

بهینه‌سازی طرح جدید ترانسفورماتورهای با رادیاتورهای وله‌ای قابل انعطاف به روش الگوریتم ژنتیک

فاطمه براتی
f_barati@modares.ac.ir
دانشگاه تربیت مدرس

ابولفضل ناطقی
Abolfazl_nateghi@yahoo.com
دانشگاه زنجان-گروه برق قدرت

سیدجمال‌الدین موسوی
sj_mousavi@Iran-transfo.com
شرکت توزیع ایران ترانسفو زنگان

واژه‌های کلیدی: ترانسفورماتور- الگوریتم ژنتیک- طرح هرمتیک وله‌ای جدید
مقایسه ابعادی- مقایسه وزنی-مقایسه اقتصادی

چکیده

در مقاله قبل طرح جدیدی برای طراحی ترانسفورماتورهای هرمتیک بالشتک‌گازی یا استفاده از وله‌های قابل انعطاف بصورت دستی معرفی کردیم که یکی از مزایای عمده آن حذف گاز ازت بالای مخزن ترانسفورماتور و لحاظ شدن نقش دفع حرارتی درپوش و دیواره‌های جانبی مخزن بود. در این مقاله بر آن شدیم که آن طرح جدید را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه‌سازی کنیم. با استفاده از این الگوریتم ابتدا ورودی‌ها و محدوده تغییرات آنها مشخص می‌شوند که هر یک از این ورودی‌ها به عنوان یک ژن برای الگوریتم ژنتیک عمل خواهند کرد. این ژن‌ها در کنار هم تشکیل یک کروموزوم را داده و چندین کروموزوم در کنار هم تشکیل یک جمعیت را می‌دهند. بدین منظور تعداد ژن‌های هر کروموزوم برابر با تعداد پارامترهای مستقل مسئله گرفته شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که ابعاد ترانسفورماتور در جهت طولی و عرضی بترتیب در حدود $4/5$ و $7/3$ درصد

کاهش می‌یابد و وزن روغن به اندازه $11/6\%$ ، وزن مخزن $15/5\%$ و وزن کل ترانسفورماتور نیز در حدود $7/4\%$ کاهش خواهد یافت.

۱- مقدمه

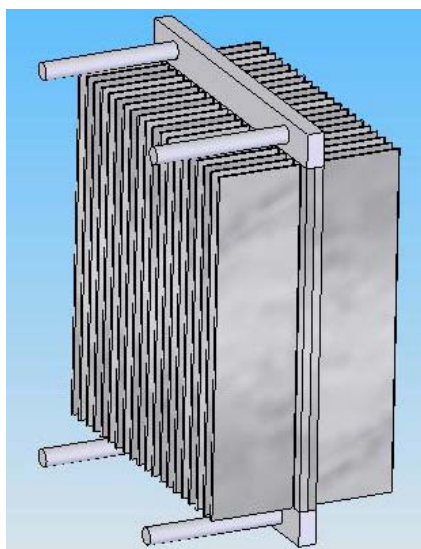
مخزن ترانسفورماتورهای هرمتیک به منظور جلوگیری از نفوذ عوامل مخرب به داخل ترانسفورماتور، کاملاً بسته بوده و هیچگونه تبدالی با محیط اطراف، حتی از طریق رطوبت‌گیر ندارد. ترانسفورماتورهای هرمتیک در چند نوع اصلی طراحی و ساخته می‌شوند که عبارتند از ترانسفورماتورهای هرمتیک با محفظه گاز و یا دیافراگم لاستیکی در منبع انبساط، ترانسفورماتورهای هرمتیک با بالشتک‌گازی و ترانسفورماتورهای هرمتیک با مخزن الاستیک [۱]. از ویژگی‌های مهم ترانسفورماتورهای هرمتیک، 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

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

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 کافیت 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 (۱) به همدیگر جوش دهیم و در ادامه این کلکتورها را توسط لوله‌هایی به دیواره‌های صاف متصل نمائیم (شکل ۲).

محاسبات دفع حرارت و فشار وارده به وله‌ها و دیگر اجزاء مخزن طبق مرجع [۱] انجام شده است.



شکل ۱: یک بلوک رادیاتور وله‌ای



شکل ۲: نمایی از ترانسفورماتور طرح جدید

سرویس‌های دوره‌ای به سهولت میسر نمی‌باشد، توصیه می‌گردد. عدم نیاز به تجهیزات حفاظتی مثل رله‌بوخه‌لنس 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.

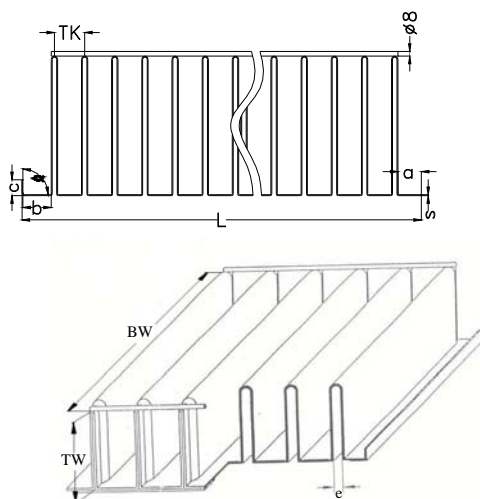
ترانسفورماتورها سهم عمده‌ای از سرمایه گذاری را در ایستگاه‌های توزیع و انتقال نیروی برق بر عهده دارند. بعلاوه زمان‌های خروج ترانسفورماتورها ضربه اقتصادی قابل توجهی به عملکرد شبکه الکتریکی وارد می‌کنند. از اینرو طراحی مخزن ترانسفورماتورها با قیمت بهینه و استحکام کافی در برابر شرایط محیطی و جوی برای رسیدن به بازده ماکزیم سرمایه‌گذاری و کاهش قیمت کل آنها ضروری می‌باشد. بدین منظور در قسمت اول این مقاله یک روش جدید برای تولید مخزن ترانسفورماتورهای هرمتیک ارائه کردیم [۱] و در مقاله حاضر بر آن شدیم تا این روش جدید را به روش الگوریتم ژنتیک از نظر ابعادی و وزنی و در نهایت اقتصادی بهینه کنیم.

۲- 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 گردید [۱]. 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

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق



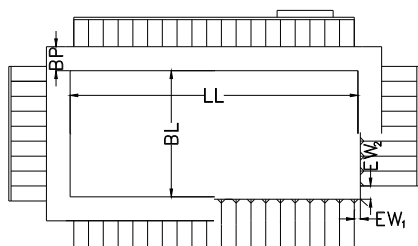
شکل ۳: پارمترهای طراحی وله

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:

$$P_{55W} = 2(N_1.PW_1 + N_2.PW_2) + 2240BW(EW_1 + EW_2) + 860BW(TW_1 + TW_2 - K) \quad (6)$$

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) بدست خواهد آمد. EW_1 و EW_2 نیز با توجه به شکل (۴) تعیین می‌شوند.

ضریب K نیز تابعی از گام وله‌ها می‌باشد که از شکل (۵) بدست می‌آوریم.



شکل ۴: معرفی پارمترهای ابعادی ترانسفورماتور

۳- 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 و ۳]:

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

که

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

LP برابر طول باز شده وله و برابر:

$$LP = 2 * TW + TK - 4.2 \quad (4)$$

η نیز ضریبی است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\eta = 1.6048 - 1.14337BW + 0.710217BW^2 - 0.183304BW^3 + 0.0135081BW^4 \quad (5)$$

WS گرمای منتشر شده ویژه است و برابر 305 W/m^2 می‌باشد. TK نیز گام برجستگی آکاردیونی است (شکل ۳).

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

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).

۴- الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی

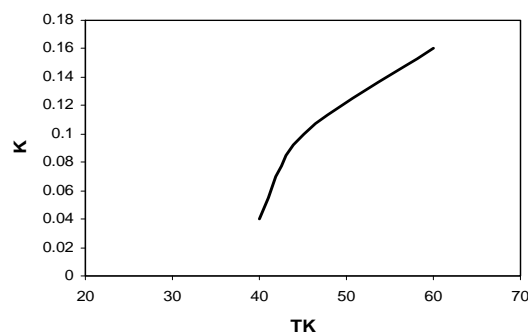
الگوریتم ژنتیک به عنوان یک ابزار بهینه‌سازی قدرتمند، در مسائل مختلف بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این الگوریتم ابتدا ورودی‌ها و محدوده تغییرات آنها مشخص می‌شوند که هر یک از این ورودی‌ها به عنوان یک ژن برای الگوریتم ژنتیک عمل خواهند کرد. این ژن‌ها در کنار هم تشکیل یک کروموزوم را داده و چندین کروموزوم در کنار هم تشکیل یک جمعیت را می‌دهند. هدف از اجرای الگوریتم ژنتیک در مسائل بهینه‌سازی، یافتن نقطه ایتیم آن مسئله با توجه به تابع هدف مربوطه می‌باشد که مقدار این تابع برای هر کروموزوم با توجه به مقادیر اختصاص یافته به ژن‌های آن کروموزوم قابل محاسبه است. برای راه اندازی یک الگوریتم ژنتیک، در ابتدا یک جمعیت به عنوان جمعیت اولیه به صورت تصادفی ایجاد شده و به الگوریتم داده می‌شود و در ادامه کار، جمعیت هر نسل جدید با توجه به نسل قبل تولید می‌شود. این کار با انجام عملیات باز تولید (Reproduction)، تزیوج (Cross Over) و جهش (Mutation) بر روی کروموزوم‌های نسل قبل صورت می‌گیرد [۴]. حرکت در این الگوریتم به گونه‌ای است که جمعیت جدید را با هدف تولید نسل بهتر تولید می‌شود.

۵- کروموزوم انتخابی برای بهینه‌سازی

در مسئله حاضر که طراحی بهینه ترانسفورماتورهای وله‌ای با طراحی جدید می‌باشد، تعداد ژن‌های هر کروموزوم برابر با تعداد پارامترهای مستقل مسئله گرفته شده است. این پارامترها در جدول (۲) نشان داده شده‌اند.

سایر پارامترهای طراحی، با توجه به اینکه به پارامترهای فوق وابسته می‌باشند، به عنوان خروجی‌های مسئله بدست می‌آیند که شامل اطلاعات جدول (۳) می‌باشند.

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 ۵: 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)).

جدول ۱: محدودیت‌های دستگاه تولید وله

	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	

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

$$P_{55} = (P_{55W} + P_{55D}) \cdot F \quad (۸)$$

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

۷- تابع هدف

هدف از بهینه‌سازی مسئله موجود، مینیمم نمودن هزینه مخزن طراحی شده در کنار برآورده کردن قیود ذکر شده در قسمت قبل می‌باشد. برای این منظور تابع هدف به گونه‌ای ساخته می‌شود که مقدار هزینه را در کنار قیود مسئله یکجا در نظر بگیرد. با توجه به این امر تابع هدف به صورت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$Fitness_Function = \frac{1e6}{K_h(H_{gen} - H_{goal})^2 + K_l(L_{gen} - L_{max})^2 + Cost} \quad (9)$$

در رابطه بالا، H_{gen} دفع حرارتی به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و H_{goal} دفع حرارتی مورد نظر برای طراحی مخزن می‌باشد. همچنین در این رابطه مقدار L_{gen} برابر طول مخزن طراحی شده توسط الگوریتم ژنتیک و L_{max} میزان ماکزیمم مجاز برای طول مخزن می‌باشد که این مقدار نیز به صورت زیر می‌باشد.

$$L_{max} = LL + 2BP + 2TW \quad (11)$$

در رابطه فوق ضرایب K_h و K_l در رابطه ۱ ضرایب جریمه برای در نظرگیری دو قید ذکر شده بوده و به صورت زیر می‌باشند.

$$K_h = \begin{cases} 1e5 & \text{if}(H_{gen} < H_{goal}) \\ 0 & \text{if}(H_{gen} > H_{goal}) \end{cases} \quad (12)$$

$$K_l = \begin{cases} 1e9 & \text{if}(L_{gen} < L_{goal}) \\ 0 & \text{if}(L_{gen} > L_{goal}) \end{cases} \quad (13)$$

حال با در نظرگیری قیود فوق و اضافه کردن مقدار هزینه $Cost$ در رابطه (۹) تابع هدف کامل می‌گردد. مقدار $Cost$ هزینه مخزن طراحی شده است که برابر با مجموع هزینه آهن به کار رفته در طراحی و هزینه روغن مورد استفاده در داخل آن می‌باشد.

$$Cost = Cost_{oil} + Cost_{steel} \quad (14)$$

جدول ۲: کروموزوم مورد استفاده

TK ₁	TK ₂	TW ₁	TW ₂	BW ₁	BW ₂	N ₁
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	----------------

جدول ۳: سایر پارامترهای ابعاد ترانسفورماتورهای وله‌ای

N ₂	EW ₁	EW ₂
----------------	-----------------	-----------------

۶- قیود مسئله

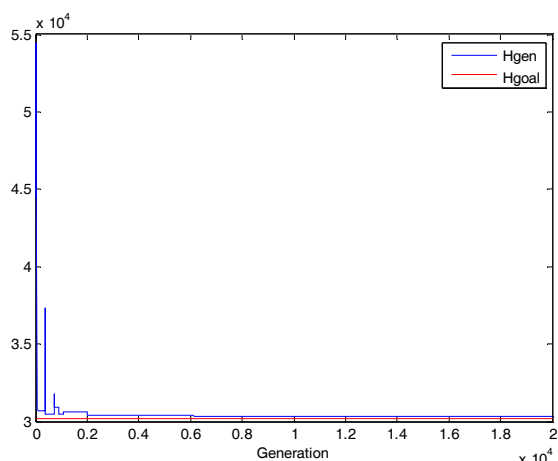
قیود مسئله طراحی بهینه ترانسفورماتورهای وله‌ای با طراحی جدید را می‌توان به دو دسته قیود ورودی و قیود خروجی تقسیم‌بندی نمود. قیود ورودی، همان قیود پارامترهای ورودی مسئله و یا همان محدوده مجاز تغییرات ژن‌های کروموزوم نشان داده شده در جدول ۵ و نیز گام تغییرات این پارامترها می‌باشد. مقادیر ماکزیمم و مینیمم و گام تغییرات این پارامترها در جدول (۴) نشان داده شده‌اند.

جدول ۴: محدوده تغییرات ژن‌های کروموزوم

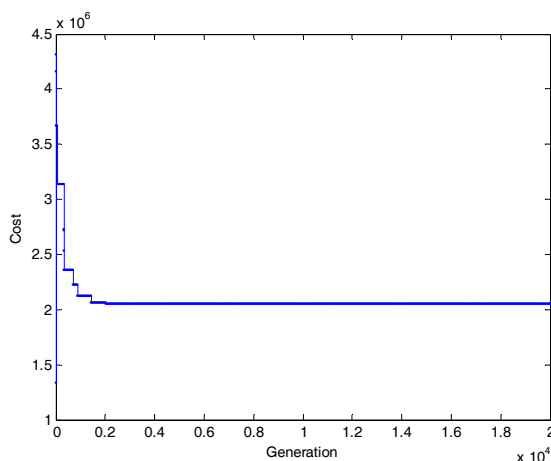
ژن	مقدار مینیمم	مقدار ماکزیمم	گام تغییرات
TK ₁	40e-3	60e-3	1e-3
TK ₂	40e-3	60e-3	1e-3
TW ₁	50e-3	400e-3	5e-3
TW ₂	50e-3	400e-3	5e-3
BW ₁	400e-3	1200e-3	50e-3
BW ₂	400e-3	1200e-3	50e-3
N ₁	1	100	1

قیود خروجی نیز شامل قیود به دست آمده از انجام محاسبات مسئله و در نظرگیری آن‌ها به عنوان قیود خروجی مسئله می‌باشد. در مسئله حاضر، یکی از قیود مسئله (علاوه بر در نظر گرفته شدن در تابع هدف)، برآورده‌سازی میزان دفع حرارتی کل مخزن ترانسفورماتور می‌باشد، بدین معنی که دفع حرارتی به دست آمده نباید از دفع حرارتی مدنظر طراحی کمتر باشد. قید دیگر این مسئله، عدم تجاوز ابعاد طولی و عرضی مخزن نسبت به هم می‌باشد. نحوه برآورده‌سازی این قیودها با استفاده از ضریب جریمه در بخش بعد مورد بحث قرار می‌گیرد.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۷: نمودار دفع حرارتی بر حسب نسل‌های تولیدی



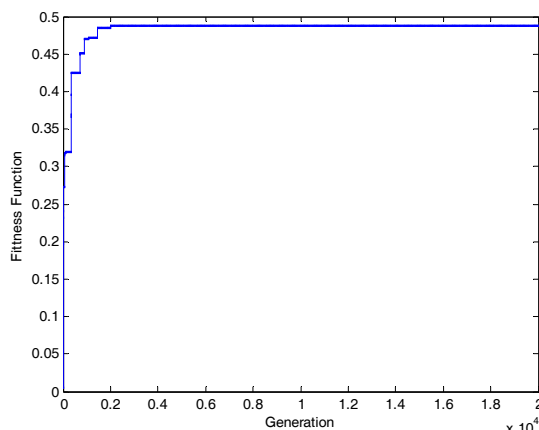
شکل ۸: نمودار هزینه بر حسب نسل‌های تولیدی

جدول ۵: نتایج طراحی با استفاده از الگوریتم و طراحی دستی

طراحی دستی	طراحی با الگوریتم ژنتیک	پارامتر
0.040	0.040	TK ₁
0.040	0.041	TK ₂
0.200	0.325	TW ₁
0.200	0.370	TW ₂
1	0.500	BW ₁
1.2	0.400	BW ₂
44	54	N ₁
13	13	N ₂
0.035	0.035	EW ₁
0.042	0.036	EW ₂
32.98 kW	30.44 kW	H(دفع حرارتی)
851340 t	782080 t	Cost

۸- حل مسئله نمونه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

برای نمونه و بررسی قدرت الگوریتم ارائه شده، مخزن یک ترانسفورماتور وله‌ای طرح جدید با توان ۲۵۰۰ kVA (که در مرجع [۱] طرح جدید برای آن ارائه شده بود) توسط الگوریتم ژنتیک مورد طراحی قرار گرفته و نتایج آن با نتایج طرح جدید مقایسه شده است. مقدار دفع حرارتی مورد نظر برای طراحی برابر 30.2 kW می‌باشد. شکل (۶) روند رشد تابع هدف به ازای نسل‌های مختلف را پس از اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. همچنین روند نزدیک شدن مقدار دفع حرارتی در هر نسل نسبت به دفع حرارتی مورد نظر برای طراحی در شکل (۷) نشان داده شده است. نمودار هزینه Cost بر حسب نسل‌های تولیدی در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۶: نمودار رشد تابع هدف بر حسب نسل‌های

تولیدی

نتیجه طراحی به دست آمده با استفاده از الگوریتم در کنار طراحی دستی در جدول (۵) نشان داده شده است. همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود هر دو طراحی برآورده کننده مقدار دفع حرارتی مورد نظر می‌باشند، ولی طراحی ارائه شده توسط الگوریتم ژنتیک دارای قیمت پائین‌تری نسبت به طراحی معمول و دستی می‌باشد.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

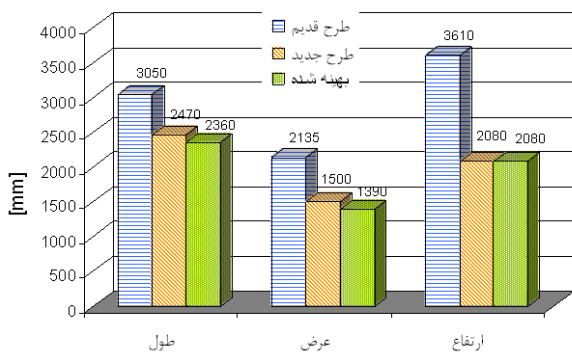
۹- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، طراحی مخزن ترانسفورماتورهای وله‌ای با طرح جدید با استفاده از الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که مشاهده شد، تابع هدف ارائه شده پاسخگوی حل مسئله طراحی بهینه مخزن ترانسفورماتورهای وله‌ای می‌باشد. نتایج ارائه شده در مقایسه با طراحی قبلی این نوع از ترانسفورماتورها نشان دهنده قدرت الگوریتم ژنتیک و هزینه پائین‌تر طراحی ارائه شده توسط این الگوریتم می‌باشد.

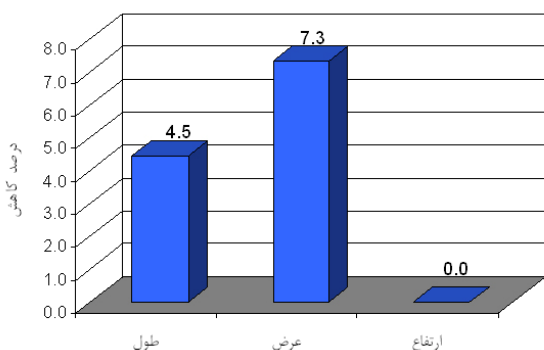
با توجه به شکل (۹) مشخص است که تمام ابعاد ترانسفورماتور طرح جدید نسبت به طرح قدیم کوچک شده بود [۱]. استفاده از الگوریتم ژنتیک مشاهده می‌شود که دوباره ابعاد طرح بهینه در هر دو جهت طولی و عرضی به اندازه ۱۱۰ میلیمتر کمتر شده است. که در شکل (۱۰) نمودار درصد کاهش ابعاد ترانسفورماتور در جهت‌های طولی و عرضی رسم شده است. و چون ارتفاع وله‌های ترانسفورماتور تغییری نکرده است در نتیجه از نظر ارتفاع تغییری حاصل نشده است.

شکل (۱۰) نیز مقدار کاهش وزن مخزن، روغن و وزن کل ترانسفورماتورهای طرح قدیم [۱]، جدید و بهینه شده را با هم مقایسه می‌کند. 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. در طرح بهینه شده نسبت به طرح جدیدی کاهش وزن روغن، مخزن و وزن کل بترتیب برابر ۱۹۰، ۳۳۵ و ۵۲۵ کیلوگرم می‌باشد که در این قسمت نیز عمده کاهش وزن متعلق به مخزن ترانسفورماتور می‌باشد. درصد کاهش وزن نیز در شکل (۱۲) آمده است بطوریکه دیده می‌شود وزن کل ترانسفورماتور نسبت به طرح جدید ۷/۴ درصد کاهش یافته است.

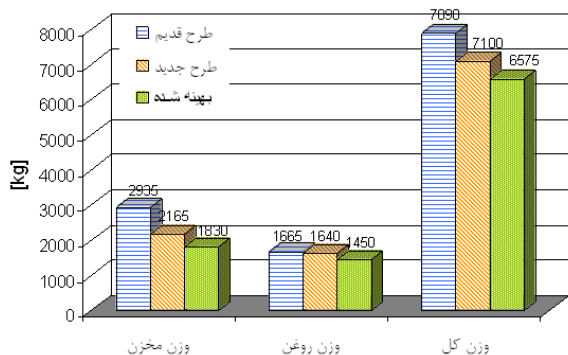
لازم بذکر است ترانسفورماتور فوق که با روش جدید طراحی شده است در شرکت ایران ترانسفوی زنگان در تولید شده و طرح بهینه شده در حال اقدام می‌باشد.



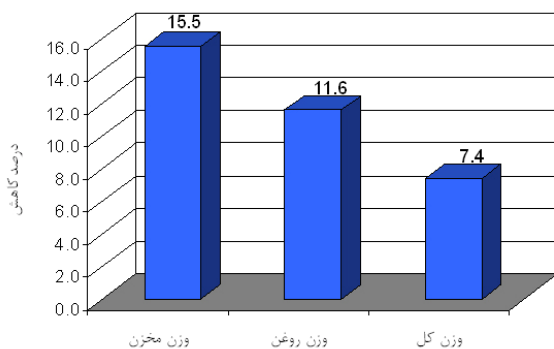
شکل ۹: نمودار مقایسه ابعادی ترانسفورماتور طرح قدیم، جدید و بهینه شده



شکل ۱۰: نمودار درصد کاهش ابعادی ترانسفورماتور بهینه شده در مقایسه با طرح جدید



شکل ۱۱: نمودار مقایسه وزنی ترانسفورماتور طرح قدیم، جدید و بهینه شده



شکل ۱۲: نمودار درصد کاهش وزنی ترانسفورماتور ترانسفورماتور بهینه شده در مقایسه با طرح جدید

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

۱۰- مراجع

- ۱- س.ج.، موسوی، س.، فرزانه و ف.، براتی، "طرح جدید برای طراحی ترانسفورماتورهای هرمتیک بالشتک گازی با رادیاتورهای وله‌ای قابل انعطاف" PSC2008، ایران، ۲۰۰۸.
- ۲- مدارک فنی TUB، شرکت توزیع زنگان، صفحه ۶۱۲۱۰،۰۱،۰ الی ۶۱۲۱۰،۰۶،۰.
- ۳- مدارک فنی RV، شرکت توزیع زنگان، فصل 2801/F، صفحه ۱-۷.

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