ترانسفورماتورهای هرمتیک و کاربرد آنها در شبکه‌های توزیع

محمد رسول کریمی - حسین اعتماد رضائی
شرکت ایران ترانسفو

چکیده :

ترانسفورماتورهائی که روغن آنها با هوای آزاد هیچگونه ارتباطی نداشته و مخازن آنها کاملا" مسدود میباشد به ترانسفورماتورهای " هرمتیک " مشهورند. از بهترین ویژگیهای این ترانسفورماتورها کاهش میزان فرسودگی مواد عایقی آنها در مقایسه با ترانسهای با منبع انبساط ، به علت قطع ارتباط هوا با روغن میباشد. بطوریکه در اینگونه ترانسها اصولا" نیازی به تعویض روغن نبوده و در نهایت مراقبت و نگهداری از آنها به مقدار زیادی کاهش مییابد. لزوم نصب برخی تجهیزات در این ترانسها از بین رفته و ارتفاع ترانس به خاطر حذف منبع انبساط کاهش قابل ملاحظه یافته است . ترانسفورماتورهای هرمتیک عموما" در مکانهائی که امکانات سرویس و نگهداری وجود نداشته و یا ضعیف باشد استفاده میشوند.

در این مقاله بطور اختصار به شرح عملکرد و ویژگیهای ترانسفورماتورهای هرمتیک پرداخته شده و در نهایت تجهیزات حفاظتی مورد نیاز ، مزایا و معایب و نحوه روغن زنی آنها توضیح داده میشود.

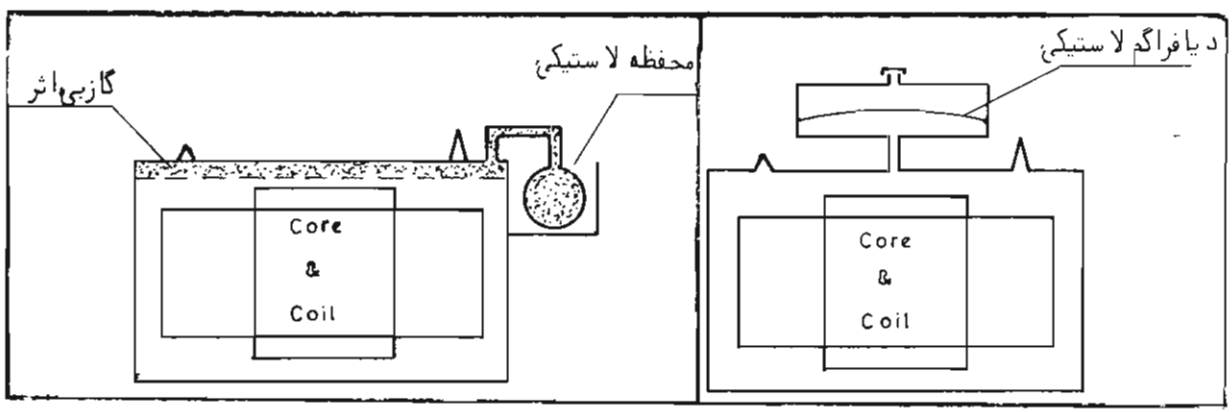
شرح مقاله :

تا کنون سه نوع ترانسفورماتور هرمتیک ساخته شده‌اند که ابتدا هر یک

بطور مختصر شرح داده شده و سپس دو نوع رایج آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱- ترانسفورماتورهای هرمتیک با محفظه یا دیافراگم لاستیکی :

شمای کلی این نوع ترانسفورماتورها در اشکال (۱) و (۲) نشان داده شده است. در این نوع از ترانسفورماتورهای هرمتیک افزایش و کاهش حجم روغن توسط خاصیت ارتجاعی لاستیک جبران میشود ، که ممکن است از دیافراگم لاستیکی که مستقیما" با روغن در تماس است (شکل ۱) و یا محفظه لاستیکی با گاز بی‌اثر ازت (N2) که بعنوان واسطه عمل میکند استفاده شده باشد (شکل ۲) . این نوع ترانسها به دلیل کمی طول عمر محفظه و یا دیافراگم لاستیکی و نیز نفوذپذیری نسبی لاستیک در مقابل گازها ، بطور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته‌اند.



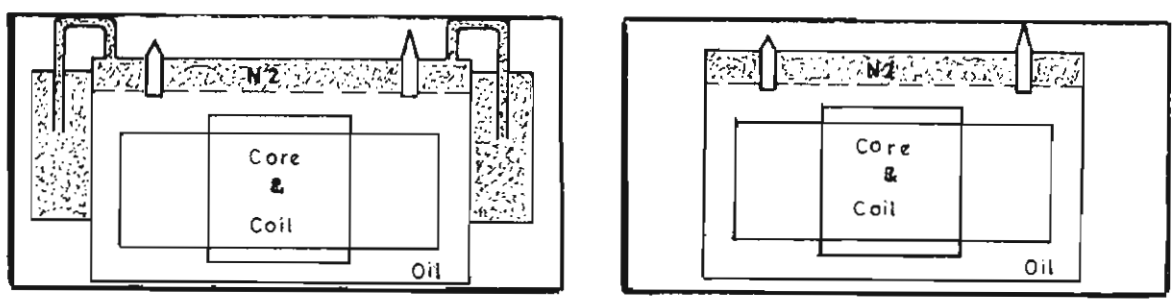
شکل ۱ شکل ۲

۲- ترانسفورماتورهای هرمتیک با بالشتک گازی :

شمای کلی این نوع ترانسفورماتورها در اشکال (۳) و (۴) نشان داده شده است. این نوع ترانسفورماتورها حاوی گازی بی‌اثر (معمولا" ازت یا هوای خشک) که بین سطح بالای روغن و درپوش قرار گرفته میباشند و به دو صورت ساخته میشوند. در نوع اول (شکل ۳) میزان گاز ازت داخل ترانسفورماتور ثابت و برابر مقدار اولیه‌ای است که وارد آن نموده‌ایم . این گاز قابل تراکم بوده و تابعی از فشار ایجاد شده توسط درجه حرارت روغن و گاز میباشد. در این ترانسها میزان گاز حل شده در روغن تابعی خطی از فشار بوده و دما تاثیر ناچیزی در حلالیت گاز دارد. در عمل ماکزیمم فشار گاز داخل این ترانسها حدود یک آتمسفر میباشد. این

نوع ترانسها بیشتر در محدوده قدرتهای پائین ساخته شده و بکار میروند.

در نوع دوم (شکل۴) به کمک مخازن کمکی گاز ازت ، فشار محفظه گاز تقریبا" ثابت نگه داشته میشود. برای اجتناب از ورود هوا به داخل مخزن ، فشار گاز همیشه قدری بیشتر از فشار جو اختیار میشود (حدود ۰/۰۵ آتمسفر). زمانی که در اثر افزایش دمای ناشی از محیط و بارگیری فشار محفظه گاز بالا رود ، از طریق یک فشارشکن فشار کاهش یافته و به حدود ۰/۰۵ میرسد و وقتی که فشار بخواهد به کمتر از این مقدار برسد شیرهای اتوماتیک عمل نموده و اجازه دخول ازت از سیلندر به محفظه گاز داده میشود. این سیکل تا زمانی که سیلندر گاز ازت تخلیه شود ادامه دارد. این سیستم به دلیل هزینه بالای سیستم ازت آن در ترانسهای کوچک مقرون به صرفه نمیباشد. سیستم خنک‌کننده ترانسهای هرمتیک با بالشتک گازی معمولا" از نوع رادیاتوری یا پره‌ای غیرقابل ارتجاع میباشد.



(ب) (الف)

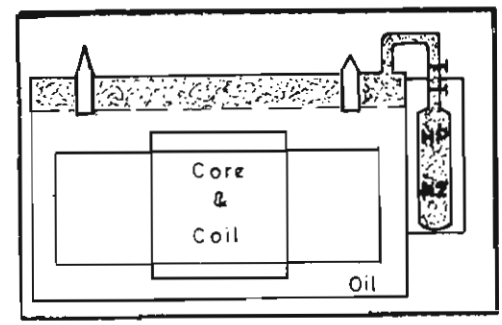
شکل ۳

۳- ترانسفورماتورهای هرمتیک با ولهای (پره) قابل ارتجاع :

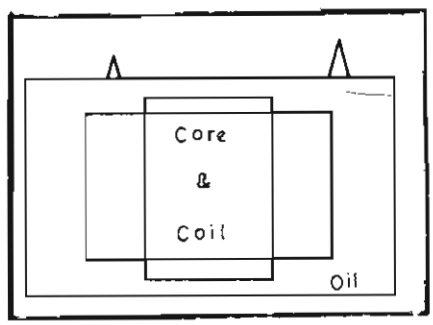
شمای کلی این نوع ترانسفورماتورها در شکل (۵) نشان داده شده است.

در این نوع ترانسفورماتورها که در سالهای اخیر رواج یافته‌اند ، ولهها که سیستم خنک‌کننده را تشکیل میدهند ، با خاصیت ارتجاعی خود سبب جبران تغییرات حجم روغن میگردند. فشار مخزن این ترانسها در حالت بار کامل و ماکزیمم دمای محیط در محدوده ۷۱ الی ۰/۲ آتمسفر میباشد که به مراتب کمتر از ترانسهای هرمتیک نوع دوم است . تغییرات غیرقابل اجتناب فشار در اثر تغییر بار روزانه سبب خستگی ولهها میگردد. در نتیجه عمر این ترانسفوماتورها علاوه بر

عامل فشار به میزان نوسانات بار روزانه نیز بستگی پیدا میکند. معمولا" بارهای مختلف نوسانات مختلفی در طی شبانه روز دارند که بطور نرمال با منظور کردن تنها یک نوسان در شبانه روز ، مقدار مناسب تغییرات در طی عمر مفید ترانسفورماتور حدود ده هزار بار خواهد بود. این نوع ترانسهای هرمتیک در محدوده قدرت ترانسهای توزیع (تا ظرفیت 2500 KVA) ساخته میشوند.



شکل ۴



شکل ۵

۴- بررسی رفتار ترانسفورماتورهای هرمتیک با بالشتک گازی :

همانگونه که ذکر شد دو نوع ترانسفورماتور هرمتیک با بالشتک گازی وجود دارد که در اینجا به بررسی نوع اول آن (شکل ۳) که در محدوده قدرت ترانسهای توزیع بوده و میزان گاز داخل آن ثابت است پرداخته میشود. در این ترانسها برای کاهش دامنه تغییرات فشار به ناچار میبایست حجم محفظه گاز را بقدر کافی بزرگ اختیار کرد. همچنین برای این منظور فشار حالت تعادل در دمای معمولی (۲۰ درجه سانتیگراد) قدری کمتر از فشار آتمسفر اختیار میشود (حدود ۰/۰۵ آتمسفر). فشار ماکزیمم در مخزن این ترانسها به دلیل طلب بودن کامل مخزن بیشتر از ترانسهای هرمتیک ولهای است. هر قدر که نسبت حجم محفظه گاز به حجم روغن بزرگتر باشد دامنه تغییرات فشار کمتر خواهد بود. فشار محفظه گاز صرفا" به میزان گاز بیاثری که وارد مخزن شده بستگی ندارد. در طی کار ترانسفورماتور به دلیل وجود سیستم عایقی روغن - کاغذ گازهائی نظیر H_2 , Co_2 , Co و هیدروکربنها بخصوص در مواقع بروز خطا بوجود میآیند که تاثیر برخی از آنها نظیر هیدروژن که قابلیت حلالیت کمی در روغن دارد در بالا بردن فشار بیشتر است. البته در این

مقاله از تاثیر ناچیزی که این گازها بر روی فشار دارند صرفنظر شده است.

از این نوع ترانسها به دلیل بزرگ شدن حجم محفظه گاز در قدرتهای بالا استفاده نمیشود. تمام یا بخشی از محفظه گاز در این ترانسها بالای روغن قرار دارد و در مواردی که از لحاظ ارتفاع ترانس و یا نصب بوشینگهای روغنی در محدودیت باشیم ، میتوان بخشی از این محفظه را به مخازنی در دیواره‌های جانبی انتقال داد و توسط لوله‌ای آن را با محفظه گاز بالای روغن مرتبط نمود (شکل ۳ - ب).

همانطور که ذکر شد تغییر بار و دمای محیط در این ترانسفورماتورها عوامل اصلی تغییر فشار محفظه گاز میباشند. ذیلا" تاثیرات این عوامل مورد بررسی قرار میگیرد.

۴-۱- تغییرات دما :

بارگیریهای مختلف سبب تغییر دمای روغن میشود. معمولا" دمای بالای روغن بیش از دمای پائین آن است ، اما در محاسبه تغییر حجم روغن دمای متوسط آنرا در نظر میگیریم. دمای محفظه گاز اندکی کمتر از دمای متوسط روغن است که به منظور سادگی با آن برابر فرض میشود. بنابراین تغییر دمای روغن و محیط سبب تغییر دمای محفظه گاز و در نتیجه تغییر فشار میگردد.

۴-۲- تغییر حجم :

حجم روغن در اثر تغییر حرارت تغییر میکند. بنابراین حجم محفظه گاز در اثر تغییر حجم روغن تغییر نموده و سبب تغییر فشار میشود.

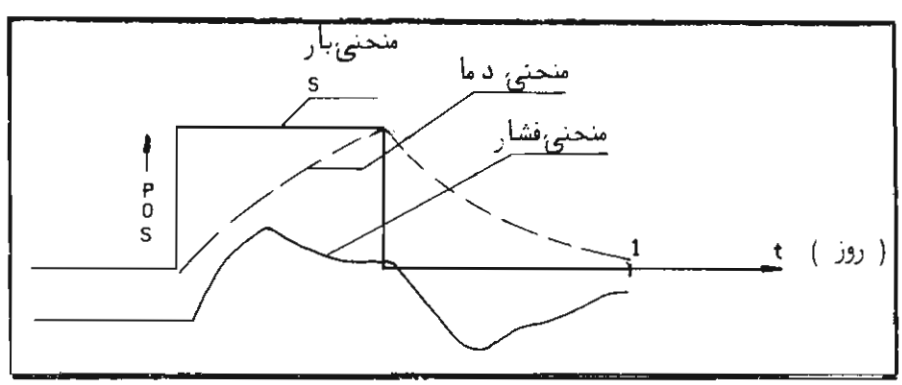
۴-۳- تغییر میزان حلالیت گاز در روغن :

فشار و دما دو عامل حلالیت گاز در روغن میباشند. البته تاثیر تغییرات فشار در میزان حلالیت گاز در روغن بیشتر از دماست. بنابراین حل شدن و یا آزاد شدن گاز از روغن سبب تغییر فشار خواهد شد.

با توضیحات فوق روشن میشود که برای بررسی رفتار فشار این مخازن باید تاثیر سه عامل دما ، حجم و حلالیت گاز مد نظر قرار گیرد. فشار حالت تعادل

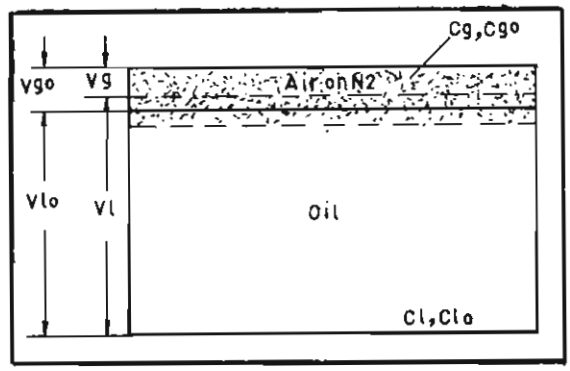
ناشی از دما و حجم طی چند ساعت حاصل میشود (حدود ۲ الی ۳ ساعت) ، در حالیکه فشار حالت تعادل ناشی از حلالیت گاز در روغن با فرض عدم تلاطم روغن ظرف روزها بدست می‌آید . به همین علت در بارگیریهای نوسانی روزانه به دلیل بزرگ بودن ثابت زمانی حلالیت گاز در روغن حالت تعادل در طی روز حاصل نخواهد شد . برای درک بهتر این موضوع افزایش و کاهش بار را در طی یک سیکل در شبانه‌روز بررسی میکنیم .

ابتدا بارگیری سبب بالا رفتن دمای روغن شده و این افزایش دما سبب افزایش حجم آن و افزایش دمای محفظه گاز میگردد که نتیجه آن کاهش حجم محفظه گاز میباشد. این دو عامل یعنی بالا رفتن دمای محفظه گاز و کم شدن حجم آن سبب افزایش فشار محفظه شده و چون افزایش دما و فشار سبب بالا بردن میزان حلالیت گاز در روغن میشود، لذا پس از مدتی حتی با افزایش بیشتر دما شاهد افت فشار محفظه خواهیم بود و قله‌ای در منحنی فشار p(t) بوجود می‌آید. همچنین اگر کاهش باری را در نظر بگیریم در ابتدا کاهش بار سبب کاهش دما و افزایش حجم محفظه گاز میگردد این دو عامل سبب افت فشار محفظه شده و چون کاهش فشار و دما سبب افزایش میزان آزاد شدن گاز حل شده از روغن میشود، لذا پس از مدتی حتی با کاهش بیشتر دما شاهد حداقلی در منحنی p(t) خواهیم بود. شکل (۶) منحنی p(t) را در مقایسه با منحنیهای دما و بارگیری در یک نوسان بار روزانه بطور شماتیک در این نوع ترانسفورماتورها نشان میدهد.



شکل ۶

شکل (۷) تغییرات حجم روغن و فضای حاوی گاز را در مخزن این نوع ترانسفورماتورها نشان میدهد.



شکل ۷

بطوریکه :

Vg_o حجم محفظه گاز در دمای اولیه T_o

V_{Lo} حجم روغن در دمای اولیه T_o

Vg حجم محفظه گاز در دمای T

VL حجم روغن در دمای T

Cg_o غلظت گاز در محفظه گاز در دمای اولیه T_o و فشار حالت تعادل اولیه P_o

CL_o غلظت گاز در روغن در دمای اولیه T_o و فشار حالت تعادل اولیه P_o

Cg غلظت گاز در محفظه گاز در دمای T و فشار حالت تعادل P

CL غلظت گاز در روغن در دمای T و فشار حالت تعادل P

معادله فشار در حالت تعادل با فرض حلالیت گاز در روغن از رابطه گازها به شکل زیر حاصل میشود .

$$P = P_o \times \frac{T}{T_o} \times \frac{Vl_o}{Vl} \times \frac{(Ki_o + Vg_o / VL_o)}{(Ki + Vg / VL)} \qquad (1)$$

در این رابطه Ki ثابت هنری یا نسبت غلظت گاز حل شده در روغن به غلظت گاز در محفظه گاز میباشد که به درجه حرارت بستگی داشته و برای گازهای مختلف از

روابط ترمودینامیکی مربوط به خود بدست می‌آیند. مثلا" برای گاز ازت رابطه Ki عبارت است از :

$$\log ki = \frac{-249.5}{T} - 0.176 \qquad (۲)$$

تعیین حجم مناسب محفظه گاز در این ترانسفورماتورها از اهمیت بسزائی برخوردار است چرا که با کوچک بودن این محفظه فشار بالا رفته و بایستی تحمل مخزن نیز بالا برود و بزرگ بودن محفظه سبب افزایش ابعاد ترانسفورماتور و صرف هزینه بیمورد میشود. بنابراین بایستی حتی‌الامکان حجم مناسبی را برای محفظه گاز بدست آورد. عواملی که تعیین کننده حجم محفظه گاز هستند عبارتند از:

- حجم روغن
- فشار اولیه در حالت تعادل سیستم
- ماکزیمم دمای متوسط روغن و محفظه گاز
- حداقل دمای محیط
- ماکزیمم فشار قابل تحمل مخزن
- نوع گاز

با در نظر گرفتن عوامل فوق و حل معادله (۱) برای دو حالت حلالیت و عدم حلالیت گاز در روغن و رسم هذلولیهای Vg_o / Vl_o بر حسب فشار و تحلیل آنها میتوان به حداقل حجم مورد نیاز محفظه گاز دست پیدا کرد .

۴-۴- فشار موقع روغن زنی :

چون حلالیت کامل گاز در روغن چند روز به طول می‌انجامد لذا باید فشار موقع روغن زنی در دمائی مثل T بیشتر از فشار حالت تعادل در آن دما باشد. میتوان این فشار را از رابطه (۳) تعیین نمود.

$$P(\text{فشار روغن زنی در دمای } T) = P(\text{فشار حالت تعادل در دمای } T)\left(1 + Ki.\frac{Vl}{Vg}\right) \qquad (۳)$$

فشار حالت تعادل در دمای T از رابطه (۱) قابل محاسبه خواهد بود . فشار موقع روغن زنی در حقیقت ماکزیمم فشاری است که در دمائی مثل T و با فرض عدم حلالیت گاز در سیستم بوجود می‌آید.

بعنوان مثال ترانسفورماتوری با مشخصات ذیل که یکبار با گاز ازت و بار دیگر با هوای خشک پر شده باشد را در نظر میگیریم :

۲۴۰۰ KvA ، ۶/۰۴ Kv

۴۵ °C = حداکثر دمای محیط

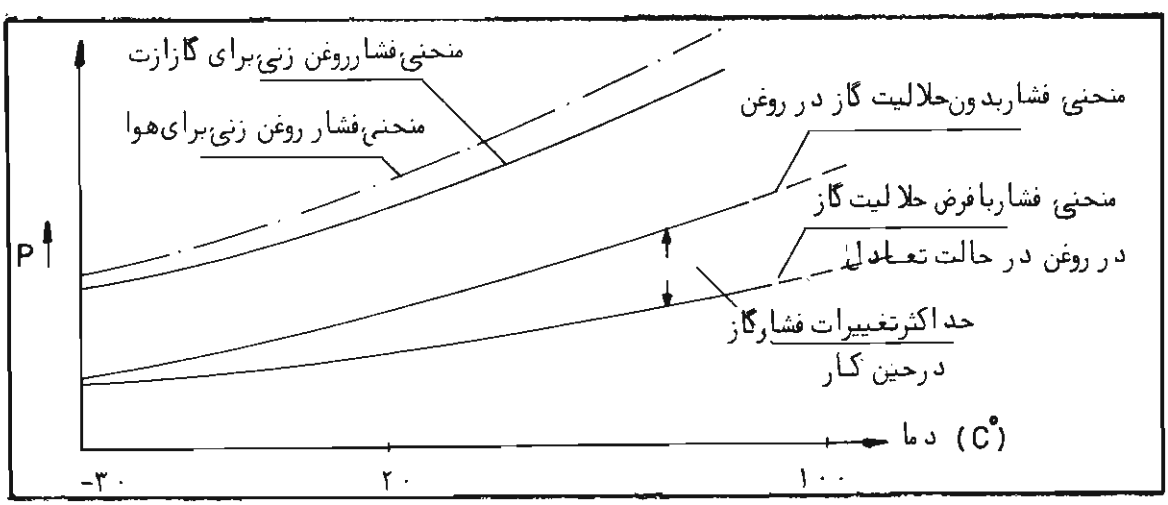
-۳۰ °C = حداقل دمای محیط

۲۰۰۰ M =ارتفاع محل نصب

۲۲۸۰ Kg = وزن روغن

۱ atm = فشار مجاز مخزن

حجم مناسب محفظه گاز در دمای T = ۲۰ °C برای این ترانسفورماتور و برای هر دو نوع گاز حدود ۵۰۳ لیتر میباشد . فشار موقع روغن زنی برای هوای خشک به دلیل حلالیت بیشتر هوا نسبت به ازت در روغن بیشتر است . دیاگرام شکل (۸) منحنیهای فشار را بر حسب دمای متوسط روغن برای گازهای ازت و هوای خشک برای ترانسفورماتور مزبور نشان میدهد . همانطورکه ملاحظه میشود فشار حالت تعادل و حداکثر فشار (بدون حلالیت) برای هر دو گاز ازت و هوا یکسان است ، لکن فشار موقع روغن زنی برای هوای خشک بیشتر از ازت است.



شکل ۸

۴-۵- تجهیزات حفاظتی و اندازه‌گیری :

تجهیزات حفاظتی و اندازه‌گیری این نوع ترانسفورماتورهای هرمتیک گازی از این قرارند .

- نشان دهنده روغن
- ترمومتر روغن
- فشار سنج
- فشار شکن

نشان دهنده روغن در صورت نیاز میتواند بر روی یکی از دیواره‌های جانبی نصب گردد ، در ترانسهای کوچک شاید نصب این وسیله ضروری نباشد ولی در ترانسهای بزرگ که آگاهی از میزان سطح روغن و احیانا" نشتی روغن با اهمیت است ، نصب آن الزامی میشود. ترانسهائی که مجهز به نشان دهنده هستند میتوان از آنها در موقع روغن زنی برای تنظیم سطح روغن مدد گرفت . ترمومتر روغن باید در محل مناسبی که در کلیه شرائط دمائی ، با سطح بالای روغن در تماس باشد قرار بگیرد ، بنابراین بطور مورب در بالای یکی از دیواره‌های جانبی جا میگیرد . بدلیل طلب بودن مخازن این ترانسفورماتورها تغییرات ناگهانی فشار نمیتواند توسط خاصیت الاستیسیته مخزن جبران گردد ، لذا نصب فشارشکن و یا فشارسنج و در برخی موارد هر دوی آنها الزامی است .

۴-۶- روغن زنی و تزریق گاز :

همانگونه که ذکر شد فشارهای حالت گذرا در این ترانسفورماتورها ممکن است به حدود یک آتمسفر برسد و از طرفی چون روغن زنی این ترانسها ممکن است در اطاقک خلاءانجام نگیرد ، لذا مخازن آنها باید به خوبی تحمل خلاء نسبتا" کامل را داشته باشند . چه روغن زنی در اطاقک خلاء انجام بگیرد و چه نگیرد باید از روغنی برای پر کردن مخزن استفاده نمود که کاملا" هواگیری و خشک شده باشد. اگر روغن زنی در اطاقک خلاء انجام شود میتوان به دو روش عمل نمود یکی اینکه مخزن را کاملا" پر از روغن نمود و سپس با تزریق گاز بی‌اثر از یک سو و تخلیه روغن از شیر تخلیه مخزن به میزان Vg_0 ، به سطح روغن مناسب رسیده و سپس فشار گاز را در بالای مخزن تنظیم کرد و دیگر اینکه به کمک سنسور ، روغن مخزن تا سطح مناسب زده شود و سپس توسط پمپ خلاء هوای محفظه گاز کاملا" کشیده شده و بعد اقدام به تزریق گاز شود. چنانچه روغن زنی در اطاقک خلاء صورت نپذیرد باید

ابتدا مخزن کاملا" از هوا تخلیه شده ، سپس اقدام به روغن زنی آن نمود تا به سطح مناسب که توسط روغن نما نشان داده میشود رسید پس از آن روغن زنی متوقف شده و اقدام به تزریق گاز میشود . اگر از هوای خشک به عنوان گاز بی‌اثر استفاده میشود باید میزان رطوبت آن از حد مجاز کمتر باشد و اگر از گاز ازت استفاده میکردد باید میزان اکسیژن آن کمتر از حد مجاز (حدود ۲٪) باشد .

۴-۷- مزایای ترانسفورماتورهای هرمتیک با بالشتک گازی :

- در محدوده قدرت ترانسهای توزیع و بیشتر از آن قابل ساخت هستند.
- کاهش میزان فرسودگی روغن و مواد عایقی در مقایسه باترانسهای معمولی. لذا نیاز به تصفیه و تعویض روغن نخواهد بود .
- کاهش هزینه مراقبت و نگهداری
- حذف رطوبت گیر
- حذف رله بوخهلتس
- حذف منبع انبساط
- کاهش جزئی روغن بدلیل حذف منبع انبساط

۴-۸- معایب ترانسفورماتورهای هرمتیک با بالشتک گازی :

- بزرگ شدن ارتفاع مخزن
- ضخیمتر شدن ورق آهن مخزن
- مسائل و مشکلات مربوط به تزریق گاز
- اضافه شدن فشارشکن یا فشارسنج به ترانسفورماتور
- لزوم استفاده از مقره‌های پایه بلند

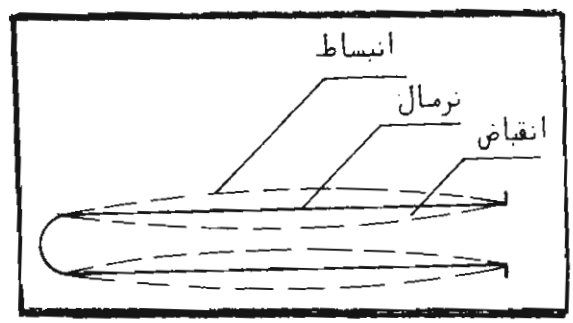
۵- بررسی رفتار ترانسفورماتورهای هرمتیک با وله‌های (پره) قابل ارتجاع :

همانکونه که در ابتدا شرح داده شد دو مسئله مهم در مورد این نوع ترانسفورماتورها ، یکی تحمل فشار توسط مخزن و جوشها و دیکری تحمل خستکی ناشی از تغییرات بار در طی شبانه‌روز میباشد دمای روغن در مخزن ترانسفورماتور در سطوح مختلف یکسان نیست ، لذا با تقریب قابل قبولی دمای متوسط روغن ملاک اضافه حجم در نظر گرفته میشود. چنانچه افزایش حجم روغن را از دمای ۲۰ °C به حداکثر دمای متوسط روغن + ΔV و کاهش حجم روغن را از دمای ۲۰ °C به حداقل

دمای محیط - ΔV بنامیم در نتیجه تغییر حجم کل از حداقل دمای محیط تا حداکثر دمای متوسط روغن عبارتست از :

$$\Delta V = (\Delta V +) + (\Delta V -) \qquad (۴)$$

این اختلاف حجم در گرمترین و سردترین دمای روغن باید توسط وله‌ها جبران گردند و چون وله‌ها از هر دو طرف قابلیت ارتجاعی دارند ، لذا تقریبا" نیمی از این حجم با کاهش حجم وله‌ها (انقباض) و نیمی دیگر با افزایش حجم آنها (انبساط) نسبت به وضعیت عادی جبران میگردد. شکل (۹) مقطعی از یک وله را در حالات انبساط و انقباض نشان میدهد.



شکل ۹

وله‌ها باید تحمل کافی در برابر فشار ناشی از افزایش و یا کاهش حجم روغن را داشته باشند که این بستگی به ابعاد، تعداد تکیه‌گاهها (قطعات U شکل داخل وله)، میزان فشار، جنس و ضخامت ورق و نوع برش خواهد داشت ، وله‌های مورد مصرف در کارخانه ایران ترانسفو از نوع وله ساده ، وله با یک قطعه U شکل و یا وله با دو قطعه U شکل میباشند ، البته بجای وله از طرحی دیگر با عملکرد مشابه به نام زیکن ممکن است استفاده بشود. به علت شکل خاص وله‌ها بررسی دقیق رفتار آنها در فشارهای مختلف امکان پذیر نیست ، لذا فرضیاتی به منظور ساده‌سازی در محاسبات در نظر گرفته میشود و آنگاه با استفاده از ضرائب تجربی رفتار نسبتا" دقیقی از وله‌ها بدست می‌آید.

فشار وارد بر سطوح وله‌ها مجموعه دو فشار است ، یکی فشار ناشی از اضافه حجم روغن و دیگر فشار ناشی از ستون مایع. نیروی ناشی از عامل اول بر تمام سطوح وله یکسان اثر میگذارد ، لکن نیروی ناشی از عامل دوم در بالای وله‌ها کم و در پائین آنها زیاد است. فشار حاصل از اضافه حجم روغن متناسب با عوامل مختلفی

است بطوریکه :

$$P \propto \frac{Ym.E.T^3}{K1.a^4} \qquad (۵)$$

در این رابطه :

E مدول یانگ

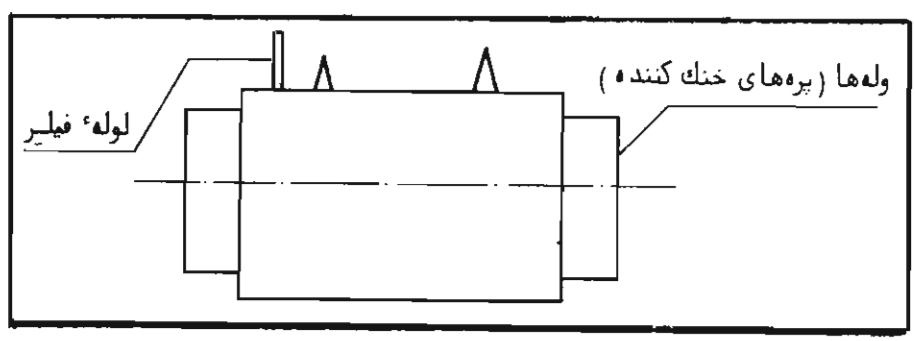
a پهنای وله‌های ساده یا فاصله بین قطعه U شکل و لبه کناری

t ضخامت ورق وله

Ym خیز ماکزیمم صفحه

K1 ضریبی است که بستگی به نوع وله ، نحوه توزیع بار وابعاد وله دارد .

بر روی درپوش اینگونه ترانسفورماتورها معمولا" لوله‌ای تعبیه میگردد تا ارتفاع لازم برای روغن مقره‌ها را تامین کند این لوله به لوله فیلر موسوم است ، شکل زیر شمای کلی این نوع ترانسفورماتورها و محل قرارگیری لوله فیلر را نشان میدهد.



شکل ۱۰

گفته شد تغییرات حجم وله‌ها در هر دو جهت افزایش و کاهش فشار تقریبا" برابر است . چون روغن زنی معمولا" در دمای ۲۰ °C انجام میگیرد ، لذا حجم عادی وله‌ها در این دما نسبت به گرمترین و سردترین درجه حرارت روغن در وضعیت میانی قرار ندارد. بنابراین میباید در دمای روغن زنی قدری از روغن ترانسفورماتور را به منظور پیش خلاء و بدست آوردن تغییرات حجم یکسان وله‌ها

در هر دو جهت تخلیه نمود. میزان تخلیه روغن را میتوان از رابطه زیر تعیین نمود.

میزان تخلیه روغن = ۰/۰۵۲۷(KH - ۰/۷۲۴) × M (۶)

بطوریکه M وزن روغن ترانسفورماتور هرمتیک و KH فاکتوری است که نسبت تغییرات حجم روغن ترانسفورماتور در حالت هرمتیک به تغییرات حجم روغن در حالت عادی میباشد و از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$KH = \frac{\text{۲۰ + ماکزیمم دمای محیط + جهش حرارتی متوسط روغن در حالت هرمتیک}}{۱۱۰}$$

غالبا" هر نوع ترانسفورماتور وله‌ای را نمی‌توان با حذف منبع انبساط آن به هرمتیک تبدیل نمود چرا که وله‌های یک ترانسفورماتور با منبع انبساط عموما" قادر نیستند تغییر حجم روغن را جبران نمایند ، لذا در اکثر موارد به افزایش تعداد وله‌ها و عمق آنها و نیز افزایش ناچیزی در ضخامت ورق وله‌ها نیاز است. بعنوان مثال ترانسفورماتور ۵۰۰ KVA ردیف ۲۰ KV را در نظر میگیریم ، چنانچه این ترانسفورماتور با منبع انبساط ساخته شود مشخصات مخزن آن از این قرار خواهد بود .

تعداد وله‌ها = ۶۸

عمق وله‌ها = ۲۵۰ mm (وله با یک قطعه U شکل)

ضخامت ورق وله = ۱ mm

حجم روغن = ۵۳۴ Lit

حال اگر این ترانسفورماتور به هرمتیک تبدیل گردد مشخصات قسمت فعال آن هیچگونه تغییری نمیکند ، لکن مخزن آن تغییراتی به صورت زیر پیدا خواهد نمود.

تعداد وله‌ها = ۸۲

عمق وله‌ها = ۲۰۰ mm (وله ساده)

ضخامت ورق وله = ۱/۲ mm

حجم روغن = ۵۱۸ Lit

همانگونه که ملاحظه میشود در حالت هرمتیک تعداد وله‌ها ۱۴ عدد اضافه شده لکن عمق آنها کم شده و به نوع وله ساده با ضخامت ورق ۱/۲ mm تبدیل شده است ،

البته افزایش تعداد وله‌ها در این ترانسفورماتور سبب افزایش ابعاد کلی ترانسفورماتور نشده و غالبا" نیز همین گونه است ، حجم روغنی که از این ترانسفورماتور در حالت هرمتیک برای ایجاد پیش‌خلاء باید تخلیه نمود حدود ۶ لیتر است .

۱-۵- روغن زنی ترانسفورماتورهای هرمتیک وله‌ای :

روغن زنی اینگونه ترانسفورماتورها اندکی با ترانسهای معمول تفاوت دارد و از آنجا ناشی میشود که ترانسهای هرمتیک وله‌ای باید در دمای معمولی اندکی تحت خلاء باشند تا تغییرات فشار در هر دو جهت انبساط و انقباض وله‌ها برابر گردد. به همین منظور روشهای خاصی جهت روغن زنی اینگونه ترانسفورماتورها ارائه شده که در ذیل بطور اختصار به چهار روش اشاره میشود .

روش اول ـ در این روش از دو وسیله خاص استفاده میشود ، یکی سطح سنج اولتراسونیک برای اندازه‌گیری سطح روغن و دیگری نگهدارنده مغناطیسی درپوش فلانژکور ، اساس کار در این روش بدین صورت است که میزان روغنی که در اطاقک خلاء به ترانسفورماتور تزریق میشود به اندازه‌ای است که مورد نیاز برای ایجاد خلاء بوده و احتیاج به تخلیه روغن برای این منظور نمیباشد.

روش دوم ـ در این روش از منابع کوچک مدرج (حداکثر تا بیست لیتر) برای روغن زنی کمک میگیرند این مخازن را بطور موقت از طریق شیر ارتباطی بالای درپوش به ترانسفورماتور متصل میکنند و روغن زنی بدین ترتیب است که ترانسفورماتور را بطور عادی تا پائین این مخزن روغن میزنند ، سپس با پمپ خلاء اقدام به مکش هوای بالای آن نموده تا سطح روغن به میزان روغنی که باید تخلیه شود در این مخزن بالا برود پس از آن ارتباط مخزن کمکی با ترانسفورماتور قطع میشود و بدین ترتیب میزان روغن مورد نظر برای ایجاد پیش‌خلاء از ترانسفورماتور خارج میشود.

روش سوم ـ در این روش همانند روش اول بر روی درپوش ترانس مقره فلانژکوری قراردارد ، سنسور روغن در بالاترین قسمت مخزن از طریق این فلانژ قرار گرفته و در اطاقک خلاء ترانس روغن زده میشود تا مخزن پر از روغن گردد. پس از خاتمه روغن زنی فشار هوای داخل اطاقک بتدریج

بالا میرود و این افزایش فشار سبب بالا رفتن روغن در بوشینگها شده و انتهای کوتاه مقره‌های روغنی مانع از ورود هوا به داخل مقره‌ها میگردد، سپس کمبود روغن بالای مخزن به آن اضافه شده و درپوش فلانژکور بر جای خود محکم بسته میشود ، پس از آن از طریق شیر تخلیه ترانسفورماتور میزان روغن مورد لزوم را تخلیه نموده تا پیش‌خلاء لازم در مخزن ایجاد شود .

روش چهارم - این روش کاملا" مشابه روش سوم است با این تفاوت که بر روی ترانسها در این روش باید لولهٔ فیلر نصب شده باشد روغن زنی تا بالای این لوله بطور عادی انجام میگیرد ، لوله فیلر باید قدری بلندتر از مقره‌های روغنی باشد تا مقره‌ها کاملا" پر از روغن گردند. از کاربردهای دیگر لوله فیلر صرفنظر از روغن زنی مطمئنتر در اطاقک خلاء این است که امکان روغن زنی ترانسفورماتور در هر مکانی که فاقد اطاقک روغن زنی هستند به راحتی میسر است. همچنین بر روی این لوله امکان نصب کلید شناوری که عملی مشابه رله بوخهلتس را انجام میدهد وجود دارد. تخلیه روغن در این روش مشابه روش سوم یعنی از طریق شیر تخلیه مخزن میباشد ، این روش دارای مزایای چندی است که میتوان گفت مشابه روش سوم احتیاج به تجهیزات خاصی ندارد. علاوه بر آن میتواند مانند روش دوم روغن زنی در سایت و خارج از اطاقک خلاء انجام بگیرد. در این روش بر خلاف روش سوم امکان ماندن حباب هوا در زیر درپوش وجود ندارد چرا که میتوان پس از خاتمه روغن زنی ترانسفورماتور را قدری تکان داده و کج نمود تا حبابهای احتمالی هوا در زیر درپوش از طریق لولهٔ فیلر خارج گردند لولهٔ فیلر بهتر است بر روی کلیه ترانسفورماتورهای هرمتیک وله‌ای نصب گردد تا علاوه بر برخورداری از مزایائی که توضیح داده شد به راحتی در سایت امکان روغن زنی ترانسفورماتور وجود داشته باشد .

۲-۵- تجهیزات حفاظتی واندازه‌گیری ترانسفورماتورهای هرمتیک وله‌ای :

ترانسفورماتورهای هرمتیک بخصوص از نوع وله‌ای به دلیل کاهش پیری مواد عایقیشان احتیاج به تعمیر و نگهداری کمی دارند ، این مزیت به همراه از کار افتادگی کم این ترانسها استفاده از تجهیزات حفاظتی در آنها را به حداقل

ممکن میرساند ، تجهیزات مورد لزوم این نوع ترانسها فقط ترمومتر روغن میباشد و درجائی که درجه حفاظت بالائی مورد نظر باشد از فشارسنج نیز استفاده میگردد. کلید شناوری (Float switch) دراین ترانسها نقش رله بوخهلتس را در ترانسهای با منبع انبساط دارد و جمع شدن گاز در لوله فیلر و کاهش سطح روغن در این لوله را خبر میدهد ، نصب این رله همانند رله بوخهلتس در ترانسهای توزیع همواره الزامی نیست . همچنین در این ترانسفورماتورها به روغن نما احتیاجی نمیباشد.

۳-۵- مزایای ترانسفورماتورهای هرمتیک وله‌ای :

- در سرتاسر محدوده قدرت ترانسهای توزیع قابل ساخت میباشند (تا 2500 KVA)
- کاهش میزان فرسودگی روغن و مواد عایقی در مقایسه با ترانسهای با منبع انبساط ، لذا عدم نیاز به تصفیه و تعویض روغن
- کاهش هزینه سرویس و نگهداری
- حذف رطوبت گیر
- حذف رله بوخهلتس
- حذف منبع انبساط ، در نتیجه کم شدن ارتفاع ترانس حتی کمتراز ترانسهای هرمتیک گازی ، بدلیل نداشتن محفظه گاز
- حذف روغن نما
- حذف فشارشکن در مقایسه با ترانسهای هرمتیک گازی
- استفاده از مقره‌های نرمال بجای مقره پایه بلند که در ترانس هرمتیک گازی استفاده میشود.
- نداشتن مسائل و مشکلات ناشی از گاز بی‌اثر در مقایسه با ترانسهای هرمتیک گازی
- فشار مثبت جزئی ترانسفورماتور در حین کار مانع از نفوذ هوا و رطوبت در مواقع نشتی احتمالی به داخل ترانسفورماتور میگردد.
- غالبا" به دلیل حذف برخی تجهیزات از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه خواهند بود .

۴-۵- معایب ترانسفورماتورهای هرمتیک وله‌ای :

- بالا رفتن جزئی میزان مصرف ورق آهن بدلیل افزایش تعداد وله‌ها و ضخیم‌تر شدن

جزئی آنها

۶- کاربرد ترانسفورماتورهای هرمتیک :

ترانسفورماتورهای هرمتیک میتوانند جایگزین هر نوع ترانسفورماتور توزیع در هر شرائط کاری و محیطی شوند. علاوه بر آن بکارگیری این ترانسها در مکانهائیکه امکانات سرویس و نگهداری وجود نداشته و یا ضعیف میباشد و نیز در مناطق ساحلی که میزان رطوبت هوا بالاست اجتناب ناپذیر خواهد بود. همچنین در محلهائی که از لحاظ ارتفاع ترانس محدودیت باشد میتوان از ترانسهای هرمتیک بخصوص از نوع ولهای استفاده نمود .

نتیجه :

مهمترین عامل استفاده از ترانسفورماتورهای هرمتیک کاهش میزان فرسودگی روغن و سایر مواد عایقی ترانسفورماتور میباشد . این عامل کاربرد این ترانسفورماتور را در مکانهائیکه فاقد امکانات سرویس و نگهداری هستند الزامی ساخته است. از طرفی بدلیل حذف برخی تجهیزات حفاظتی و نگهداری ، قیمت تمام شده ترانس کاهش مییابد . البته این نکته را نباید از نظر دور داشت که بدلیل ازدیاد اندک مصرف ورق آهن و نیز بالا رفتن کیفیت جوشها و استحکام بیشتر مکانیکی مخزن ، این کاهش قیمت چشمگیر نبوده و در برخی موارد قیمت اینگونه ترانسها ممکن است از ترانسهای با منبع انبساط مشابه ، نیز بیشتر بشود.

منابع :

۱- مدارک فنی ایران ترانسفو

2- GAS PRESSURE CALCULATIONS FOR SEALED TRANSFORMERS UNDER VARING LOAD CONDITIONS-T,Y, OOMMEN-WESTINGHOUSE - IEEE

3- HERMETISCH GESCHLOSSENE VERTEILUNGS TRANSFORMATOREN - GALTMAN - TRAFO UNION

4- MAINTENANCE AND INSPECTION OF OIL IMMERSED TRANSFORMER - TOSHIBA.

5- TRANSFORMERS - BHEL

6- STANDARD HANDBOOK FOR MECHANICAL ENGINEERS