

# تنظیم پارامتر و بهینه سازی ترانسفورماتور با استفاده از شبیه سازی به روش الگوریتم ژنتیک

مهدی کاردل

گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شمال، آمل، ایران

## چکیده

ترانسفورماتورها یکی از تجهیزات خیلی مهم و گران بها در صنعت برق میباشد. با توجه به اینکه مدل های مشروح ترانسفورماتورها با استفاده از ساختار داخلی ترانسفورماتور حاصل می شوند، برای مطالعه پدیده های داخلی ترانسفورماتور در شرایط کار مختلف بسیار مناسب هستند. انتقال انرژی الکتریکی در مسافت های طولانی بدلیل لزوم پایین آوردن تلفات و افت ولتاژ شبکه باعث بکارگیری از ترانسفورماتور در شبکه در سطوح ولتاژی مختلف خواهد شد. درواقع ترانسفورماتور می تواند تغییراتی را در قدرت، شبکه انتقال و فرکانس جریان (کاهش جریان فشار قوی به یک مقدار پایین تر) ایجاد کند. این دستگاه انواع مختلفی دارد و جهت اندازه گیری ولتاژ، جریان، نیرو، انرژی، ضریب توان، فرکانس و سایر مقادیر الکتریکی از انواع اندازه گیری آن استفاده می کنند. بهره برداری بهینه از ترانسفورماتور ها از نظر کارایی، کاهش هزینه های انرژی و حفاظت از محیط زیست برای هم تولیدکنندگان و هم مصرف کنندگان بسیار حائز اهمیت است. در صورتی که سیستم ها با وجود راندمان بالا، کم مصرف باشند، تغییرات مثبتی در شبکه رخ می دهد. این مقاله با بهره گیری از روش مدرن بهینه سازی بر مبنای الگوریتم ژنتیک بوده و متفاوت از روش های قبلی میباشد و نتایج براساس طراحی بوسیله این نرم افزار برای نمونه ای از ترانسفورماتور توزیع آورده شده است.

**واژگان کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، ترانسفورماتور، بهینه سازی.

## مقدمه

ترانسفورماتور یا ترانسفورمر وسیله ای است که انرژی الکتریکی را به وسیله دو یا چند سیم پیچ و از طریق القای الکتریکی از یک مدار به مداری دیگر منتقل می کند. به این صورت که جریان جاری در مدار اول (اولیه ترانسفورماتور) موجب به وجود آمدن یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ اول می شود، این میدان مغناطیسی به نوبه خود موجب به وجود آمدن یک ولتاژ در مدار دوم می شود که با اضافه کردن یک بار به مدار دوم این ولتاژ می تواند به ایجاد یک جریان ثانویه منجر شود.

اگر می پرسید که ترانس چیست؟ در مورد وظیفه یک ترانس برق یا ترانسفورماتور باید گفت از این دستگاه می توانید برای ولتاژهای فزاینده و یا کاهنده استفاده کنید. ترانس هیچ گونه قطعه متحرکی نداشته است و به طور کامل ثابت است. این موضوع باعث می شود که همیشه تحت شرایط عملیات قرار داشته باشد و بدون هرگونه دردسری و برای مدت های طولانی به کار خود ادامه خواهد داد. هسته ترانسفورماتورها از ورقه های مغناطیسی یا فریت ساخته می شوند. ورقه ورقه کردن هسته ها و یا استفاده از فریت به عنوان هسته، برای کاهش تلفات فوکو است. هسته ترانسفورماتورها باید تا حد امکان دارای قابلیت نفوذ مغناطیسی خوب و هدایت الکتریکی بد باشد. به همین دلیل هسته های فریتی فقط در صنعت مخابرات به کار می روند، زیرا در این صنعت به دلیل وجود فرکانس های بالا، تلفات فوکو در هسته زیاد می شود. در ترانسفورماتورهای قدرت از هسته های مغناطیسی ورقه ورقه استفاده می شود. برای جلوگیری از لرزش صفحات و ایجاد صدا، ورقه ها باید کاملاً به یکدیگر فشرده شوند. بستن ورقه ها به یکدیگر به وسیله پیچ یا خار و یا قابی که روی آنها پرس می شود، انجام می گیرد. این وسایل توسط مواد عایق الکتریکی و غیر مغناطیسی از ورقه ها جدا نگه داشته می شود.

مدلهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل و شبیه سازی رفتار یک ترانسفورماتور در شرایط کاری مختلف از جمله شرایط خطا، اضافه ولتاژهای سوئیچینگ و ضربه و..... ارائه شده است. ترانسفورماتور به عنوان ماشینی الکتریکی که وظیفه انتقال انرژی بین دو قسمت از شبکه برق با سطح مختلف ولتاژ می باشد، نقش بسیار اساسی در کاهش تلفات و افت ولتاژ در شبکه را ایفا میکند. درواقع ترانسفورماتور می تواند تغییراتی را در قدرت، شبکه انتقال و فرکانس جریان (کاهش جریان فشار قوی به یک مقدار پایین تر) ایجاد کند. این دستگاه انواع مختلفی دارد و جهت اندازه گیری ولتاژ، جریان، نیرو، انرژی، ضربه، توان، فرکانس و سایر مقادیر الکتریکی از انواع اندازه گیری آن استفاده می کنند. در حال حاضر از روش های مختلفی برای طراحی ترانسفورماتور در سطح آموزشی و حرفه ای استفاده میشود. در طراحی حرفه ای توسط شرکت های سازنده ترانسفورماتور، از روش هایی مانند سعی و خطا، المان محدود و سیستم های بر پایه دانش شی گرا جهت طراحی ترانسفورماتور به صورت تقریباً بهینه استفاده میشود. این درحالی است که نقطه طراحی در این روش ها عموماً در نقطه اپتیمم محلی بوده و در نقطه اپتیمم مطلق واقع نميگردد.

این روشها دارای این معایب هستند که اولاً همواره اطلاعات دقیقی از ابعاد داخلی ترانسفورماتور در دسترس نمی باشد و ثانیاً با توجه به تقریبهای انجام شده در روابط، پارامترهای محاسبه شده با خطای محاسباتی همراه هستند از آنجا که در ترانسهای تقویت، ترانسفورماتور نقش اساسی را به عهده دارد. لذا در اینجا به بررسی جامعتری در زمینه ترانسفورماتور می پردازیم. این بررسی بر اساس استاندارد DIN انجام گرفته است.

در ترانسفورماتورها اجزایی از قبیل هسته ترانسفورماتور، قرقره بوبین، سیم پیچ و مود عایق بکار گرفته میشود. هسته ها را از ورق هایی که به صورت لایه لایه روی هم قرار داده می شوند، می سازند، به علت افت جریان فوکه، هسته را ورقه ورقه ساخته و بین آنها به وسیله اکسیداسیون یا کاغذ می پوشانند و یا اینکه از ورق های عایق شده استفاده می کنند. شکلهای مختلف برای قرقره بوبین ها وجود دارد. اندازه های قرقره بوبین باید بر حسب استاندارد DIN 41304 باشد. در زیر مشخصات قرقره بوبین ها برای هسته های M داده شده است.

با وجودیکه سیم های که برای سیم پیچی بکار می روند، دارای عایق می باشند، با این حال عایق کردن لایه ها یا سیم پیچ ها لازم است که از عایق های نواری شکل نیز استفاده شود. در ترانسفورماتورهای معمولی از کاغذ لاک دار یا از پارچه لاک دار بر طبق DIN 40622 و DIN 40623 استفاده می شود، و به تازگی به مسئله صرفه جویی در جا و افزایش ایمنی برای ورقه های

عایق توجه زیادی می شود. برای سازندگان ترانسفورماتور، مسئله ضایعات مواد عایق، مهم است. هنگامی که کاغذ یا ورق عایق بر روی سیم پیچ قرار داده می شود، در این صورت ما بین قرقره بوبین و کناره سیم پیچ، آنقدر حل خالی وجود دارد که حلقه سیم های تکی با آنها در تماس می باشد. به این ترتیب اثر عایقی کاغذ از بین می رود. برای جلوگیری از این امر، نوار عایق را کمی پهن تر از قرقره بوبین و سیم پیچ انتخاب می کنند و کناره های آنرا طوری برش می دهند که یک لبه اضافی بوجود می آید. در این مقاله روش جدید جهت حل مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع توسط الگوریتم ژنتیک ارائه می گردد. 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 روش جستجوی ژنتیک بر اساس انتخاب طبیعی و علم ژنتیک است. با بکارگیری روش ژنتیک در حل مساله طراحی بهینه ترانسفورمر توزیع می توان از قابلیت های 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.

## انواع و اصول پایه ای ترانسفورماتور

به طوری کلی یک عملکرد ترانسفورماتور بر دو اصل استوار است:

۱. جریان الکتریکی متناوب می تواند میدان مغناطیسی متغیر پدید آورد.
۲. میدان مغناطیسی متغیر در یک سیم پیچ می تواند موجب به وجود آمدن جریان الکتریکی متناوب در یک سیم پیچ دیگر شود.

ساده ترین طراحی برای یک ترانسفورماتور در شکل (۱) آمده است. جریان سیم پیچ اولیه موجب به وجود آمدن یک میدان مغناطیسی می گردد. هر دو سیم پیچ اولیه و ثانویه روی یک هسته که دارای خاصیت نفوذپذیری مغناطیسی بالایی است (مانند آهن) پیچیده شده اند. بالا بودن نفوذپذیری مغناطیسی هسته موجب می شود تا بیش تر میدان تولید شده توسط سیم پیچ اولیه از داخل هسته عبور کرده و به سیم پیچ ثانویه برسد.

انواع ترانسفورماتور عبارتند از:

- ترانسفورماتور جدا کننده
- ترانسفورماتور عایق خشک و روغنی
- ترانسفورماتور کنترل
- ترانسفارمر منبع تغذیه
- اتو ترانسفورماتور
- ترانسفورماتور جرقه زن
- ترانسفورماتور افزایشده و ترانسفارمر کاهشده
- ترانسفورمر سه فاز و تک فاز
- ترانسفورماتور قدرت، توزیع و ابزاری
- ترانسفورماتور درونی و بیرونی
- ترانسفورماتور جریان
- ترانسفورماتور دو سیم پیچه
- ترانسفورماتور ابزار دقیق و...

## قانون القا

میزان ولتاژ القاء شده در سیم پیچ ثانویه را می توان به وسیله قانون فارادی به دست آورد:

$$V_S = N_S \frac{d\Phi}{dt}$$

در فرمول بالا،  $V_S$  ولتاژ لحظه ای،  $N_S$  تعداد دورهای سیم پیچ در ثانویه و  $\Phi$  برابر مجموع شار مغناطیسی است که از یک دور سیم پیچ می گذرد. با توجه به این معادله تا زمانی که شار در حال تغییر از دو سیم پیچ اولیه و ثانویه عبور کند، ولتاژ لحظه ای اولیه یک ترانسفورماتور ایدئال از معادله زیر به دست می آید

$$V_S = N_S \frac{d\Phi}{dt}$$

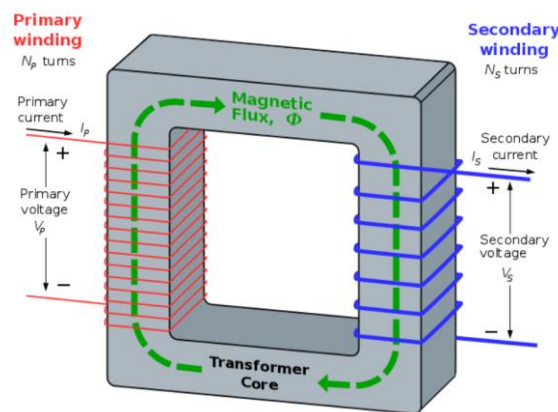
و با توجه به تعداد دور سیم پیچ های اولیه و ثانویه و این معادله ساده می توان میزان ولتاژ القایی ثانویه را به دست آورد:

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

## معادله توان

اگر سیم پیچ ثانویه یک بار متصل شده باشد، جریان در سیم پیچ ثانویه جاری خواهد شد و به این ترتیب توان الکتریکی بین دو سیم پیچ منتقل می شود. اگر ترانسفورماتور ایدئال بدون تلفات کار کند و تمام توانی که به ورودی وارد می شود، به خروجی برسد و به این ترتیب توان ورودی و خروجی برابر شود، در این حالت داریم:

$$P_{\text{incoming}} = I_P V_P = I_S V_S = P_{\text{outgoing}}$$



شکل ۱. یک ترانسفورماتور کاهنده آرمانی و مسیر عبور شار در هسته

و همچنین در حالت ایدئال خواهیم داشت:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

بنابراین، اگر ولتاژ ثانویه از اولیه بزرگتر باشد، جریان ثانویه به همان نسبت از جریان اولیه باید کوچکتر باشد. در واقع،

همان طور که در بالا اشاره شد، بیش تر ترانسفورماتورها بازده بسیار بالایی دارند و به این ترتیب نتایج به دست آمده از این معادلات به مقادیر واقعی بسیار نزدیک خواهد بود.

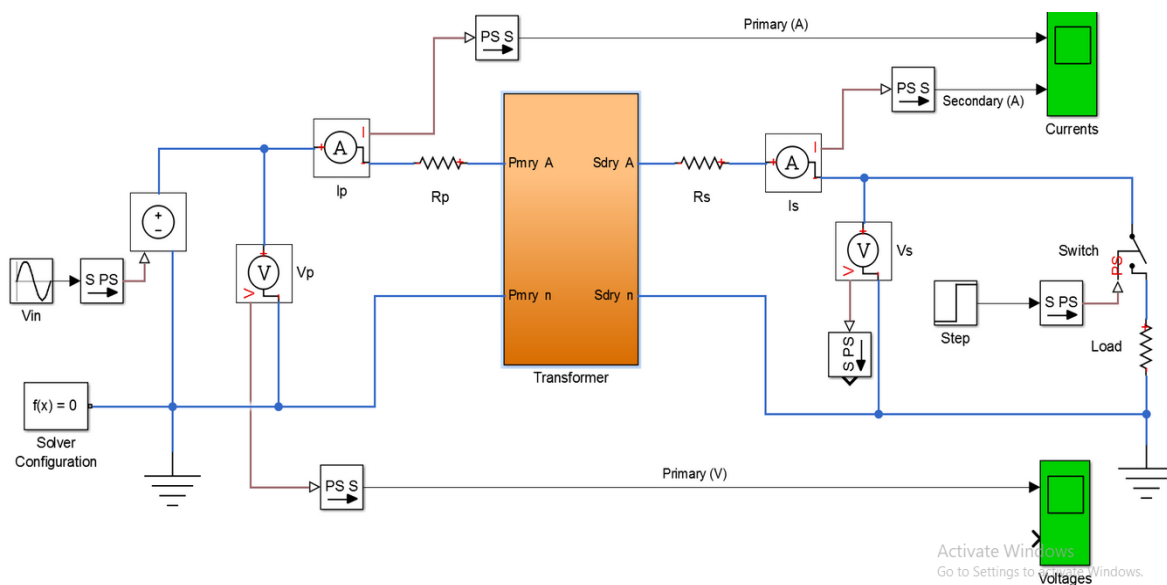
### بهبود کارایی ترانسفورماتور با استفاده از تکنولوژی های نوین

در این بخش از مقاله روش های مناسب بهره برداری ترانسفورماتور درباره تاثیرات تکنولوژی بر قدرت و سرعت این دستگاه صحبت می کنیم. استفاده از این تجهیز به نفع مجموعه شما است. هیچ یک از دستگاه های برقی توانایی توزیع و تحلیل جریانات الکتریکی ندارند. آن ها در مقابله با عوامل آسیب زا شکست می خورند. امروزه در طراحی اکثر شبکه های الکتریکی از ترانسفورماتور ها استفاده می شود. اگر به دنبال تجهیز قدرتمند با راندمانی سرعتی هستید، روش های مناسب بهره برداری ترانسفورماتور را الگوی خود قرار دهید. این راهکار موثر برای تمامی شبکه های جریان قابل اجرا می باشد. بهبود کارایی ترانسفورماتور با بهره گیری از تکنولوژی های نوین، گزینه مناسبی است. در زیر، چند راهکار برای بهبود کارایی ترانسفورماتور با استفاده از تکنولوژی های جدید لیست کرده ایم، توجه کنید.

۱. استفاده از ترانسفورماتور های درجه یک سیلیکونی: در این نوع ترانسفورماتور ها، سیلیکون به عنوان ماده خنثی کننده روغن مورد استفاده قرار می گیرد. این دستگاه، کارایی بالاتری نسبت به ترانسفورماتور های روغنی سنتی دارد.
۲. ترانسفورماتورهای جامد: در ترانسفورماتور جامد، قسمت های الکترومغناطیسی دستگاه های سنتی با قطعات جامد جایگزین می شوند. این تکنولوژی عملکرد و کارایی ترانسفورماتور را بهبود می بخشد. همچنین قابلیت هایی مثل؛ کنترل پویای ولتاژ و ضریب قدرت را برای دستگاه به دنبال دارد.
۳. ساماندهی شبکه هوشمند: استفاده از شبکه های هوشمند به بهبود کارایی دستگاه کمک می کند. در شبکه های هوشمند، ترانسفورماتور ها مجهز به سامانه های کنترل هوشمند هستند. آنان به طور دقیق مصرف انرژی را کنترل می نمایند. بدین ترتیب اپراتور شبکه به ایمن سازی عملکرد ترانسفورماتور ها می پردازد.
۴. استفاده از مواد هوشمند: در ترانسفورماتور های جدید، مواد هوشمند مانند مواد خازنی با خصوصیات الکترومغناطیسی قابل تنظیم، به کار می رود. متریال های بروز تاثیرات خوشایندی بر عملکرد محصول دارند.
۵. استفاده از تکنولوژی های نوین خنک کننده: سیستم های خنک کننده شکل های مختلفی دارد. خنک کننده های مبتنی بر سیالات نیمه هادی ( سیالات حامل حرارت با خواص نیمه هادی )، خنک کننده بر پایه نانو ذرات و خنک کننده های هوشمند به بهبود کارایی حرارتی ترانسفورماتور ها و کاهش اتلاف توان در آنها نقش دارد.
۶. بهینه سازی طراحی: استفاده از روش های بهینه سازی و شبیه سازی پیشرفته برای طراحی و ساخت این دستگاه به کاهش اتلاف انرژی و بهبود کارایی آنها منجر می گردد.

شبیه سازی ترانسفورماتور الکتریکی در matlab

در این شبیه سازی قصد داریم به وسیله ابزار های مغناطیسی نرم افزار matlab یک ترانسفورماتور را شبیه سازی کنیم. توان این ترانسفورماتور ۵۰ کیلو وات فرکانس کاری آن 50 Hz ولتاژ آن ۲۰/۱۲۰ ولت است و بازدهی آن حدود ۹۴ درصد است. جریان بی باری مغناطیس ۱ درصد و راکتانس نشتی آن ۲.۳ درصد است. تلفات مربوط به هسته در این شبیه سازی اعمال نشده است و نمودار B-H مربوط به ماده به کار رفته در هسته خطی در نظر گرفته است. نسبت تبدیل در این ترانسفورماتور ۱ به ۱۰ است که در اسکوپ ها قابل مشاهده است. ترانسفورماتور در ابتدا بدون بار است و در زمان  $t=0.5$  s بار به ترانسفورماتور متصل می شود. به علت اندوکتانس نشتی و مقاومت سیم پیچ ها ولتاژ سیم پیچ دوم از ۱۲ ولت موثر به ۱۱.۳ ولت موثر رسیده است و جریان طرف دوم ترانسفورماتور در حالت بار کامل ۳.۹ آمپر است. در اسکوپ ها می توان فلو مغناطیسی و مقادیر موثر در شرایط بی باری و بار کامل را مشاهده کرد.



شکل ۲. خروجی شبیه سازی یک ترانسفورماتور ۵۰ کیلووات در نرم افزار matlab

## الگوریتم ژنتیک بعنوان ابزار بهینه سازی

الگوریتم ژنتیک بعنوان یک ابزار بهینه سازی پر قدرت در مسائل گوناگون بهینه سازی مورد استفاده قرار میگیرد. در این الگوریتم ابتدا ورودی ها و محدوده تغییرات آنها مشخص میشوند که هر یک از ورودی ها بعنوان یک ژن برای این الگوریتم عمل میکنند. این ژن ها 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 بهینه سازی، یافتن نقطه اپتیمم آن مسئله با توجه به تابع هدف مربوطه میباشد که مقدار این تابع برای هر کروموزوم با توجه به مقادیر اختصاص یافته به ژن های آن کروموزوم قابل محاسبه است. برای راه اندازی یک الگوریتم ژنتیک، در ابتدا یک جمعیت بعنوان جمعیت اولیه بصورت 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 و جهش (CROSS over)، تولید (reproduction) بر کروموزوم های نسل قبل (mutation) صورت میگیرد. روند حرکت در این الگوریتم به گونه ای است که جمعیت جدید را با هدف تولید نسل بهتر (تابع هدف بزرگتر) تولید میکند

## تابع هدف

هدف از طراحی بهینه، بدست آوردن یک ترانسفورماتور با صرف کمترین هزینه برای ساخت همزمان با رعایت کلیه قیود موجود میباشد. در حل مسائل بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک که بهینه نمودن تابع هزینه همراه با رعایت قیود مختلف مورد نظر میباشد از دو روش استفاده میشود. در روش اول، جمعیت اولیه و جمعیت های بعدی به نحوی تولید میشوند که همه قید مسئله را تامین کنند. در این حال فضای جستجو مورد نظر بسیار کوچک و سرعت همگرایی بالایی میباشد، ولی ممکن است جواب بدست آمده نقطه اپتیمم مطلق نباشد. در روش بعدی، در هر مرحله بدون اینکه توجه ای به محدودیت ها تولید شده و این قیود شود، بصورت یک ضریب جریمه در تابع هدف وارد میشوند. در این حالت سرعت همگرایی مقداری کاهش یافته ولی دستیابی به نقطه اپتیمم مطلق تضمین میشود.

در مقاله حاضر به علت اهمیت بهینه بودن قیمت ترانسفورماتور نسبت به سرعت همگرایی، روش دومی که بهش اشاره کردیم مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین باید تابع هدف به صورتی باشد که بصورت همزمان هزینه ساخت را درکنار برآورده کردن قیود، درنظر بگیرد. بیشتر هزینه ساخت یک ترانسفورماتور برگرفته از هزینه مواد بکار رفته در آن و هزینه نیروی انسانی میباشد. باتوجه به اینکه هزینه نیروی انسانی مقداری ثابتی بوده و در مقابل هزینه مواد بکار رفته مقدار کمتری میباشد، میتوان از هزینه نیروی انسانی چشم پوشی کرد. بنابراین هزینه تمام شده ترانسفورماتور از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$C_{product} = C_{conductors} + C_{insulators} + C_{core} + C_{NL-Losses} + C_{FL-losses}$$

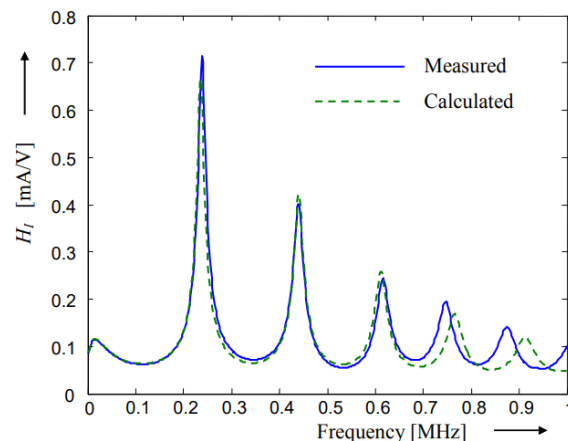
و با توجه به مطالب فوق، تابع هدف بصورت رابطه زیر محاسبه میشود.

$$Fitness = \frac{10^9}{C_{product} + K \cdot \sum_{i=1}^n Lim_i}$$

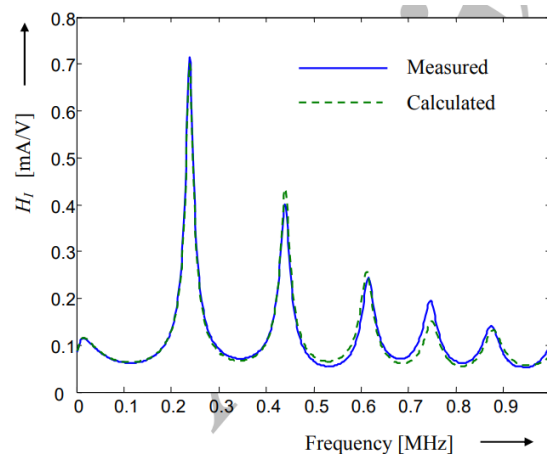
مقدار پارامتر  $LIM_i$  در محدوده مجاز برابر صفر و درغیر اینصورت متناسب با فاصله نسبی از محدوده مجاز میباشد. برای اینکه این پارامتر در تابع هدف با مقدار هزینه تمام شده قابل مقایسه نیز در آن ضرب شده است. در صورت یک ضریب  $k$  باشد، تاثیر قیود بالا رفته و  $k$  تخصیص مقدار نسبتا بزرگ به سرعت سیستم جهت ورود به محدوده مجاز افزایش میابد. اما درعین حال، این امر سبب به دام افتادن الگوریتم در نقاط بهینه محلی میشود. بنابراین باتوجه به صورت هدفمند و متعادل  $k$  به موارد ذکر شده، پارامتر مقدار دهی میشود.

## بررسی اعتبار تخمین پارامترها به روش الگوریتم ژنتیک

تمام اندازه گیریها برای تعیین تابع تبدیل جریان سیم زمین نسبت به ولتاژ اعمالی به پایانه ورودی بوسیله ثبت کننده دیجیتالی HiAS ۷۴۳ با نرخ نمونه برداری 120Mhz، تفکیک پذیری فرکانسی ۱۰ بیت و عمق نمونه برداری ۱۲۸۰۰۰ نمونه انجام شده است. به پایانه ورودی سیم پیچ، ولتاژ ضربه با زمان پیشانی ۲۰۰ نانو ثانیه و نیم زمان پشت ۱۰۰ میکرو ثانیه اعمال شده است. بعنوان کمیات خروجی جریان زمین سیم پیچ اندازه گیری شده است. برای اندازه گیری جریان از یک پیچک روگوفسکی با نسبت تبدیل یک ولت بر آمپر و فرکانس قطع پایین 125Hz و فرکانس قطع بالای 20Mhz استفاده شده است، تابع تبدیل پس از فیلتر کردن، نمونه برداری و تبدیل فوریه سریع (FFT) گرفتن بدست آمده است.



شکل ۳. مقایسه پاسخهای فرکانسی اندازه گیری شده و پاسخهای فرکانسی حاصل از شبیه سازی  
(الف) با پارامترهای محاسبه شده



شکل ۴. مقایسه پاسخهای فرکانسی اندازه گیری شده و پاسخهای فرکانسی حاصل از شبیه سازی  
(ب) با پارامترهای محاسبه شده حاصل از الگوریتم ژنتیک

برای ارزیابی روش پیشنهادی، پاسخ فرکانسی اندازه گیری شده، با پاسخهای فرکانسی حاصل از شبیه سازی ترانسفورماتور با پارامترهای محاسبه شده از روابط تحلیلی و پارامترهای تخمینی توسط الگوریتم ژنتیک مقایسه میگردند. در دو شکل بالا چنین مقایسه ای را انجام میدهد با توجه به شکل های بالا میتوان دریافت که پاسخ فرکانسی حاصل از شبیه سازی ترانسفورماتور با پارامترهای محاسبه شده، در مقایسه با پاسخ فرکانسی حاصل از شبیه سازی ترانسفورماتور با پارامترهای تخمینی با روش الگوریتم ژنتیک، تطابق کمتری با پاسخ فرکانسی اندازه گیری شده دارد و این مسئله در فرکانسهای بالا تر بیشتر به چشم میخورد. بدین ترتیب می توان به دقت پارامترهای تخمین زده شده توسط الگوریتم ژنتیک در مقایسه با پارامترهای محاسبه شده به کمک روابط ریاضی پی برد.



## نتیجه گیری

کارایی مدل مشروح در مطالعات پدیده های داخلی ترانسفورماتور بستگی بسیار زیادی به دقت پارامترهای مدل مشروح دارد. با توجه به تقریبهای اجتناب ناپذیر که در فرمولهای محاسبه پارامترهای مدل مشروح وجود دارد و همچنین تفرانس های تولید ترانسفورماتور و نیز محدودیتهای ذاتی مدل مشروح ناشی از فشردن عناصر مدار آن، عملاً نمیتوان پارامترهای مدل مشروح را در اغلب اوقات با دقت بالا محاسبه کرد. در این مقاله نشان داده شد که میتوان با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بکارگیری مقادیر محاسبه شده پارامترها با روابط تحلیلی به عنوان مقادیر اولیه، پارامترهای مدل مشروح را با دقت خیلی بالایی تخمین زد. مقایسه بین پاسخ فرکانسی اندازه گیری شده ترانسفورماتور و نتایج حاصل از شبیه سازی مدل ترانسفورماتور با پارامترهای محاسبه شده و پارامترهای تخمین زده شده توسط الگوریتم ژنتیک این مطلب را بخوبی نشان میدهد.

## منابع

- باقری، سجاد، مروج، زهرا، قره پتیان، گئورگ، تمایز میان عیوب مکانیکی سیم پیچ. خطاهای الکتریکی داخلی و خارجی و جریانهای هجومی در ترانسفورماتورها با استفاده از روش ترکیبی، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، شماره ۴، جلد ۴۷، در حال انتشار، ایران، ۱۳۹۶.
- نوشاد، بهرام، رزاز، مرتضی، سیف السادات، قدرتاله، تعیین یک مدل دقیق ترانسفورماتور جریان برای آنالیز حالتیهای گذرای الکترومغناطیسی در طی خطاهای الکتریکی، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، شماره ۲، جلد ۴۱، صفحه ۸۷-۷۷، ایران، ۱۳۹۰.
- Miri., Riegel and Kühner,. (1999). Finite element models for the computation of the transient potential and field distribution in the winding system of high voltage power transformers. 11-th International Symposium on High Voltage Engineering, London, England, 23-27 August, Vol. 2, No. 467, PP. 39-42.
- Morched., Martí and Ottewangers. (1993). A high frequency transformer model for the EMTP. IEEE Transactions on Power Delivery, July, Vol. 8, No. 3, PP. 1615-1626.
- Man., Tang and Kwong. (1996). Genetic algorithms: concepts and applications. IEEE Transactions On Industrial Electronics, No. 5, Vol. 43, PP.519-534.
- Raie and Rashtchi. (2002). Using a genetic algorithm for detection and magnitude determination of turn faults in an induction motor. Electrical Engineering, PP.275-279.
- Brandwajn, Dommel and Dommel. (1982). Matrix representation of three-phase N-winding transformers for steady-state and transient studies. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, June, Vol. PAS-101, No. 6, PP. 1369-1378.
- Dalessandro, Fabiana da Silveira and Kolar. Self-capacitance of high-voltage transformers, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 22, no. 5, pp. 2081-2092, 2007.
- Pramanik, Saurav and Satish. Estimation of series capacitance of a transformer winding based on frequency-response data: An indirect measurement approach, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 26, no. 4, pp. 2870-2878, 2011.
- Gustavsen, Bjorn and Christoph Heitz. Rational modeling of multiport systems by modal vector fitting, IEEE Workshop on Signal Propagation on Interconnects, SPI, 2007.
- Alharbi and Hosam Salem. Power transformer transient modeling using frequency response analysis, University of Manitoba (Canada), 2014.
- Standard, IEC 60076-18. Power transformers - Part 18: Measurement of frequency response, 2018.
- IEEE Standard C57.12.90. Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers, 2015.

# Parameter adjustment and transformer optimization using genetic algorithm simulation

**Mehdi kardel**

Department of Electrical Engineering,  
Technical and Engineering Faculty, Shamal  
University, Amol, Iran

## Abstract

Transformers are one of the most important and expensive equipment in the electrical industry. According to the detailed models of transformers using the internal structure of transformers, they are very suitable for the internal characteristics of transformers in different working conditions. Transmission of electrical energy over long distances due to the need to reduce losses and voltage drop in the network will cause the use of transformers in the network at different voltage levels. In fact, the transformer can make changes in power, transmission network and current frequency (reducing the high voltage current to a lower value). This device has different types and it is used to measure voltage, current, power, energy, power factor, frequency and other electrical values. Optimum use of transformers in terms of efficiency, reducing energy costs and protecting the environment is very important for both producers and consumers. If the systems are low consumption despite high efficiency, positive changes will occur in the network. This article uses the modern method of optimization based on genetic algorithm and is different from the previous methods and the results are given based on the design by this software for an example of a distribution transformer.

**Keywords:** genetic algorithm, transformer, optimization.