

راه کاری جدید جهت افزایش عمر ترانسفورماتورهای قدرت نیروگاهی

علی ابراهیمی اله آبادی^۱، نوید پورسلطانی^۲

^۱ کارشناس الکترونیک شرکت افق تأمین انرژی طوس، a.ebrahimi@otet.co

^۲ کارشناس شیمی شرکت افق تأمین انرژی طوس، n.poursoltani@otet.co

چکیده

ارزیابی دقیق وضعیت پیری عایق کاغذی و روغن در ترانسفورماتورهای نیروگاهی بسیار ضروری و مهم است. خطا در یک ترانسفورماتور منجر به از دست رفتن درآمد، آلودگی و قابلیت اطمینان جهت عرضه برق به مصرف کننده گان می شود که با توجه به فضای رقابتی بازار برق و واگذاری تعدادی از نیروگاهها (از جمله نیروگاه طوس) به بخش خصوصی، بسیار ناخوشایند است. در این مطالعه پس از مروری کوتاه بر مسائل عایقی و ارتباط آن با عمر ترانسفورماتورهای قدرت (نیروگاهی) به بررسی امکان نصب دستگاه بافر باکس برای ترانسفورماتور ژنراتور یک واحد نیروگاه طوس، با توجه به نتایج آزمون های انجام شده بر روی روغن آن پرداخته شده است.

واژه های کلیدی

ترانسفورماتور، عایق، بافر باکس، نیروگاه

مقدمه

ترانسفورماتورها یکی از باارزش ترین و گران قیمت ترین تجهیزات نیروگاه هستند که نقش حیاتی را در پروسه انتقال انرژی الکتریکی بازی می کنند؛ از این رو، کارکرد صحیح و بی وقفه آنها یکی از اهداف اصلی سازندگان و بهره برداران می باشد. به طور متوسط، عمر ترانسفورماتورهای قدرت حدوداً ۲۵ تا ۳۰ سال است؛ لکن اگر به درستی بهره برداری شود و برنامه های تعمیرات زمان بندی شده (طبق دستورالعمل سازنده)، و تعمیرات پیشگیرانه جهت جلوگیری از پیری و اضمحلال عایق آن به شکل صحیح و به موقع انجام شود، تا ۷۰ سال قابل استفاده خواهند بود [۱]. اکسیژن، رطوبت هوا و حرارت بیش از حد، به عنوان عوامل مضر و مخرب در عملکرد ترانسفورماتورها شناخته شده و از دلایل اصلی پیر شدن عایق به شمار می روند. می دانیم روغن ترانسفورماتور قابلیت تعویض و تصفیه شدن را دارد، اما اگر عایق کاغذی (سلولوز) دچار خرابی شود، به احتمال بسیار، ترانسفورماتور غیر قابل استفاده خواهد شد؛ لذا به منظور افزایش قابلیت اطمینان و تداوم برق رسانی، لازم است که بهره برداری و تعمیر و نگهداری از این ترانسفورماتورها به صورت بهینه انجام شود. یکی از عوامل مؤثر در حفاظت و نگهداری ترانسفورماتورهای قدرت قدیمی، کنترل راه های نفوذ رطوبت و اکسیژن در روغن (از طریق محفظه تنفسی و رطوبت گیر) است که باعث افزایش عمر ترانسفورماتور

خواهد شد. یکی از جدیدترین روش های ارائه شده جهت تحقق این موضوع، استفاده از دستگاه بافر باکس است.

بررسی گازهای موجود در روغن ترانسفورماتور

تولید گاز در تمام ترانسفورماتورها، در حالت کار و شرایط عادی نیز وجود دارد، لکن وجود ذرات معلق در روغن، حباب های هوا یا رطوبت باعث کم شدن ولتاژ شکست روغن می شود. در این میان در صورت بروز شرایط بهره برداری غیرعادی (اضافه بار، اضافه ولتاژ، اتصالات ضعیف، بهره برداری اشتباه، شوک های الکتریکی از سمت شبکه، حرارت بیش از حد و ...) امکان رخ دادن شکست عایقی وجود دارد. یکی از روش های اصلی ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور، آنالیز گازهای محلول در روغن^۱ است. به طور کلی می توان گفت، برای ترانسفورماتورهای قدرت قدیمی بایستی با انجام آزمون های زمان بندی شده روغن^۲، وضعیت نرخ رشد گازهای^۳ کلیدی زیر رصد شود که در این میان گروه دوم گازها (به علت ارتباط بیشتر با عایق کاغذی) از اهمیت بیشتری برخوردار خواهند بود [۴] و [۸].

- گروه اول (گازهای محلول در روغن، ناشی از تخریب تدریجی روغن) عبارتند: هیدروژن (H_2)، متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، اتیلن (C_2H_4) و استیلن (C_2H_2)
- گروه دوم (گازهای محلول در روغن، ناشی از تخریب تدریجی عایق کاغذی) عبارتند: مونواکسید کربن (CO)، اکسیژن (O_2)، دی اکسید کربن (CO_2) و مقداری هیدروژن و متان

قضاوت کردن در مورد وضعیت ترانسفورماتور با توجه به نرخ افزایش گازهای فوق برای هر ترانسفورماتور منحصر به فرد خواهد بود که وابستگی زیادی به دما، حجم عایق و شرایط بهره برداری از ترانسفورماتور دارد. میزان مجاز گازهای فوق در جدول ۱ آورده شده

^۱ Dissolved Gas Analysis

^۲ Gas Chromatography

^۳ نرخ رشد گازهای محلول در روغن متناسب با میزان انرژی آزاد شده در حین خطا است؛ در صورتی که انرژی آزاد شده در حین خطا بسیار زیاد باشد (مثل قوس الکتریکی)، حباب های گاز ایجاد شده به سرعت به رله بوخهلتس رسیده و کمتر در روغن حل می شوند. در صورت عملکرد این رله بایستی علاوه بر آنالیز گازهای محلول در روغن، گازهای موجود در رله بوخهلتس نیز آنالیز گردد.

و چگونگی ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور با توجه به نتایج به دست آمده در ادامه ارائه شده است [۴].

جدول ۱: وضعیت گازهای محلول در روغن طبق استاندارد IEEE

وضعیت غلظت گازهای محلول		μL/L (ppm) ^a	
وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۴
H ₂	۱۰۰	۷۰۱-۱۸۰۰	>۱۸۰۰
CH ₄	۱۲۰	۴۰۱-۱۰۰۰	>۱۰۰۰
C ₂ H ₂	۱	۱۰-۳۵	>۳۵
C ₂ H ₄	۵۰	۱۰۱-۲۰۰	>۲۰۰
C ₂ H ₆	۶۵	۶۶-۱۰۰	>۱۵۰
CO	۳۵۰	۳۵۰-۵۷۰	>۱۴۰۰
CO ₂	۲۵۰۰	۴۰۰۰-۱۰۰۰۰	>۱۰۰۰۰
TDGC	۷۲۰	۷۲۱-۱۹۲۰	>۴۶۳۰

بند ۱: با توجه به توضیحات داده شده، اگر ترانسفورماتور در وضعیت ۱ قرار نگرفت، با توجه به مقدار TDGC نرخ رشد گازها را طبق رابطه ۱ محاسبه کرده و سپس با توجه به جدول ۲، شرایط بهره-برداری ترانسفورماتور را تعیین می‌کنیم [۴].

$$R = \frac{(S_T - S_0) \times V \times 10^{-6}}{T} \quad (1)$$

در رابطه ۱، R نرخ تولید گاز برحسب لیتر در روز، S_T و S₀ به ترتیب حجم گازها در آزمون قبلی و بعدی برحسب PPM، V حجم روغن تانک اصلی ترانسفورماتور برحسب لیتر و T زمان بین دو نمونه‌گیری برحسب روز است [۴].

یادآور می‌شود، همان‌طور که در جدول ۲ و فلوجارت ارائه شده نیز مشاهده می‌شود، دستورالعمل‌های سازنده و تجربه گروه بهره-برداری و تعمیر و نگهداری در تعیین وضعیت، انجام تعمیرات پیشگیرانه و سایر روش‌های عملیاتی برای جلوگیری از پیری عایق و افزایش عمر ترانسفورماتور نقش مهمی را ایفا می‌کند.

جدول ۲: روش‌های عملیاتی، با توجه به نتایج به دست آمده

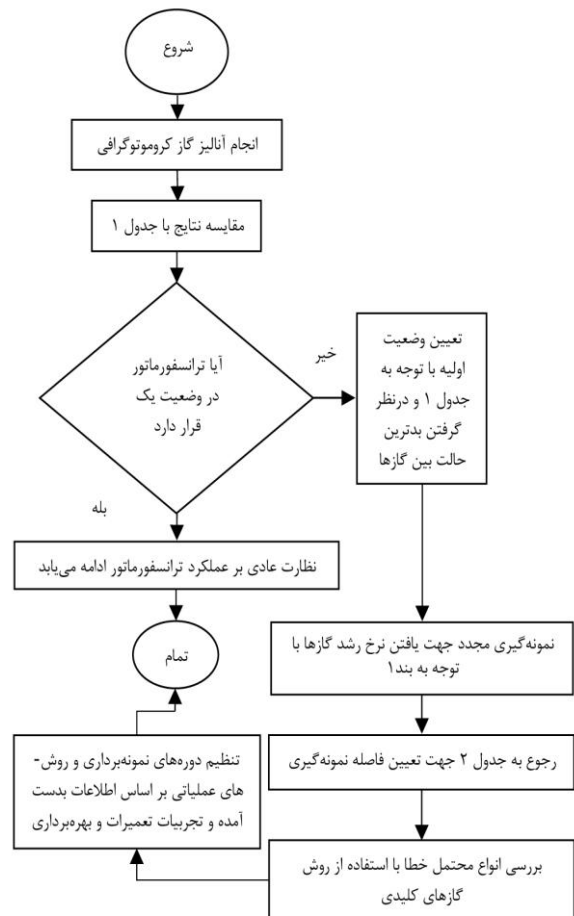
روش‌های عملیاتی	دوره نمونه-گیری	TDGC rate μL/L/day	TDGC μL/L	وضعیت
بهره‌برداری با اعمال احتیاط بررسی نرخ رشد گازها به صورت مجزا بارگیری محدود از ترانسفورماتور	ماهانه	>۳۰	≤۷۲۰	۱
	فصلی	۱۰ تا ۳۰		
بهره‌برداری عادی بدون محدودیت	سالانه	<۱۰	۷۲۱ تا ۱۹۲۰	۲
	ماهانه	>۳۰		
بهره‌برداری با اعمال احتیاط بررسی نرخ رشد گازها به صورت مجزا بارگیری محدود از ترانسفورماتور	ماهانه	۱۰ تا ۳۰	۱۹۲۱ تا ۴۶۳۰	۳
	فصلی	<۱۰		
	هفتگی	>۳۰		
بهره‌برداری با اعمال احتیاط شدید بررسی نرخ رشد گازها به صورت مجزا عملکرد بر اساس دستورالعمل سازنده	روزانه	>۳۰	>۴۶۱۰	۴
	روزانه	۱۰ تا ۳۰		
	هفتگی	<۱۰		

روش ارزیابی گازهای کلیدی

یکی از روش‌های اصلی برای شناسایی انواع محتمل خطا از روی مقایسه مجزای گازهای تولید شده در نمونه‌گیری‌های انجام شده، استفاده از روش گازهای کلیدی برای چهار حالت خطای عمده می-باشد که در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، گاز عمده تولید شده در شرایط خطای ناشی از اضافه حرارت در روغن، اتیلن است و متعاقباً در شرایط خطای ناشی از اضافه حرارت در عایق کاغذی، تخلیه جزئی و قوس‌های الکتریکی و جرقه، گازهای عمده به ترتیب، مونوکسیدکربن، هیدروژن و استیلن هستند. روش‌های دیگری نیز برای شناسایی خطا از روی مقایسه نسبت گازهای تولید شده در نمونه‌گیری‌های انجام شده ارائه شده

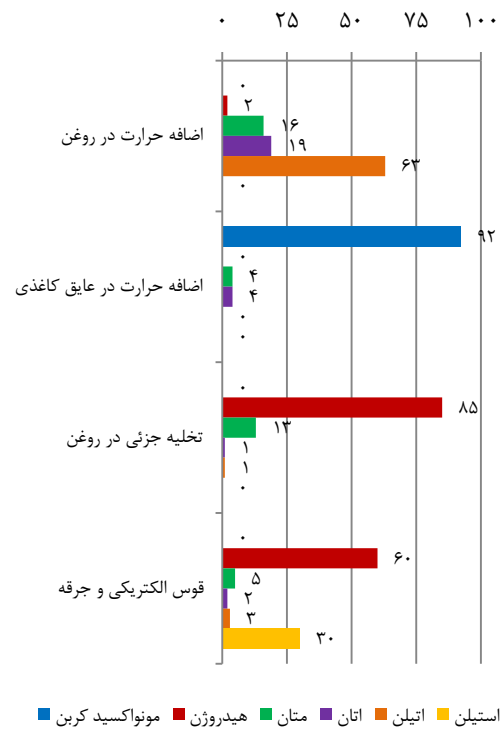
رویه در نظر گرفته شده برای تعیین وضعیت ترانسفورماتور با توجه به نتایج آزمون روغن

فلوجارت و رویه در نظر گرفته شده برای تعیین وضعیت ترانسفورماتور با توجه به نتایج آزمون روغن به قرار زیر است [۴].



شکل ۱: فلوجارت تعیین روش‌های بهره‌برداری ترانسفورماتور

است که از آن جمله می‌توان به روش درنبرگ، راجرز و مثلث دوال اشاره داشت [۴] و [۸].



شکل ۲: ارزیابی گازهای کلیدی

تأثیر رطوبت و اکسیژن بر عمر ترانسفورماتور

همان‌طور که گفته شد، تعیین کننده‌ترین عامل برای میزان عمر ترانسفورماتورهای قدرت، وضعیت عایق کاغذی (سلولوز) آن است که تحت تأثیر نیروهای مکانیکی^۴، حرارت و واکنش‌های شیمیایی^۵، استرس‌های ولتاژی^۶ و آلودگی دچار پیری و اضمحلال تدریجی می‌گردد؛ در این میان وجود رطوبت و اکسیژن در سلولوز و محلول در روغن، این فرایند را به شدت تسریع می‌کند (چراکه این دو تحت تأثیر عوامل یاد شده علاوه بر کاهش استقامت عایقی، تولید اسید و لجن کرده و با رسوب لجن تولیدی روی عایق کاغذی، بازده سیستم خنک‌کن را کاهش داده و به‌مرورزمان ایجاد نقطه گرم^۷ خواهند کرد). بطورکل، کاغذ نسبت به روغن میل بیشتری برای جذب رطوبت دارد؛ لکن تحت تأثیر گرمای حاصل از کار ترانسفورماتور شروع به مهاجرت به نواحی سردتر (نزدیک به یک سوم پایین سیم‌پیچ‌ها که بیشتر تحت تأثیر تنش‌های الکتریکی است) می‌نماید. بنابراین یک عامل مهم در نحوه پراکندگی رطوبت در

^۴ ترانسفورماتور هنگام حمل و نقل، اتصال کوتاه و همچنین به‌علت جریان‌های غیرعادی در معرض استرس‌های مکانیکی قرار می‌گیرد که می‌تواند باعث آسیب رسیدن به عایق کاغذی (سلولوز) ترانسفورماتور گردد

^۵ با افزایش دما، اکسیژن و رطوبت، فعل و انفعالات شیمیایی (که معمولاً به‌صورت اکسیداسیون یا هیدرولیزاسیون هستند) افزایش می‌یابد که منتهی به آن کاهش استقامت مکانیکی و کاهش عمر عایق ترانسفورماتور است [۴].

^۶ فوس الکتریکی، کرونا، تخلیه با انرژی کم و اضافه بارهای ناگهانی و شدید.

^۷ Hot Spot

ترانسفورماتور، دما می‌باشد. با توجه به اینکه با افزایش دما عمر سلولوز به شدت کاهش می‌یابد^۸، روش‌های ذیل به منظور رطوبت زدایی از ترانسفورماتور ارائه گردیده است [۳] و [۶]، [۷]:

- روش سیرکوله روغن داغ
- روش خلأ و سیرکوله روغن داغ
- روش اعمال ولتاژ با فرکانس پایین، جهت خارج نمودن رطوبت موجود در عایق کاغذی ترانسفورماتور (LFH)^۹
- روش اسپری روغن داغ^{۱۰} از قسمت فوقانی ترانسفورماتور همراه با افزایش خلأ
- اضافه کردن مواد نگه‌دارنده و آنتی‌اکسیدان به میزان ۳ درصد وزن کل روغن، پس از تصفیه روغن

در مجموع یکی از ضروری‌ترین اقدامات در جهت افزایش عمر ترانسفورماتور، خشک و عاری از اکسیژن نگاه‌داشتن سیستم عایقی (روغن و سلولوز) می‌باشد.

منبع انبساط ترانسفورماتور و روش‌های جلوگیری یا کاهش نفوذ رطوبت و اکسیژن به تانک اصلی روغن

تانک ذخیره روغن یا منبع انبساط در بالاترین قسمت ترانسفورماتور نصب می‌شود. روغن در اثر تغییر دما انبساط و انقباض می‌یابد و در حین انبساط وارد منبع ذخیره روغن می‌شود. اندازه این تانک بستگی به توان ترانسفورماتور و تغییرات دمایی آن حین بهره‌برداری دارد. در ترانسفورماتورهای نیروگاهی که دارای تپ چنجر قابل تغییر زیر بار هستند، این منبع به دو بخش تقسیم می‌شود که بخش کوچک‌تر مربوط به تپ چنجر و بخش بزرگ‌تر مربوط به تانک اصلی است. یکی از عواملی که عمر ترانسفورماتور را کاهش می‌دهد، ورود اکسیژن و رطوبت محیط به داخل منبع انبساط است که برای جلوگیری از ورود آن به داخل ترانسفورماتورهای غیر هرمتیک، در مسیر منبع انبساط، یک محفظه رطوبت‌گیر نصب گردیده است. در ادامه روش‌هایی جهت جلوگیری یا کاهش میزان نفوذ رطوبت و اکسیژن به تانک اصلی روغن ارائه می‌گردد.

ارتقاء کارایی سیلیکاژل و محفظه تنفسی

راه کارهای ارائه شده با دیدگاه ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست جهت افزایش عمر ترانسفورماتورهای (شبکه توزیع) با ارتقاء کارایی محفظه رطوبت‌گیر ترانسفورماتور عبارتند از [۱۰]:

- استفاده از ترکیب سیلیکاژل بی‌رنگ و نارنجی بجای سیلیکاژل آبی^{۱۱} که علاوه بر افزایش جذب رطوبت، به لحاظ زیست محیطی

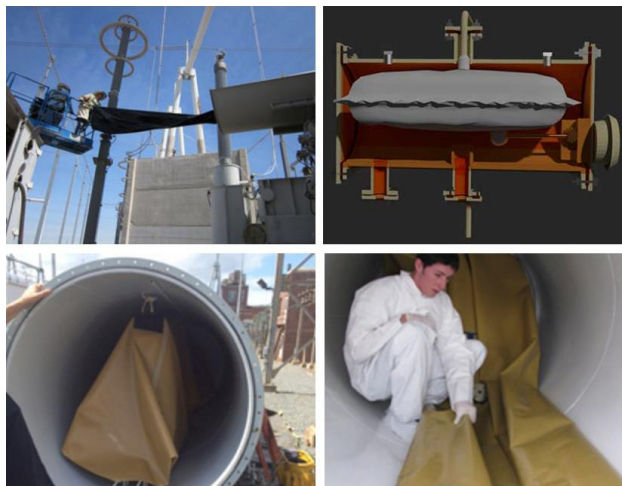
^۸ تقریباً به‌ازای هر ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش دما، سرعت پیری عایق دو برابر می‌شود [۹].

^۹ Low Frequency Heating

^{۱۰} آن‌چنان که گفته شد، قابلیت جذب آب توسط روغن با افزایش دما متناسب است و با انحلال پذیری آب در سلولوز رابطه عکس دارد

^{۱۱} سیلیکاژل آبی علاوه بر جذب کمتر رطوبت، طبق بخش‌نامه EEC/548/67 اتحادیه اروپا، حاوی مواد سرطان‌زا است [۱۰].

داخلی ترانسفورماتور ندارد. معمولاً گازهای نیتروژن، ازت و هوای خشک برای این منظور استفاده می‌شود.



شکل ۴: کیسه مخصوص گاز نیتروژن در داخل منبع انبساط

هزینه‌بر بودن نصب، تعمیر و نگهداری کیسه لاستیکی (محفظه گاز) در اثر واکنش‌های شیمیایی با روغن، مشکلات مربوط به تأمین روغن و تنظیم سطح منبع انبساط، عدم خروج رطوبت و اکسیژن موجود در روغن به خارج ترانسفورماتور و مهم‌تر از همه، نیاز به بی‌برق کردن ترانسفورماتور جهت نصب و تعمیرات از ایرادات عمده این روش به شمار می‌آید [۱] و [۲].

معرفی دستگاه بافرباکس

همان‌طور که اشاره شد، پیری و اضمحلال عایق (روغن و سلولوز) با حل شدن اکسیژن در روغن تسریع می‌شود. این موضوع در مورد ترانسفورماتورهایی که در فضای باز نصب شده‌اند بیشتر و سریع‌تر بوده و باعث کاهش عمر آنها خواهد شد. همان‌طور که اشاره شد، محفظه تنفسی و رطوبت‌گیر، یکی از قسمت‌های حفاظتی و ایمنی ترانسفورماتورهای قدرت است که با کنترل و پیشگیری از ورود رطوبت، اکسیژن، گردوغبار و سایر ناخالصی‌ها به داخل روغن، می‌تواند نقش مؤثری در تعیین طول عمر ترانسفورماتور داشته باشد. انجام بازدیدهای دوره‌ای و زمان‌بندی شده، خارج نمودن ناخالصی‌ها از محفظه و تعویض، تصفیه و احیاء رطوبت‌گیر (سیلیکاژل) باعث کاهش احتمال بروز خرابی و نقص ناشی از ورود رطوبت و اکسیژن به داخل روغن ترانسفورماتور می‌شود [۱۰].

بافرباکس یک مجموعه استوانه‌ای شکل است که در مسیر تنفس ترانسفورماتور و بعد از (بالای) رطوبت‌گیر نصب می‌شود و با ایجاد یک فشار مثبت از نفوذ گازها (اکسیژن و رطوبت) به داخل منبع ذخیره روغن جلوگیری می‌کند. مخزن استوانه‌ای بافرباکس با مقداری روغن (مشابه روغن ترانسفورماتور) پر می‌شود و یک دیسک آلومینیومی شناور روغن را از هوای محیط جدا می‌کند؛ این روغن با فشاری که ناشی از تغییرات دمای ترانسفورماتور و انبساط و انقباض گاز (نیتروژن) موجود در تانک ذخیره روغن است، بالا و پایین می‌رود. بدین ترتیب که مطابق شکل ۵، با افزایش دمای ترانسفورماتور گاز (نیتروژن) داخل منبع ذخیره روغن منبسط می‌شود؛ نیروی

و ایمنی کارکنان نیز مفید است.

- حذف یا کاهش آلاینده‌های مداخله‌گر (مثل گازهای تولید شده بر اثر فعل و انفعالات روغن) در جذب رطوبت توسط سیلیکاژل با استفاده از جذب کننده آلاینده‌های آلی که در دو طرف محفظه رطوبت‌گیر نصب می‌شود.
- اضافه کردن مقداری تری‌اکسید آلومینیم (Al_2O_3) به داخل ظرف روغن محفظه رطوبت‌گیر که در جذب رطوبت توسط روغن مفید است.

استفاده از ترانسفورماتورهای هرمتیک

استفاده از ترانسفورماتورهای بدون منبع انبساط^{۱۲} که روغن آنها با هوای آزاد هیچ ارتباطی نداشته و مخازن آنها کاملاً مسدود می‌باشد^{۱۳}؛ کاهش میزان فرسودگی مواد عایقی در مقایسه با ترانسفورماتورهای با منبع انبساط به علت قطع ارتباط هوا با روغن از ویژگی‌های عمده این ترانسفورماتورها است. میزان تعمیر و نگهداری این ترانسفورماتورها بسیار ناچیز بوده و اصولاً نیازی به تعویض روغن ندارند؛ از این رو عموماً در مکان‌هایی که امکانات تعمیر و نگهداری وجود ندارد یا ضعیف است نصب می‌شوند و بهره‌برداری از آنها تنها در سطح شبکه توزیع عملیاتی شده است. شکل ۳ نمونه‌ای از این نوع ترانسفورماتورها را نشان می‌دهد [۵].



شکل ۳: ترانسفورماتور هرمتیک (بدون منبع انبساط)

جلوگیری از نفوذ هوای مرطوب با استفاده از کیسه نیتروژن

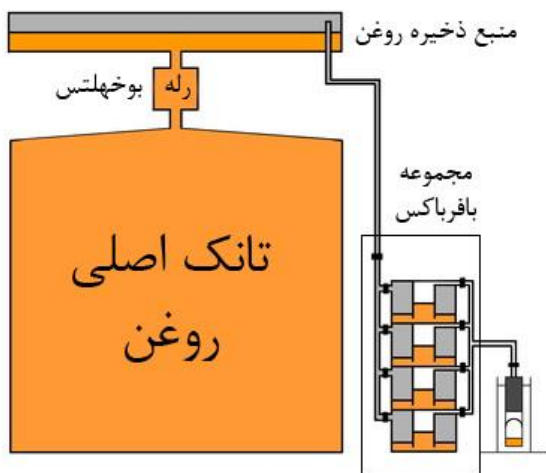
در این روش که نیاز به متوقف کردن ترانسفورماتور و تخلیه روغن موجود در منبع انبساط وجود دارد، مسیر تنفس ترانسفورماتور تغییر پیدا می‌کند؛ بدین ترتیب که مطابق شکل ۴ با اضافه شدن کیسه مخصوص گاز (نیتروژن) به عنوان محفظه گاز، از ارتباط مستقیم بین روغن و هوای محیط جلوگیری می‌شود^{۱۴}. گاز مورد استفاده اثر مخرب بر روی روغن و سایر مواد عایقی و قسمت‌های

¹² Hermetically Sealed Transformer

¹³ تانک اصلی روغن و رادیاتورهای ترانسفورماتورهای هرمتیک، قابلیت تحمل فشارهای ناشی از انبساط و انقباض روغن را دارند.

¹⁴ Retrofit Airbag

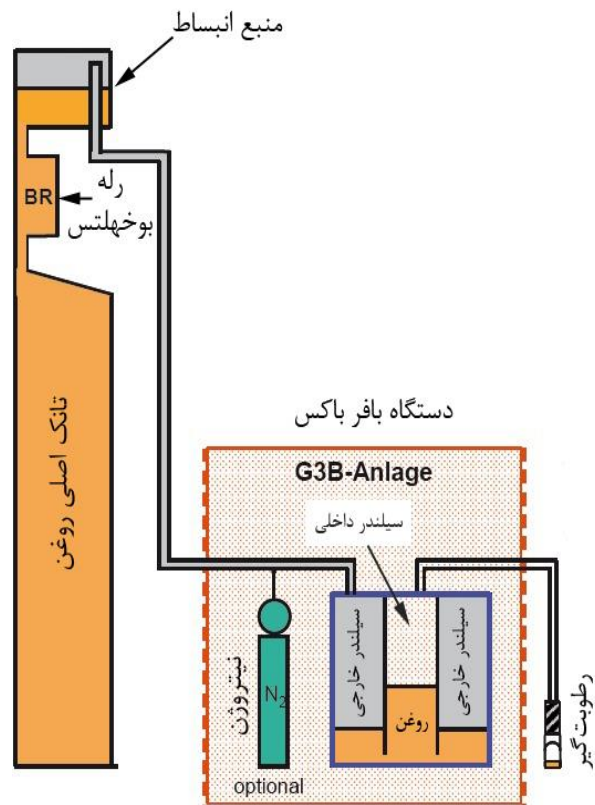
حاصل از این فرایند سطح روغن را در سیلندر خارجی دستگاه بافرباکس (که به منبع ذخیره روغن متصل شده) به سمت پایین و متعاقباً در سیلندر داخلی دستگاه (که به محفظه رطوبت‌گیر متصل شده) به سمت بالا فشار می‌دهد. به‌طور مشابه هنگام خنک شدن ترانسفورماتور فشار هوای محیط باعث پایین رفتن سیلندر داخلی و متعاقباً بالا رفتن سیلندر خارجی خواهد شد [۱] و [۲].



شکل ۶: استفاده از دستگاه بافرباکس به صورت موازی

- مزایای عمده استفاده از این دستگاه نسبت به سایر موارد عنوان شده در بخش ۴، عبارتند از:
- هزینه قابل توجهی، در برابر افزایش عمر ترانسفورماتور به‌علت جلوگیری از شتاب در پیری عایق
 - عدم نیاز به ایزوله (بی‌برق کردن) و عدم دخالت در عملکرد عادی ترانسفورماتور
 - تعمیر و نگهداری بسیار کم در طول دوره نصب
 - کاهش قابل توجه میزان اکسیژن محلول در روغن و متعاقباً افزایش عمر عایق کاغذی (سلولوز) ترانسفورماتور
 - جلوگیری از نفوذ هوای مرطوب به داخل تانک ذخیره روغن
 - قابلیت اضافه شدن دستگاه بافرباکس به ترانسفورماتورهای قدیمی و جدید
 - نصب آسان و در دسترس بودن تجهیزات
 - عمر طولانی و قابلیت انتقال و نصب آن برای دیگر ترانسفورماتورهای مجموعه
 - قابلیت تطبیق پذیری دستگاه با سطح و دمای روغن ترانسفورماتور
 - اشغال کمترین فضای ممکن با توجه به امکان نصب چند دستگاه بافرباکس به صورت موازی (به شکل ۶ توجه کنید)

از جمله امکاناتی که قابل اضافه شدن به دستگاه بافرباکس هستند نیز می‌توان به‌اضافه کردن سیستم خشک‌کن خارجی^{۱۵} و سیستم مانیتور کننده اکسیژن، رطوبت و هیدروژن اشاره کرد. شکل ۷ نمونه عملی نصب دستگاه بافرباکس برای یک ترانسفورماتور قدرت را نشان می‌دهد [۱] و [۲].



شکل ۵: ساختار دستگاه بافرباکس در مسیر تنفس ترانسفورماتور

بدین ترتیب، با جدا شدن گازهای موجود در اتمسفر محاط ترانسفورماتور (هوای محیط) از گاز (نیترژن) موجود در تانک ذخیره روغن، از ورود هوای مرطوب به داخل آن جلوگیری می‌شود. در این شرایط، اگر فشار گاز (نیترژن) موجود در تانک ذخیره روغن از ۴۰ میلی‌بار بیشتر شود (یعنی سطح روغن سیلندر داخلی بیشینه مقدار خود را داشته باشد)، گاز (نیترژن) اضافی در محیط رها می‌شود؛ بالعکس، اگر فشار گاز (نیترژن) موجود در تانک ذخیره روغن از ۲۰ میلی‌بار کمتر شود (یعنی سطح روغن سیلندر داخلی کمینه مقدار خود را داشته باشد)، کمبود گاز (نیترژن) توسط مخزن نیترژن مشخص شده در شکل ۵ تغذیه می‌شود. همچنین در طول بازه زمانی مشخصی که این دستگاه روی ترانسفورماتور نصب می‌شود، اکسیژن موجود در روغن ترانسفورماتور با نیترژن جایگزین می‌شود. همان‌طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است. با افزایش قدرت ترانسفورماتور، می‌توان از چند مجموعه بافرباکس به صورت موازی استفاده نمود [۱] و [۲].

¹⁵ Regenerable external dryer
NCPE 2017، اسفند ماه ۱۳۹۵

میزان اکسیژن در مدت نصب دستگاه به وضوح قابل مشاهده است [۱] و [۲].

همان‌طور که در بخش ۲-۲ اشاره شد، غلظت گاز مونواکسیدکربن محلول در روغن با افزایش دما و همچنین مدت زمان پیری افزایش می‌یابد؛ در شکل ۸ نیز غلظت گاز مونواکسیدکربن محلول در روغن افزایش یافته که از دلایل آن می‌توان به افزایش دما و پیری عایق سلولزی اشاره داشت که ارتباطی به‌اضافه شدن دستگاه بافرباکس به سیستم ندارد [۴].

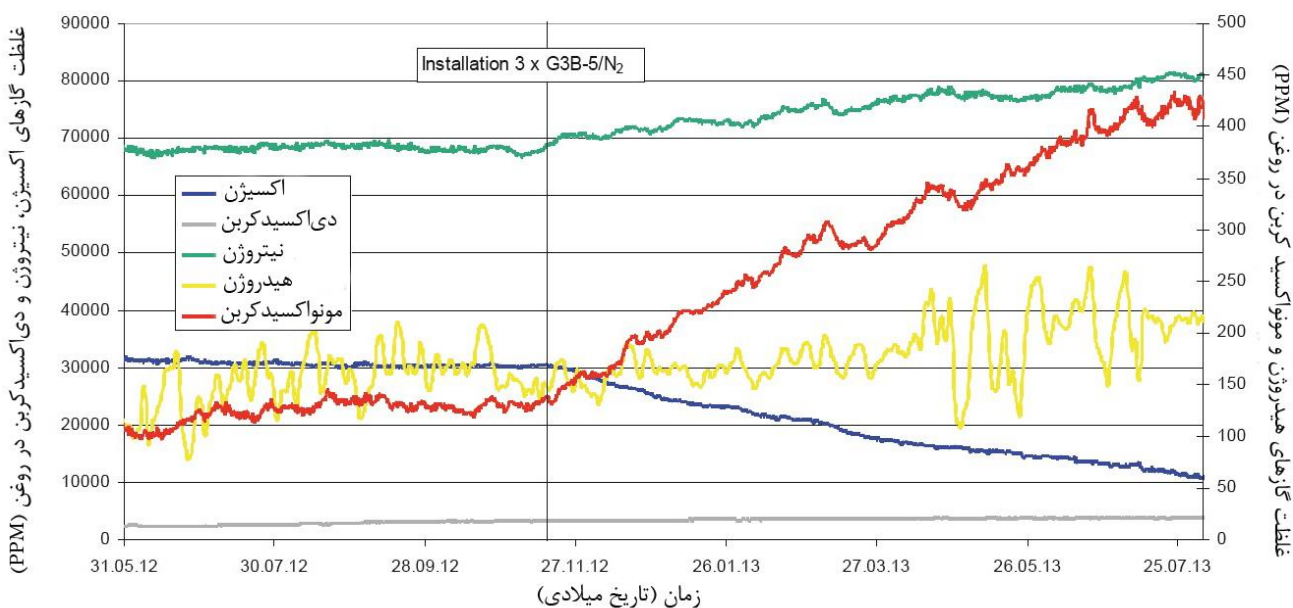
بررسی نتایج آزمون‌های روغن ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاه طوس طبق روبه ارائه شده

با توجه به نتایج آزمون‌های گازکروماتوگرافی انجام شده برای ۴ دستگاه ترانسفورماتور اصلی نیروگاه طوس و استفاده از روبه ارائه شده در بخش ۱-۲، به‌جز گازهای منواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن، وضعیت سایر گازها عادی بوده و ترانسفورماتورهای مذکور در وضعیت یک قرار می‌گیرند؛ لکن با توجه به بیشتر بودن گازهای منواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن از وضعیت یک، نرخ رشد آنها برای هر ۴ دستگاه ترانسفورماتور بررسی گردید که مشخص شد واحدهای ۱ و ۴ چهار دارای نرخ رشد بیشتری هستند. سپس با بررسی وضعیت اکسیژن محلول در روغن ترانسفورماتورها که در شکل ۹ نشان داده شده، ترانسفورماتور واحد ۴ به‌عنوان اولین ترانسفورماتور جهت اضافه کردن دستگاه بافرباکس پیشنهاد گردید. با توجه به جدول ۲، نمونه‌گیری ماهانه برای این ترانسفورماتور مفید به‌نظر می‌رسد [۱۱].

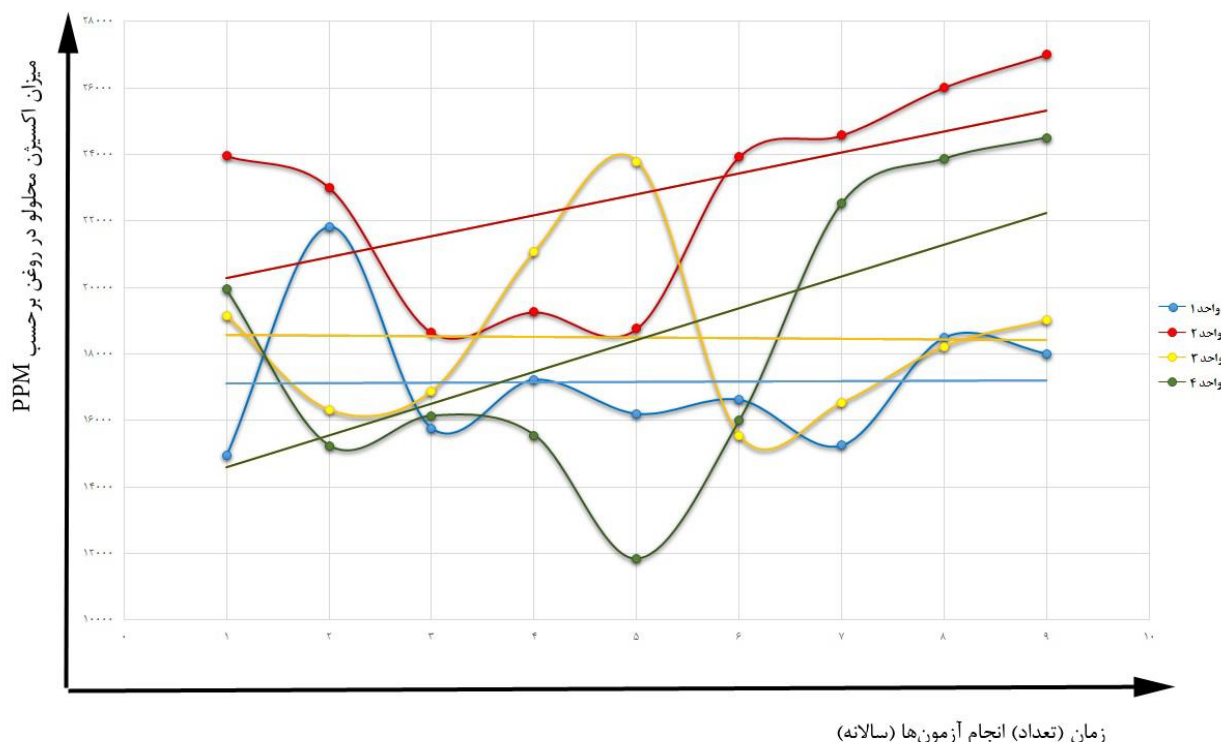


شکل ۷: اضافه کردن بافرباکس در مسیر تنفس ترانسفورماتور

با نصب دستگاه و در مدار قرارگرفتن آن، انجام آزمون‌های زمان‌بندی شده روی روغن ادامه یافته و وضعیت نرخ رشد گاز اکسیژن و سایر گازهای کلیدی رصد شود. شکل ۸ نتایج حاصل از نصب دستگاه بافرباکس برای یک ترانسفورماتور قدرت را نشان می‌دهد که کاهش



شکل ۸: نتیجه حاصل از نصب دستگاه بافرباکس برای یک ترانسفورماتور واقعی



شکل ۹: وضعیت اکسیژن محلول در روغن ترانسفورماتورهای مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت و نقش حیاتی کنترل میزان اکسیژن و رطوبت موجود در عایق ترانسفورماتورهای قدرت در حین بهره‌برداری یا عملیات تصفیه روغن، در این مطالعه با معرفی دستگاه بافرباکس، تأثیر آن در کاهش میزان اکسیژن و رطوبت ترانسفورماتور مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با در نظر گرفتن رویه ارائه شده در استاندارد IEEE جهت تعیین وضعیت و تصمیم‌گیری در مورد بازه زمانی نمونه‌برداری و در صورت نیاز اعمال محدودیت‌های بهره‌برداری برای ترانسفورماتورها، با بررسی نتایج آزمون‌های گازکروماتوگرافی ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاه طوس، ترانسفورماتور واحد ۴ جهت نصب دستگاه بافرباکس و نمونه‌گیری ماهانه پیشنهاد گردید.

مراجع

- [5] S. Tenbohlen M. Stach, T. Lainck, (2014). "New Concepts for Prevention of Ageing by means of On-line Degassing and Drying and Hermetically Sealing of Power Transformers." CIGRE SESSIONS conference 2004.
- [6] Anahid Karimi, Majid Abedinzadegan Abdi, "Selective Removal of Water From Supercritical Natural Gas." SPE Gas Technology Symposium, 2006.
- [7] Siemens User Guide Manual, "Extending Transformer Life with Drying, Published by and copyright © 2014."
- [۸] مرتضی اسلامیان، وحید نبئی، ابراهیم ولدخانی، "ارزیابی وضعیت ترانسفورماتور با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن"، موسسه تحقیقات ترانسفورماتور ایران، اولین کنفرانس و نمایشگاه بین‌المللی ترانسفورماتور، ۱۳۹۳.
- [۹] محمد میرزایی، احمد غلامی، حمیدرضا غلامی، "تعیین شاخص‌های روغن ترانسفورماتور تحت تأثیر تنش‌های حرارتی"، بیست سومین کنفرانس بین‌المللی برق تهران، PSC 2008.
- [۱۰] رسول اسکندری، محمدعلی صفاری، علی‌اکبر یزدانی‌دماوندی، "پنج راه‌کار ارتقاء کارایی سیلیکاژل و محفظه تنفسی ترانسفورماتورهای روغنی شبکه توزیع نیروی برق با دیدگاه HSE فنی و اقتصادی"، اولین کنفرانس ملی بهداشت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی ماهشهر، ۱۳۹۱.
- [۱۱] نتایج آزمون‌های گازکروماتوگرافی ترانسفورماتورهای ژنراتور از سال ۱۳۸۱، مرکز اسناد فنی نیروگاه طوس.

- [1] Dipl.-Ing. K. Olbricht, "Top Solution for Transformer Life Time Eextension." TLM, Transformer Life Management conference 2014.
- [2] User Guide Manual. "Universal Berating Buffer Box (G3B)." Universal Breathing Buffer Box G3B 19/01/14/02 English.
- [3] PankajShukla, Y.R. Sood, R.K. Jarial. "Experimental Evaluation of Water Content In Transformer Oil." International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology Vol. 2, Issue 1, Janauary 2013.
- [4] IEEE-Std.-C57.104-2008, "IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil Immersed Transformers." 2008.