بسمه تعالی

هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران

کد مقاله: DNEQ158

نوع پذیرش : ارائه

"طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک"

دکتر مهدی وکیلیان
دانشکده برق – دانشگاه صنعتی شریف

امیر اسماعیلیان
شرکت مونتکو ایران

"کلمات کلیدی"

الگوریتم ژنتیک، تابع هدف، توابع محدودیت، تلفات بار و تلفات بی باری

"چکیده"

در این مقاله روش جدیدی جهت حل مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع توسط الگوریتم ژنتیک ارائه میگردد. هدف از بهینه سازی طراحی ترانسفورمر توزیع کاهش میزان آهن و مس مصرفی با توجه به تلفات بار و بی باری و در نتیجه کاهش قیمت تمام شده ترانسفورمر است. روشهای مختلفی جهت حل این مساله ارائه گشته، اما عموما" این روشها دارای مشکلاتی از قبیل رسیدن به پاسخ حداقل محلی و احتیاج به اطلاعات کمکی (گرادیان تابع هدف و غیره) هستند.

روش جستجوی ژنتیک بر اساس انتخاب طبیعی و علم ژنتیک است. با بکارگیری روش ژنتیک در حل مسأله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع میتوان از قابلیتهای این روش در حل مسائل بهینه سازی (جستجوی پاسخ جامع با استفاده از جستجوی چند مسیری و غیره») استفاده نمود. روش فوق در طراحی ترانسفورمر توزیع در دو حالت بهینه از دید سازنده و بهینه از دید مشتری بکار گرفته شد و سودمندی و قابلیت روش مشاهده گردید.

۱- مقدمه

طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع مساله أی است که در آن بهینه سازی مقدار مس و آهن مصرفی با در نظر گرفتن محدودیت تلفات بار و بی باری مطرح می گردد. در این مساله با توجه به محدودیتهای موجود در طراحی : از قبیل محدودیتهای عایقی و غیره و نیز محدودیت موجود بر تلفات بار و بی باری، ابعاد ترانسفورمر، چگالی جریان و شار مغناطیسی و در نهایت وزن آهن و مس مصرفی بگونه ای بهینه تعیین میشوند . حل این مساله به علت پیچیده شدن تابع هدف و غیر خطی بودن آن و نیز کوچک بودن فضای موجه جواب، به روشهای پیشرفته و وقتگیر نیاز دارد. بنابراین در حل مساله خود را به یک نوع ورق هسته خاص و یک نوع سیم خاص محدود می کنیم. در ضمن مساله را به دو زیر مساله جداگانه بهینه سازی از دید سازنده و بهینه سازی از دید مشتری تقسیم می کنیم. روشهای مختلفی برای حل این مساله پیشنهاد شده است که از جمله برنامه ریزی خطی، روش نیوتن و روش درجه دوم را میتوان نام برد.

اگرچه این تکنیکها موفق بوده اند ولی مشکلات مربوط به آنها همچنان باقیمانده است. مشکلاتی نظیر رسیدن به یک پاسخ بهینه محلی به جای نقطه بهینه جامع. همچنین اینگونه روشها به اطلاعات کمکی نظیر تابع هدف، ماتریس هسیان و غیره نیاز دارند که امکان عدم وجود یا سختی محاسبه این اطلاعات وجود دارد.

الگوریتم ژنتیک روش جستجویی بر اساس مکانیزم انتخاب طبیعی و قوانین ژنتیک است. روش جستجوی ژنتیک، قانون بقای اصلح را با ساختاری از رشته ها ترکیب می نماید. این الگوریتم قابلیت بسیاری برای رفع مشکلات روش های قبلی دارا میباشد. روش ژنتیک با یک سری از نقاط بطور همزمان شروع نموده و تعدادی نقطه را همزمان بصورت موازی دنبال می نماید و بدین ترتیب احتمال یافتن نقطه بهینه کاذب نسبت به روشهای دیگر کاهش می یابد. همچنین روش ژنتیک به اطلاعات کمکی نیاز ندارد. مشکل دیگر روشهای متداول عدم توانایی آنها در جستجوی متغیرهای صحیح میباشد که این مساله را الگوریتم ژنتیک به راحتی حل می نماید. زیرا استفاده از متغیرهای صحیح جزئی از طبیعت روش جستجو است. مشکل مهم استفاده از روش ژنتیک در حل مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع، زمان محاسبه طولانی جهت دستیابی به پاسخ بهینه است که البته این موضوع با مطرح شدن روشهای پردازش موازی و همچنین افزایش سرعت محاسبه کامپیوترها تا حد بسیاری حل شده است.

در این مقاله برای حل مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع از روش جستجوی ژنتیک

استفاده میگردد. ابتدا مرور مختصری به مساله بهینه سازی طراحی ترانسفورمر توزیع و الگوریتم ژنتیک خواهیم داشت. سپس در بخش بعد به چگونگی حل مساله توسط الگوریتم ژنتیک پرداخته و در بخش پایانی نیز به جمع بندی نتایج می پردازیم.

۲- طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع [6] و [7] و [8]

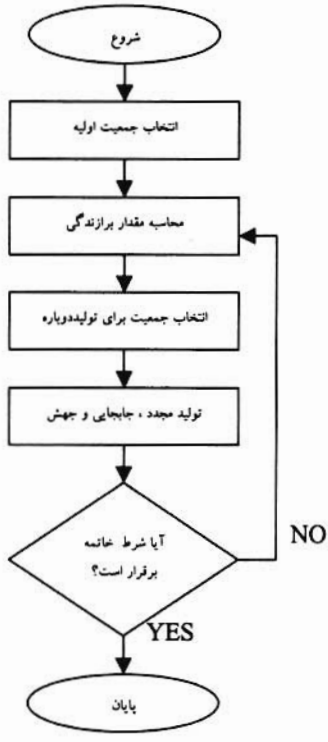
در مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع چگالی شار، چگالی جریان سیم پیچهای فشار قوی وفشارضعیف و ابعاد هسته و سیم پیچ را بگونه ای بدست می آورند که وزن آهن و مس مصرفی حداقل گردد. اما مساله مهمی در این بین وجود دارد و آن اینکه متغیرها مجاز نیستند هر مقدار دلخواهی را اختیار نمایند. بلکه باید محدودیتهای کمی و کیفی طراحی را رعایت نمایند. این محدودیتها عبارتند از : ولتاژ اتصال کوتاه – چگالی جریان در سیم پیچهای فشار قوی و فشار ضعیف – چگالی شار مغناطیسی – محدودیت حرارتی – فاصله عایقی بین دو سطح خارجی سیم پیچهای فشار قوی فازهای مجاور.

۳- الگوریتم ژنتیک [1] و [2] و [3]

الگوریتم ژنتیک روش جستجویی بر اساس نظریه تکامل تدریجی و اصل انتخاب اصلح میباشد. این روش قانون بقای اصلح را با ساختاری از رشته ها (که اطلاعات را بین خود بطور اتفاقی جابجا می نمایند) ترکیب می کند. دستورالعمل اجرایی روش بسیار ساده است. این دستورالعمل شامل کدگذاری پارامترها، تشکیل رشته، کپی نمودن رشته ها و جابجایی قسمتی از آنها میباشد. نخست متغیرها کدگذاری میشوند. در مرحله بعد سه عملگر اصلی ژنتیک ۱- تکثیر ۲- تقاطع دو رشته و تولید رشته های جدید ۳- جهش اجرا میگردند.

تکثیر عملگری است که در آن رشته های مجزا مطابق تابع هدفشان (تابع برازندگی) کپی می گردند. یعنی رشته ای با تابع هدف بزرگتر احتمال بیشتری برای انتخاب دارد.پس از مرحله فوق عملکرد تقاطع و تولید رشته اجرا میگردد. بدین ترتیب که عمل جابجایی قسمتی از جفت رشته انتخاب شده با احتمال Pc انجام میگیرد. سپس عمل جهش بر روی رشته های جدید با احتمال Pm انجام میشود، یعنی تعدادی از بیتها بطور تصادفی تغییر می یابند. بدین ترتیب نسل جدیدی بوجود آمده که دارای ارزش برازندگی بهتری نسبت به نسل تولیده شده قبلی است. این مراحل آنقدر ادامه می یابد که پاسخ به سمت نقطه بهینه همگرا شود. در شکل (۱) فلوچارت الگوریتم

ژنتیک مشاهده میشود.



شکل(۱)- مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک

۴- الگوریتم ژنتیک در حل مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع [1] و [2] و [3]

در این قسمت روش اجرای الگوریتم ژنتیک در مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع معرفی میگردد. در مرحله نخست ساختار داده های لازم (معرفی کروموزوم و روش کدگذاری) معرفی گشته و سپس بررسی تابع برازندگی و چگونگی ارضاء محدویت ها در روش ژنتیک ارائه میگردد.

۴-۱- معرفی کروموزوم و روش کدگذاری [7] و [8]

اولین گام در اجرای روش جستجوی ژنتیک معرفی کروموزم و روش کدگذاری است. با توجه به متغیرهای مستقل (چگالی جریان در سیم پیچهای فشار ضعیف و فشار قوی – قطر هسته – ارتفاع پنجره هسته – مقدار پیک چگالی شار مغناطیسی – عرض پنجره هسته – ضخامت کانال روغن بین سیم پیچهای فشار قوی و فشار ضعیف) کروموزوم بصورت بردار Sol تعریف میگردد :

Sol= [J-LV J-HV D-Core hw B bw b0] (۱)

J-LV = چگالی جریان سیم پیچ فشار ضعیف

J-HV = چگالی جریان سیم پیچ فشار قوی

D-Core = قطر هسته

B= مقدار پیک چگالی شار مغناطیسی

bw = عرض پنجره هسته

b0 = ضخامت کانال روغن بین سیم پیچهای فشار قوی و فشار ضعیف

حال مساله ای که باقی می ماند کدگذاری این متغیرها است. روش کدگذاری مورد استفاده در این مساله کدگذاری دودویی میباشد. یعنی هر متغیر بوسیله طول مشخصی از بیتها تعریف میگردد (صفر و یک) که با رمزیابی هر تکه از این کروموزوم متغیرهای مستقل بدست می آیند.

۴-۲- تابع هدف و نگاشت ارزش برازندگی [1] و [2] و [3]

هدف در طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع کاهش وزن آهن و مس مصرفی است. روش ژنتیک روش جستجویی است که قابلیت اعمال به مسائل حداکثرسازی را دارد، بنابراین باید بطریقی مساله حداقل نمودن را با نگاشتن به ارزش برازندگی جهت یافتن حداکثر تبدیل نمود. از نگاشت زیر برای انتقال تابع هدف به ارزش برازندگی استفاده میگردد.

$$\text{Max Val} = \begin{cases} M\text{-}TOC & TOC < M \\ 0 & TOC > M \end{cases} \quad (۲)$$

۴-۲-۱- تابع هدف از دید سازنده [7] و [8]

با توجه به اینکه از نظر سازنده کاهش هر چه بیشتر وزن آهن و مس مطلوب است بنابراین تابع هدف از دید سازنده بصورت زیر در نظر گرفته میشود :

$$PRICE - OF - Fe - Cu = C_{Fe}.M_{Fe} + C_{cu}.M_{cu} \quad (۳)$$

$PRICE - OF - Fe - Cu$ - تابع هدف ($)

C_{Fe} - قیمت آهن ($/Kg)

M_{Fe} - وزن آهن (Kg)

C_{Cu} - قیمت مس ($/Kg)

M_{Cu} - وزن مس (Kg)

۴-۲-۲- تابع هدف از دید مشتری [7] و [8]

با توجه به اینکه از نظر مشتری کاهش هر چه بیشتر قیمت تمام شده ترانسفورمر مطلوب است. بنابراین تابع هدف از دید مشتری بصورت زیر در نظر گرفته میشود :

$$TOC = C_{Fe}.M_{Fe} + C_{Cu}.M_{Cu} + A_{Fe}.P_{Fe} + A_{Cu}.P_{Cu}$$

TOC - تابع هدف ($)

C_{Fe} - قیمت آهن ($/Kg)

M_{Fe} - وزن آهن (Kg)

C_{Cu} - قیمت مس ($/Kg)

M_{Cu} - وزن مس (Kg)

A_{Fe} - قیمت تلفات بی باری ($/W)

P_{Fe} - تلفات بی باری (W)

A_{Cu} - قیمت تلفات بار ($/W)

P_{Cu} - تلفات بار (W)

قابل ذکر است که قیمت تلفات بار وتلفات بی باری توسط مشتری تعیین می گردند و مبنای محاسبه آن بر اساس هزینه ای است که این تلفات در طول دوره بهره برداری برای مشتری در بر دارد .

۴-۳- محدودیت های طراحی [7] و [8]

محدودیت های طراحی عبارتند از :

۱) ولتاژ اتصال کوتاه
۲) چگالی جریان در سیم پیچهای فشار قوی و فشار ضعیف
۳) چگالی شار مغناطیسی
۴) محدودیت حرارتی
۵) فاصله عایقی بین دو سطح خارجی سیم پیچهای فشار قوی فازهای مجاور

و اگر بهینه سازی از دید سازنده مورد نظر باشد باید بر روی تلفات بار و تلفات بی باری نیز محدودیت اعمال گردد.

محدودیت های طراحی که بصورت نامساوی هستند توسط روش ضرائب جریمه ارضاء میگردند. در این روش به تابع هدف مقداری معادل انحراف شرایط از حد مورد نظر افزوده شده و هنگام حداقل نمودن تابع هدف همزمان تخلف از محدودیت ها نیز حداقل شده و محدودیت ها وارد ناحیه مجاز میگردند.

۵- نتایج [7]

برای اجرای الگوریتم فوق برنامه ای به زبان Matlab تهیه شده است. این برنامه بر روی یک نمونه ترانسفورمر 315 KVA که مشخصات آن در ضمیمه داده شده اجرا گردید.

۵-۱- طراحی ترانسفورمر توزیع 315 KVA بدون بهینه سازی [6]

ابتدا با توجه به مشخصات داده شده طراحی بدون بهینه سازی انجام گرفت که نتایج حاصل شده در جدول (۱) ذکر شده است.

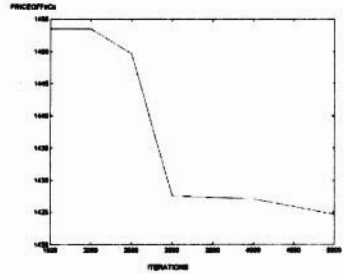
۵-۲- طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع 315 KVA از دید سازنده [8]

همانطور که قبلا" عنوان شد کاهش هر چه بیشتر مقدار آهن و مس مصرفی از دید سازنده مطلوب است، البته به شرطی که تلفات بار و تلفات بی باری از حد مجاز فراتر نروند. با این دید، الگوریتم ژنتیک برای تابع هدف مورد نظربه ازای احتمالات جابجایی و جهش و تعداد دفعات تکرار مختلف اجرا گردید که بهترین جواب به ازای احتمال جابجایی 0.5

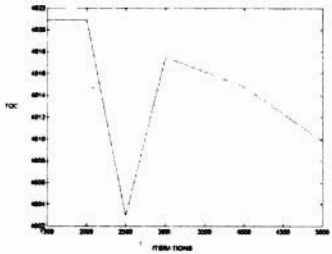
و احتمال جهش 0.01 حاصل شد:

همانطور که در شکل (۲) مشاهده میشود تابع هدف PRICEOFFeCu با افزایش تکرارها کاهش می یابد. این کاهش تا 3000 تکرار بسیار محسوس است ولی بعد از آن شیب منحنی کاهش می یابد و پس از 5000 تکرار تابع هدف تقریبا" ثابت باقی می ماند. در شکل (۳) تغییرات قیمت تمام شده ترانسفورمر (TOC) به ازای تکرارهای مختلف نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل ملاحظه میشود ممکن است در این حالت قیمت تمام شده ترانسفورمر به کمترین مقدار خود نرسد چون که تابع هدف از نظر سازنده فقط قیمت آهن و مس مصرفی را در بر میگیرد و قیمت تلفات بار و بی باری را شامل نمیشود و چون TOC مجموع این دو است بنابراین ممکن است با کاهش وزن آهن و مس مصرفی TOC افزایش پیدا کند. (با کوچک شدن ابعاد ترانسفورمر تلفات بار و بی باری افزایش می یابد).



شکل (۲) – تابع هدف



شکل (۳) – قیمت تمام شده ترانسفورمر

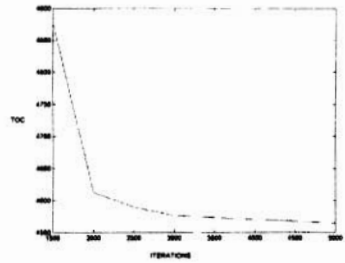
۵-۳- طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع 315 KVA از دید مشتری [8]

همانطور که قبلا" عنوان شد، از دید مشتری، کاهش هر چه بیشتر قیمت تمام شده ترانسفورمر مطلوب است. با این دید، الگوریتم ژنتیک برای تابع هدف مورد نظر به ازای احتمالات جابجایی و جهش و تعداد دفعات تکرار مختلف اجرا گردید که بهترین جواب به ازای احتمال جابجایی 0.8 و احتمال جهش 0.01 حاصل شد :

همانطور که در شکل (۴) مشاهده میشود تابع هدف یعنی قیمت تمام شده ترانسفورمر (TOC) با افزایش تکرارها کاهش می یابد.

این کاهش تا 2000 تکرار بسیار محسوس است ولی پس از آن شیب منحنی کاهش می یابد و پس از 5000 تکرار تابع هدف تقریبا" ثابت باقی می ماند. در شکل (۵) تغییرات قیمت آهن و مس مصرفی (PRICEOFFeCu) به ازای تکرارهای

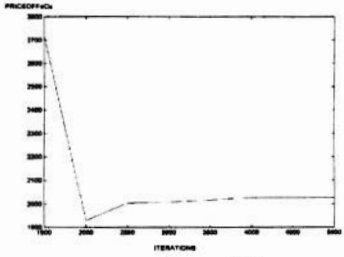
و الگوریتم ژنتیک ترکیبی بین قیمت آهن و مس مصرفی و قیمت تلفات بار و بی باری را بهینه میکند.



شکل (۴) – تابع هدف

۵-۴- نتایج حاصل از طراحی [6] و [7] و [8]

نتایج حاصل از طراحی بدون بهینه سازی و طراحی بهینه از دید سازنده و طراحی بهینه از دید مشتری در جدول (۱) مشاهده میشود. با مقایسه نتایج طراحی غیر بهینه و طراحی بهینه از دید سازنده ملاحظه میشود که مجموع قیمت آهن و مس مصرفی در طراحی بهینه 1565-1425 = 140 $ نسبت به طراحی غیر بهینه کاهش یافته است و این در حالی است که تلفات بار و تلفات بی باری از مقادیر تضمین شده (ضمیمه) تجاوز نکرده اند بنابراین نتایج بدست آمده منطقی بنظر میرسد.



شکل (۵) – قیمت آهن و مس مصرفی

مختلف نمایش داده شده است. همانطور که در شکل دیده میشود ممکن است در این حالت قیمت آهن و مس مصرفی به کمترین مقدار خود نرسد. چون که تابع هدف از نظر مشتری قیمت تمام شده ترانسفورمر است

جدول (۱) – نتایج حاصل از طراحی برای **5000** تکرار

آیتم		طراحی بدون بهینه سازی	طراحی بهینه از دید سازنده	طراحی بهینه از دید مشتری
J-LV	A/mm^2	3.66	4.00	2.27
J-HV	A/mm^2	3.41	4.00	2.88
D-Core	mm	165	169	182
Hw	mm	310	201	209
B	Tesla	1.70	1.70	1.61
bw	Mm	130	144	184
Bo	Mm	10.00	10.00	10.00
M-Cu	Kg	143	126	196
M-Fe	Kg	383	359	470
P-Cu	W	4487	5090	3342
P-Fe	W	265	248	234
PRICE-OF-Fe-Cu	$	1565	1425	2026
TOC	$	4800	4910	4565

با مقایسه نتایج طراحی غیر بهینه و طراحی بهینه از دید مشتری ملاحظه میشود که قیمت تمام شده ترانسفورمر در طراحی بهینه، 4800-4565=235$ نسبت به طراحی غیر بهینه کاهش یافته است که منطقی بنظر میرسد.

۶- خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله روش جدیدی برای طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه گردید. این روش بر روی یک ترانسفورمر توزیع 315 KVA اجرا گردید و نتایج نشاندهنده کارایی روش الگوریتم ژنتیک در حل مسائل بهینه سازی میباشد. با استفاده از الگوریتم ژنتیک و توجه به طبیعت روش جستجو که قابلیت در نظر گرفتن قیود سخت (انحراف از شرایط غیر مجاز) و قیود نرم (انحراف کوچک از شرایط مجاز) را دارا میاشد، پاسخی مناسبتر در طول فرآیند جستجو بدست می آید.

۷- ضمیمه : [7]

مشخصات ترانسفورمر توزیع 315KVA

۱) توان اسمی : 315 KVA
۲) ولتاژ فشار قوی : 20KV
۳) ولتاژ فشار ضعیف : 400 V
۴) گروه اتصال : Dyn5
۵) امپدانس درصد : 6%
۶) درجه حرارت محیط : 40° C
۷) فرکانس نامی : 50 HZ
۸) تلفات بی باری تضمین شده: 720 W
۹) تلفات بار تضمین شده : 5400 W
۱۰) تنظیم ولتاژ : ± 5%
۱۱) قیمت آهن : 5 $/Kg
۱۲) قیمت مس : 2.22 $/Kg
۱۳) قیمت تلفات بی باری : 3.505 $/Kg
۱۴) قیمت تلفات بار : 0.514 $/Kg

۸- مراجع :

1) A.M.S Zalzala and P.J. Flemin, Genetic Algorithms in Engineering Systems, Institution of Electrical Engineers, London, UK, 1997.
2) F.Herrera and J.L. Verdegay(eds), Genetic Algorithms and Soft Computing, Physica-Verlag, Heidelberg, Germany, 1996.
3) M.Srinivas and L.M. Pantiak, Adaptive probability of Crossover and Mutation in Genetic Algorithm, IEEE Trans, on Systems and Man Cybemetics, Vol.24, No.4, April 1994.
4) Modern Power Transformer Practice, Edited By R.Feinbery, Newyork, Wiley 1979.
5) K.Karsia & et.al.large Power Transformer, 1987
۶) بهینه سازی و طراحی کامپیوتری ماشینهای الکتریکی نوشته M.Ramamoorty ترجمه دکتر سیدهاشم اورعی میرزمانی

۷) پایان نامه کارشناسی ارشد "بهینه سازی و کاهش تلفات در ترانسفورمرهای توزیع"

تهیه : علی اکبر حسینی

استاد راهنما : دکتر مهدی وکیلیان، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده برق

۸) پایان نامه کارشناسی "بهینه سازی ترانسفورمر توزیع"

تهیه : صمد مستوفی

استاد راهنما : دکتر مهدی وکیلیان، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده برق