

\*

- -  
- -  
-  
( / / / / / )

## چکیده

با توجه به اینکه مدل‌های مشروح ترانسفورماتورها با استفاده از ساختار داخلی ترانسفورماتور حاصل می‌شوند، برای مطالعه پدیده‌های داخلی ترانسفورماتور در شرایط کار مختلف بسیار مناسب هستند. برای اینکه مدل مشروح بتواند رفتار ترانسفورماتور را در یک حوزه فرکانس بخوبی شبیه‌سازی کند لازم است پارامترهای آن با دقت بسیار خوبی محاسبه شوند. در این مقاله مدل مشروحی بر اساس اندوکتانسهای خودی و متقابل برای یک سیم پیچ فشارقوی متعلق به یک ترانسفورماتور توزیع ۱/۲ MVA ارائه می‌شود. بعد از محاسبه پارامترهای مدل مشروح پیشنهادی توسط فرمولهای ریاضی موجود در مراجع، دیده می‌شود که مدل مشروح بدست آمده بدلیل وجود تقریب در فرمولها و نیز تلرانسهای مربوط به تولید، تابع تبدیل ترانسفورماتور را کاملاً دقیق شبیه‌سازی نمی‌کند. در این مقاله برای اولین بار روشی بر مبنای الگوریتم ژنتیک ارائه می‌شود، که با استفاده از آن می‌توان پارامترهای مدل مشروح را برای شبیه‌سازی دقیقتر تابع تبدیل ترانسفورماتور بدست آورد.

**واژه‌های کلیدی:** ترانسفورماتور - الگوریتم ژنتیک - تخمین پارامتر

## مقدمه

اطلاعات دقیقی از ابعاد داخلی ترانسفورماتور در دسترس نمی‌باشد و ثانیاً با توجه به تقریبهای انجام شده در روابط، پارامترهای محاسبه شده با خطای محاسباتی همراه هستند.

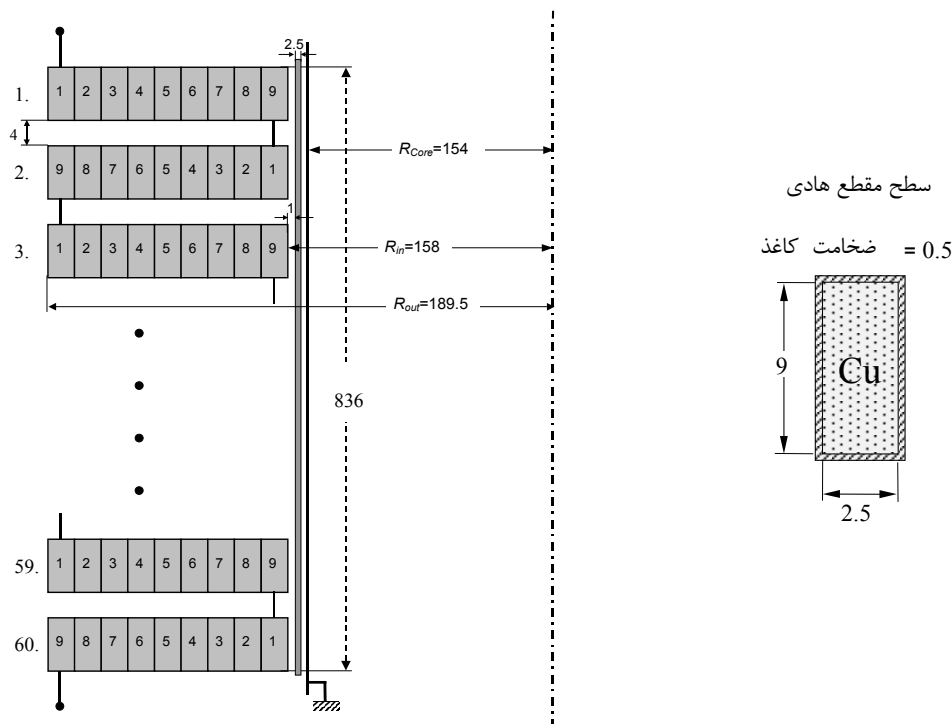
این مقاله روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای شناسایی پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور ارائه می‌کند. یک نگرش جدید در پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک با کدگذاری حقیقی و کاربرد آن در شناسایی پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور ارائه می‌شود. روش ارائه شده با نشان دادن انطباق داده‌های حاصل از آزمایش و نتایج شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## سیم پیچی آزمایش شده و مدل مشروح آن

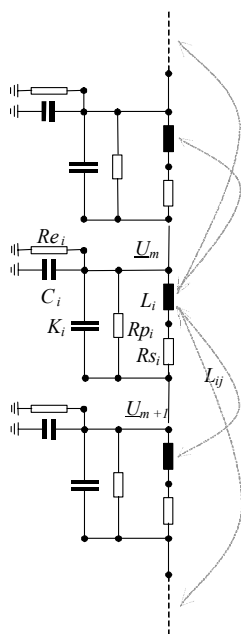
سیم پیچ فشار قوی یک ترانسفورماتور توزیع ۱/۲ MVA برای مدلسازی توسط مدل مشروح انتخاب شده است که ابعاد هندسی آن در شکل (۱) دیده می‌شود. این سیم پیچ از ۶۰ بشقاب معمولی ۹ حلقه‌ای تشکیل شده است.

مدلهای مختلفی برای تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی رفتار یک ترانسفورماتور در شرایط کاری مختلف از جمله شرایط خطا، اضافه ولتاژهای سوئیچینگ و ضربه و..... ارائه شده است [۱ و ۲]. مدل مشروح ترانسفورماتور از جمله بهترین مدل‌های ارائه شده می‌باشد [۴ و ۵]. از آنجا که در این مدل، هندسه ترانسفورماتور، ساختمان سیم پیچها و اتصالات و نیز مواد عایقی بکار رفته لحاظ می‌شوند، در مطالعه رفتار ترانسفورماتور در شرایط کار مختلف بسیار مفید است.

مدل مشروح مورد بحث در اینجا متکی بر اندوکتانسهای خودی و متقابل است [۶]. برای استفاده از این مدل، تعیین دقیق مقدار عددی پارامترهای مدل یعنی اندوکتانسهای خودی و متقابل و نیز ظرفیتهای و مقاومتهای آن اهمیت اساسی دارد. برای محاسبه پارامترهای مدل، روشهای تحلیلی متعددی ارائه شده است [۷ و ۸] که متکی بر اطلاعات ساختار داخلی ترانسفورماتور بوده و نیازمند داده‌های دقیقی از ابعاد هندسی، مواد عایقی و.... هستند. این روشها دارای این معایب هستند که اولاً همواره



شکل ۱: ابعاد هندسی سیم پیچ بشقابی انتخاب شده برای انجام آزمایش و مدلسازی (ابعاد بر حسب mm می باشد).



شکل ۲: مدل مشروح سیم پیچ ترانسفورماتور.

پارامترهای محاسبه شده برای سیم پیچ مورد نظر با استفاده از روابط تحلیلی در جدول (۱) ارائه شده اند. با توجه به اینکه اندوکتانسهای متقابل بین واحدهای با فاصله بیشتر از ۷ واحد، بسیار کوچک بوده و تأثیری بسیار

برای مدلسازی سیم پیچ، از مدل مشروح با ۱۵ گره استفاده می شود. این مدل دارای ۱۵ واحد مشابه با هم است که هر واحد ۴ بشقاب از سیم پیچ را در بر می گیرد. در شکل (۲) سه واحد از مدار معادل نشان داده شده است.

عناصر مشخص شده در مدل بشرح زیر هستند:

$L_i$ : اندوکتانس خودی واحد  $i$  - آم

$L_{ij}$ : اندوکتانس متقابل واحدهای  $i$  و  $j$

$K_i$ : ظرفیت سری منتهی واحد  $i$  - آم

$C_i$ : ظرفیت بین واحد  $i$  - آم و پتانسیل زمین ( هسته یا

تانک) یا سیم پیچ مجاور

$R_{p_i}$ : مقاومت اهمی برای در نظر گرفتن تلفات عایقی

واحد  $i$  - آم

$R_{e_i}$ : مقاومت اهمی برای منظور کردن تلفات عایقی بین

واحد  $i$  - آم و پتانسیل زمین یا سیم پیچ مجاور

$R_{s_i}$ : مقاومت اهمی برای وارد کردن تلفات اهمی در واحد

$i$  - آم

نحوه محاسبه پارامترهای مدل مشروح به کمک روابط ریاضی به طور کامل در مراجع [۹ و ۱۰] آمده است.

.....

$$\underline{B}_1 = \begin{bmatrix} y_{s1} \underline{U}_{Input} & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}^T, \\ \underline{B}_2 = \begin{bmatrix} \underline{U}_{Input} & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

از حل معادلات فوق داریم:

$$\underline{U} = (\underline{Y} + \underline{A} \underline{Z}^{-1} \underline{A}^T)^{-1} (\underline{A} \underline{Z}^{-1} \underline{B}_2 + \underline{B}_1) \\ \underline{I} = \underline{Z}^{-1} (-\underline{A}^T \underline{U} + \underline{B}_2) \quad (4)$$

$\underline{U}_i$  و  $\underline{I}_i$  تبدیل فوریه شکل موج ولتاژ و جریان واحد  $i - 1$  - ام هستند.

$$\underline{I}_{out} = \frac{\underline{U}_n}{\underline{Z}E} \quad (5)$$

$\underline{Z}E$  امپدانس است که گره  $n - 1$  - ام مدار را به زمین وصل می کند.

ناچیز در نتایج شبیه سازی داشته اند، مقادیر این اندوکتانسها صفر در نظر گرفته شده اند. بدلیل اینکه مقاومتهای موازی با بدست آمدن ظرفیت مربوطه و ضریب تلفات عایقی حاصل می شوند، از مجهولات مدل محسوب نمی شوند و لذا در جدول زیر آورده نشده اند.

جدول ۱: پارامترهای محاسبه شده برای مدل مشروح سیم پیچ مورد آزمایش.

$L_1 =$ 0.6552 mH	$L_{12} =$ 0.3890 mH	$L_{13} =$ 0.2007 mH	$L_{14} =$ 0.1198 mH
$L_{15} =$ 0.0762 mH	$L_{16} =$ 0.0506 mH	$L_{17} =$ 0.0349 mH	$L_{18} =$ 0.0250 mH
$C_i =$ 0.010045 nF	$K_i =$ 0.04284 nF	$Rs_i =$ 0.1442 Kohm	

تحلیل مدل مشروح شکل (۲) با  $n$  واحد سیم پیچ، در حوزه فرکانس بصورت زیر قابل بیان است:  
اگر شاخه های اندوکتیو مدار در نظر گرفته نشوند، ماتریس ادمیتانس گرهما  $\underline{Y} = \underline{G} + j\omega \underline{C}$  به صورت زیر محاسبه می شود:

$Y_{ii}$ : مجموع ادمیتانسهایی که به گره  $i - 1$  - ام وصل شده اند.

$Y_{ij}$ : منفی مجموع ادمیتانسهایی که گره های  $i$  و  $j$  را به همدیگر متصل می کنند.

شاخه های اندوکتیو با ماتریس امپدانس وابسته به فرکانس  $\underline{Z} = \underline{R} + j\omega \underline{L}$  در نظر گرفته می شوند:

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} Rs_1(\omega) + jL_{11}\omega & jL_{12}\omega & \dots & jL_{1,n-1}\omega & jL_{1n}\omega \\ jL_{2,1}\omega & Rs_2(\omega) + jL_{22}\omega & \dots & jL_{2,n-1}\omega & jL_{2n}\omega \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ jL_{n-1,1}\omega & jL_{n-1,2}\omega & \dots & Rs_{n-1}(\omega) + jL_{n-1,n-1}\omega & jL_{n-1,n}\omega \\ jL_{n,1}\omega & jL_{n,2}\omega & \dots & jL_{n,n-1}\omega & Rs_n(\omega) + jL_{nn}\omega \end{bmatrix} \quad (1)$$

با استفاده از قوانین کیرشهف معادلات زیر حاصل می شوند:

$$\underline{Y} \underline{U} = \underline{A} \underline{I} + \underline{B}_1 \\ \underline{Z} \underline{I} = -\underline{A}^T \underline{U} + \underline{B}_2 \quad (2)$$

$\underline{I}$  و  $\underline{U}$  به ترتیب بردار ولتاژ گرهما و بردار جریان شاخه های مدار هستند و  $\underline{A}$  ماتریس تلاقی شبکه است.  $\underline{B}_1$  و  $\underline{B}_2$  بردارهای ورودی هستند و با داشتن تبدیل فوریه سیگنال تحریک به عنوان ورودی  $\underline{U}_{Input}(\omega)$  بصورت زیر بیان می شوند:

(  
الگوریتم ژنتیک روشی است که می تواند برای حل دستگاه معادلات غیر خطی و مسائل بهینه سازی پیچیده بکار رود. این الگوریتم با استفاده از اعداد تصادفی و بر مبنای انتخاب طبیعی عمل می کند و نیازمند داشتن تخمین اولیه خوبی از جواب مسئله نمی باشد. یعنی بدست آوردن پاسخ یک مسئله پیچیده می تواند از تخمینهای اولیه ضعیف شروع و در روند تکاملی بقای اصلح، به دقت لازم برسد [۱۱].

الگوریتم ژنتیک در فرم استاندارد آن بر روی رشته های باینری، موسوم به کروموزوم، که پاسخهای محتمل مسئله می باشند عمل می کند. الگوریتم ژنتیک ساده ای که در بسیاری از مسائل عملی از جمله شناسایی پارامترهای مدل dq موتور القائی از اطلاعات پلاک موتور [۱۲]، نتایج خوبی بدست داده است، از سه عملگر تولید مثل<sup>۱</sup>، تزویج<sup>۲</sup> و جهش<sup>۳</sup> استفاده می کند. این عملگرها که از فرآیند تکامل طبیعی اقتباس شده اند، جمعیت کروموزومها را بسوی تکامل، که بمعنی بزرگتر شدن تابع معیار است پیش می برند.

در بسیاری از مسائل از جمله شناسایی پارامترها، پاسخ مسئله مجموعه ای از اعداد حقیقی است. برای

یعنی  $I_0^c$  با زمین شدن این سرسیم پیچ توسط پیچک روگوفسکی اندازه گیری می‌شود.  $N$  نمونه از تبدیل فوریه جریان خروجی  $(\bar{Y}_{ei})_{i=1,n}$  می‌توانند از طریق آزمایش بدست آیند. پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور را می‌توان با بردار  $\bar{P}$  نشان داد.

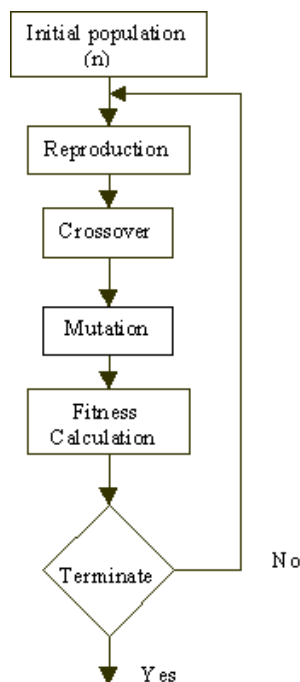
$$\bar{P} = (L_1, L_{12}, L_{13}, L_{14}, L_{15}, L_{16}, L_{17}, L_{18}, C_1, K_1, RS_1) \quad (6)$$

پاسخ مدل شبیه سازی شده به ورودی ولتاژ ضربه را  $\bar{Y}_{si} = (I_0^s)$  می‌نامیم. هدف از شناسایی پارامترها بدست آوردن  $\bar{P}$  به گونه ای است که در هر فرکانسی  $\bar{Y}_{si} = \bar{Y}_{ei}$  شود.

با توجه به وجود نویز، خطاهای عددی در شبیه سازی مدل و نیز خطاهای دستگاههای اندازه گیری، در عمل هیچگاه این برابری حاصل نخواهد شد. لذا بهترین تخمین برای پارامترها، تخمینی است که مجموع مربعات خطا را برای  $n$  زوج  $\bar{Y}_{si}, \bar{Y}_{ei}$  حداقل نماید و بعبارت دیگر تابع معیار  $(Y)$  را ماکزیمم کند.

$$Fit = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (I_{oi}^e - I_{oi}^s)^2} \quad (7)$$

بدین ترتیب مسئله شناسایی پارامترها به یک مسئله بهینه سازی تبدیل شده و با الگوریتم ژنتیک قابل حل است.

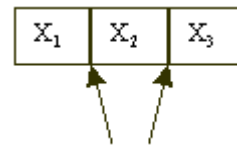


شکل ۴: روند کار الگوریتم ژنتیک.

همانگ کردن این مسائل با فرم استاندارد الگوریتم ژنتیک، روش متداول، استفاده از رمز باینری برای اعداد حقیقی و چیدن آنها در کنار یکدیگر و تشکیل کروموزوم است. در اینصورت نقطه اثر عملگرها، مطابق با فرم استاندارد، می‌تواند بیت‌های میانی پارامترهای حقیقی نیز انتخاب شود.

در حل مسئله مورد بحث این مقاله، که با پارامترهای حقیقی سروکار دارد، نگرش جدیدی برای تشکیل کروموزوم و نحوه کار عملگرها بکار رفته است که باعث سهولت پیاده سازی و افزایش سرعت همگرایی شده است. در این نگرش هر کروموزوم بجای مجموعه ای از بیت‌ها، مجموعه ای از اعداد حقیقی در نظر گرفته می‌شود [۱۲]. نقطه تزویج تنها می‌تواند مرز بین اعداد حقیقی انتخاب شود و عملگر جهش، پس از انتخاب یکی از اعداد حقیقی در کروموزوم، مقدار آنرا بطور تصادفی تغییر می‌دهد. در شکل (۳) نحوه کار عملگرهای تزویج و جهش برای فرم حقیقی نشان داده شده است.

$$\bar{X} = (x_1, x_2, x_3)$$



Possible Crossover Position

$$x_i \xrightarrow{\text{Mutation}} x_i = x_i + \text{random}\left(-\frac{x_{imax}}{2}, \frac{x_{imax}}{2}\right)$$

$x_{imax}$ ، ماکزیمم مقدار ممکن برای پارامتر  $x_i$  می‌باشد.

شکل ۳: عملگرهای تزویج و جهش در فرم حقیقی.

عملگر تولید مثل، مشابه فرم استاندارد، تکثیر هر کروموزوم را متناسب با تابع معیار آن انجام می‌دهد. بدین ترتیب کروموزوم‌هایی که دارای تابع معیار بهتری هستند در نسل بعدی بیشتر تکثیر می‌شوند. روند کار الگوریتم با عملگرهای سه گانه در شکل (۴) نشان داده شده است.

### ب) شناسایی پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور با الگوریتم ژنتیک

$(I_0^c)$  را  $\bar{Y}_{ei}$  تبدیل فوریه جریان خروجی ترانسفورماتور به ورودی ولتاژ ضربه در نظر می‌گیریم. در اندازه گیری جریان خروجی، به پایانه ورودی سیم پیچ ولتاژ ضربه اعمال گردیده و جریان انتهایی دیگر سیم پیچ

## نکات اجرایی در پیاده سازی الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله شناسایی پارامترهای مدل مشروح ترانسفورماتور بسادگی قابل استفاده نمیباشد. در این بخش نکات اجرایی و تمهیداتی که پیاده سازی را ممکن نموده اند مورد بحث قرار می گیرند.

اولاً، زمان شبیه سازی نقش تعیین کننده ای را در بکارگیری الگوریتم ژنتیک بازی می کند. برای رسیدن به همگرایی، چند هزار بار تکرار الگوریتم و چند ده هزار بار شبیه سازی متعارف می باشد. شبیه سازی پاسخ فرکانسی ترانسفورماتور براساس مدل مشروح نوعاً زمان بر می باشد. در مسئله مورد بحث با تمهیدات انجام شده و تهیه نرم افزار شبیه سازی با Visual C، سرعت شبیه سازی برای بدست آوردن پاسخ فرکانسی به حد یک ثانیه با پردازنده AMD\_Athlon و فرکانس 2600 MHz، رسیده است.

ثانیاً، استفاده از شرایط متعارف برای اجرای الگوریتم و نیز نحوه کار عملگرها بصورت متعارف امکانپذیر نبوده و همگرایی حاصل نمی شود. در ادامه به روند استنتاج تغییرات و تمهیدات لازم که منجر به همگرایی تضمین شده در مدت قابل قبول شده است پرداخته می شود.

الگوریتم ژنتیک در فرم استاندارد، نوعاً با جمعیت ۵۰ الی ۱۰۰ نفری و با احتمال تزویج ( $P_c$ ) بزرگ و احتمال جهش ( $P_m$ ) بسیار کوچک اجرا می شود. چنین جمعیتی با ۲۰۰۰ بار تکرار الگوریتم و با زمان یک ثانیه برای هر بار شبیه سازی، نیازمند متجاوز از ۳۰ ساعت زمان اجرا می باشد که عملاً غیر قابل قبول است. لذا الگوریتم ابتدا با جمعیت ۱۰ نفری و احتمال تزویج  $P_c=0.75$  و احتمال جهش  $P_m=0.01$  و سپس تحت شرایط مختلف در محدوده های، تعداد جمعیت بین ۱۰ الی ۲۰،  $0.5 < P_c < 0.85$  و  $0.01 < P_m < 0.1$ ، مورد آزمایش قرار گرفت که در هیچیک از موارد همگرایی قابل قبول حاصل نگردید.

بمنظور رسیدن به همگرایی تضمین شده و زمان اجرای قابل قبول، روند عملکرد الگوریتم در طی اجرای مراحل مختلف الگوریتم و تحت شرایط مختلف، مورد نظارت و ارزیابی قرار گرفته و از مشاهدات، استنتاجات ذیل بعمل آمد:

- افزایش احتمال جهش، به افزایش سرعت همگرایی الگوریتم کمک می نماید.
- افزایش احتمال تزویج منجر به همشکل شدن

جمعیت شده و الگوریتم کارآیی خود را که تکیه بر جمعیت دارد، از دست می دهد.

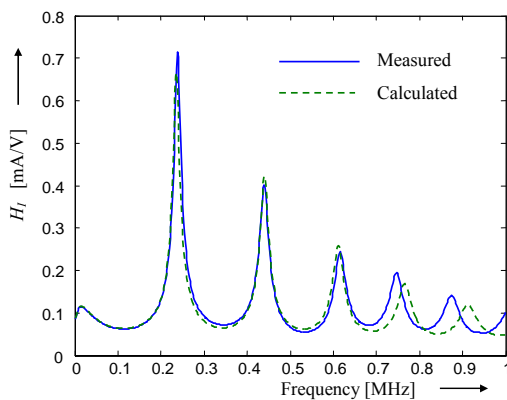
- افزایش جمعیت به آن اندازه که بار محاسباتی را افزایش می دهد، تاثیری در افزایش سرعت همگرایی ندارد و در مجموع از نظر زمانی الگوریتم را کند می کند.
- با تکیه بر این نتایج، تغییرات و تمهیدات زیر بعمل آمده و بکار بسته شد:

- جمعیت ۵ نفری انتخاب شد.
  - احتمال تزویج  $P_c=0.2$  انتخاب شد.
  - جهش بصورت چند گانه و دسته بندی شده که آنرا جهش خانوادگی می نامیم، با احتمال  $P_m=0.5$  اعمال شد.
  - تزریق بهترین فرد هر نسل به جمعیت نسل بعدی، با جایگزینی آن فرد به جای بدترین فرد، انجام شد.
- پس از اعمال این تغییرات، عملکرد الگوریتم بطور مکرر و با استفاده از داده های حاصل از آزمایشهای مختلف، مورد ارزیابی قرار گرفت. در اجرای برنامه و با مقادیر اولیه تصادفی برای مقادیر پارامترها، در برخی حالتها همگرایی حاصل گردیده و در برخی دیگر از حالتها همگرایی خوبی حاصل نگردید. در حالتی دیگر به جای مقادیر اولیه تصادفی برای پارامترها، از مقادیر پارامترهای محاسبه شده جدول (۱) به عنوان مقادیر اولیه پارامترها استفاده گردید. در این حالت در کلیه موارد همگرایی حاصل شد و در بدترین حالت با حدود ۲۰۰۰ بار تکرار و زمان اجرای حدود ۳ ساعت، پارامترها تنظیم گردیدند. نتایج حاصل از تنظیم پارامترها توسط الگوریتم ژنتیک در جدول (۲) ارائه شده است. از آنجائیکه دو مورد آخر از تمهیدات انجام شده، بیشترین تاثیر را در افزایش سرعت همگرایی داشته اند، توضیح مختصری در مورد هر یک ارائه می شود.

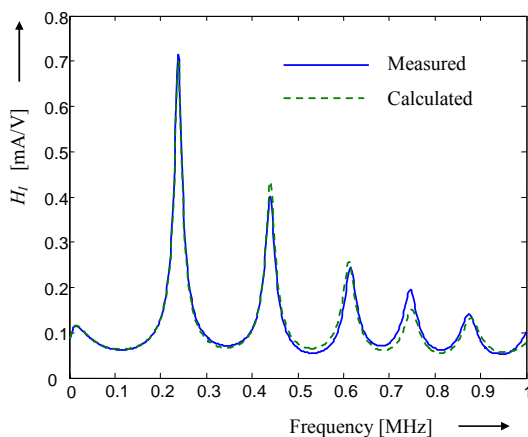
### جهش خانوادگی

ارزیابی های اولیه الگوریتم نشان داد که افزایش احتمال جهش در یک پارامتر، سرعت همگرایی را افزایش می دهد که حد آن با  $P_m=1$  حاصل می شود. در ادامه این روند، اثر جهش چند گانه با  $P_m$  بالا و برای کلیه پارامترها بررسی شد. نتیجه بدست آمده، بهبود چشمگیری را نشان نمی داد که می تواند ناشی از تصادفی شدن بیش از حد

ثبت کننده دیجیتالی HiAS 743 با نرخ نمونه برداری ۱۲۰ MHz، 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 Hz ۱۲۵ و فرکانس قطع بالای ۲۰ MHz استفاده شده است. تابع تبدیل پس از فیلتر کردن، نمونه برداری و تبدیل فوریه سریع (FFT) گرفتن بدست آمده است.



(الف)



(ب)

(الف) با پارامترهای محاسبه شده (ب) با پارامترهای حاصل از الگوریتم ژنتیک

شکل ۵: مقایسه پاسخهای فرکانسی اندازه گیری شده و پاسخهای فرکانسی حاصل از شبیه سازی.

برای ارزیابی روش پیشنهادی، پاسخ فرکانسی اندازه گیری شده، با پاسخهای فرکانسی حاصل از شبیه سازی ترانسفورماتور با پارامترهای محاسبه شده از روابط تحلیلی

فرآیند باشد. نهایتاً جهش خانوادگی بعنوان روشی معتدل انتخاب و اعمال گردید، که سرعت همگرایی را بطور قابل ملاحظه ای افزایش داد. در این روش پارامترهای هر کروموزوم به چهار خانواده، با مفاهیم فیزیکی نزدیک به هم تقسیم شدند، که عبارتند از:

- اندوکتانس خودی  $L_i$
- اندوکتانسهای متقابل شامل  $L_{12}, L_{13}, L_{14}, L_{15}, L_{16}, L_{17}, L_{18}$
- ظرفیتها شامل  $C_i, K_i$
- مقاومت  $RS_i$

برای اجرای عملگر جهش خانوادگی، هر خانواده با احتمال  $P_m$  برای اجرای عملگر جهش انتخاب و سپس به یکی از اعضاء خانواده که بصورت تصادفی انتخاب می شود، تغییر تصادفی اعمال گردید.

### تزریق بهترین فرد نسل قدیم

با افزایش احتمال اعمال عملگر جهش به طریق ذکر شده، ملاحظه شد که در برخی حالتها، بدلیل تغییرات تصادفی زیاد، جمعیت جدید ویژگیهای نسل قبل را از دست می دهد. بمنظور جلوگیری از این اتفاق در هر مرحله از تکرار الگوریتم و پس از اجرای عملگرهای تزویج و جهش، بهترین فرد نسل قدیم جایگزین بدترین فرد نسل جدید می شود. بدین ترتیب انقراض نسل اتفاق نمی افتد و حفظ خصوصیات در نسل بعدی تضمین می شود.

جدول ۲: پارامترهای تخمین زده شده توسط الگوریتم ژنتیک.

$L_i =$ 0.5062 mH	$L_{12} =$ 0.4174 mH	$L_{13} =$ 0.1503 mH	$L_{14} =$ 0.0955 mH
$L_{15} =$ 0.0757 mH	$L_{16} =$ 0.0398 mH	$L_{17} =$ 0.0257 mH	$L_{18} =$ 0.0165 mH
$C_i =$ 0.0104 nF	$K_i =$ 0.0519 nF	$RS_i =$ 0.1312 Kohm	

### 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

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 تُلرانسههای تولید ترانسفورماتور و نیز محدودیتهای ذاتی مدل مشروح ناشی از فشرده بودن 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.

و پارامترهای تخمینی توسط الگوریتم ژنتیک مقایسه میگردند. شکل (۵) چنین مقایسه ای را انجام میدهد. با توجه به شکل (۵) 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 می‌توان به دقت پارامترهای تخمین زده شده توسط الگوریتم ژنتیک در مقایسه با پارامترهای محاسبه شده به کمک روابط ریاضی پی برد.

## نتیجه گیری

کارآیی مدل مشروح در مطالعات پدیده های داخلی

## مراجع

- 1 - Miri, A.M., Riegel, N.A. and Kühner, A. (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.
- 2 - Morched, A., Martí, L. and Ottewangers, J. (1993). "A high frequency transformer model for the EMTP." *IEEE Transactions on Power Delivery*, July, Vol. 8, No. 3, PP. 1615-1626.
- 3 - Vaessen, P.T.M. (1988). "Transformer model for high frequencies." *IEEE Transactions on Power Delivery*, October, Vol. 3, No. 4, PP. 1761-1768
- 4 - Arturi, C.M. (1991). "Transient simulation and analysis of a three-phase five-limb step-up transformer following an out-of-phase synchronization." *IEEE Transactions on Power Delivery*, January, Vol. 6, No. 1, PP. 196-207.
- 5 - Brandwajn, V., Dommel, H. W. and Dommel, I.I. (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.
- 6 - De León, F. and Semlyen, A. (1994). "Complete transformer model for electromagnetic transients." *IEEE Transactions on Power Delivery*, January, Vol. 9, No. 1, PP. 231-239.
- 7 - Buckow, E. (1986). *Berechnung des Verhaltens von Leistungstransformatoren bei Resonanzanregung und Möglichkeiten des Abbaus innerer Spannungsüberhöhungen*, Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt.
- 8 - Nothaft, M. (1994). *Untersuchung der Resonanzvorgänge in Wicklungen von Hochspannungsleistungstransformatoren mittels eines detaillierten Modells*, Dissertation, Technische Hochschule Karlsruhe.

- 
- 9 - Rahimpour, E., Christian, J., Feser, K. and Mohseni, H. (2003). "Transfer function method to diagnose axial displacement and radial deformation of transformer windings." *IEEE Transactions On Power Delivery*, No. 2, Vol. 18, PP.493-505.
- 10 - Rahimpour, E. (2001). *Hochfrequente Modellierung von Transformatoren zur Berechnung der Übertragungsfunktion*, Dissertation, Universität Stuttgart.
- 11 - Man, K. F., Tang, K. S. and Kwong, S. (1996). "Genetic algorithms: concepts and applications." *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, No. 5, Vol. 43, PP.519-534.
- 12 - Raie, A. and Rashtchi, V. (2002). "Using a genetic algorithm for detection and magnitude determination of turn faults in an induction motor." *Electrical Engineering*, PP.275-279.

### واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Reproduction
- 2 - Crossover/mating
- 3 - Mutation