



PSC 2007

98-F-TRN-916

طرح جدید برای طراحی ترانسفورماتورهای هرمتیک بالشتک گازی با رادیاتورهای وله ای قابل انعطاف

فریبرز براتی	سولماز فرزانه	سید جمال الدین موسوی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابهر	شرکت ترانسفورماتورسازی توزیع	موسسه تحقیقات ترانسفورماتور
شرکت ترانسفورماتورسازی توزیع	زنگان	ایران، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه
زنگان		آزاد اسلامی واحد ابهر

واژه های کلیدی: ترانسفورماتور، طرح هرمتیک گازی، طرح هرمتیک وله ای جدید، مقایسه ابعادی، مقایسه وزنی

چکیده:

بدون بالشتک گاز پیشنهاد می شود که تواماً مزایای هر دو نوع ترانسفورماتور هرمتیک گازی و وله ای را دارا می باشد. در این طرح وله ها جایگزین رادیاتور شده و در عین حال گاز ازت از بالای ترانسفورماتور حذف می گردد. با توجه به اینکه در این نوع طراحی تعداد وله ها محدود نمی باشد، می توان ترانسفورماتورهای روغنی با توان های بالاتر را نیز با خنک کاری وله ای طراحی نمود.

۱- مقدمه

مخزن ترانسفورماتورهای هرمتیک به منظور جلوگیری از نفوذ عوامل مخرب به داخل ترانسفورماتور، کاملاً بسته بوده و هیچگونه تبدالی با محیط اطراف، حتی از طریق رطوبت گیر ندارد. ترانسفورماتورهای هرمتیک در چند نوع اصلی طراحی و ساخته می شوند که در ادامه مقاله بطور مختصر به آنها اشاره خواهد شد. از ویژگی های مهم ترانسفورماتورهای هرمتیک،

کارکرد صحیح و بی وقفه ترانسفورماتورها، بعنوان یکی از تجهیزات مهم در شبکه های برق رسانی و انتقال انرژی، از اهداف اصلی سازندگان و بهره برداران آنها می باشد. ترانسفورماتورهای هرمتیک بالشتک گازی اخیراً در صنایع نفت و پتروشیمی بطور چشمگیر مورد توجه قرار گرفته اند. برای خنک کاری این نوع ترانسفورماتورها از رادیاتور استفاده می شود زیرا بدلیل بالا بودن توان ترانسفورماتور، روش وله ای برای دفع حرارت ترانسفورماتور پاسخگو نمی باشد. با توجه به اینکه رادیاتور مانند وله نمی تواند فشار ناشی از انبساط روغن را تحمل کند، از گاز ازت در بالای روغن ترانسفورماتور استفاده می شود. این امر باعث افزایش ارتفاع و حجم روغن در حدود ۳۵ درصد نسبت به ترانسفورماتورهای وله ای می شود و نقش درپوش را برای دفع حرارت از بین می برد. در این مقاله طرح جدیدی برای خنک کردن ترانسفورماتورهای توان بالا

در این نوع از ترانسفورماتورهای هرمتیک از خاصیت ارتجاعی پره‌های خنک‌کنندگی برای جبران تغییرات حجم روغن استفاده می‌شود. بطوریکه در اثر افزایش حجم روغن پره‌ها (یا وله‌ها) باز و در اثر کاهش حجم روغن پره‌ها فشرده می‌شوند. نوسانات بار و فشار در طی عمر ترانسفورماتورهای مذکور، پره‌ها را در معرض پدیده خستگی قرار می‌دهد، لذا طراحی این ترانسفورماتورها باید بگونه‌ای باشد که تنش‌های حاصله از حد تنش خستگی پره‌ها تجاوز ننماید. اتخاذ سیستم‌های پیشرفته جوشکاری و روش‌های تولید مناسب از جمله شات‌بلاست نمودن مخازن تاثیر مهمی در افزایش عمر مخازن ترانسفورماتورهای مذکور دارد. این نوع از ترانسفورماتورها کاملاً از روغن پر شده و در محدوده قدرت ترانسفورماتورهای توزیع ساخته می‌شوند [۲].

۲- طراحی مخزن ترانسفورماتورهای هرمتیک با مخزن الاستیک

مخزن یک ترانسفورماتور با توجه به اینکه تلفات ترانسفورماتور چه اندازه می‌باشد، طراحی و ساخته می‌شود. چنانچه می‌دانیم توان از دست رفته، P_{loss} یک ترانسفورماتور برابر است با:

$$P_{loss} = P_0 + P_{pk} \quad (1)$$

که در این رابطه P_0 تلفات هسته و P_{pk} تلفات سیم می‌باشند. این تلفات بصورت حرارت در ترانسفورماتور ظاهر می‌شود که باعث گرم شدن روغن آن می‌گردد و باید از روغن توسط مخزن ترانسفورماتور دفع شوند. چنانچه مخزن ترانسفورماتور هرمتیک وله‌ای باشد، پره‌ها دو وظیفه دفع حرارت روغن و تحمل فشار ناشی از انبساط و انقباض آن را همزمان برعهده دارند.

اگر PW مقدار حرارتی که یک وله با ارتفاع BW و عمق TW دفع می‌کند باشد (شکل (۱))، مقدار آن از رابطه زیر بدست خواهد آمد [۲]:

$$PW = BW(WK.LP.\eta + WS.TK) \quad (2)$$

عدم نیاز به تصفیه روغن و کاهش هزینه‌های سرویس و نگهداری آنها می‌باشد. استفاده از این ترانسفورماتورها برای مناطق ساحلی و مکان‌های دور افتاده که رطوبت هوا زیاد بوده و امکان سرویس‌های دوره‌ای به سهولت میسر نمی‌باشد، توصیه می‌گردد. عدم نیاز به تجهیزات حفاظتی مثل رله‌بوخهلتس و منبع انبساط و رطوبت‌گیر از دیگر ویژگی‌های ترانسفورماتورهای هرمتیک می‌باشد. در نتیجه برای مکانهایی که محدودیت ارتفاعی جهت نصب ترانسفورماتور وجود دارد، استفاده از ترانسفورماتورهای هرمتیک مناسب خواهد بود.

انواع ترانسفورماتورهای هرمتیک عبارتند از:

- ترانسفورماتورهای هرمتیک با محفظه گاز و یا دیافراگم لاستیکی در منبع انبساط:

در این نوع از ترانسفورماتورهای هرمتیک، افزایش و کاهش حجم روغن توسط خاصیت ارتجاعی لاستیک جبران می‌شود که ممکن است از دیافراگم لاستیکی که مستقیماً با روغن در تماس است و یا محفظه لاستیک با گاز بی‌اثر که بعنوان واسطه عمل می‌کند استفاده شده باشد.

این نوع ترانسفورماتورها به دلیل کمی طول عمر محفظه و یا دیافراگم لاستیکی و نیز نفوذ پذیری نسبی لاستیک در مقابل گازها، از قابلیت اطمینان کمتری برخوردار بوده و بطور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته است. با افزایش کیفیت کیسه‌های لاستیکی انواع مرغوبتری از این کیسه‌ها تولید شده و در ترانسفورماتورهای قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

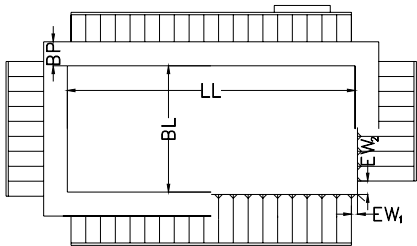
- ترانسفورماتورهای هرمتیک با بالشتک گازی:

این ترانسفورماتورها بطور کلی بر دو نوع بوده و در هر رنج قدرتی قابل ساخت می‌باشند. در نوع اول جرم گاز ثابت و نوع دوم فشار گاز ثابت است. محفظه گاز در این ترانسفورماتورها علاوه بر جلوگیری از ارتباط روغن با هوای محیط، نقش الاستیک را نیز ایفا می‌کند. گاز مورد استفاده اثر مخرب بر روی روغن و سایر مواد عایقی و قسمت‌های داخلی ترانسفورماتور ندارد. گازی که معمولاً برای این منظور بکار می‌رود، گاز ازت و در برخی موارد هوای خشک می‌باشد.

- ترانسفورماتورهای هرمتیک با مخزن الاستیک:

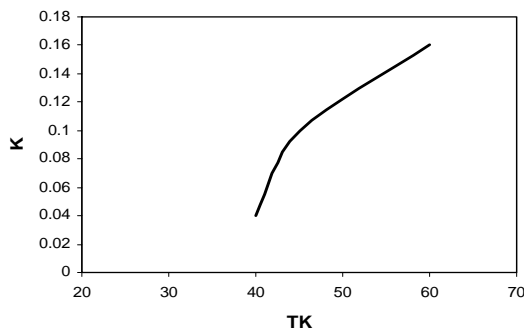
بدست خواهد آمد. EW_1 و EW_2 نیز با توجه به شکل (۲) تعیین می‌شوند.

ضریب K نیز تابعی از گام وله‌ها می‌باشد که از شکل (۳) بدست می‌آوریم.



شکل ۲: معرفی پارامترهای ابعادی ترانسفورماتور

باید توجه شود که طراحی باید بر اساس محدودیت‌های تولید انجام گیرد، بنابراین با توجه به دستگاه تولید وله موجود در شرکت ایران ترانسفو، این محدودیت‌ها در جدول (۱) آمده است.



شکل ۳: نمودار ضریب k بر حسب گام وله‌ها

علاوه بر دفع حرارتی وله‌ها، درپوش مخزن ترانسفورماتور نیز دفع حرارتی قابل ملاحظه‌ای دارد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$P_{55D} = 700(LL + 2BP)(BL + 2BP) \quad (۷)$$

BP اندازه بال نبشی فریم مخزن، LL طول داخلی فریم و BL عرض داخلی فریم می‌باشد (شکل (۲)).

که

$$WK = 346.153 + 17.7992TW - 4880.01TW^2 + 21339.9TW^3 - 27720.9TW^4 \quad (۳)$$

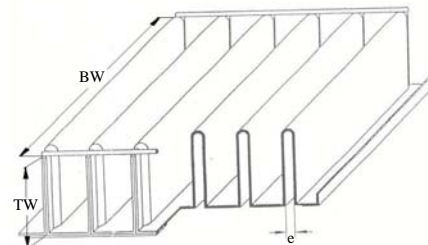
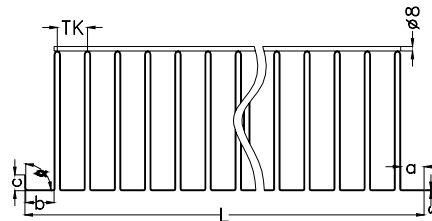
LP برابر طول باز شده وله و برابر:

$$LP = 2 * TW + TK - 4.2 \quad (۴)$$

η نیز ضریبی است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\eta = 1.6048 - 1.14337BW + 0.710217BW^2 - 0.183304BW^3 + 0.0135081BW^4 \quad (۵)$$

WS گرمای منتشر شده ویژه است و برابر 305 W/m^2 می‌باشد. TK نیز گام برجستگی آکاردیونی است (شکل (۱)).

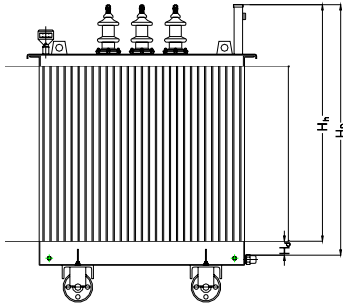


شکل ۱: پارامترهای طراحی وله

چنانچه مخزن ترانسفورماتور در هر چهار طرف وله داشته باشد (که در نوع مورد بحث این مقاله چنین است) گرمای کل دفع شده از طریق وله‌های آن از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$P_{55W} = 2(N_1.PW_1 + N_2.PW_2) + 2240BW(EW_1 + EW_2) + 860BW(TW_1 + TW_2 - K) \quad (۶)$$

که N_1 تعداد پره‌ها در هر طرف طولی، N_2 تعداد پره‌ها در هر طرف عرضی، TW_1 و TW_2 به ترتیب عمق وله‌های طولی و عرضی، PW_1 و PW_2 نیز به ترتیب مقدار توان دفع حرارتی هر وله طولی و عرضی می‌باشد که از رابطه (۲)



شکل ۴: ابعاد مشخصه ترانسفورماتور هرمتیک وله‌ای

	min	Max
BW	400	1600
TW	50	400
L	500	3000
a	45	200
b	35	200
c	20	
e	6	
s	1.2 و 1.5	
TK	40	100
α	45 و 90 و 180	

جدول ۱: محدودیت‌های دستگاه تولید وله

فشار هیدرواستاتیک برابر خواهد بود با:

$$P_h = H_h \rho \cdot 10^{-4} \quad [bar] \quad (9)$$

که در رابطه بالا H_h بر حسب میلیمتر و ρ چگالی روغن بر حسب kg / dm^3 می‌باشد.

اگر P_e برابر فشار ناشی از انبساط و انقباض روغن بر روی وله‌ها باشد آنرا از رابطه زیر می‌توان بدست آورد:

$$P_e = \frac{V_{fl} \beta (\vartheta_{max} - \vartheta_e + \theta_{oe})}{C} \quad (10)$$

که در رابطه بالا V_{fl} حجم روغن در دمای روغن زنی، ϑ_{max} ماکزیمم دمای محیط، ϑ_e دمای روغن زنی ترانسفورماتور که معمولاً برابر ۲۰ درجه سانتی‌گراد است و θ_{oe} ماکزیمم دمای روغن می‌باشد. β نیز ضریب انبساط روغن است که تابعی از تغییرات دمای آن می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\beta = \frac{0.65 * 10^{-3}}{0.857 - 0.65 * 10^{-3} (\theta_{oe} - \vartheta_{max})} \quad (11)$$

C ضریب سختی کل پره‌ها است و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$C = 1.1 [(N_{lw} \cdot K_{lw} + N_{ln} \cdot K_{ln}) V_l + (N_{ww} \cdot K_{ww} + N_{wn} \cdot K_{wno}) V_w] \quad (12)$$

در این رابطه، N تعداد وله‌ها و K ضریب سختی هر وله است که از جدول (۲) بدست می‌آید. اندیس‌های lw : پره‌های طولی با جوش زیکن، ln : پره‌های طولی بدون جوش زیکن، ww : پره‌های عرضی با جوش زیکن و wn : پره‌های عرضی بدون جوش زیکن می‌باشند. V_l و V_w نیز بترتیب مقدار حجم روغن هر پره طولی و عرضی می‌باشد [۲].

دفع حرارتی کل مخزن ترانسفورماتور برابر دفع حرارتی وله‌ها و دفع حرارتی درپوش می‌باشد:

$$P_{55} = (P_{55W} + P_{55D}) \cdot F \quad (8)$$

F ضریبی تجربی است که بمنظور در نظر نگرفتن مقدار فوقانی پراکندگی دمای اندازه‌گیری شده روغن می‌باشد (چنانچه بر اساس مدارک RV برابر ۱/۰۷ است).

۳- محاسبه مقدار فشار وارد بر وله‌های مخازن

ترانسفورماتورهای هرمتیک با مخزن الاستیک

بعد از اینکه ابعاد وله‌ها و مخزن ترانسفورماتور مشخص شد، با بدست آوردن حجم روغن ترانسفورماتور باید فشار ناشی از انبساط و انقباض آن بر روی وله‌ها محاسبه شود و چنانچه مقدار محاسبه شده از مقدار مجاز بیشتر شد، با تغییر ابعاد وله‌ها طراحی مخزن دوباره صورت گیرد.

فشار وارد بر وله‌های مخزن از دو قسمت تشکیل شده است، یکی فشار ناشی از تفاع روغن H_h (شکل (۴)) یا همان فشار هیدرواستاتیک و دیگری فشار ناشی از انبساط و انقباض روغن می‌باشد.

۴- معیارهای طراحی مکانیکی ترانسفورماتورهای

هرمتیک با بالشتک گازی

بطور کلی ترانسفورماتورهای هرمتیک گازی از نظر محاسبات الکتریکی اکتیو پارت با سایر انواع ترانسفورماتورهای منبع انبساط‌دار مشابه بوده و اختلاف عمده، در طراحی مکانیکی و روش‌های ساخت می‌باشد. اصول فیزیکی حاکم بر گازها با در نظر گرفتن حلالیت گاز نیتروژن در روغن، همچنین شرط عدم تشکیل حباب‌های گاز در روغن، ملاک محاسبه فشار و طراحی مکانیکی این ترانسفورماتورها محسوب می‌گردد. میزان حلالیت گاز نیتروژن در روغن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$S = F_1(a + b\theta_{oil})p \quad (14)$$

که در این رابطه p فشار گاز، θ_{oil} دمای روغن و a و b ضرایبی هستند که طبق مدارک TUB برابر مقادیر زیرند:

$$a = 0.081 \quad 1/\text{bar} \quad (15)$$

$$b = 0.00029 \quad 1/\text{bar}\cdot C^\circ$$

و

$$0 \leq F_1 \leq 1 \quad (16)$$

بلافاصله پس از پر کردن و یا تزریق گاز در ترانسفورماتور هیچ مقدار گازی در روغن نفوذ نکرده و $F_1 = 0$ است، پس از گذشت زمان و با حل شدن گاز در روغن حالت ایجاد می‌شود. فرض بر این است که ۲۵ درصد از حلالیت کامل حاصل شده است، بنابراین $F_1 = 0.25$ [۱]. با حل شدن کامل گاز و رسیدن به حد اشباع، $F_1 = 1$ خواهد بود. نسبت فشار گاز به فشار تزریق از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{V}{293(V - \beta\Delta\theta_{oil}) + F_1(a + b\theta_{oil})} \quad (17)$$

$\Delta\theta_{oil}$ تغییرات دمای روغن بر حسب درجه سانتی‌گراد، β ضریب انبساط حجمی روغن بر حسب $1/C^\circ$ ، V نسبت حجم گاز به حجم روغن در دمای 20 درجه سانتی‌گراد و معمولاً بین $0.5/2-0$ در نظر گرفته می‌شود و F_2 وضعیت دمای محفظه گاز می‌باشد. یعنی

$$F_2 = 0.8 \quad \text{if} \quad \theta_{oil} \geq 20 \quad C^\circ \quad (18)$$

$$F_2 = 1 \quad \text{if} \quad \theta_{oil} < 20 \quad C^\circ$$

TW	ضخامت ورق [mm]		ضخامت ورق 1.5 [mm]	
	بدون جوش	با جوش	بدون جوش	با جوش
50	0.25	0.5	0.14	0.14
100	0.43	0.43	0.23	0.23
125	0.55	0.55	0.3	0.3
160	0.77	0.77	0.44	0.44
180	0.21	1.23	0.17	0.67
200	0.22	1.44	0.18	0.77
220	0.23	1.71	0.18	0.92
240	0.25	2.05	0.2	1.12
280	0.38	4.02	0.3	2.01
320	-	-	0.18	2.71

جدول ۲: مقادیر ضریب سختی پره‌ها در TWهای مختلف [۲]

مقادیر بدست آمده فشار از روابط (۹) و (۱۰) بر روی هر یک از وله‌ها باهم اثر می‌کنند، بنابراین فشار کل اعمالی بر روی وله‌ها برابر خواهد شد با:

$$P_{total} = P_H + P_e \quad (13)$$

با توجه به مدارک TUB این فشار نباید از مقادیر مجاز جدول (۳) بیشتر باشد.

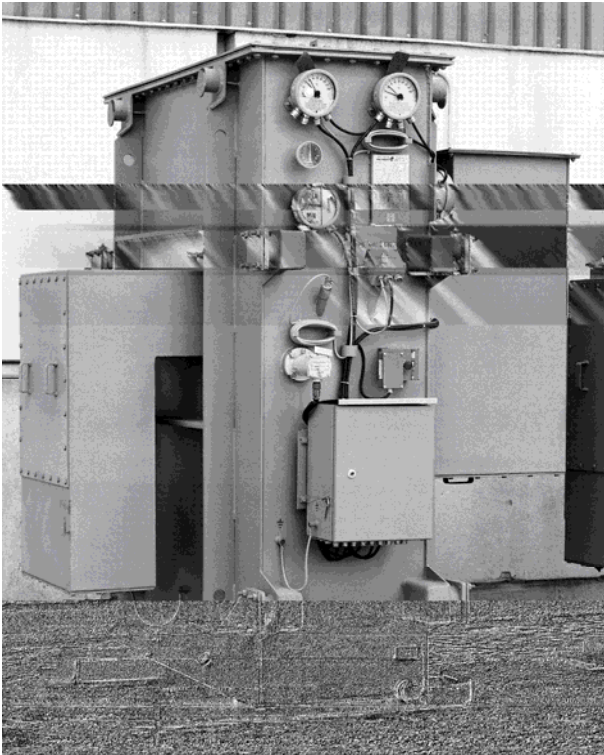
TW	ضخامت ورق 1.2 [mm]	ضخامت ورق 1.5 [mm]
50	0.5	0.5
100	0.46	0.5
125	0.43	0.5
160	0.4	0.5
180	0.38	0.47
200	0.37	0.45
220	0.36	0.42
240	0.33	0.39
280	0.3	0.34
320	-	0.31

جدول ۳: مقادیر مجاز فشار وارده بر پره‌ها در TWهای مختلف [۱]

باید دو شرط زیر برقرار شود تا ترانسفورماتور بدون مشکل کار کند [۳]:

$$1. \quad P_{55} > P_{loss}$$

$$2. \quad P_{total} \text{ در حد مجاز جدول (۳) باشد.}$$



شکل ۵: ترانسفورماتور هرمتیک با بالشتک گازی و مخزن رادیاتوری

وجود محفظه گاز و اصل رعایت فواصل عایقی مجاز، شرایط خاصی را برای طراحی این ترانسفورماتورها ایجاد می‌نماید، از جمله می‌توان به نکات زیر اشاره نمود:

- محدودیت در انتخاب رادیاتورهای با طول بلند بعلت در نظر گرفتن گردش روغن و جلوگیری از افزایش بی‌مورد وزن و ابعاد ترانسفورماتور.
- انتخاب کلیدهای تنظیم ولتاژ خاص (مثل کلیدهای تنظیم ولتاژ با کنترل کابلی) و یا ترجیحاً قرار دادن دسته کنترلی کلید بر روی دیواره طولی ترانسفورماتور.
- استفاده از پوشینگ‌های پایه بلند و ترجیحاً استفاده از پوشینگ‌های مناسب در دیواره‌های طولی ترانسفورماتور.
- عمدتاً اکتیو پارت از بالا به دیواره‌های ترانسفورماتور مهار می‌شود که برخلاف روش معمول ترانسفورماتورهای دارای منبع انبساط می‌باشد.
- نقش دفع حرارتی درپوش و ۳۰-۴۰ درصد دیواره‌های جانبی از بین می‌رود.
- کلیه تجهیزات منصوب، اعم از پوشینگ‌ها و نشان دهنده‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری و حفاظتی که به نحوی با تغییرات

افزایش دمای گاز $\Delta\theta_N$ نیز برابر است با:

$$\Delta\theta_N = F_2 \Delta\theta_{oil} \quad (19)$$

بر اساس نتایج تجربیات و آزمایشات سازندگان ترانسفورماتور، توصیه می‌شود، جهت عدم تشکیل حباب‌های گاز در روغن، اختلاف فشار در حداکثر و حداقل دمای روغن از ۰/۵ bar تجاوز ننماید و در محاسبه اختلاف فشار بایستی حالت اشباع شده با ۲۵ درصد حلالیت را در نظر بگیریم.

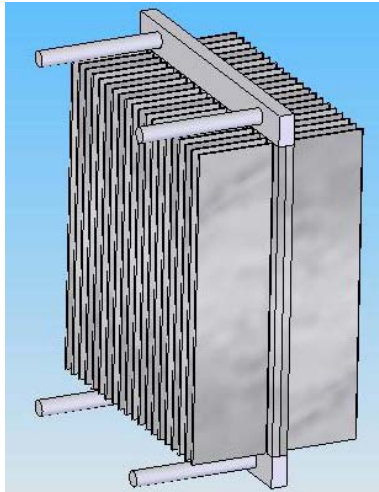
همچنین در طراحی این نوع ترانسفورماتورها بایستی از افت فشار خیلی زیاد در محفظه گاز جلوگیری گردد. بر این اساس ماکزیمم افت فشار ممکن در روغن اشباع شده حداکثر برابر نصف بیشترین فشار مثبت در حالت روغن اشباع نشده در نظر گرفته می‌شود.

$$1 - P_{min} \leq \frac{1}{2}(P_{max} - 1) \quad bar \quad (20)$$

در رابطه بالا P_{min} در حالت $F_1 = 1$ و P_{max} در حالت $F_1 = 0.25$ محاسبه می‌شود [۲].

با انتخاب یک مقدار مناسب برای V در رابطه (۱۷) و همچنین با در نظر گرفتن محدودیت‌های ناشی از روابط (۱۹) و (۲۰) فشار تزریق گاز P_0 قابل محاسبه می‌باشد. تعیین حجم محفظه گاز اهمیت زیادی دارد، چرا که با کم بودن مقدار V فشار بالا رفته و بایستی تحمل مخزن نیز بالا باشد، همچنین بزرگ بودن حجم نیز ابعاد (مخصوصاً ارتفاع) ترانسفورماتور را بزرگ کرده و سبب بالا رفتن قیمت تمام شده ترانسفورماتور می‌شود.

همانطور که شکل (۵) نشان می‌دهد، مخزن این نوع از ترانسفورماتورهای هرمتیک عمدتاً بصورت دیواره‌های صاف با سطوح خنک‌کنندگی رادیاتوری و با قابلیت تحمل خلاء ساخته می‌شود، بنابراین در این حالت مخزن تقریباً صلب بوده و افزایش حجم آن در اثر فشارهای اعمالی ناچیز می‌باشد. استفاده از مخازن الاستیک برای این نوع از ترانسفورماتورها در محدوده توان‌های پایین مقدور می‌باشد که باید طبق روابط بخش قبل، ضمن انجام محاسبات دقیق فشار، افزایش حجم مخزن را نیز در نظر گرفت.



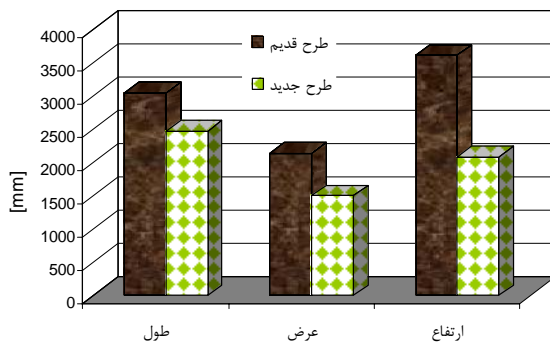
شکل ۶: یک بلوک رادیاتور وله‌ای

محاسبات دفع حرارت وله‌ها و دیگر اجزاء مخزن و نیز محاسبات فشار وله‌ها طبق روابط بند (۲) و (۳) انجام خواهد شد.

در ادامه، یک نمونه ترانسفورماتور هرمتیک گازی با توان ۲۵۰۰ kVA، به این روش دوباره طراحی شده و از نظر ابعادی و وزنی با نمونه قبلی مقایسه شده است.



شکل ۷: نمایی از ترانسفورماتور طرح جدید



شکل ۸: نمودار مقایسه ابعادی ترانسفورماتور طرح قدیم و جدید

فشار مخزن در ارتباط مستقیم می‌باشند، بایستی بتوانند حداکثر و حداقل فشار مجاز مخزن را تحمل نموده و وظیفه مورد انتظار را بخوبی انجام دهند.

۶- معرفی طرح مخزن جدید با رادیاتور وله‌ای

با توجه به مشکلات موجود در طراحی و تولید ترانسفورماتورهای هرمتیک با بالشتک گازی، طرح جدیدی بجای این نوع از ترانسفورماتورها معرفی می‌گردد. در این طرح علاوه بر اینکه ترانسفورماتور مشکلات یاد شده ترانسفورماتورهای بالشتک گازی را ندارد بلکه از نظر ابعاد، هزینه و زمان تولید نسبت به ترانسفورماتورهای بالشتک گازی برتری دارد.

در این طرح دیواره‌های مخزن مانند قبل صاف می‌باشند، ولی رادیاتورها بجای اینکه بصورت رادیاتورهای غیر قابل انعطاف ساخته شوند، از وله‌های قابل انعطاف ساخته می‌شوند تا در موقع انبساط و انقباض روغن ترانسفورماتور با باز و بسته شدن خود نقش گاز ازت را ایفا کنند. و نیز تعداد این رادیاتورهای قابل انعطاف (رادیاتورهای وله‌ای) مانند ترانسفورماتورهای هرمتیک با مخزن الاستیک، محدود به ابعاد مخزن نمی‌باشد و هر تعداد که لازم باشد میتوان در کنار دیواره‌های صاف استفاده نمود.

برای ساختن چنین رادیاتورهایی کفیسست دو دیواره کنگره‌ای با تعداد پره‌های مورد نظر و طول کلی مساوی را روبروی هم قرار داده و بوسیله کلکتورهای بالا و پایین مانند شکل (۶) به همدیگر جوش دهیم و در ادامه این کلکتورها را توسط لوله‌هایی به دیواره‌های صاف متصل نمائیم (شکل ۷).

شکل (۹) نیز درصد کاهش اوزان را می‌بینیم که ارتفاع در حدود ۴۲/۴ درصد کاهش یافته است و نسبت به طول و عرض که به ترتیب ۱۹ و ۲۹/۷ درصد کاهش داشته‌اند بیشترین سهم را دارد.

در شکل (۱۰) نیز مقدار کاهش وزن مخزن، روغن و وزن کل ترانسفورماتورهای طرح قدیم و جدید با هم مقایسه شده‌اند. بطوریکه از نمودار پیداست وزن کل ترانسفورماتور در طرح جدید در حدود ۷۹۰ کیلوگرم یعنی ۱۰ درصد (شکل ۱۱) کاهش یافته که عمده سهم کاهش آن ناشی از کاهش وزن خود مخزن می‌باشد که همانطور که از شکل (۱۱) دیده می‌شود حدود ۲۶/۲ درصد می‌باشد.

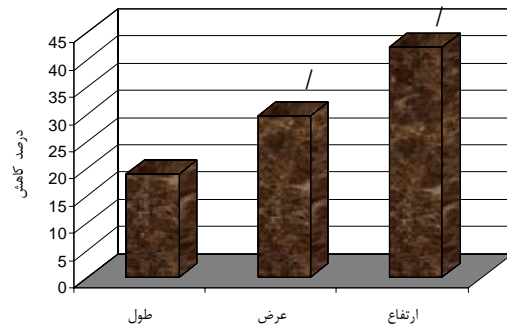
وزن روغن ترانسفورماتور نیز کاهش یافته ولی با توجه به شکل (۱۱) زیاد چشمگیر نمی‌باشد و در حدود ۱/۵ درصد است، زیرا وزن روغن خود مخزن در طرح جدید تغییری نداشته و فقط بدلیل جایگزین شدن رادیاتورها با وله‌ها اندکی از وزن روغن رادیاتورها کاسته شده است.

لازم بذکر است ترانسفورماتور فوق که با روش جدید طراحی شده است در شرکت ایران ترانسفوی زنگان در حال ساخت می‌باشد..

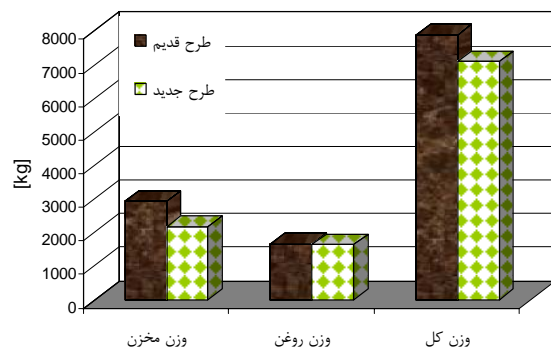
۸- مراجع

- ۱- مدارک فنی TUB، صفحه ۰۱،۰۱،۰۶۱۲۱۰ الی ۰۶،۰۶،۰۶۱۲۱۰.
- ۲- مدارک فنی RV، فصل 2801/F، صفحه ۷-۱.

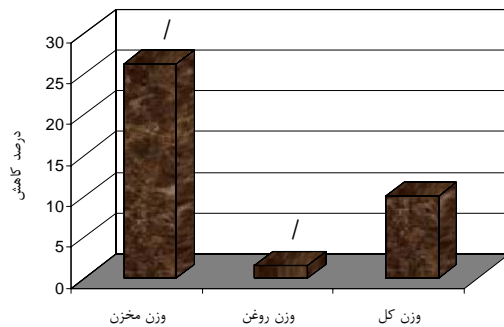
- 3- "IEC 72-1 Power transformers; Part 1: General", 03 second edition., 1993.



شکل ۹: نمودار درصد کاهش ابعادی ترانسفورماتور طرح جدید در مقایسه با طرح قدیم



شکل ۱۰: نمودار مقایسه وزنی ترانسفورماتور طرح قدیم و جدید



شکل ۱۱: نمودار درصد کاهش وزنی ترانسفورماتور طرح جدید در مقایسه با طرح قدیم

۷- نتیجه گیری

با توجه شکل (۸) مشخص است که تمام ابعاد ترانسفورماتور طرح جدید نسبت به طرح قدیم کوچک شده است. همانطور که می‌بینیم ارتفاع ترانسفورماتور در نمونه جدید نسبت به طول و عرض کاهش چشمگیرتری داشته است، زیرا حجمی که گاز ازت در بالای روغن اشغال می‌کرد کاملاً حذف شده است. در