

تخمین پارامترهای مدار معادل ترانسفورماتور سه سیم پیچه با استفاده از الگوریتم تکاملی رقابت استعماری



نویسندگان: امیرحسین مرادخانی، حمیده محمدرضایی
پست الکترونیکی: a_moradkhani@zrec.co.ir

واژه های کلیدی: الگوریتم تکاملی رقابت استعماری، تخمین
پارامتر، ترانسفورماتور سه سیم پیچه، مدل مدار معادل

چکیده

در این مقاله با استفاده از الگوریتم تکاملی رقابت استعماری پارامترهای مدار معادل ترانسفورماتور سه سیم پیچه تخمین زده می شود. برای تخمین پارامترهای ترانسفورماتور از اطلاعات ترانسفورماتور تحت بار مانند ولتاژ اعمالی، جریان بار، توان و امپدانس بار استفاده می شود. نتایجی که با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری به دست می آید در مقایسه با نتایجی که از اندازه گیری مستقیم پارامترهای ترانسفورماتور که با استفاده از روش های موسوم به دست می آیند، دارای اعتبار مناسبی است که نشان دهنده قدرت این الگوریتم برای تخمین پارامترهای ترانسفورماتور می باشد.

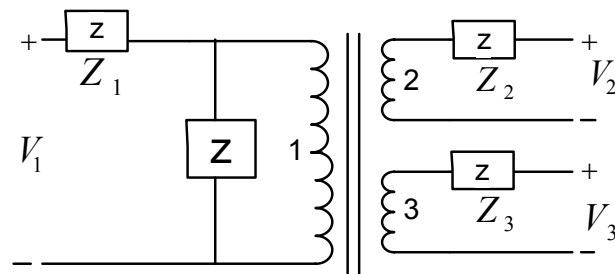
۱. مقدمه

از ترانسفورماتور سه سیم پیچه به طور گسترده ای در سیستم های قدرت الکتریکی استفاده می شود. تعیین پارامترهای مدار معادل ترانسفورماتور برای کاربردهایی از قبیل محاسبات عملکرد، مطالعه پخش بار سیستم قدرت، مانیتورینگ افزایش دمای سیم پیچ که برای سالم ماندن ترانسفورماتور انجام می شود، طراحی رله ها برای حفاظت از مدارات ترانسفورماتور و ... مفید است. به دلیل پیچیدگی هندسی سیم پیچی های ترانسفورماتور سه سیم پیچه، اندازه گیری و یا محاسبه پارامترهای مدار معادل این ترانسفورماتور مشکل است. برای تعیین پارامترهای امپدانس TWT از روش های مختلفی

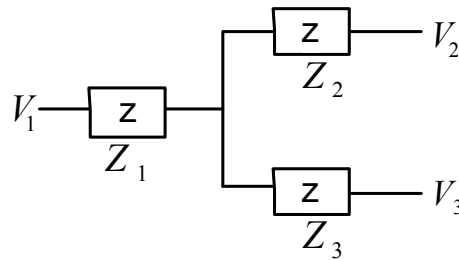
استفاده می‌شود. مطالعات عملکرد انجام شده با استفاده از مدل حالت دائم مبتنی بر نتایج آزمون‌های مرسوم مربوط به آزمون مدار باز و اتصال کوتاه می‌باشند [۱]. در این مقاله تخمین پارامترهای TWT بر مبنای مدل مدار معادل دقیق و با استفاده از مقادیر بدست آمده از نتایج داده‌های آزمون ترانسفورماتور تحت بار انجام می‌شود، بدین منظور و برای تخمین پارامترها از الگوریتم رقابت استعماری (ICA)، استفاده شده است.

۲. تعریف مسئله و روش حل آن

مدار معادل TWT در شکل (۱) نشان داده شده است. روش مرسوم محاسبه پارامترها با استفاده از اطلاعات آزمون اتصال کوتاه نیز در شکل (۲) نشان داده شده است [۲]. در این روش به آزمون‌های اتصال کوتاه و مقاومت جریان مستقیم (DC) نیاز است [۲]. انجام آزمایش‌های مربوط به تعیین



شکل ۱: مدل مدار معادل TWT



شکل ۲: مدل مدار معادل ستاره TWT

پارامترهای مدار معادل در روش مرسوم در شرایطی غیر از شرایط کار عادی ترانسفورماتور انجام می‌شود. همچنین بین سیم‌پیچی‌های اولیه، ثانویه و ثالثیه راکتانس نشتی نیز وجود دارد. اگر پارامترهای مدار مغناطیس کنندگی (R_c, X_c) در نظر گرفته شوند آزمایش مدار باز (OC) هم نیاز خواهد بود که باید به طور جداگانه انجام شود [۳]. علاوه بر این در روش مرسوم تعیین پارامترها، از تغییرات مقاومت سیم‌پیچ که در شرایط بارداری افزایش می‌یابد نیز صرف نظر می‌شود. بنابراین، واضح است که محاسبات عملکرد TWT که مبتنی بر روش مرسوم است و در شکل (۲) نشان داده شده است نادرست است. از آنجایی که نشتی متقابل بین سیم‌پیچی‌های ثانویه و ثالثیه (X'_{23}) در مطالعات مدار حالت دائم اهمیتی ندارد، در روش‌های مرسوم تعیین پارامترهای ترانسفورماتور، مقدار این پارامتر ارائه نمی‌شود ولی در مطالعات مربوط به سوئیچینگ گذرای TWT این پارامتر مورد نیاز است [۴]. برای پرداختن به مسائل مطرح شده، در این مقاله پارامترهای مدار معادل دقیق تخمین زده خواهد شد. همچنین که در شکل (۳) نشان داده شده است پارامترهای مدار مغناطیس کنندگی (R_c, X_c) و پارامتر مربوط به نشتی متقابل بین ثانویه و ثالثیه (X'_{23}) در کنار سایر پارامترها آورده می‌شوند. برای تخمین همه این پارامترها فقط از آزمایش‌های مربوط به بار نامی ترانسفورماتور استفاده شده است. دقت پارامترهای برآورد شده برای شاخه سری مدار معادل در شکل (۳) اهمیت زیادی دارد چون این پارامترها تأثیر مستقیمی در محاسبات عملکرد ترانسفورماتور از قبیل بازده، تنظیم ولتاژ، تغییر دمای سیم‌پیچی و ... دارند. با توجه به نکات بیان شده، واضح است که تخمین پارامترهای TWT، هم به ساختار فیزیکی مدار ترانسفورماتور و هم به شرایط عملکرد واقعی وابسته است. بنابراین به یک ابزار تخمین پارامتر دقیقی نیاز داریم تا با استفاده سیگنال‌های بدست آمده از ترانسفورماتور تحت بار و با استفاده از تابع هدف مناسبی، پارامترهای مورد نظر ترانسفورماتور تخمین زده شوند.

تابع هدف برای برآورد پارامترهای TWT

تابع هدف لازم که برای تخمین پارامترها استفاده می‌شود به شکل زیر به دست می‌آید. ابتدا امیدانس‌های ثانویه و ثالثیه به سمت اولیه ارجاع داده می‌شوند:

$$Z_1 = r_1 + jx_1 \quad (1)$$

$$Z'_2 = r'_2 + jx'_2 + R_{i2} \quad (2)$$

$$Z'_3 = r'_3 + jx'_3 + R_{i3} \quad (3)$$

از روی رابطه مربوط به ادمیتانس مغناطیس کنندگی (۴)، امپدانس مغناطیس کنندگی (۵) شاخه موازی به دست می آید.

$$Y_c = \frac{1}{R_c} - \frac{j}{X_c} \quad (۴) \quad Z_c = \frac{1}{Y_c} \quad (۵)$$

مطابق رابطه (۶) امپدانس معادل بین ثانویه و تاثیر ارجاع داده شده به سمت اولیه به دست می آید:

$$Z'_{23} = x'_{23} + \left(\frac{Z'_2 Z'_3}{Z'_2 + Z'_3} \right) \quad (۶)$$

بنابراین مقدار امپدانس معادل تخمین زده شده ارجاع شده به سمت اولیه از رابطه (۷) به دست خواهد آمد.

$$Z_{1,est} = Z_1 + \left(\frac{Z'_{23} Z_c}{Z'_{23} + Z_c} \right) \quad (۷)$$

رابطه (۸) و (۹) به ترتیب، مقادیر تخمین زده شده ولتاژ اولیه و توان ورودی ترانسفورماتور را نشان می دهند.

$$V_{1,est} = Z_{1,est} I_1 \quad (۸)$$

$$P_{1,est} = P_{core} + P_{cu,1} + P_{cu,2} + P_{cu,3} + P_2 + P_3 \quad (۹)$$

$$P_{1,est} = \frac{E_1^2}{R_C} + (I_1)^2 (r_1) + (I'_2)^2 (r'_2) + (I'_3)^2 (r'_3) + \dots + (I'_2)^2 (R'_{L2}) + (I'_3)^2 (R'_{L3}) \quad (۱۰)$$

همه پارامترهای امپدانس مدار معادل ترانسفورماتور (بجز مقادیر مربوط به مقاومت های بار) که در شکل (۳) نشان داده شده است باید با کمیته شدن مقدار تابع هدف معادله (۱۱) تخمین زده شوند.

$$f_{obj}(r_1, x_1, x'_{23}, r'_2, x'_2, r'_3, x'_3, R_C, X_C) = f_1'^2 + f_2'^2 \quad (۱۱)$$

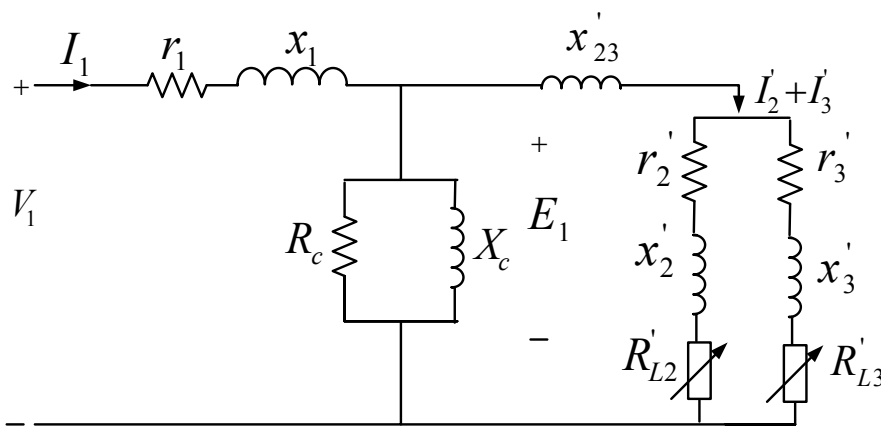
در رابطه (۱۱) مقادیر f_1 و f_2 به ترتیب از روابط (۱۲) و (۱۳) به دست می آیند.

$$f_1 = \left(\frac{V_{1,mea} - V_{1,est}}{V_{1,mea}} \right) 100 \quad (۱۲)$$

$$f_2 = \left(\frac{P_{1,mea} - P_{1,est}}{P_{1,mea}} \right) 100 \quad (۱۳)$$

داده‌های مورد استفاده برای تخمین پارامترها

برای مطالعه موردی از اطلاعات ترانسفورماتوری با مقادیر نامی 5 kVA ، 220 V و 50 Hz استفاده می‌شود. تخمین پارامترهای TWT با استفاده از مقادیر به دست آمده از آزمایش بار کامل (ولتاژ تغذیه، توان ورودی، جریان‌های اولیه، ثانویه و ثالثیه و امپدانس بار) انجام می‌شود. در این مقاله ضریب توان برابر واحد در نظر گرفته می‌شود. سیگنال‌های اندازه‌گیری شده در بار نامی ترانسفورماتور در جدول (۱) ارائه شده‌اند. پارامترهای به دست آمده از آزمون‌های OC و SC به همراه بازده و تنظیم ولتاژ حاصل از عملکرد ترانسفورماتور در بار کامل در جدول (۲) ارائه شده‌اند. از آنجاییکه نشستی متقابل بین سیم پیچی‌های ثانویه و ثالثیه (x'_{23}) در روش‌های مرسوم تعیین پارامترهای ترانسفورماتور بدست نمی‌آید، مقدار این پارامتر در جدول (۲) ارائه نشده است [۴].



شکل ۳: مدار معادل دقیق TWT

جدول ۱: اطلاعات آزمون بارداری TWT در فرکانس 50 Hz و ولتاژ اعمالی 220 V

تنظیم ولتاژ (%)	بازده (%)	$P_3 (W)$	I_3	V_3'	$P_2 (W)$	I_2	V_2'	$P_1 (W)$	$I_1 (A)$	بار (درصد)
۷,۰۹	۹۳,۶۵	۲۲۴۰	۱۱,۰۰	۲۰۴,۴	۲۲۵۵	۱۱,۰۵	۲۰۴,۴	۴۸۰۰	۲۲,۱۰	۱۰۰

جدول ۲: پارامترهای اندازه‌گیری شده از آزمون‌های (OC) و (SC) و عملکرد

ترانسفورماتور در بار کامل

تنظیم ولتاژ (%)	بازده (%)	$X_c (\Omega)$	$R_c (\Omega)$	$x'_3 (\Omega)$	$r'_3 (\Omega)$	$x'_2 (\Omega)$	$r'_2 (\Omega)$	$x'_{23} (\Omega)$	$x_2 (\Omega)$	$r_2 (\Omega)$	پارامترها
۶.۷	۹۳.۰۵	۲۶۳.۳	۱۰۵۸	۰.۰۵۱۷	۰.۶۴۰۰	۰.۲۷۹۶	۰.۵۷۰۰	---	۰.۳۹۱۴	۰.۳۰۷۳	مقادیر حاصل از آزمون‌های (OC) و (SC)
۷.۰۹	۹۳.۶۵	--	--	--	--	--	--	--	--	--	عملکرد TWT در بار کامل

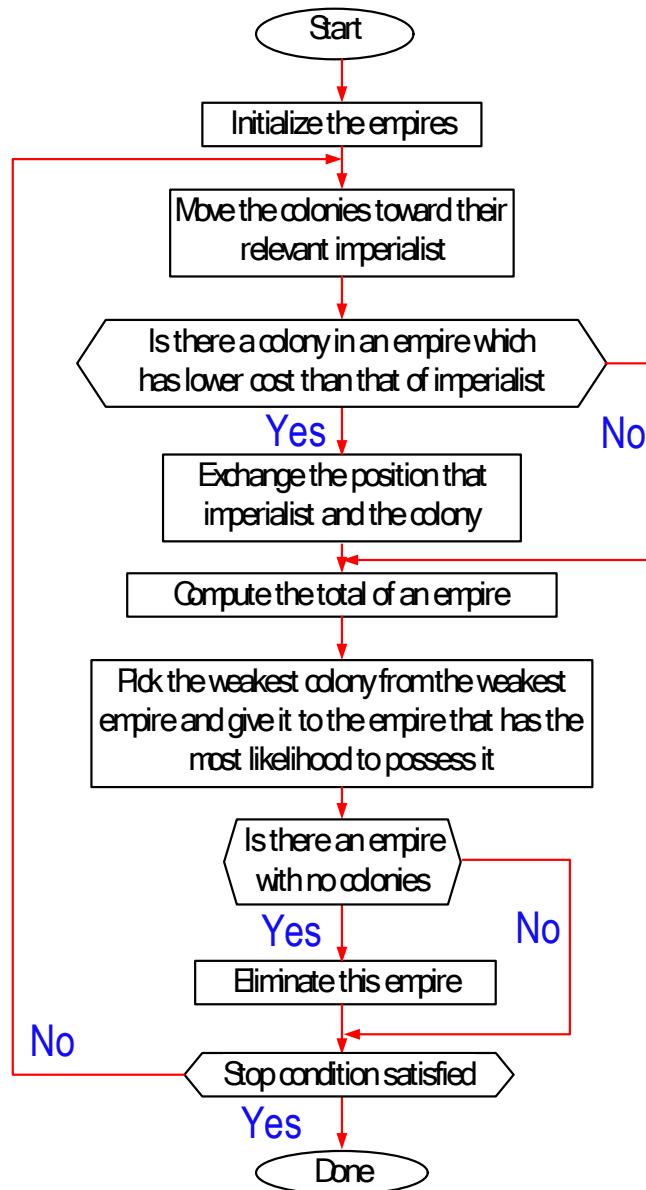
الگوریتم تکاملی رقابت استعماری (ICA)

الگوریتم رقابت استعماری از مدل‌سازی ریاضی رقابت‌های امپریالیستی الهام گرفته شده است [۵].
فلوچارت این الگوریتم در شکل (۴) نشان داده شده است.

این الگوریتم با تعدادی جمعیت اولیه شروع می‌شود، هر عنصر جمعیت یک کشور نامیده می‌شوند. کشورها به دو دسته استعمارگر و مستعمره تقسیم می‌شوند. در این الگوریتم قدرت یک امپراتوری بصورت مجموع قدرت کشور استعمارگر و درصدی از قدرت میانگین مستعمرات آن تعریف می‌شود. در این الگوریتم، رقابت استعماری موجب تضعیف و از بین رفتن امپریالیسم‌های ضعیف می‌شود که در نهایت با باقی ماندن تنها یک امپراطوری، الگوریتم به نقطه بهینه رسیده و ادامه فرایند متوقف می‌شود. در بهینه‌سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه بر حسب متغیرهای مسئله است. در یک مسئله بهینه‌سازی N_{var} بعدی، هر کشور، یک آرایه $1 \times N_{var}$ است. این آرایه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Country} = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}] \quad (14)$$

آرایه‌های هر کشور، اعدادی حقیقی هستند. در این مقاله هر یک از این آرایه‌ها نشان‌دهنده پارامترهای مختلف ترانسفورماتور می‌باشند. برای شروع الگوریتم باید تعدادی از این کشورها (به تعداد کشورهای اولیه الگوریتم) ایجاد شوند. بنابراین ماتریس اولیه کل کشورها به صورت تصادفی تشکیل می‌شود.



شکل ۴: فلوجارت الگوریتم ICA

$$\begin{aligned} \text{COUNTRYS} = & \\ & [\text{country}_1 \\ & \text{country}_2 \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & \text{country}_{N_{\text{country}}}] \end{aligned} \quad (15)$$

هزینه هر کشور از رابطه (۱۶) به دست می آید.

$$\text{cost}_i = f(\text{country}_i) = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{\text{var}}}) \quad (16)$$

به N_{imp} تعداد از بهترین اعضای جمعیت اولیه به عنوان امپریالیسم انتخاب می شوند. باقی کشورها متناسب با قدرت امپریالیسمها بین آنها تقسیم می شوند. برای انجام این کار با داشتن هزینه همه امپریالیسمها، هزینه نرمالیزه آنها را به صورت رابطه (۱۷) بدست می آوریم.

$$C_n = \max \{c_i\} - c_n \quad (17)$$

در این رابطه c_n هزینه امپریالیست n ام، $\max \{c_i\}$ ، بیشترین هزینه میان امپریالیستها و C_n نیز هزینه نرمالیزه شده امپریالیست n ام است. هر امپریالیستی که دارای هزینه بیشتری باشد (امپریالیسم ضعیف تری باشد) دارای هزینه نرمالیزه کمتری خواهد بود. با داشتن هزینه نرمالیزه، قدرت نسبی نرمالیزه‌ی هر امپریالیست، به صورت رابطه (۱۸) محاسبه شده و بر مبنای آن، کشورهای مستعمره بین امپریالیسمها تقسیم می شوند.

$$p_n = \left| \frac{C_n}{\sum_{i=1}^{N_{\text{imp}}} C_i} \right| \quad (18)$$

از روی قدرت نسبی نرمالیزه‌ی هر امپریالیسم، تعداد کشورهای هر کدام از آنها از رابطه (۱۹) به دست می آید:

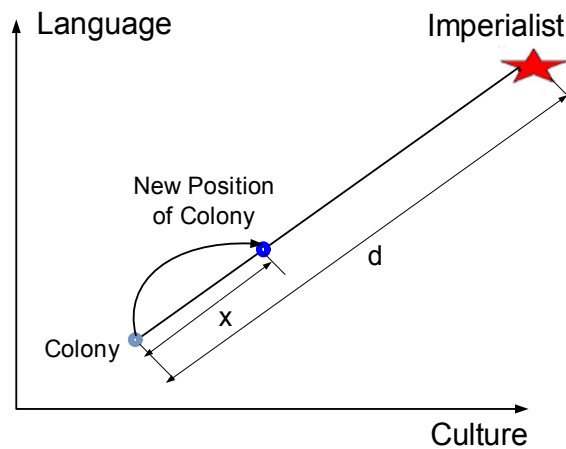
$$N.C_n = \text{round} \{p_n \cdot (N_{\text{col}})\} \quad (19)$$

در رابطه (۱۹) $N.C_n$ تعداد اولیه مستعمرات یک امپراطوری و N_{col}

نیز تعداد کل کشورهای مستعمره موجود در جمعیت کشورهای اولیه است. با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوری‌ها، الگوریتم رقابت استعماری شروع می‌شود. روند تکامل در یک حلقه قرار دارد که تا برآورده شدن یک شرط توقف ادامه می‌یابد. همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، در الگوریتم رقابت استعماری، کشور امپریالیست، کشور مستعمره را در راستای اهداف خاصی به سمت خود جذب می‌کند [۶]. کشور مستعمره (colony)، به اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر (Imperialist) حرکت کرده و به موقعیت جدید (New Position of Colony) ، کشانده می‌شود. فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده می‌شود. x نیز عددی تصادفی با توزیع یکنواخت است.

$$x \approx U(0, \beta \times d) \quad (20)$$

در این رابطه β عددی بزرگتر از یک و نزدیک به ۲ انتخاب می‌شود.



شکل ۵: شمای کلی حرکت مستعمرات به سمت امپریالیست

قدرت یک امپراطوری شامل قدرت کشور استعمارگر به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن می‌باشد. بدین ترتیب برای هزینه کل یک امپراطوری داریم:

$$T.C._n = \cos t(imperialist_n) + \dots \quad (21)$$

$$\dots \zeta _ mean\{Cost(colonies _ of _ empire)_n\}$$

در این رابطه $T.C_n$ هزینه کل امپراطوری n ام و K عددی مثبت است که معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می شود.

در فرایند رقابت های امپریالیستی، امپراطوری های قوی به دنبال جذب مستعمرات ضعیف امپراطوری های ضعیف هستند مستعمرات مذکور لزوماً توسط قویترین امپراطوری تصاحب نمی شوند، بلکه امپراطوری های قویتر، احتمال تصاحب بیشتری دارند. برای مدلسازی رقابت میان امپراطوری ها برای تصاحب مستعمرات، ابتدا احتمال تصاحب هر امپراطوری (که متناسب با قدرت آن امپراطوری است)، را با در نظر گرفتن هزینه کل امپراطوری محاسبه می کنیم. ابتدا از روی هزینه کل امپراطوری، هزینه کل نرمالیزه شده آن را تعیین می کنیم.

$$N.T.C_n = \max \{T.C_i\} - T.C_n \quad (22)$$

در این رابطه $T.C_n$ و $N.T.C_n$ به ترتیب هزینه کل و هزینه کل نرمالیزه شده مربوط به امپراطوری n ام است. هر امپراطوری که $T.C_n$ کمتری داشته باشد $N.T.C_n$ بیشتری خواهد داشت. با داشتن هزینه کل نرمالیزه شده امپراطوری ها، در رقابت بین امپریالیست ها، احتمال (قدرت) تصاحب مستعمره ها از رابطه (23) به دست می آید:

$$p_{p_n} = \left| \frac{N.T.C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} N.T.C_i} \right| \quad (23)$$

با داشتن احتمال تصاحب هر امپراطوری، برای اینکه مستعمرات مذکور را به صورت تصادفی ولی با احتمال وابسته به قدرت هر امپراطوری، بین امپراطوری ها تقسیم کنیم، بردار P را از روی مقادیر احتمال فوق، به صورت رابطه (24) در نظر می گیریم:

$$P = [p_{p_1}, p_{p_2}, p_{p_3}, \dots, p_{p_{N_{imp}}}] \quad (24)$$

سپس بردار تصادفی R ، همسایز با بردار P را تشکیل می دهیم. آرایه های این بردار، اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه $[0, 1]$ می باشند.

$$R = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{imp}}] \quad (25)$$

$$r_1, r_2, r_3, \dots, r_{N_{imp}} \approx U(0, 1)$$

سپس بردار D را به صورت رابطه (26) تشکیل می دهیم.

$$D = P - R = [D_1, D_2, D_3, \dots, D_{N_{imp}}] = \dots [p_{p_1} - r_1, p_{p_2} - r_2, p_{p_3} - r_3, \dots, p_{p_{N_{imp}}} - r_{N_{imp}}] \quad (26)$$

با داشتن بردار D ، مستعمرات به امپراطوری‌هایی تعلق می‌گیرند که اندیس مربوط به آن‌ها در بردار D بزرگتر از بقیه می‌باشد. امپراطوری که بیشترین احتمال تصاحب را داشته باشد، اندیس مربوط به آن در بردار D ، با احتمال بیشتری، بیشترین مقدار را خواهد داشت. با تصاحب مستعمره توسط یکی از امپراطوری‌ها، عملیات این مرحله از الگوریتم نیز به پایان می‌رسد. در جریان رقابت‌های امپریالیستی، امپراطوری‌های ضعیف به تدریج سقوط کرده و مستعمراتشان به دست امپراطوری‌های قوی‌تر می‌افتد. یک امپراطوری زمانی حذف شده تلقی می‌شود که مستعمرات خود را از دست داده باشد.

الگوریتم مورد نظر تا برآورده شدن یک شرط همگرایی، و یا تا اتمام تعداد کل تکرارها، ادامه می‌یابد. پس از مدتی، همه امپراطوری‌ها سقوط کرده و تنها یک امپراطوری خواهیم داشت و بقیه کشورها تحت کنترل این امپراطوری واحد قرار می‌گیرند. در این دنیای ایده‌آل جدید، همه‌ی مستعمرات توسط یک امپراطوری واحد اداره می‌شوند و موقعیت‌ها و هزینه‌های مستعمرات برابر با موقعیت و هزینه کشور امپریالیست است. در این دنیای جدید، نه تنها میان مستعمرات، بلکه میان مستعمرات و کشور امپریالیست نیز تفاوتی وجود ندارد. به عبارت دیگر، همه‌ی کشورها در عین حال، هم مستعمره هستند و هم استعمارگر. در چنین شرایطی رقابت امپریالیستی به پایان رسیده و به عنوان یکی از شروط توقف، چرخه‌ی انجام الگوریتم متوقف می‌شود.

۳.۳. پارامترهای الگوریتم تکاملی رقابت استعماری مورد استفاده برای تخمین پارامترهای ترانسفورماتور

تخمین پارامترهای TWT، یک مسئله بهینه‌سازی با ۹ پارامتر است. در مقاله حاضر، برای تخمین پارامترها از اطلاعات بار کامل ترانسفورماتور استفاده می‌شود. تابع برازش با رابطه (۱۱) داده شده است. برای تخمین مقادیر پارامترهای TWT کافیست f_{obj} در رابطه (۱۱) مینیمم شود. الگوریتم با ایجاد یک جمعیت اولیه (countries) و محاسبه هزینه هر یک از کشورها آغاز می‌شود. در این مقاله تعداد ۱۰۰ کشور اولیه در نظر گرفته شده که از این میان ۶ کشور به عنوان امپریالیست انتخاب شده‌اند تا امپراطوری‌های اولیه را شکل دهند. مقادیر β و γ هم به ترتیب ۲ و ۰.۰۵ در نظر گرفته شده‌اند. نتایج حاصل از الگوریتم CIA به همراه نتایج به دست آمده از نتایج روش اندازه‌گیری

مستقیم پارامترها در جدول (۴) ارائه شده‌اند. در این جدول نتایج مربوط به تنظیم ولتاژ و بازده در بار نامی ترانسفورماتور نیز آورده شده است. از نتایج مشاهده می‌شود که نتایج CIA به نتایج بدست آمده از بار کامل و مقادیر حاصل از آزمون‌های (OC) و (SC) خیلی نزدیک است و این نشان دهنده توانایی بالای این الگوریتم برای تخمین پارامترهای ماشین‌های الکتریکی است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله از الگوریتم تکاملی رقابت استعماری برای تخمین پارامترهای مدار معادل دقیق TWT استفاده شده است. در این روش برخلاف روش اندازه‌گیری مستقیم پارامترها، مؤلفه مربوط به کوپلینگ متقابل بین سیم پیچی‌های ثانویه و ثالثیه که در مطالعات حالت گذرا مورد نیاز می‌باشد نیز به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان دهنده توانایی بالای الگوریتم رقابت استعماری برای تخمین پارامترهای ترانسفورماتور است.

جدول ۴: پارامترهای به دست آمده از آزمون‌های (OC) و (SC)، عملکرد ترانسفورماتور در بار کامل و پارامترهای تخمین زده شده با استفاده از الگوریتم

ICA

پارامترها	$r_2 (\Omega)$	$x_2 (\Omega)$	$x'_{23} (\Omega)$	$r'_2 (\Omega)$	$x'_2 (\Omega)$	$r'_3 (\Omega)$	$x'_3 (\Omega)$	$R_c (\Omega)$	$X_c (\Omega)$	بازده (%)	تنظیم ولتاژ (%)
مقادیر حاصل از آزمون‌های (OC) و (SC)	۰,۳۰۷۳	۰,۳۹۱۴	---	۰,۵۷۰۰	۰,۲۷۹۶	۰,۶۴۰۰	۰,۰۵۱۷	۱۰۵۸	۲۶۳,۳	۹۳,۰۵	۶,۷
عملکرد ترانسفورماتور در بار کامل	---	---	---	---	---	---	---	---	---	۹۳,۶۵	۷,۰۹
ICA	۰,۲۶۵۶	۰,۲۸۶۲	۰,۳۴۶۱	۰,۵۲۵۶	۰,۲۹۰۵	۰,۵۰۸۲	۰,۳۹۵۷	۹۸۲,۴	۲۶۷,۱	۹۴,۵	۷,۲

* فهرست علائم و اختصارات مربوط به ترانسفورماتور تک فاز سه سیم پیچه

r_1 : مقاومت سیم‌پیچ اولیه

x_1 : راکتانس نشتی سیم‌پیچ اولیه

r'_2 : مقاومت سیم‌پیچ ثانویه ارجاع داده شده به سمت اولیه

x'_2 : راکتانس نشتی سیم‌پیچ ثانویه ارجاع داده شده به سمت اولیه

r'_3 : مقاومت سیم پیچ ثالثیه ارجاع داده شده به سمت اولیه
 x'_3 : راکتانس نشتی سیم پیچ ثالثیه ارجاع داده شده به سمت اولیه
 x'_{23} : راکتانس نشتی متقابل بین سیم پیچ های ثانویه و ثالثیه ارجاع داده شده به سمت اولیه
 R_c : مقاومت معادل تلفات هسته
 X_c : راکتانس مغناطیس کنندگی
 R'_{L2}, R'_{L3} : مقاومت بار ثانویه و ثالثیه ارجاع داده شده به سمت اولیه
 Z_3, Z_2, Z_1 : امپدانس های اولیه ، ثانویه و ثالثیه
 Z'_2, Z'_3 : امپدانس های ثانویه و ثالثیه ارجاع داده شده به سمت اولیه
 V'_3, V'_2, V_1 : ولتاژهای اندازه گیری شده اولیه ، ثانویه و ثالثیه ارجاع داده شده به سمت اولیه
 I'_3, I'_2, I_1 : جریان های اندازه گیری شده اولیه ، ثانویه و ثالثیه ارجاع داده شده به سمت اولیه
 E_1 : ولتاژ دو سر سیم پیچ مغناطیس کنندگی
 I_m : جریان عبوری از سیم پیچ مغناطیس کنندگی
 P_3, P_2, P_1 : مقادیر توان اندازه گیری شده در سمت اولیه ، ثانویه و ثالثیه
 $P_{cu,3}, P_{cu,2}, P_{cu,1}$: مولفه های مربوط به تلفات مسی اولیه ، ثانویه و ثالثیه
 P_{core} : تلفات هسته

مراجع و منابع

- [1]. Brandwajn, V., Dommel, I.I., 1982. Matrix representation of three phase n-winding transformer for steady state and transient studies. IEEE Transaction on Power Apparatus and System 101(6), 1369-1378.
- [2]. Chen, X., Vencata, S.S., 1997. A three-phase three-winding Core-type transformer model for low-frequency transient studies. IEEE Transaction on Power Delivery 12(2), 775-781.
- [3]. Mork, B.A., 1999. Five-Legged wound-core transformer model: derivation, parameters, implementation and evaluation. IEEE Transaction on Power Delivery 14(4), 1519-1526.
- [4]. Oommen, M.P., Kohler, J.L., 1999. Effect of three winding transformer models on the analysis and protection of mine power systems. IEEE Transaction of Industry Application 35(3), 670-674.

- [5]. Esmail Atashpaz Gargari, Farzad Hashemzadeh, Caro Lucas, Designing MIMO PID Controller using Colonial Competitive Algorithm: Applied to Distillation Column Proces. 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2008) . pp 1929 – 1934
- [6]. Esmail Atashpaz Gargari & Caro Lucas, Imperialist Competitive Algorithm: An Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition. 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007) . pp 4661 – 4667

هر آنچه مربوط به ترانسفورماتور است



خرید و فروش ترانس‌های نو و کارکرده
ساخت، تعمیر و خدمات فنی
لوازم یدکی و متعلقات

☎ ۰۲۱-۴۴۲۰۲۷۲۱

📞 ۰۹۱۲-۵۴۷۹۶۵۹

🌐 www.arkatrans.ir

دارای گواهی تست و ضمانت یکساله