواکسید کربن نیز متصاعد گردند. ممکن است کربوناسیون در روغن بوجود آید.

گاز اصلی مشخصه : استیلن

۴-۱۰-۵- تشخیص نوع خطا با استفاده از نسبت گازهای متصاعد شده

برای تشخیص دقیق نوع خطا بهترین روش استفاده از حدود نسبت گازهای متصاعد شده می باشد. نسبت گازهایی که برای تشخیص خطا استفاده می گردد عبارتند از :

حالت ۱ : $R_1 = CH_4 / H_2$

حالت ۲ : $R_2 = C_2H_2 / C_2H_4$

حالت ۳ : $R_3 = C_2H_2 / CH_4$

حالت ۴ : $R_4 = C_2H_6 / C_2H_2$

حالت ۵ : $R_5 = C_2H_4 / C_2H_6$

دو روش عمده تشخیص خطا با استفاده از نسبت گازها عبارتند از :

روش Doernenburg

روش Rogers

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

روش Doernenburg

در این روش از نسبتهای R_1, R_2, R_3 و R_4 برای تشخیص نوع خطا استفاده می شود و خطاهای تشخیص داده شده سه خطای حرارتی، کرونا و جرقه است. در این روش به منظور دقت بیشتر دو سطح مرزی برای هر نسبت داده شده است. (جدول (۴-۱۰)) همچنین فلو چارت چکونگی تشخیص خطا با توجه به جدول (۴-۱۰) در شکل (۴-۴) آورده شده است. توصیف این فلوچارت به شکل زیر است :

گام ۱ : گازهای متصاعد شده در روغن و فضای آزاد جمع و آزمایشهای گاز کروماتوگرافی آن انجام گیرد.

گام ۲ : گازهای $H_2, CH_4, C_2H_2, C_2H_4$ و C_2H_6 باید از مقدار نرمال L_1 خود تجاوز کنند. (برای مشخص شدن مقدار L_1 به جدول (۴-۹) مراجعه شود) تا احتمال وجود خطا باشد.

جدول ۸: حد نرمال گازهای حل شده در روغن

KeyGas	Concentrations L1
$Hydrogen(H_2)$	100
$Methane(CH_4)$	120
$Carbon\ \ Monoxide(CO)$	350
$Acetylene(C_2H_2)$	35
$Ethlene(C_2H_4)$	50
$Ethane(C_2H_6)$	65

دقت گردد که برای تعیین L_1 استاندارد IEEE به جای مقادیر استفاده شده آقای Doernenburg از مقادیر حالت ۱ جدول (۴-۶) استفاده کرده است.

گام ۳ : مقدار نسبتها محاسبه گردد. اگر هر کدام از گازها در نسبتها از مقدار L_1 تجاوز کند، محاسبه نسبتها درست است و گرنه این محاسبات درست نبوده و دوباره باید نمونه برداری برای آزمایشهای گاز کروماتوگرافی انجام گیرد.

گام ۴ : با فرض درست بودن نسبتها، مقادیر R_1, R_2, R_3 و R_4 با مقادیر حدی جدول (۴-۱۰) مقایسه می شود. (همانند شکل (۴-۴))

گام ۵ : با توجه به جدول (۴-۱۰) با برقرار بودن همه شرایط هر خطا، نوع خطا تعیین می گردد و یا در صورت درست نبودن نسبتها پیشنهاد نمونه برداری مجدد ارائه می شود.

روش Rogers

این روش همانند روش Doernenburg است اما در این روش از نسبتهای R_1, R_2, R_5 استفاده می شود. این روش براساس تعداد زیادی از داده های روش گاز کروماتوگرافی و بررسی خطاهای آنها بدست آمده و از دقت خوبی برخوردار است. جدول (۴-۱۱) با توجه به نسبت گازها نوع خطا را تعیین کرده است. همچنین برای تعیین نوع خطا می توان از فلوچارت ارائه شده در شکل (۴-۵) استفاده نمود.در نتیجه با توجه به فلوچارتهای ارائه شده در شکلهای (۴-۴) و (۴-۵) به راحتی می توان برنامه کامپوتری تعیین نوع خطا با استفاده از نتایج گاز کروماتوگرافی را نوشت که علاوه بر تعیین نوع خطا راهکارهای مناسبی برای بهره برداران جهت رفع خطا نیز ارائه می دهد. اطلاعات بیشتر در ضمیمه یک ارائه شده است.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۵-۲۸
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

جدول ۹: روش تشخیص نوع خطا با استفاده از نسبت گازها به روش *Doernenburg*

نسبت گازها / نوع خطا	R_1 CH_4 / H_2	R_2 C_2H_2 / C_2H_4	R_3 C_2H_2 / CH_4	R_4 C_2H_6 / C_2H_2
گرمای اضافی	۰/۱ < ۱ <	۱> ۰/۷۵ >	۰/۱ > ۰/۳ >	۰/۲ < ۰/۴ <
کرونا (تخلیه جزئی با چگالی کم)	۰/۰۱> ۰/۱>	مقدار جزئی	۰/۱ > ۰/۳ >	۰/۲ < ۰/۴ <
جرقه (تخلیه جزئی با چگالی زیاد)	/۱ < ۱ < ۰/۱ > ۱.>	۱< ۰/۷۵ <	۰/۱< ۰/۳ <	۰/۲> ۰/۴ >

جدول ۱۰: روش تشخیص نوع خطا با استفاده از نسبت گازها به روش *Roger*

ردیف	نوع خطا	R_2 C_2H_2 / C_2H_4	R_1 CH_4 / H_2	R_5 C_2H_4 / C_2H_6
۰	حالت نرمال	۰/۱>	۰/۱< ۱>	۱>
۱	جرقه با چگالی انرژی کم	۰/۱>	۰/۱>	۱>
۲	جرقه با چگالی انرژی زیاد	۰/۱-۳	۰/۱-۱	۳<
۳	حرارت اضافی با دمای کم	۰/۱>	۰/۱< ۱>	۱-۳
۴	حرارت اضافی $> 700\,^{\circ}C$	۰/۱>	۱<	۱-۳
۵	حرارت اضافی $< 700\,^{\circ}C$	۰/۱>	۱<	۳<

نتایج

بطور کلی چند عامل اصلی در سوختن ترانسفورماتورها دخالت دارند که میتوان آنها را بصورت زیر دسته‌بندی نمود:

عوامل داخلی

عوامل خارجی

عامل بهره‌برداری

عامل طراحی و ساختاری

عوامل پیش‌بینی نشده

عوامل داخلی

مجموعه خطاهایی که از طریق سیم‌پیچها، روغن ، دسته، تانک و تپ چنجر به ترانسفورماتور وارد میآید البته قابل ذکر است که خطاهای خارجی زمینه ساز بسیاری از عیوب داخلی می‌باشند .

خطای سیم پیچها بیشترین آمار مربوط به خرابی ترانسفورماتور را تشکیل می‌دهد این خطاها معمولاً ناشی از عوامل خارجی مانند صاعقه، اتصال کوتاه و اضافه بار می‌باشند. در مواردی که صاعقه اصابت نموده است بدلیل عملکرد خوب برقگیر یا مشکل‌دار بودن سیستم زمین (از قبیل بالا بودن مقاومت زمین و عدم اتصال صحیح هادیها) اضافه ولتاژ ایجاد شده به ترانس منتقل شده و باعث سوختن ترانسفورماتور گردیده است.

همچنین در ترانسفورماتورهایی که اضافه بار و اتصال کوتاه باعث خطای سیم‌پیچی در آنها شده‌اند حرارت و نیروهای ناشی از اتصال کوتاه عامل اصلی تخریب سیم‌پیچ بوده‌اند.

روغن ترانسفورماتور که نقش عایق ترانسفورماتور و هم خنک کننده آنرا بعهده دارد در اثر عواملی چون حرارت، رطوبت، آلودگی دچار مشکل شده و خواص عایقی خود را از دست میدهد لذا این امر سبب کاهش طول عمر و همچنین صدمات اصلی به عایق ترانسفورماتور میگردد.

در ترانسفورماتور تپ چنجر یکی دیگر از عوامل اصلی ایجاد خطا است که فرسودگی اتصالات کنتاکتهای تپ چنجر ، عدم عملکرد مناسب بخشهای متحرک و افزایش مقاومت کنتاکتها را میتوان از جمله موارد اصلی ایجاد خطا بوسیله تپ چنجر دانست.

عوامل خارجی

عوامل خارجی موثر بر عملکرد و ایجاد خطا در ترانسفورماتور عبارتند از : اضافه‌بار ، اتصال کوتاه و اضافه ولتاژها.

اضافه بار عاملی است که صددرصد در اثر بهره‌برداری علط حاصل میشود و به جرات میتوان گفت اضافه بار یکی از دلایل اصلی کاهش طول عمر و پیری زودرس عایق و ترانسفورماتور می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده ترانسفورماتور تل بیضاء برق فارس در اثر اضافه بار دچار کاهش کیفیت عایق گردیده و ناگ‌زیر با ترانسفورماتوری با توان بالاتر و جایگزین شده است به عبارت دیگر آزمایش عایقی با میکر در هنگام نصب ترانسفورماتور مقاومتی برابر $\mu\Omega$ ۲۰۰۰ را نشان داده است و پس از ایجاد خطا مقاومت یاد شده به $\mu\Omega$ ۱۰۰۰ یعنی نصف تقلیل یافته است که این امر مبین کاهش کیفیت عایق در اثر اضافه بار می‌باشد که البته با قراردادن ترانسفورماتوری با قدرتی ۱/۵ برابر قدرت ترانس اولیه این مشکل برطرف گردیده است.

اتصال کوتاه

اتصال کوتاه همان اثرات سوء اضافه بار را دارا می‌باشد لیکن در زمان بسیار کوتاهتری این امر بوقوع می‌پیوندد.

حرارت و نیروهای الکترودینامیکی ایجاد شده هنگام اتصال کوتاه باعث از بین رفتن عایق سیم‌پیچی و تغییر شکل آنها میگردند که این امر بعنوان نمونه در پست مشاء بعلت ایجاد اتصال کوتاه در نزدیکی پست به سیم‌پیچ فشارقوی یکی از فازها صدمه وارد گردیده است.

اضافه ولتاژ

اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه از دیگر عوامل اصلی آسیب دیدن ترانسفورماتور می باشد حفاظت در مقابل این امر توسط برقگیر صورت می‌گیرد در صورتیکه برقگیر درست عمل نکند (صحیح انتخاب نشده باشد یا عیب ساختاری داشته باشد) اضافه ولتاژ ایجاد شده بر ترانسفورماتور تحمیل خواهد شد و موجب ایجاد تنش الکتریکی بر روی سیم پیچ بخصوص دورهای آخر آن میگردد.

بهره برداری

در حیطه بهره برداری مشکلات و مسائل گوناگونی وجود دارد که هر یک به نحو خاصی منجر به سوختن ترانسفورماتور می گردند که میتوان به موارد ذیل اشاره نمود.

الف- عدم حفاظت ترانسفورماتور در مقابل اتصال کوتاه

ب- عدم حفاظت ترانسفورماتور در مقابل اضافه بار

پ- برنامه منظم بازدیدهای دوره‌ای و تعمیر و نگهداری

ت- عدم حفاظت در مقابل اضافه ولتاژهای گذرا

ث- کارآیی و تخصص گروه بهره بردار

ج- عدم وجود دستور العملهای مناسب بهره برداری

چ- عدم وجود و یا رعایت نکردن دستورالعملهای حمل ، نصب و انبارداری

عوامل طراحی و ساختاری

استفاده از ترانسفورماتور هایی که طراحی آنها ویژه آن منطقه خاص بوده و با شرایط سیستمی و محیطی محل نصب آن هماهنگی لازم را دارا می‌باشد بسیار مهم است از طرف دیگر خطاهای درونی هنگام ساخت ترانس که در فصل اول به آن اشاره گردید

عوامل پیش بینی نشده

حوادث پیش بینی نشده و غیر مترقبه مثل فرو افتادن ترانس هنگام حمل و نقل یا نصب ، زلزله ، طوفان و ... از جمله موارد دیگری هستند که باعث ایجاد خطا در شبکه و ترانسفورماتور می گردند بعنوان نمونه ورود پرندگان به محیط پست و ایجاد اتصال کوتاه در باس بارها یا محلهایی که دارای اختلاف پتانسیل هستند از جمله مواردی است که در سالهای گذشته خطاهایی را ایجاد کرده‌اند نصب حفاظ ار روشهای مرسوم جهت رفع این معضل است لیکن نصب عایق بر روی شینه‌ها و هادیهای لخت از روشهای جدیدی است که امروزه به منظور جلوگیری از این امر در پستها بکار گرفته می‌شود .

از آنجا که همیشه پیشگیری بهتر از رفع آسیبها پس از خطا می‌باشد لذا توجه به روشهای پیشگیرانه در خصوص بررسی وضعیت ترانسفورماتور از اهمیت بسزایی برخوردار است.

روشهای مونیتورینگ بطور کلی به دو روش اصلی تقسیم می شوند :

روشهای غیر الکتریکی

روشهای الکتریکی

روشهای غیر الکتریکی

الف- روشهای مونیتورینگ گاز هیدروژن از جمله روشهایی است که بسیار کارآمد بوده و هم اکنون نیز در برقهای منطقه‌ای اجرا میشود و به بیان دیگر لازم الاجرا است .

ب- تشخیص رطوبت

با تشخیص رطوبت بصورت On-line میتوان به وضعیت روغن و کاغذ ترانس پی برد .

پ- روش فراصوتی

جهت تعیین محل تخلیه جزیی در ترانسفورماتور یا اشکلات ناشی از چفت و بستهای مکانیکی در هسته و لرزش آن کارآیی مناسبی را ارائه میدهد .

ت- روش حرارتی

در این روش با استفاده از دوربین حساس به حرارت دمای نقاط مختلف ترانسفورماتور مورد ارزیابی قرار گرفته و در صورتیکه دمای نقطه خاصی بالاتر از حد معمول باشد نشانگر وجود خطا در آن محل از ترانسفورماتور خواهد بود . از طرف دیگر با تعیین اختلاف دمای مرتب تپ چنجر تانک اصلی می‌توان از بسیاری از خطاهای ناخواسته جلوگیری نمود.

روشهای الکتریکی

بررسی میزان تخلیه جزیی عمل ترین راه جهت تشخیص وجود خطا در ترانسفورماتور است که این امر می‌تواند بصورت On-line انجام شود و وضعیت عایقی ترانسفورماتور را مشخص کند .

استفاده از کوپلاژ خازنی از ساده ترین و ارزان ترین روشهای مطرح در این زمینه می باشد .

لذا در نهایت می‌توان به این نتیجه رسید که اگر چه تعدادی از ترانسفورماتور ها در بق منطقه‌ای فارس دچار خطا شده و از مدار خارج شده‌اند لیکن پیدا کردن روشی که بتوان با استناد به آن از خطاهای آتی جلوگی‌ری نمود بسیار با اهمیت است که سعی گردیده است . موارد ایجاد خطا و روشهای پیشگیری و حفاظت ترانسفورماتور بطور کامل تشریح و رائه شود.

منابع

۱. بررسی چند حادثه در ترانسفورماتورهای قدرت"، حسین محسنی، اولین کنفرانس شبکه سراسری برق، ۱۳۶۵
۲. بررسی اثرات صاعقه در شبکه‌های ۱۳۲-۲۳۰ کیلوولت"، نسرین چاوشی

۳. محاسبه توزیع ولتاژ ضربه و ولتاژ انتقالی در سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور"، حسین محسنی، ابراهیم رحیم‌پور، هفتمین کنفرانس مهندسی برق ایران
۴. بررسی توزیع امواج گذرای ناشی از صاعقه در بوبین ترانسفورماتور"، بهروز وحیدی، سید حسین حسینیان، ششمین کنفرانس مهندسی برق ایران
۵. فرورزونانس در خطوط انتقال انرژی ولتاژ بالا"، رضا قاضی، سپهر سلطانی، کنفرانس مهندسی برق ایران ۱۳۷۳
۶. بررسی اشکالات محتمل از اتصالات سخت لوله-شمش ترانسفورماتورها و اثرات آن"، حسین بختیاری‌زاده، پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق-۱۳۶۹
۷. زلزله منجیل و مروری بر طراحی پستها"، مصطفی توکل، ابراهیم مومن، فرامرز رهبر، پنجمین کنفرانس بین‌المللی برق-۱۳۶۹
۸. پروژه روغن ترانسفورماتور"، مهدی مقدم، مرکز تحقیقات نیرو-۱۳۶۳
۹. مروری بر فرسودگی و پیری کاغذ در ترانسفورماتورهای برق"، عزت سیدی، مجله برق-شماره۱۲
۱۰. نگهداری و بازیابی ترانسفورماتور"، حسین محسنی، فاطمه همداد، جمال ولایت، چهارمین کنفرانس شبکه سراسری برق-۱۳۶۸
۱۱. هماهنگی عایقی در سیستم‌های فشار قوی"، ترجمه مسعود علی اکبر گلکار، بدیع‌ال...سیار-۱۳۷۶
12. Analysis of Furaldehyde Content of the Oil and its Diagnostic Value for Transformer Ageing", R.Heywood, B.Pahlavanpour,چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۷۸
13. Transmission and Distrubution Reference Book by Westing House.
14. Noisance Fuse Operation on MV Transformers During Storms", PWRD 1990, Vol.5, No.5
15. Interruption of Low Induction and Capacitive-Current in HV Systems, J.Koparnshi, 1979
16. Power Transformer Resonance-Measurments and Predication", PWRD 1992, Vol.7, No.1
17. Ferroresonance Study using Galerkin Method with Pseudo-Arc Length Continuation Method",PWRD 1991, Vol.6, No.4
18. Transient Simulation and Analysis of Three-Phase fire Limbs Step-up Transformers Following on out-of phase Syncronization", PWRD 1991, Vol.6, No.1
19. Analysis of Internal winding Stresses in EHV Generator Step-up Transformers Failures",PWRD 1996, Vol.111, No.2
20. Direct Fibre-Optic Hot-Spots Temperature Measurment in An Operating Transformer", Cigre-1990,12-106
21. Maintenance and Super Vision Guide for Insulation Oils in Service", IEC 422
22. IEC 156-ASTM, D-1816
23. IEEE Guide for the Detection and Determination of Generated gases in Oil-Immersed Transformers and their Relation to the Serviceability of the Equipment", 1977
24. IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment, 1977
25. IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers", IEEE std C57-104-1991
26. ASTM, D3305-84, ASTM< D3613-87, ASTM, D2945-90, ASTM, D3612-90
27. A Discharge Location System Using Waveguided Acoustic Signal and Fiber-Optics Transmission:, S.Hlkiadis, N.Theofanous, D.Greaves, IEEE Trans. On Instrumentation & Measurment Vol.45, 1996
28. The Ultrasonic Location of Discharges in Transformers A New Approach", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 1994

ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

29. High Voltage Engineering Fundamentals", E.Kuffel. W.S.Zaengl, 1983
30. Partial Discharge Measurment", IEC No.270-1981
31. Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment", F.K>Kreuger, Butter Worth, 1989
32. Switched & Protection", M.V.Deshapande
33. Large Power Transformers" K.Karsa-1987
34. Electrical Transients in Power Systems" Allan Green Wood-1996
35. Transformer Book" J&P-Franklin.1983
36. The Study of Acoustic Emission Method for Detection of P.D in Power Transformers", Power delivery IEEE-1988