

سمینار تخصصی پست های موبایل، پکیج، کمپکت و ترانسفورماتورهای هرمتیک

ترانسفورماتورهای توزیع هرمتیک (روغنی)

نگارش: محمود ایزدی

(تحقیقات و توسعه شرکت ترانسفورماتور سازی کوشکن)

تیر ۱۳۸۴

■ مقدمه

یکی از مهمترین ملزومات کارکرد مطمئن و عمر طولانی ترانسفورماتورهای روغنی، حفظ خواص مکانیکی و الکتریکی مواد عایقی آن در بالاترین حد ممکن است. این مواد عبارتند از روغن و مواد جامد با پایه سلولوزی. از جمله موثرترین روشهای مقابله با پیری مواد عایقی، آب بندی ترانسفورماتور بصورت هرمتیک می باشد. با این روش، مایع عایق (روغن) در برابر اثرات مخرب اکسیژن، رطوبت، و گازهای مضر موجود در اتمسفر محافظت می شود و فرایند پیری به تاخیر می افتد. بدین ترتیب، نیاز به تعمیر و بازدیدهای دوره ای جهت حفظ کیفیت مواد عایقی همچون تعویض یا تصفیه روغن و یا خشک کاری بو بینها بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد و مشکل تعمیر تعداد زیاد ترانسفورماتورهای توزیع تا ۱۶۰۰ کیلو ولت آمپر نصب شده در سیستمهای محلی توزیع و سایت های کوچک و بزرگ صنعتی تا حدود زیادی رفع می گردد. از آنجا که ترانسفورماتورهای هرمتیک نیازی به منبع انبساط ندارند، دارای ارتفاع کمتری نسبت به انواع مشابه دارای منبع انبساط هستند. در این نوشتار سعی شده تا ترانسفورماتورهای هرمتیک بطور کلی و بالاخص ترانسفورماتورهای هرمتیک با وله های قابل ارتجاع معرفی گردد و مزایا و معایب استفاده از آن برای خوانندگان محترم شرح داده شود. لازم می دانم که از حمایت های مالی و اطلاعاتی مدیریت محترم شرکت ترانسفورماتور سازی کوشکن در نگارش این مقاله تشکر و قدردانی نمایم. امید است که با حمایت های مسوولین محترم وزارت نیرو و سایر دست اندرکاران محترم امور انرژی، صنعت نوپای تولید این نوع ترانسفورماتورها در شرکت ترانسفورماتور سازی کوشکن هر روز ریشه دار تر و بارور تر گردد.

۱. نقش ترانسفورماتور در کاهش ضریب اطمینان برق رسانی شبکه های توزیع نیرو

یکی از اهداف اصلی شرکتهای برق منطقه ای تداوم برق رسانی با کیفیت مطلوب به مشترکین خود می باشد. لازمه این امر، وجود شبکه ای با تجهیزات مناسب برای برق رسانی از نقطه نظر کیفیت و قابلیت اطمینان بالا می باشد. بطوریکه بروز اشکالات در مسیر برق رسانی از محل تولید تا محل مصرف منجر به قطع برق نگردد و یا در صورت قطع برق مصرف کننده زمان قطعی حداقل ممکن باشد. در شبکه های توزیع، ترانسفورماتورهای کاهنده یکی از اجزای اصلی شبکه را تشکیل میدهند.

با توجه به اهمیت ترانسفورماتورها و بالا بودن هزینه سرمایه گذاری در پستهای توزیع و فوق توزیع آنالیز خروجیها و قطعی های ترانسفورماتورها می تواند کمک مناسبی در جهت افزایش قابلیت اطمینان و کاهش زیانهای ناشی از قطع آنها باشد. در این زمینه ارائه راه حلهای فنی و اقتصادی مبتنی بر اطلاعات آماری می تواند کمک شایانی در رفع یا تقلیل این حوادث باشد. بررسیهای انجام شده در رابطه با آمار خروج ترانسفورماتورهای توزیع نشان می دهد که از سال ۶۰ تا سال ۶۹ جمعا ۶۵۵۰ مرتبه این ترانسفورماتورها بی بار و از مدار خارج شده اند.

بی بار شدن ترانسفورماتورهای تحت بررسی در این دوره دهساله تحت تاثیر عوامل مختلفی چون خروج اضطراری، خروج طبق برنامه و خروج خودکار بوده است. شایان ذکر است که این تعداد قطعی در ترانسفورماتورهای شبکه های توزیع و فوق توزیع همواره توأم با خاموشیهای گسترده در سطح یک منطقه به همراه مسایل اجتماعی و اقتصادی خاص خود می باشد.

جدول (۱) آمار تعداد ترانسفورماتورهای منبع تغذیه توزیع، تعداد قطعی ها و ظرفیت مجموع ترانسفورماتورها و همچنین متوسط خروج اضطراری هر ترانسفورماتور در سال را نشان می دهد.

۲. بررسی آماری عیوب ترانسفورماتورهای توزیع

پس از بررسی اهمیت ترانسفورماتورهای توزیع در ضریب اطمینان برق رسانی شبکه های توزیع نیرو به بررسی عیوب آنها می پردازیم.

ترانسفورماتورها یکی از مهمترین، پایدارترین و مطمئن ترین تجهیزات شبکه می باشند که احتیاج به مراقبت کمی دارند. اما نباید فراموش کرد که این دستگاهها نیز به مرور زمان یا به علت شرایط نامطلوب کار و یا در اثر فشارهای اضافی ناشی از حوادث غیر مترقبه در شبکه توزیع، دستخوش تغییرات و صدماتی می گردند که در صورت بی توجهی، ضایعات زیادی به وجود خواهد آورد. بطور کلی عیوب ترانسفورماتورهای توزیع را می توان به پنج دسته کلی تقسیم بندی نمود:

۱- عیوب سیم پیچی

۲- عیوب روغن

۳- عیوب تانک

۴- عیوب هسته

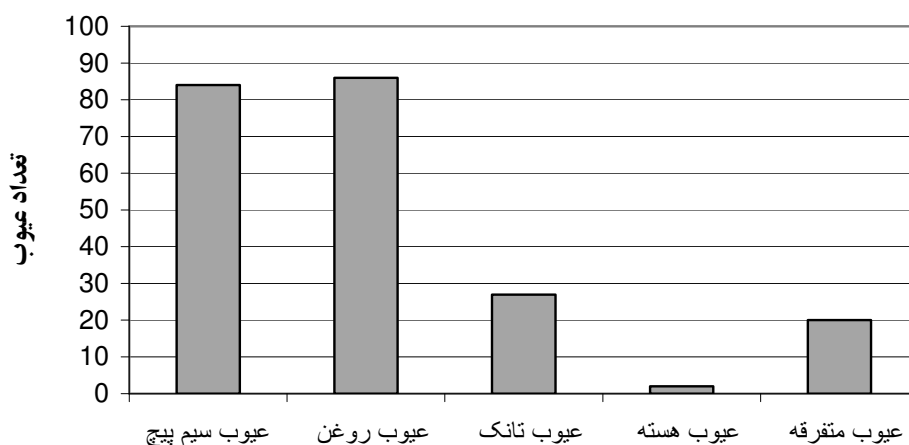
۵- عیوب متفرقه

به جهت بررسی آماری عیوب ترانسفورماتورهای توزیع، عیوب تعداد ۱۱۱ ترانسفورماتور توزیع معیوب که در طول هفت سال (از ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۵) جهت تعمیر از شرکتهای مختلف به کارگاه تعمیر ترانسفورماتور دانشکده صنعت آب برق (شهید عباسپور) منتقل شده اند بررسی [۳] و مطابق نمودار ۱ ارائه داده شده است.

جدول شماره ۱- بررسی آمار خروج اضطراری ترانسفورماتور در یک دوره ده ساله [۲]

سال	تعداد ترانسفورماتور	ظرفیت ترانسفورماتور	تعداد قطعی اضطراری	متوسط خروج هر ترانس در سال
60	50	4568	184	3.68
61	63	6013	207	2.29
62	79	7380	205	2.59
63	94	8682	198	2.11
64	106	10083	176	1.66
65	125	11660	206	1.65
66	128	12744	180	1.3
67	141	13467	206	1.46
68	152	15088	196	1.29
69	158	15361	204	1.29

شکل ۱- بررسی عیوب 111 ترانسفورماتور [3]



بررسی نمودار فوق نشان می دهد که عیوب روغن بیشترین تعداد عیوب را به خود اختصاص داده است . همچنین با توجه به نمودار فوق می توان دریافت که بیشتر عیوب ترانسفورماتور توزیع ناشی از نحوه بهره برداری و نگه داری

آنهاست. بنابراین هر تغییری در طراحی که بتواند سبب کاهش نیاز ترانسفورماتور به نگهداری در حین کار گردد، بی شک سبب افزایش عمر و دوام آن خواهد شد.

با بررسی فوق و تبیین اهمیت و نقش روغن در کارکرد ترانسفورماتور به بررسی علمی نقش روغن و عوامل موثر بر خرابی آن می پردازیم.

۳. اثر روغن در کارکرد ترانسفورماتور

روغن در ترانسفورماتور دارای نقشهای اصلی و فرعی است. نقشهای اصلی روغن یکی عایقکاری و دیگری خنک کنندگی است. نقشهای فرعی روغن شامل جلوگیری از انتشار صدا، جلوگیری از نفوذ آلودگی و رطوبت به سیم پیچ و جلوگیری از زنگ زدگی هسته می باشد. برای اینکه روغن بتواند نقشهای اصلی خود را انجام دهد باید از طرفی یک عایق خوب و از طرف دیگر سیال و روان باشد.

پیر شدن روغن به معنی کاهش قابلیت انجام نقشهای اصلی آن است. استقامت الکتریکی به دلیل وجود رطوبت و ذرات معلق کاهش می یابد. با اندازه گیری ولتاژ شکست روغن می توان مستقیماً به وضعیت عایقی آن پی برد. مشخصات دیگری مانند مقاومت مخصوص و ضریب تلفات عایقی نیز وضعیت عایقی را مشخص می کند. وجود ذرات معلق در روغن، تعداد و بزرگی آنها را می توان مشخص نمود و مقدار رطوبت روغن را می توان مستقیماً تعیین کرد.

اکسیده شدن روغن باعث ایجاد لجن، گرفتگی مجاری تبرید و کاهش عمل خنک کنندگی می گردد. لجن می تواند بصورت لایه ای بر روی عایقها بنشیند و مانع عبور حرارت از هادی به روغن گردد. وجود لجن در روغن یا آمادگی روغن به ایجاد لجن را می توان از رنگ روغن متوجه شد و البته میتوان با اندازه گیری مشخصات روغن مانند عدد اسیدی و کشش بین سطحی به اکسیده شدن و آمادگی روغن به ایجاد لجن پی برد.

۳-۱. عوامل پیری روغن

مهمترین عامل پیری روغن، اکسیده شدن آن است که به دلیل درجه حرارت بالا، وجود اکسیژن و کاتالیزورهای مس و آهن انجام می شود. از وجود مس و آهن نمی توان جلوگیری نمود اما با اعمال تغییراتی در طرح مخزن می توان تا حدود زیادی از وجود اکسیژن ممانعت کرد که در ادامه به طور تفصیلی درباره آن بحث خواهد شد. با بهره برداری مناسب میتوان درجه حرارت روغن را کاهش داد و از پیر شدن بی مورد آن جلوگیری نمود. نقش درجه حرارت در پیر شدن روغن از همه مهمتر است. درجه حرارت در کاهش عمر کاغذ نیز اهمیت دارد که در اینجا مورد بحث نیست. ولی باید توجه داشت که روغن را می توان احیا یا تعویض نمود ولی احیا کاغذ ممکن نیست. با پیر شدن کاغذ ارزش ترانسفورماتور کلاً از بین می رود. پیری کاغذ به معنی کاهش استقامت مکانیکی آن است. این کاهش استقامت مکانیکی باعث می شود که کاغذ نیروی جریان اتصال کوتاه را تحمل نکند. در صورتی که روغن در

طول زمان قابلیت‌های خود را از دست بدهد باید احیا شود جدول ۲ اثرات سو روغن در کارکرد ترانسفورماتور را نشان می دهد.

۴. تاثیر مخرب رطوبت

شرایط آب و هوایی در نقاط مختلف متنوع و متفاوت بوده و در نقاط مختلف کشور این تنوع را می توان بخوبی مشاهده نمود. بنابراین تاسیسات و دستگاههای تولید، انتقال و توزیع شبکه سراسری کشور از جمله بالغ بر ۱۵۰۰۰۰ دستگاه ترانسفورماتورهای توزیع هوایی که در تماس مستقیم و در شرایط اقلیمی کاملاً متفاوت نصب و مورد بهره برداری قرار گرفته اند، ضرورت می یابد که سفارشات به سازندگان داخلی و خارجی از لحاظ نوع طراحی مخزن و دستورالعمل بهره برداری برای نقاط مختلف، متفاوت باشد. بدیهی است موقعیت های منطقه ای نظیر رطوبت هوا، درجه حرارت محیط، ارتفاع نصب و آلودگی های صنعتی و صحرایی می تواند بر میزان بار دهی، پایداری و عمر ترانسفورماتورهای توزیع تاثیرات سوء فراوانی بگذارد و حتی گاه عوامل فوق الذکر زمینه و بستر بسیاری از عیوب و خطاهایی که منجر به سوختن ترانسفورماتورها می گردد را فراهم آورد.

جدول ۲- اثرات سوء روغن در کارکرد ترانسفورماتور [۵]

وضعیت روغن	عدد اسیدی $\frac{mgKOH}{gOil}$	کشش بین سطحی dyn/cm	ضریب کیفیت روغن	اثرات سوء روغن در کارکرد ترانسفورماتور
خوب	۰/۰۳-۰/۱	۳۰-۴۵	۱۵۰۰-۳۰۰	بدون اشکال
مناسب	۰/۰۵-۰/۱	۲۷-۳۰	۶۰۰-۲۷۰	وجود ذرات پولار(لجن معلق) در روغن اسیدهای چرب سیم پیچ را پوشانده اند
متوسط	۰/۱۱-۰/۱۵	۲۴-۲۷	۲۴۵-۱۶۰	لجن معلق آماده برای ته نشست احتمال وجود لجن در حفره ها
بد	۰/۱۶-۰/۴	۱۸-۲۴	۱۵۰-۴۵	لجن سطح هسته و سیم پیچ را پوشانده است لجن بر روی هسته و سیم پیچ سخت شده است
خیلی بد	۰/۴۱-۰/۶۵	۱۴-۱۸	۴۴-۲۲	کاغذ خود را جمع کرده است احتمال سوختن ترانسفورماتور است
خراب	۰/۶۶-۱/۵	۹-۱۴	۲۱-۶	مجاری تبرید با لجن مسدود شده اند درجه حرارت کاغذ افزایش یافته است
کاملاً خراب	<۱/۵	۶-۹	-	شستشوی ترانسفورماتور مشکل شده است ایجاد گاز بدلیل گرمای ناشی از عدم تبرید

از بین همه عوامل، رطوبت مخربترین عاملی است که می تواند دو نوع تاثیر منفی مستهلک کننده بر ترانسفورماتور وارد نماید. اثر اول آن بر روی بدنه بصورت خوردگی، زنگ زدگی و... می باشد که خارج از بحث این نوشتار است. از جمله رایجترین روشهای مقابله با این اثر مخرب، افزایش کیفیت رنگ مخزن می باشد. شرکت ترانسفورماتور سازی کوشکن در این راستا از متد نوین رنگ الکترواستاتیکی برای رنگ کردن مخازن تولیدی خود بهره می برد که رنگ حاصل از آن چه از لحاظ شکل ظاهری و چه از لحاظ دوام در زمره بهترین روشهای رنگ آمیزی صنعتی می باشد.

دومین اثر تخریبی رطوبت، ورود غیر مجاز آن به داخل ترانسفورماتور از طریق رطوبت گیر و یا درب باک می باشد که موجب کاهش شدید قدرت عایقی، تشدید اکسیداسیون و پیری زود رس روغن و نهایتاً معیوب شدن ترانسفورماتور می گردد.

آب موجود در ترانسفورماتور بدلیل دی پلیمریزه شدن سلولز و یا رطوبت هوا تولید می شود. مطابق استاندارد IEEE فاسد شدن و پیر شدن عایق با مقدار آب موجود در ترانسفورماتور رابطه مستقیم دارد. بعنوان مثال سرعت پیر شدگی عایقی که ۵ درصد وزن خود آب دارد ۵ برابر عایقی است که ۱ درصد وزن خود دارای آب است [۵].

۵. ترانسفورماتورهای هرمیتیک

یکی از پیش شرطهای مهم تضمین عملکرد مطمئن ترانسفورماتور در طی عمر مفید آن، حفظ کیفیت خواص مکانیکی و الکتریکی مواد عایق بکار رفته در ترانسفورماتور، بالخصوص روغن ترانسفورماتور و مواد عایق سلولوزی در سطحی مطلوب می باشد. با توجه به مجموع مباحث فوق می توان از رطوبت، گازهای مخرب و اکسیژن موجود در هوا به عنوان عوامل مخرب و همچنین تسریع کننده فرآیند پیر شدن مواد عایق نام برد.

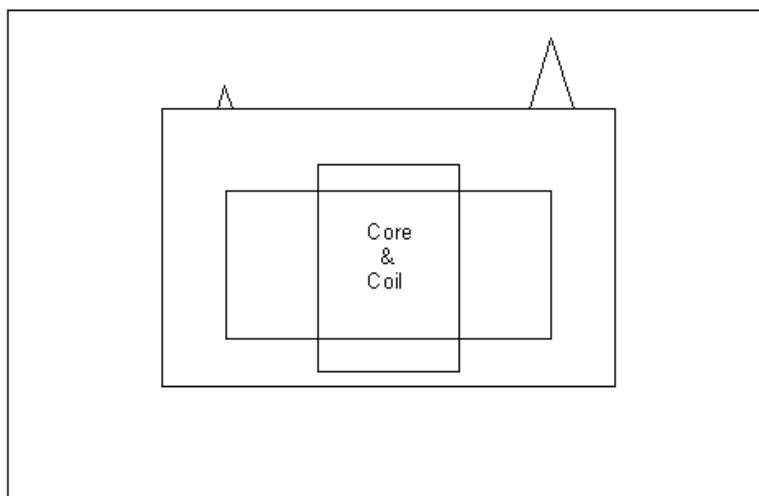
ترانسفورماتورهایی که روغن آنها با هوای آزاد هیچگونه ارتباطی نداشته و مخازن آنها کاملاً مسدود می باشد به ترانسفورماتورهای هرمیتیک مشهورند. از بهترین ویژگیهای این ترانسفورماتورها کاهش میزان فرسودگی مواد عایقی آنها در مقایسه با ترانسفورماتورهای با منبع انبساط، به علت قطع ارتباط هوا با روغن می باشد. به طوریکه در اینگونه ترانسفورماتورها اصولاً نیازی به تعویض روغن نبوده و در نهایت مراقبت و نگه داری آنها به مقدار زیادی کاهش می یابد. لزوم نصب برخی تجهیزات در این ترانسفورماتورها از بین رفته و ارتفاع آن بخاطر حذف منبع انبساط کاهش قابل ملاحظه یافته است. ترانسفورماتورهای هرمیتیک عموماً در مکانهایی که امکان سرویس و نگه داری وجود نداشته و یا ضعیف باشد استفاده می شود.

۱-۵- تاریخچه

تا قبل از دهه ۷۰ میلادی مخزن این تیپ ترانسفورماتورها بصورت صلب با یک قشر گاز نیتروژن ساخته می شدند. قشر نیتروژن دارای حجمی معادل ۲۵٪ الی ۵۰٪ حجم روغن ترانسفورماتور می باشد. این قشر به منظور خنثی نمودن

تغییرات فشار تولید شده بر اثر تغییرات حجم روغن موجود در مخزن که به علت دمای کاری متغیر به وجود می آید، ضروری و اجتناب ناپذیر می باشد. در این تیپ ترانسفورماتورها اگر چه منبع انبساط حذف شده، اما ضرورت وجود قشر گازی منجر به افزایش ارتفاع مخزن گردید و ارتفاع و وزن ترانسفورماتور نسبت به تیپ منبع انبساط دار تغییر محسوسی ننمود.

در اواسط دهه ۷۰ میلادی ساخت مخازن ترانسفورماتور به صورت کنگره ای از ورق با ضخامت ۱ الی ۱/۵ میلی متر از ST-12 منجر به ظهور نسل جدیدی از ترانسفورماتورهای هرمتیک گردید. در این تیپ تغییرات حجم روغن توسط انبساط و انقباض کنگره ها (باز و بسته شدن) خنثی گردیده و در نتیجه تغییرات فشار در سطح مجاز می گردد. در این تیپ ترانسفورماتور ارتفاع کل کاهش یافته، از مقره های معمولی همانند تیپ منبع انبساط دار می توان استفاده نمود و بالاخص تعمیر و نگه داری آن بسیار کم هزینه تر گردیده است.



شکل ۲- شمای کلی ترانسفورماتور هرمتیک با وله های قابل ارتجاع

۲-۵ - ترانسفورماتورهای هرمتیک با وله های قابل ارتجاع

شمای کلی این نوع ترانسفورماتورها در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این نوع ترانسفورماتورها که در سالهای اخیر رواج پیدا یافته اند، وله ها که سیستم خنک کننده را تشکیل می دهند، با خاصیت ارتجاعی خود سبب جبران تغییرات حجم روغن میگردند. فشار مخزن این ترانسفورماتورها در حالت بار کامل و ماکزیمم دمای محیط در محدوده ۰/۱ الی ۰/۲ اتمسفر می باشد که به مراتب کمتر از ترانسفورماتورهای هرمتیک بالشتک گازی است. تغییرات غیر قابل اجتناب فشار در اثر تغییر بار روزانه سبب خستگی وله ها می گردد. در نتیجه عمر این ترانسفورماتورها علاوه بر عامل فشار به میزان نوسانات بار روزانه نیز بستگی پیدا می کند. معمولاً 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 ترانسفورماتورهای هرمتیک در محدوده قدرت ترانسهای توزیع (تقریباً تا ۲۵۰۰ کیلو ولت آمپر) ساخته می شوند.

۳-۵- بررسی رفتار ترانسفورماتورهای هرمتیک با وله های قابل ارتجاع

همانگونه که در ابتدا شرح داده شد، دو مساله مهم در مورد این نوع ترانسفورماتورها، یکی تحمل فشار توسط مخزن و جوشها و دیگری تحمل خستگی ناشی از تغییرات بار در طی شبانه روز می باشد. دمای روغن در مخزن ترانسفورماتور در سطوح مختلف یکسان نیست. لذا با تقریب قابل قبولی دمای متوسط روغن ملاک اضافه حجم در نظر گرفته می شود. چنانچه افزایش حجم روغن را از دمای $20^{\circ}C$ به حداکثر دمای متوسط روغن ΔV^+ و کاهش حجم روغن را از دمای $20^{\circ}C$ به حداقل دمای محیط ΔV^- بنامیم در نتیجه تغییر حجم کل از حداقل دمای محیط تا حداکثر دمای متوسط روغن عبارتست از:

$$\Delta V = \Delta V^+ + \Delta V^-$$

این اختلاف حجم در گرمترین و سردترین دمای روغن باید توسط وله ها جبران گردند و چون وله ها از هر دو طرف قابلیت ارتجاعي دارند، تقریباً نیمی از این حجم با کاهش حجم وله ها (انقباض) و نیمی دیگر با افزایش حجم آنها (انبساط) نسبت به وضعیت عادی جبران می گردند. شکل ۳ مقطعی از یک وله را در حالات انبساط و انقباض نشان می دهد.

وله ها باید تحمل کافی در برابر فشار ناشی از افزایش یا کاهش حجم روغن را داشته باشند که این بستگی به ابعاد، تعداد تکیه گاهها، میزان فشار، جنس و ضخامت ورق و نوع برش خواهد داشت. به علت شکل خاص وله ها بررسی دقیق رفتار آنها در فشارهای مختلف امکان پذیر نیست، لذا فرضیاتی به منظور ساده سازی در محاسبات در نظر گرفته می شود و آنگاه با استفاده از ضرایب تجربی رفتار نسبتاً دقیقی از وله ها بدست می آید.

فشار وارد بر سطوح وله ها 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 می گذارد، لیکن نیروی ناشی از عامل دوم در بالای وله ها کم و در پایین آنها زیاد است. فشار حاصل از اضافه حجم روغن متناسب با عوامل مختلفی است. بطوریکه []

$$P \propto \frac{Y_m \cdot E \cdot T^3}{K_1 \cdot a^4}$$

در این رابطه:

E : مدول یانگ

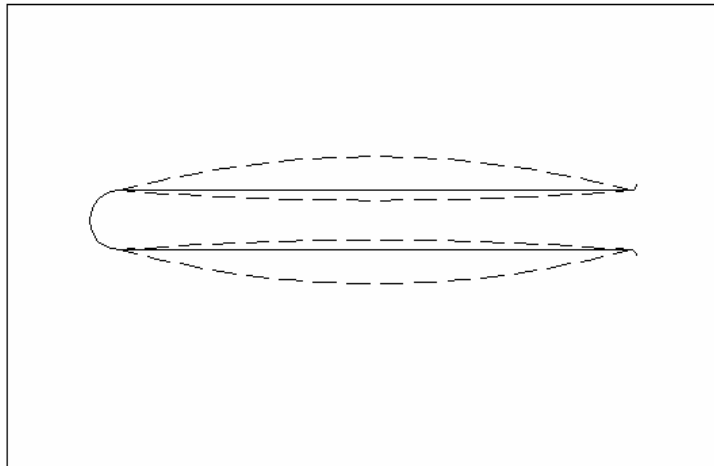
a : پهنای وله ها

T : ضخامت ورق وله

Y_m : خیز ماکزیمم صفحه

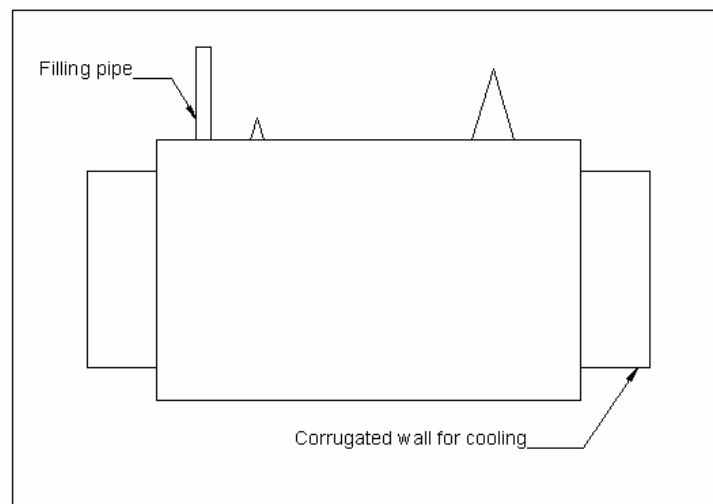
K_1 : ضریبی است که بستگی به نوع وله، نحوه توزیع بار و ابعاد وله دارد.

بر روی درپوش اینگونه ترانسفورماتورها معمولاً لوله ای تعبیه می گردد تا ارتفاع لازم برای روغن مفره ها را



شکل ۳- مقطع یک وله در حالات انبساط و انقباض

تامین کند. این لوله به لوله پر کننده موسوم است. شکل زیر شمای کلی این نوع ترانسفورماتورها و محل قرارگیری لوله پر کننده را نشان میدهد.



شکل ۴- نمای ترانسفورماتور هرمتیک با لوله پر کننده (Filling pipe)

غالباً هر نوع ترانسفورماتور وله ای را نمی توان با حذف منبع انبساط آن به هرمتیک تبدیل نمود چرا که وله های یک

ترانسفورماتور با منبع انبساط عموماً قادر نیستند تغییر حجم روغن را جبران نمایند. لذا اکثر موارد به افزایش تعداد وله ها و عمق آنها و نیز افزایش ناچیزی در ضخامت ورق وله ها نیاز است. جدول ۳ مقایسه ای میان یک ترانسفورماتور ۵۰۰ کیلو ولت آمپر ردیف ۲۰ کیلو ولت در دو حالت منبع انبساطی و هرمتیک را نمایش می دهد.

جدول ۳- مقایسه دو ترانسفورماتور ۵۰۰ کیلو ولت آمپر در دو حالت منبع انبساطی و هرمتیک

وزن کل (kg)	حجم روغن (kg)	ضخامت ورق وله (mm)	عمق وله ها (mm)	تعداد وله ها	نوع طراحی مخزن
۱۶۰۰	۴۵۰	۱	۲۵۰	۶۸	منبع انبساطی
۱۷۰۰	۴۰۰	۱/۲	۲۰۰	۸۲	هرمتیک

همانگونه که ملاحظه می شود در حالت هرمتیک تعداد وله ها ۱۴ عدد اضافه شده اما عمق آنها کم شده و ضخامت ورق آن نیز به ۱/۲ میلی متر تبدیل شده است. البته افزایش تعداد وله ها در این ترانسفورماتور اگرچه باعث افزایش وزن کلی ترانسفورماتور بعثت افزایش وزن آهن آلات می گردد، سبب افزایش ابعاد کلی ترانسفورماتور نشده و غالباً نیز همین گونه است.

۴-۵ - تجهیزات حفاظتی و اندازه گیری ترانسفورماتورهای هرمتیک وله ای

ترانسفورماتورهای هرمتیک بخصوص از نوع وله ای به دلیل کاهش پیری مواد عایقی شان احتیاج به تعمیر و نگه داری کمی دارند. این مزیت به همراه از کار افتادگی کم این ترانسفورماتورها استفاده از تجهیزات حفاظتی در آنها را به حداقل ممکن می رساند. تجهیزات مورد لزوم این نوع ترانسها فقط ترمومتر روغن می باشد و در جایی که درجه حفاظت بالایی مورد نظر باشد از فشار سنج نیز استفاده می گردد. کلید شناوری در این ترانسفورماتورها نقش رله بوخهلتس را در ترانسهای با منبع انبساط دارد و جمع شدن گاز در لوله پرکننده و کاهش سطح روغن در این لوله را خبر می دهد. نصب این رله همانند رله بوخهلتس در ترانسهای توزیع همواره الزامی نیست. می توان جهت کنترل سطح روغن در داخل مخزن و کنترل نشتی های احتمالی یک روغن نمای چشمی و یا مغناطیسی روی لوله پرکننده نصب نمود.

۵-۵ - مزایای ترانسفورماتورهای هرمتیک وله ای

- در سر تا سر محدوده قدرت ترانسفورماتورهای توزیع قابل ساخت می باشند. (تا ۲۵۰۰ کیلو ولت آمپر)
- کاهش میزان فرسودگی روغن و مواد عایقی در مقایسه با ترانسفورماتورهای با منبع انبساط، لذا عدم نیاز به تصفیه و تعویض روغن
- کاهش هزینه سرویس و نگه داری
- عدم نیاز به بازدیدهای دوره ای
- حذف برخی تجهیزات همچون رطوبت گیر و رله بوخهلتس
- حذف منبع انبساط، در نتیجه کم شدن ارتفاع ترانس حتی کمتر از ترانسفورماتورهای هرمتیک گازی، بدلیل نداشتن محفظه گاز
- حذف فشار شکن در مقایسه با ترانسهای هرمتیک گازی
- استفاده از مقره های نرمال بجای مقره پایه بلند که در ترانسفورماتور هرمتیک گازی استفاده می شود
- نداشتن مسایل و مشکلات ناشی از گاز بی اثر در مقایسه با ترانسفورماتورهای هرمتیک گازی
- فشار مثبت جزئی ترانسفورماتور در حین کار مانع از نفوذ هوا رطوبت در مواقع نشستی احتمالی به داخل ترانسفورماتور می گردد
- افزایش قیمت ناچیز در مقایسه با کاهش هزینه های قطعات یدکی و بازدیدهای دوره ای
- بالا بودن کیفیت جوشکاری ها و استحکام مکانیکی مخزن بدلیل طراحی خاص این نوع ترانسفورماتورها
- افزایش عمر روغن بدلیل عدم تماس مستقیم روغن و هوا
- دوام قابل ملاحظه در برابر آلودگیهای صنعتی و جوی در مقایسه با ترانسفورماتورهای منبع انبساطی و در نتیجه دارا بودن قابلیت استفاده در مناطق آلوده همانند کارخانجات سیمان، صنایع پتروشیمی و همچنین مناطق کویری
- دوام قابل ملاحظه روغن در برابر رطوبت بدلیل عدم تماس مستقیم آن با هوا و در نتیجه دارا بودن قابلیت کاربرد برای مناطق مرطوب و ساحلی

۵-۶ - معایب ترانسفورماتورهای هرمتیک وله ای

- بالا رفتن جزئی میزان مصرف ورق آهن به دلیل افزایش تعداد وله ها و ضخیم تر شدن جزئی آنها

۷-۵- کاربرد ترانسفورماتورهای هرمتیک

ترانسفورماتورهای هرمتیک می توانند جایگزین هر نوع ترانسفورماتور توزیع در هر شرایط کاری و محیطی شوند. علاوه بر آن بکارگیری این ترانسفورماتورها در مکانهایی که امکانات سرویس و نگه داری وجود نداشته و یا ضعیف می باشد و نیز در مناطق ساحلی که میزان رطوبت هوا بالاست اجتناب ناپذیر خواهد بود. همچنین در محلهایی که از لحاظ ارتفاع ترانس دارای محدودیت می باشد می توان از ترانسفورماتورهای هرمتیک بخصوص از نوع وله ای استفاده کرد. چنانچه پیشتر اشاره شد، بدلیل عدم تماس مستقیم روغن و هوا، این نوع ترانسفورماتورها دوام قابل ملاحظه ای در برابر آلودگیهای صنعتی و جوی از خود نشان می دهند و امروزه بصورت گسترده ای در صنایع مختلف همچون کارخانجات سیمان، پتروشیمی، نساجی و ... مورد استفاده قرار می گیرند.

ترانسفورماتورهای هرمتیک با مخزن گالوانیزه، امروزه به بهترین گزینه برای استفاده در مناطق مرطوب و ساحلی مبدل شده اند. این نوع ترانسفورماتورها اکنون در مجموعه ایران ترانسفو بصورت سفارش ویژه تولید و در اختیار مشتریان قرار داده می شود. تعدادی از این ترانسفورماتورها نیز به کشورهای خارجی همچون سوریه صادر شده است.

۶. نتیجه گیری

مهمترین عامل استفاده از ترانسفورماتورهای هرمتیک کاهش میزان فرسودگی روغن و سایر مواد عایقی ترانسفورماتور می باشد. این عامل کاربرد این ترانسفورماتور را در مکانهایی که فاقد امکانات سرویس و نگه داری هستند الزامی ساخته است. این نکته را نباید از نظر دور داشت که بدلیل ازدیاد مصرف ورق آهن و نیز بالا رفتن کیفیت جوشها، استحکام مکانیکی بیشتر مخزن و افزایش زمان بری ساخت، قیمت این نوع ترانسفورماتورها نسبت به نمونه های مشابه منبع انبساطی حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد بالاتر است. اگر این افزایش قیمت با هزینه های ناشی از بازدیدهای دوره ای، هزینه های ناشی از تعویض قطعات و تجهیزات و خسارات اقتصادی و اجتماعی ناشی از قطع برق در اثر خارج شدن ترانسفورماتور از مدار مقایسه گردد، ترانسفورماتورهای هرمتیک بعنوان گزینه ای کاملا اقتصادی و قابل رقابت شناخته خواهند شد.

۷. منابع و مأخذ

۱. محمد رسول کریمی، حسین اعتماد رضایی، ترانسفورماتورهای هرمیتیک و کاربرد آنها در شبکه های توزیع ، سومین کنفرانس شبکه های توزیع برق - شیراز ۱۳۷۲ .
۲. محسن فخاری، نقش ترانسفورماتور در کاهش ضریب اطمینان برق رسانی شبکه های توزیع نیرو ، دومین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق - اصفهان ۱۳۷۱ .
۳. محمد رضا مشکوه الدینی، بررسی آماری عیوب ترانسفورماتورهای توزیع، دومین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق - اصفهان ۱۳۷۱ .
۴. غلامحسین عبدی ، عباس کاظمی ، علی فیاض ، بررسی شرایط آب و هوایی بر روی عمر و عملکرد ترانسفورماتورهای توزیع ، ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق .
۵. حسین محسنی ، فریبرز موجبی ، احیاء روغن ترانسفورماتور ، ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق .
۶. شهریار عمومی ، بررسی عوامل موثر در فرسودگی روغن ترانسفورماتورها ، هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، تهران - اردیبهشت ۱۳۸۲ .
۷. مدارک فنی شرکت ترانسفورماتور سازی کوشکن

8 - G. Altman , Hermetically sealed distribution transformers , Trafo-Union

9 - Gas pressure calculations for sealed transformers under varying load conditions-T, Y,Oommen - Westinghouse -IEEE

10- S. D. Meyers et al , A guide to transformer maintenance , ISBN 0-939320-00-2