

ارائه یک روش جدید حذف هارمونیک انتخابی در اینورتر منبع ولتاژ با استفاده از

الگوریتم رقابت استعماری

حمیدرضا محمدی^۱، صابر فلاحتی^۲، مهدی زراعتی^۳

۱- استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی - دانشگاه کاشان - کاشان - ایران

mohammadi@kashanu.ac.ir

۲- کارشناس ارشد، گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی - دانشگاه کاشان - کاشان - ایران

s_falahati@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی - دانشگاه کاشان - کاشان - ایران

zeraatimahdi@gmail.com

چکیده: در این مقاله یک الگوریتم تکاملی قابل اطمینان و مؤثر به منظور ارائه الگوی کلیدزنی حذف انتخابی هارمونیک (SHE)^۱ پیشنهاد می‌گردد. این روش قادر خواهد بود تعداد درخور توجهی هارمونیک مرتبه پایین ولتاژ خط، در خروجی اینورتر با مدولاسیون پهنای پالس (PWM) را حذف نماید. تعیین الگوی کلیدزنی برای حذف انتخابی هارمونیک‌های مرتبه پایین یک اینورتر PWM مستلزم حل یک دستگاه معادلات غیرخطی است. در این مقاله از الگوریتم رقابت استعماری (ICA)^۲ برای حل معادلات غیرخطی به دست آمده برای حذف هارمونیک‌های انتخابی استفاده شده است. برای حذف هارمونیک‌های مراتب بالا روش‌های متعددی وجود دارد، اما بزرگترین چالش، حذف هارمونیک‌های مراتب پایین است که با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری بدون استفاده از ترانسفورماتور به طور موفقیت‌آمیزی حاصل می‌شود. برای تایید کارایی این الگوریتم، شبیه‌سازی‌هایی با استفاده از برنامه MATLAB صورت گرفته و در انتها نتایج حاصله با نتایج حاصل از اعمال الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که هارمونیک‌های تا مرتبه سیزدهم به طور کامل حذف می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: اینورتر، هارمونیک، الگوریتم رقابت استعماری (ICA)، حذف انتخابی هارمونیک‌ها.

۱- مقدمه

می‌شوند. از جمله این تجهیزات می‌توان به درایوهای

سرعت متغیر و مبدل‌های الکترونیک قدرت اشاره نمود.

مدولاسیون پهنای پالس، موضوع بسیاری از تحقیقات

در دهه‌های اخیر بوده است. انواع گوناگونی از مدولاسیون

پهنای پالس که با کاربردهای صنعتی ارتباط دارند، به طور

وسیع مورد بحث قرار گرفته است [۱-۳]. مرتبه

هارمونیک‌های ایجاد شده به تعداد پالس‌های یکسوساز

مورد استفاده در مدار وابسته خواهد بود و با استفاده از

رابطه (۱) قابل محاسبه است:

$$h = (n \times p) \pm 1 \quad (1)$$

در سالیان اخیر با توجه به لزوم افزایش بهره‌وری و

راندمان در صنایع مختلف، کاربرد تجهیزات الکترونیک

قدرت به سرعت افزایش یافته است. این تجهیزات به علت

داشتن مشخصه غیرخطی باعث کشیده شدن جریان

غیرسینوسی و در نتیجه، تزریق هارمونیک به شبکه قدرت

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۰/۹/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۲/۵

نام نویسنده مسئول: صابر فلاحتی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - کاشان - کیلومتر ۶ جاده راوند

دانشگاه کاشان - دانشکده مهندسی - گروه مهندسی برق

استفاده می‌شود. نتایج حاصل از این روش، کارایی بسیار مطلوب آن را برای حذف هارمونیک‌های مرتبه پایین نشان می‌دهد. برای نشان دادن کارایی این روش، نتایج حاصله از آن با نتایج روش الگوریتم ژنتیک مقایسه شده‌اند.

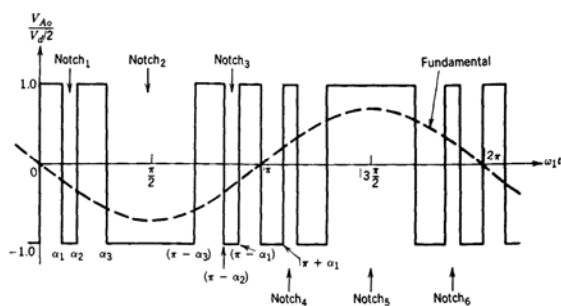
قسمت‌های مختلف این مقاله به شرح زیر است: در بخش دوم، تکنیک کلیدزنی SHE-PWM معرفی می‌شود؛ در بخش سوم، مراحل مختلف الگوریتم رقابت استعماری و نحوه عملکرد آن بررسی می‌شود؛ بخش چهارم به نتایج شبیه‌سازی و مقایسه بین روش پیشنهادی و الگوریتم ژنتیک مربوط است و در نهایت، در بخش پنجم نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

۲- تکنیک کلیدزنی PWM-SHE

با در نظر گرفتن شکل (۱) ضرایب فوریه الگوی کلیدزنی PWM-SHE برای ولتاژهای خط به زمین در یک سیستم سه‌فاز به صورت معادله (۲) محاسبه می‌شوند [۱۲]:

$$a_n = \frac{4}{n\pi} \left[-1 - 2 \sum_{k=1}^N (-1)^k \cos(n\alpha_k) \right] \quad (2)$$

$$b_n = 0$$



شکل (۱): الگوی کلیدزنی SHE

در معادله فوق α_1 تا α_N باید مشخص گردند. از مساوی قرار دادن دامنه اصلی α_1 با یک مقدار مشخص (M) و دامنه $(N-1)$ مولفه هارمونیک دیگر مساوی با صفر، N معادله به دست آمده، از حل آنها N متغیر مورد نظر (α_1 تا α_N) به دست خواهند آمد.

که در آن n یک عدد صحیح است و p تعداد پالس‌های یکسوساز است. برای یک یکسوساز شش پالسه، هارمونیک‌های مشخصه، پنجم، هفتم، یازدهم و سیزدهم و ... خواهند بود.

با اعمال روش‌های کنترلی مناسب، هارمونیک‌های نامطلوب مرتبه پایین یک موج مربعی را می‌توان حذف و مؤلفه ولتاژ اصلی را کنترل نمود که این روش با عنوان حذف انتخابی هارمونیک (SHE) شناخته می‌شود. در این روش، شکاف‌هایی بر روی موج مربعی در زوایای از پیش تعیین شده برای حذف مولفه‌های هارمونیک موثر و همچنین، کنترل مؤلفه اصلی ولتاژ، ایجاد می‌شوند.

حذف هارمونیک‌های مرتبه پایین با استفاده از PWM برنامه‌ریزی شده، طیف خروجی با کیفیت بالا تولید می‌کند، که این عمل، باعث کاهش ریپل جریان و نهایتاً بهبود عملکرد کلی سیستم خواهد شد. میزان کارایی یک مبدل قدرت (یکسوساز/اینورتر) تا حد زیادی وابسته به روش مدولاسیون پهنای پالسی وابسته است که استفاده می‌شود. تکنیک‌های PWM برنامه‌ریزی شده مانند حذف انتخابی هارمونیک‌ها، یک تابع هدف را بهینه می‌کنند. تکنیک PWM بهینه شده برای کاهش اعوجاج هارمونیک در اینورترهای فرکانس بالا استفاده می‌شود [۴-۶]. محبوبیت الگوریتم‌های بهینه‌سازی در فعالیت‌های طراحی مهندسی به طور روزافزونی در حال افزایش است که در آنها هدف، ماکزیمم یا مینیمم کردن یک تابع است.

در روش SHE برای مینیمم کردن تابع هدف از روش‌های ریاضی سنتی، مانند CGD^[۷] و روش نیوتن رافسون (NR^[۸]) استفاده می‌شده است. این روش‌ها برای دستیابی به هدف مورد نظر به مقادیر اولیه نیاز داشته، ممکن است سبب تولید مینیمم محلی و دستیابی به الگویی نامطلوب گردد. همچنین، در سالیان اخیر از الگوریتم‌های تکاملی، از جمله الگوریتم ژنتیک برای تعیین الگوی کلیدزنی اینورتر PWM-SHE استفاده شده است [۹-۱۱].

در این مقاله برای تعیین الگوی کلیدزنی حذف انتخابی هارمونیک‌ها، از روش جدید الگوریتم رقابت استعماری

مستعمرات آن بستگی دارد. مراحل مختلف الگوریتم رقابت استعماری در ادامه آمده است [۱۳]:

۳-۱- شکل دهی امپراتوری‌های اولیه

در بهینه‌سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه بر حسب متغیرهای مورد نظر مسأله است. یک آرایه از متغیرهای مسأله که باید بهینه شوند، ایجاد می‌شود. در الگوریتم ژنتیک این آرایه، کروموزوم و در الگوریتم رقابت استعماری، کشور نامیده می‌شود. در یک مسأله بهینه‌سازی با ابعاد N_{var} ، یک کشور، یک آرایه به طول $1 \times N_{var}$ است. این آرایه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{country} = [p_1, p_2, \dots, p_{N_{var}}]$$

که در آن $P_i : i = 1, 2, \dots, N_{var}$ متغیرهایی هستند که

باید بهینه شوند.

برای شروع الگوریتم، تعدادی کشور اولیه ($N_{country}$) ایجاد می‌شوند تا تعداد N_{imp} استعمارگر از بهترین اعضای این جمعیت انتخاب گردند. باقیمانده کشور (N_{col}) مستعمراتی را تشکیل می‌دهند که هر کدام به یک امپراتوری تعلق دارند. برای تقسیم مستعمرات اولیه بین استعمارگرها، به هر کدام از آنها، تعدادی از مستعمرات (متناسب با قدرت استعمارگر)، نسبت داده می‌شوند.

۳-۲- سیاست جذب: حرکت مستعمره‌ها به سمت استعمارگر

سیاست همگون‌سازی (جذب) با هدف تحلیل فرهنگ و ساختار اجتماعی مستعمرات در فرهنگ حکومت مرکزی انجام می‌گردد. در راستای این سیاست، کشور مستعمره، به اندازه x واحد در جهت خط واصل مستعمره به استعمارگر، حرکت کرده و به موقعیت جدید، کشانده می‌شود. x عددی تصادفی با توزیع یکنواخت (و یا هر توزیع مناسب دیگر) است. اگر فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شود، معمولاً برای d داریم:

$$x \sim U(0, \beta \times d)$$

$$f_1(\alpha) = \frac{4}{\pi} [-1 - 2 \sum_{k=1}^n (-1)^k \cos(\alpha_k)] - M = \varepsilon_1$$

$$f_2(\alpha) = \frac{4}{5\pi} [-1 - 2 \sum_{k=1}^n (-1)^k \cos(5\alpha_k)] = \varepsilon_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$f_N(\alpha) = \frac{4}{N\pi} [-1 - 2 \sum_{k=1}^n (-1)^k \cos(n\alpha_k)] = \varepsilon_N$$

در معادلات بالا، M ضریب مدولاسیون دامنه و متغیرهای ε_1 تا ε_N دامنه نرمالیزه شده هارمونیک‌هایی هستند که باید حذف گردند. تابع هدف تکنیک PWM-SHE برای مینیمم کردن محتوای هارمونیک در ولتاژ خط اینورتر بوده و در معادله (۴) داده شده است.

$$f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_N) = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_N^2 \quad (۴)$$

معادله (۴) باید تحت محدودیت زیر قرار گیرد که به الگوی پالس متقارن موج مربعی مربوط است.

$$0 < \alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4 < \alpha_5 \dots \alpha_N < \frac{\pi}{2} \quad (۵)$$

در این روش انتظار می‌رود که مقادیر پاسخ α_1 و α_2 و α_3 و α_4 و α_5 ، هارمونیک‌های ۵، ۷، ۱۱ و ۱۳ را حذف نمایند.

۳- الگوریتم رقابت استعماری

همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک «کشور» نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (کشورهای با پایین‌ترین هزینه) به عنوان استعمارگر انتخاب می‌گردند. باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شود. همه مستعمرات بین استعمارگران بسته به قدرتشان تقسیم می‌شوند که قدرت هر کشور به طور معکوس متناسب با هزینه آن است. کشورهای استعمارگر همراه با مستعمرات خود امپراتوری‌ها را تشکیل می‌دهند. قدرت هر امپراتوری به قدرت کشور استعمارگر و

استعمارگری، حذف خواهد شد. این حذف شدن، به صورت تدریجی صورت می‌پذیرد؛ بدین معنی که به مرور زمان، امپراتوری‌های ضعیف، مستعمرات خود را از دست داده، امپراتوری‌های قویتر، این مستعمرات را تصاحب می‌کنند و بر قدرت خویش می‌افزایند.

۳-۶- سقوط امپراتوری‌های ضعیف

در جریان رقابت‌های استعمارگری، خواه ناخواه، امپراتوری‌های ضعیف به تدریج سقوط کرده، مستعمراتشان به دست امپراتوری‌های قویتر می‌افتد. شروط متفاوتی را می‌توان برای سقوط یک امپراتوری در نظر گرفت. در الگوریتم پیشنهاد شده، یک امپراتوری زمانی حذف شده تلقی می‌شود که مستعمرات خود را از دست داده باشد. روند کامل الگوریتم رقابت استعماری را می‌توان با فلوجارت شکل (۲) نشان داد. به منظور مقایسه فلوجارت GA نیز در شکل (۳) ارائه شده است.

۴- نتایج شبیه‌سازی

مدار قدرت سیستم درایو مبدل منبع ولتاژ در شکل (۴) نشان داده شده است. ولتاژ DC توسط یکسوساز منبع ولتاژ ۶ پالسه به دست می‌آید. یکسوساز از طریق لینک DC خازنی و سلفی به منبع ولتاژ متصل می‌گردد.

این مقاله روش جدیدی برای کاهش هارمونیک‌های ولتاژ خط در مبدل PWM بدون استفاده از ترانسفورماتور و از طریق ICA ارائه می‌دهد. ترانسفورماتور و یکسوساز ۱۲ پالسه در روش پیشنهادی حذف شده‌اند. هارمونیک‌های ۵ و ۷ و ۱۱ و ۱۳ هارمونیک‌های مشخصه‌ای هستند که در یکسوساز شش پالسه باید حذف گردند. رسیدن به این هدف از طریق تعیین الگوی کلیدزنی اینورتر سه‌فاز با استفاده از ICA حاصل می‌گردد. شبیه‌سازی‌ها در محیط برنامه Matlab انجام شده‌اند.

که در آن β عددی بزرگتر از یک و نزدیک به ۲ است. وجود ضریب $\beta \geq 1$ باعث می‌شود تا کشور مستعمره هنگام حرکت به سمت کشور استعمارگر، از جهت‌های مختلف به آن نزدیک شود. همچنین، در کنار این حرکت، یک انحراف زاویه‌ای کوچک نیز با توزیع یکنواخت به مسیر حرکت افزوده می‌شود.

۳-۳- انقلاب؛ تغییرات ناگهانی در موقعیت یک

کشور

در الگوریتم رقابت استعماری، انقلاب با جابه‌جایی تصادفی یک کشور مستعمره به یک موقعیت تصادفی جدید مدل‌سازی می‌شود. انقلاب از دیدگاه الگوریتمی باعث می‌شود کلیت حرکت تکاملی از گیر کردن در دره‌های محلی بهینگی نجات یابد که در بعضی موارد باعث بهبود موقعیت یک کشور شده، آن را به یک محدوده بهینگی بهتری می‌برد.

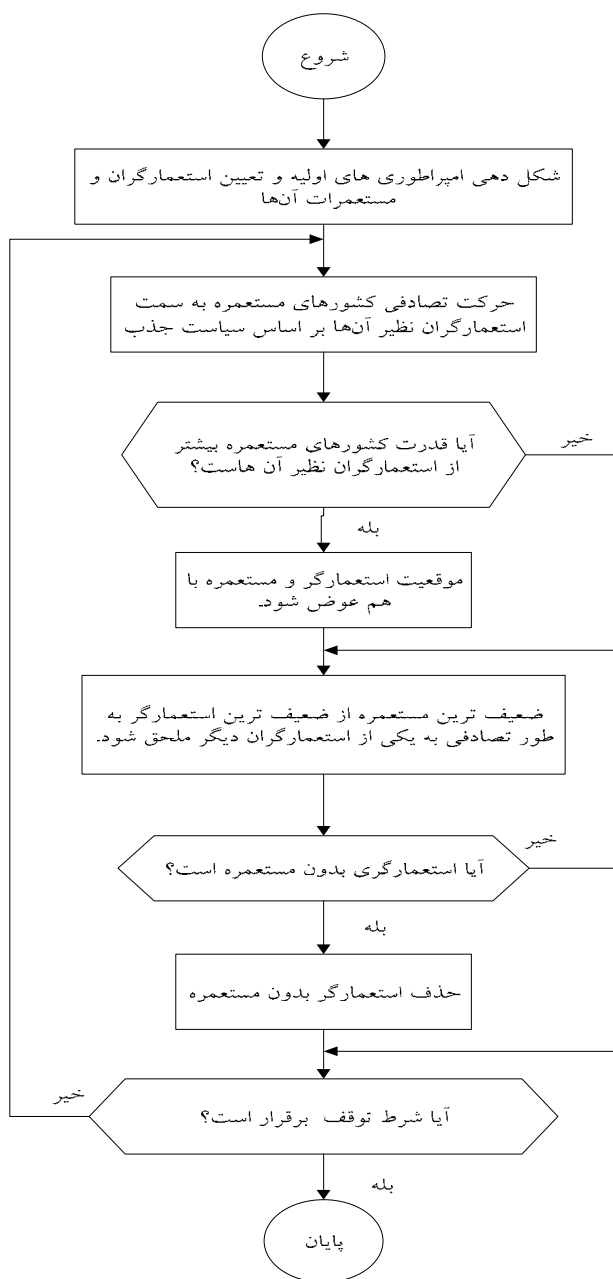
۴-۴- جابه‌جایی موقعیت مستعمره و استعمارگر

هنگام حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر، ممکن است برخی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از استعمارگر برسند (به نقاطی در تابع هزینه برسند که هزینه کمتری را نسبت به مقدار تابع هزینه در موقعیت استعمارگر، تولید می‌کنند). در این حالت، کشور استعمارگر و کشور مستعمره، جای خود را با همدیگر عوض کرده، الگوریتم با کشور استعمارگر در موقعیت جدید ادامه می‌یابد و این بار، این کشور استعمارگر جدید است که اعمال سیاست همگون‌سازی بر مستعمرات خود را شروع می‌کند.

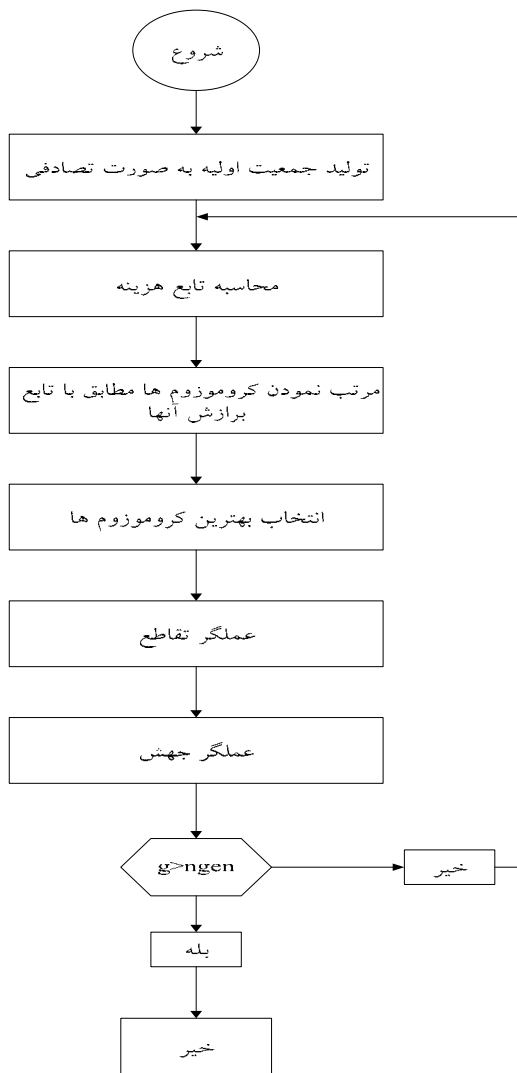
۳-۵- رقابت استعماری

قدرت یک امپراتوری به صورت قدرت کشور استعمارگر، به اضافه درصدی از قدرت کل مستعمرات آن تعریف می‌شود.

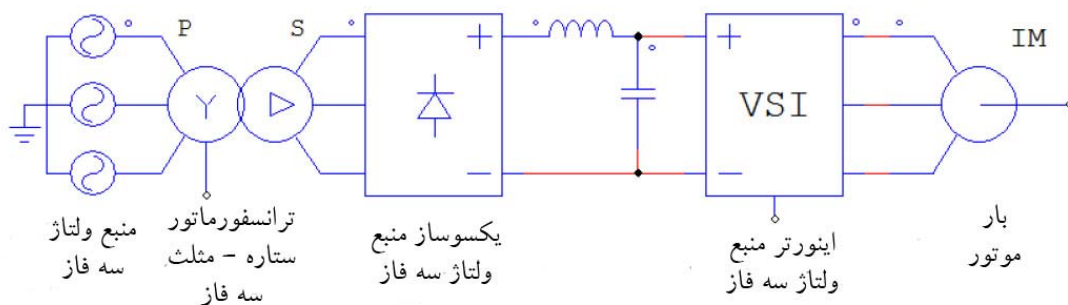
هر امپراتوری‌ای که نتواند بر قدرت خود بیفزاید و قدرت رقابت خود را از دست بدهد، در جریان رقابت‌های



شکل (۲): فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری



شکل (۳): فلوجارت الگوریتم ژنتیک



شکل (۴): مدار قدرت سیستم درایو مبدل منبع ولتاژ

جدول (۲): نتایج الگوریتم رقابت استعماری

Harmonic Order:	5	7	11	13
M=0.1	0.68	0.33	0.26	0.8
M=0.2	0.17	0.23	0.18	0.27
M=0.3	0.06	0.06	0.19	0.11
M=0.4	0.14	0.02	0.05	0.12
M=0.5	0.15	0.09	0.07	0.07
M=0.6	0.12	0.12	0.11	0.07
M=0.7	0.12	0.07	0.05	0.05
M=0.8	0.08	0.05	0.04	0.02
M=0.9	0.07	0.01	0.05	0.06

جدول (۳): نتایج الگوریتم ژنتیک

Harmonic Order:	5	7	11	13
M=0.1	17.66	23.65	26.05	10.3
M=0.2	0.77	7.17	5.5	1.99
M=0.3	1.01	0.16	0.37	0.82
M=0.4	0.3	0.17	0.11	0.62
M=0.5	0.17	0.2	0.22	0.11
M=0.6	0.05	1.69	1.18	0.41
M=0.7	0.32	0.24	0.29	0.35
M=0.8	0.41	0.31	0.16	0.1
M=0.9	0.24	0.36	0.14	0.3

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش موثر به منظور محاسبه زوایای کلیدزنی در اینورتر PWM-SHE از طریق روش الگوریتم رقابت استعماری پیشنهاد شد. این روش انجام کلیدزنی بهینه را بدون نیاز به محاسبات پیچیده انجام می‌دهد. با اعمال این روش در یک اینورتر به کار رفته در درایو یک موتور القایی سه‌فاز نتایج بسیار خوبی حاصل شده است. بر طبق نتایج شبیه‌سازی، هارمونیک‌های مشخصه اینورتر، ۵، ۷، ۱۱ و ۱۳ کاملاً به وسیله الگوریتم رقابت استعماری بدون استفاده از اتصالات ترانسفورماتور ظرفیت بالا حذف شدند.

با مقایسه نتایج حاصله با نتایج روش الگوریتم ژنتیک مشاهده شد که کارایی الگوریتم رقابت استعماری بسیار بهتر و دقیقتر است؛ ضمن اینکه سرعت همگرایی ICA بیشتر از GA بوده، در زمان کمتری زوایای کلیدزنی تعیین می‌گردد.

پس از حل پنج تابع غیرخطی معادلات (۳) به طور همزمان با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، پنج زاویه به دست می‌آیند. این روند برای ضرایب مدولاسیون دامنه متعددی از ۰/۱ تا ۰/۹ تکرار می‌شود. شکل (۵) خط سیر زوایای محاسبه شده برای الگوی کلیدزنی PWM-SHE پیشنهادی توسط ICA را نشان می‌دهد. پارامترهای مورد استفاده در ICA در ضمیمه آورده شده‌اند.

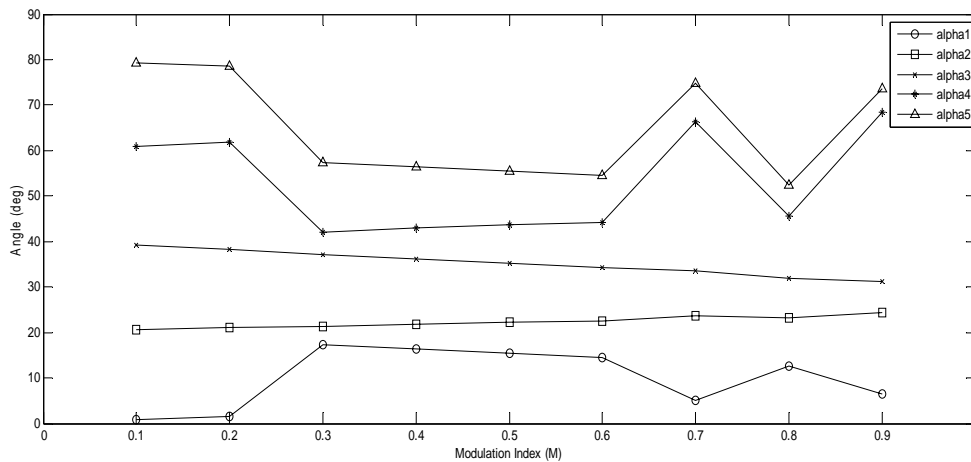
پس از به دست آوردن زوایای کلیدزنی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری، سیستم پیشنهادی توسط سیمولینک MATLAB/SIMULINK ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه هدف اصلی این مقاله تحلیل عملکرد اینورتر با استفاده از روش SHE مبتنی بر الگوریتم رقابت استعماری است، لذا برای ساده‌سازی در شبیه‌سازی، منبع ولتاژ سه‌فاز، ترانسفورماتور سه‌فاز و یکسوساز منبع ولتاژ سه‌فاز همراه با صافی خروجی آن، توسط یک منبع ولتاژ DC ۲۰۰ ولت جایگزین شده‌اند. بار متصل شده به اینورتر یک موتور القایی قفس سنجابی سه‌فاز است، که در آن از ترانسفورماتور ظرفیت بالا و یکسوساز ۱۲ پالس برای حذف هارمونیک‌های مرتبه پایین در رویکرد الگوریتم رقابت استعماری استفاده نشده است. پارامترهای موتور القایی در جدول (۱) داده شده‌اند.

شکل موج‌های ولتاژ خط به خط خروجی برای ضریب مدولاسیون $M=0.9$ با بار درایو موتور القایی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک به ترتیب در شکل‌های (۶) الف و ب نشان داده شده‌اند. طیف هارمونیک مربوط به این دو شکل موج در شکل (۷) الف و ب آورده شده است. به منظور مقایسه سرعت همگرایی دو الگوریتم منحنی تابع هزینه دو الگوریتم در شکل (۸) نشان داده شده است. می‌توان مشاهده نمود که ICA از GA به طور قابل ملاحظه‌ای سریعتر است.

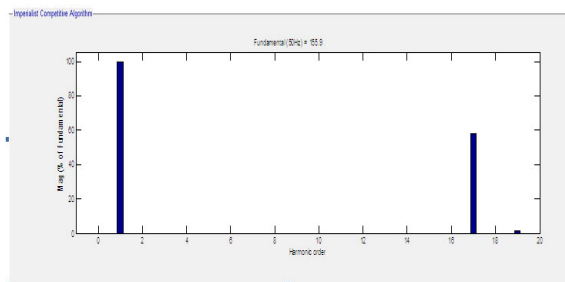
در جدول (۲) و (۳) به ترتیب نتایج حاصل از دو الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک خلاصه شده‌اند.

جدول (۱): پارامترهای موتور القایی

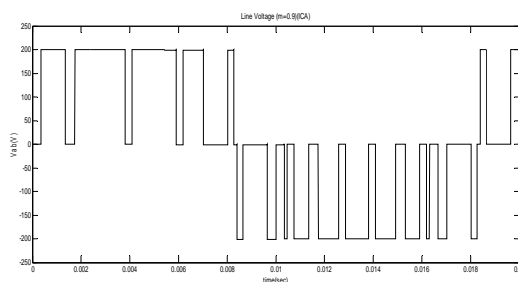
۲۰۰	ولتاژ (خط به خط)
hpr	توان نامی
Hz50	فرکانس
0.029Ω	مقاومت استاتور
0.226Ω	اندوکتانس استاتور
0.022Ω	مقاومت روتور
0.226Ω	اندوکتانس روتور
13.04Ω	اندوکتانس متقابل



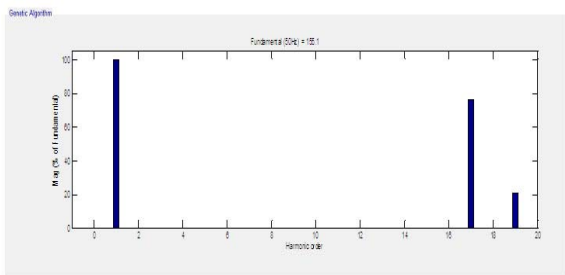
شکل (۵): مسیر زوایای کلیدزنی محاسبه شده از طریق روش کلیدزنی PWM-SHE موردنظر با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری.



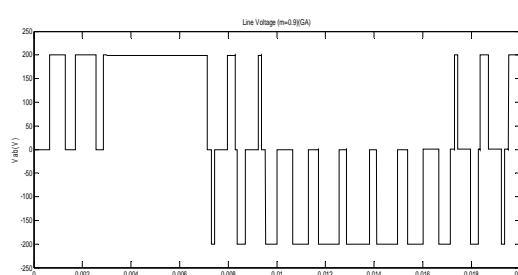
الف): الگوریتم رقابت استعماری



الف) الگوریتم رقابت استعماری



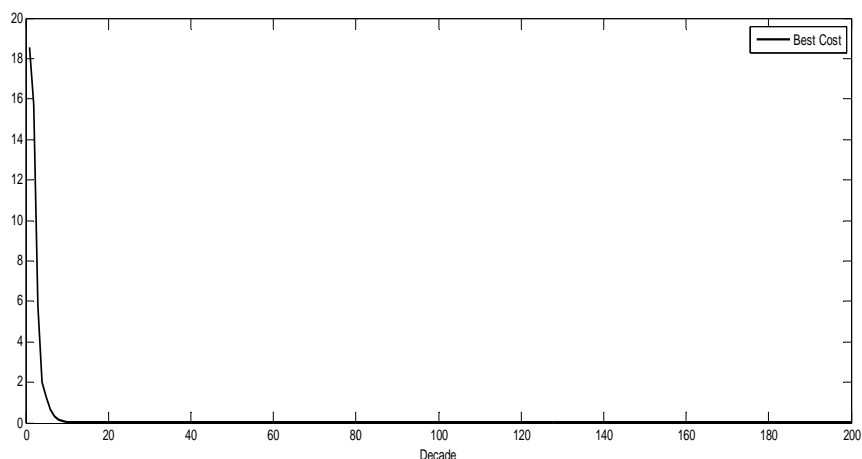
ب): الگوریتم ژنتیک



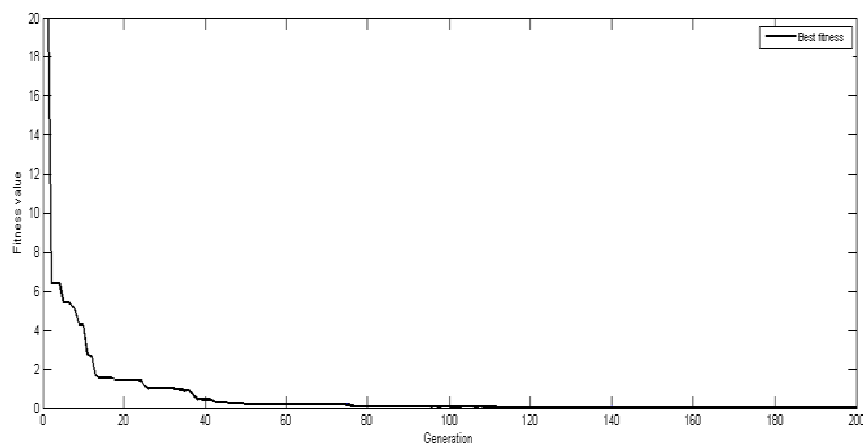
ب) الگوریتم ژنتیک

شکل (۷): طیف هارمونیک ولتاژ خط به خط خروجی برای $M=0.9$

شکل (۶): شکل موج ولتاژ خط به خط خروجی برای ضریب مدولاسیون $M=0.9$



(الف): الگوریتم رقابت استعماری



(ب): الگوریتم ژنتیک

شکل (۸): ارزیابی سرعت همگرایی

- [2] Holtz J., "Pulse width modulation-A Survey", IEEE Trans. Industrial Electron-ices, Vol. 39, No. 5, pp. 410-420,1992.
- [3] Sun J., Grotsotollen H., "Solving Nonlinear equations for Selective harmonic eliminated PWM using Predicted Initial values", IEEE Conf. Proc. IECON'92, pp. 259-264, 1992.
- [4] Shi K.L., Hui L., "Optimized PWM strategy based on genetic algorithms", IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 52, No. 5, pp.1458-1461, 2005.
- [5] Justus rabi B., "Minimization of harmonics in PWM Inverter Based in Genetic Algorithms", Journal of Applied Sciences, Vol.9, No. 9, pp. 2056-2059, 2006.
- [6] Agelidis V. G., Balouktsis A. I., Cossa C., "On attaining the multiple solutions of selective harmonic elimination PWM three level waveforms through function

ضمایم

جدول (۴): پارامترهای ICA

nPop	500
nImp	10
nCol	490
beta	2
pRevolution	0.1
zeta	0.1

مراجع

- [1] Wagner V. E., "Effect of harmonics on equipment," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 8, No. 2, pp. 672-680, 1993.

- minimization”, IEEE Trans. Industrial Electronics, Vol. 55, No. 3, pp. 996–1004, 2008.
- [7] Maswood A.I., Wei S., Rahman M.A., “A flexible way to generate PWM-SHE switching pattern using genetic algorithm”, IEEE Applied Power Electronics (APEC) Conf. Proc., Vol. 2, pp. 1130-1134, Anaheim, California, USA, 2001,.
- [8] Sun J., Beineke S., Grotsslen H., “DSP based Real-time harmonic elimination of PWM Inverters” IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC), Vol. 2, pp. 679-685, Taipei, Taiwan, ,1994.
- [9] Barkati S., Baghali L., Berkouk E. M., Boucherit M.S., “Harmonics elimination in diode clamped multilevel inverter using evolutionary algorithms”, Electronics Power System Research, Vol. 78, No. 10, pp. 1736 –1746, 2008.
- [10] Maswood A.I., Wei S., “Genetic algorithm based solution in PWM converter switching”, IEE Proc. Elect. Power Appl., Vol. 152, No. 3, pp. 473-478, 2005.
- [11] Jegathesan V.,” Genetic algorithm based solution in PWM converter switching for voltage source inverter feeding an induction motor drive”, AJSTD, Vol. 26, No. 2, pp. 45-60, 2010
- [12] Bimbhra P.S, Power electronics, third edition, khanna publishers, India, 1999.
- [13] Atashpaz-Gargari E., Lucas C., “Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition”, IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 4661–4667, 2007.

زیر نویس ها

-
- 1- Selective Harmonic Elimination
 - 2- Imperialist Competitive Algorithm
 - 3- Conjugate Gradient Descent
 - 4- Newton Raphson