

## طراحی و بهینه‌سازی کنترل کننده عصبی برای تنظیم و کنترل ولتاژ خروجی مبدل‌های DC به DC افزایشی

محمد زارعی<sup>۱</sup>، مجید مرادی زیرکوهی\*<sup>۲</sup>، نجمه چراغی شیرازی<sup>۲</sup>

۱: دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

۲: دانشیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران

۳: استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۷

### چکیده

مبدل‌های قدرت DC-DC<sup>۱</sup>، بطور گسترده در ساخت منابع تغذیه، درایو موتور DC، افزایش/کاهش ولتاژ خروجی پنل‌های خورشیدی و موارد متعدد دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرند. تغییر ولتاژ DC از یک سطح به سطح دیگر در بسیاری از کاربردهای صنعتی یک ضرورت است. کنترل ولتاژ و جریان خروجی این مبدل‌ها، هنگام تغییرات ناگهانی بار و یا ولتاژ منبع ورودی حائز اهمیت است. از این رو یکی از اهداف این مقاله پرداختن به کنترل و تنظیم ولتاژ خروجی مبدل افزایشی است. کنترل کننده‌ی پیشنهادی برای کنترل سطح ولتاژ DC خروجی مبدل، یک کنترل کننده شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم مبتنی بر رقابت استعماری است. عملکرد کنترل کننده پیشنهادی به این صورت است که ابتدا با توجه به اهداف مورد انتظار از سیستم، شبکه عصبی طراحی می‌شود و سپس با تعیین یک تابع معیار مناسب چند هدفه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ساختار شبکه بهینه می‌شود. این کار باعث بهبود عملکرد سیستم کنترل می‌شود. چرا که انتخاب مناسب پارامترهای طراحی در عملکرد شبکه عصبی که نقش کنترل کننده را دارد نقش زیادی دارد. نتایج در مقایسه با کنترل کننده PID<sup>۲</sup> نشان از برتری روش پیشنهادی دارد.

واژه‌های کلیدی: مبدل DC-DC، شبکه عصبی، مبدل افزایشی، الگوریتم رقابت استعماری

### ۱- مقدمه

نیاز به منبع تغذیه کم حجم، با کیفیت و با راندمان بالا نیاز اساسی سیستم‌های الکترونیکی پیشرفته است. رگولاتورهای توان خطی نمی‌توانند موارد بالا را تامین کنند. زیرا این رگولاتورها مشکلات خاص خود را دارند و خروجی آنها از مقدار ولتاژ ورودی کمتر است. اخیراً منابع سوئیچینگ جایگاه ویژه‌ای را در بین محققان الکترونیک باز کرده‌اند. یکی از مزایای منابع سوئیچینگ سرعت بالای قطع و وصل آن است. یکی دیگر از مزایای این نوع منابع کار کردن در فرکانس بالا است. از لحاظ تئوری ثابت می‌شود که فرکانس کاری بالا باعث می‌شود که در طراحی مقادیر المان‌ها کوچکتر انتخاب شوند. در نتیجه با کوچکتر شدن المان‌ها توان مصرفی آنها هم کمتر می‌شود. این مهم خود باعث کاهش تلفات کل مدار می‌گردد. علاوه بر این از نقطه نظر کنترلی نیز می‌توان به پاسخ سریعتری رسید [۴]. با توجه به اینکه مبدل‌ها دارای مدل غیر خطی هستند روش‌های کنترل خطی چندان مفید فایده نیست. بنابراین تمرکز بیشتر محققان به سمت روش‌های کنترل غیر خطی است. در [۵-۷] روش مود لغزشی برای کنترل مبدل‌های قدرت مورد استفاده قرار گرفته است. از روش کنترل فازی نیز برای کنترل کنورتورها استفاده شده است [۸، ۹]. از روش فازی تطبیقی نیز برای کنترل مبدل افزایشی یا همان افزایشی استفاده شده است [۱۰]. در این مقاله با نگاه عملی کنترل کننده با استفاده از میکروکنترلر پیاده سازی شده است. نتایج نشان دهنده عملکرد خوب روش پیشنهادی

<sup>1</sup> Direct current- Direct current

<sup>2</sup> Proportional Integral Derivative

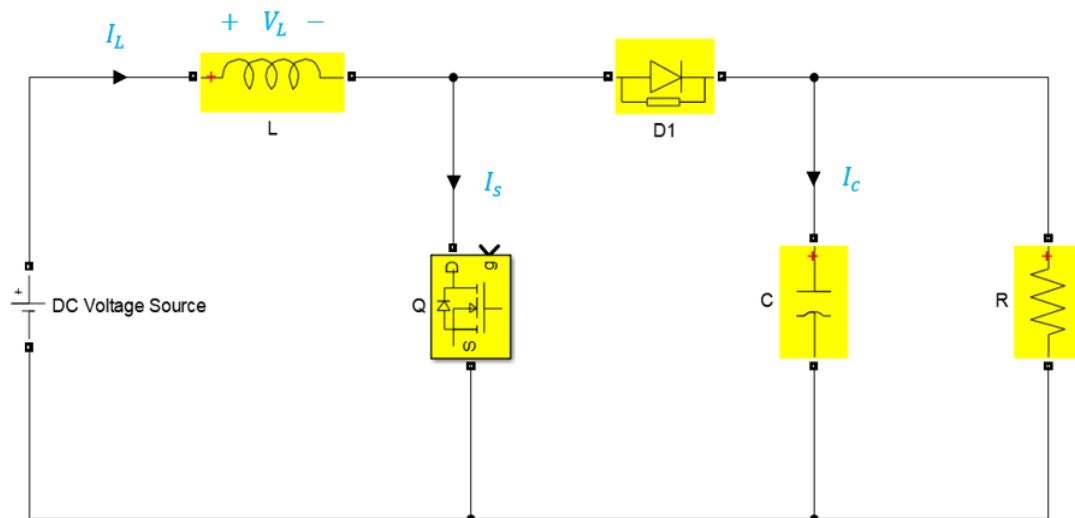
دارد. در [۱۱] روش غیر خطی بازگشت به عقب برای کنترل مبدل بکار گرفته شده است. در یکی از کارهای جدیدی که اخیراً منتشر شده است از الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان برای کنترل مبدل DC-DC استفاده شده است [۱۲]. شبکه‌های عصبی و تکنیک‌های مختلف محاسبات عصبی در حال پیشرفت هستند. اخیراً شبکه‌های عصبی مختلف مثل شبکه‌های عصبی چند لایه و شبکه‌های عصبی شعاعی پایه در مقالات برای کاربردهای مختلفی از جمله رباتیک، قدرت، پردازش تصویر و... مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱، ۲]. با توجه به توانایی بالای شبکه‌های عصبی در طراحی کنترل کننده برای سیستم‌های غیرخطی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌های عصبی شعاعی دارای ساختاری ساده و پرکاربرد است. در [۱۳] از شبکه‌های عصبی در طراحی سیستم‌های خورشیدی استفاده شده است. در این مرجع از شبکه عصبی شعاعی برای تنظیم ولتاژ خروجی در یک سطح معین استفاده شده است. در [۱۴] نیز از شبکه عصبی شعاعی برای تنظیم ولتاژ مبدل‌ها استفاده شده است. در [۱۵] از الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان برای تنظیم وزن‌های شبکه عصبی استفاده شده است.

کنترل کننده‌ی پیشنهادی در این مقاله برای تغییر سطح ولتاژ DC خروجی کنورتر، یک شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری است. روش پیشنهادی در این مقاله روش مبتنی بر رقابت استعماری است. 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 (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. استعمارگران بسته به قدرت‌شان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید؛ به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است [۱۶]. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب، و به سيطرة در آوردن آنها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگتر افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر، حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند [۱۷]. تا کنون در طراحی شبکه عصبی بهینه برای تنظیم ولتاژ خروجی مبدل‌های DC-DC افزاینده از این الگوریتم استفاده نشده است. عملکرد کنترل کننده پیشنهادی به این صورت است که ابتدا با توجه به اهداف مورد انتظار از سیستم، شبکه عصبی طراحی می‌شود و سپس با تعیین یک تابع معیار مناسب چند هدفه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ساختار شبکه عصبی بهینه می‌شود. این کار باعث بهبود عملکرد سیستم و افزایش پایداری می‌شود. در ادامه در بخش دوم به بیان مبدل افزاینده پرداخته می‌شود. سپس در بخش سوم به معرفی شبکه‌های عصبی پرداخته می‌شود. در ادامه الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری در بخش چهارم می‌شود. در بخش پنجم روش پیشنهادی معرفی می‌شود. در بخش ششم نتایج ارائه می‌شود. نهایتاً در بخش هفتم نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

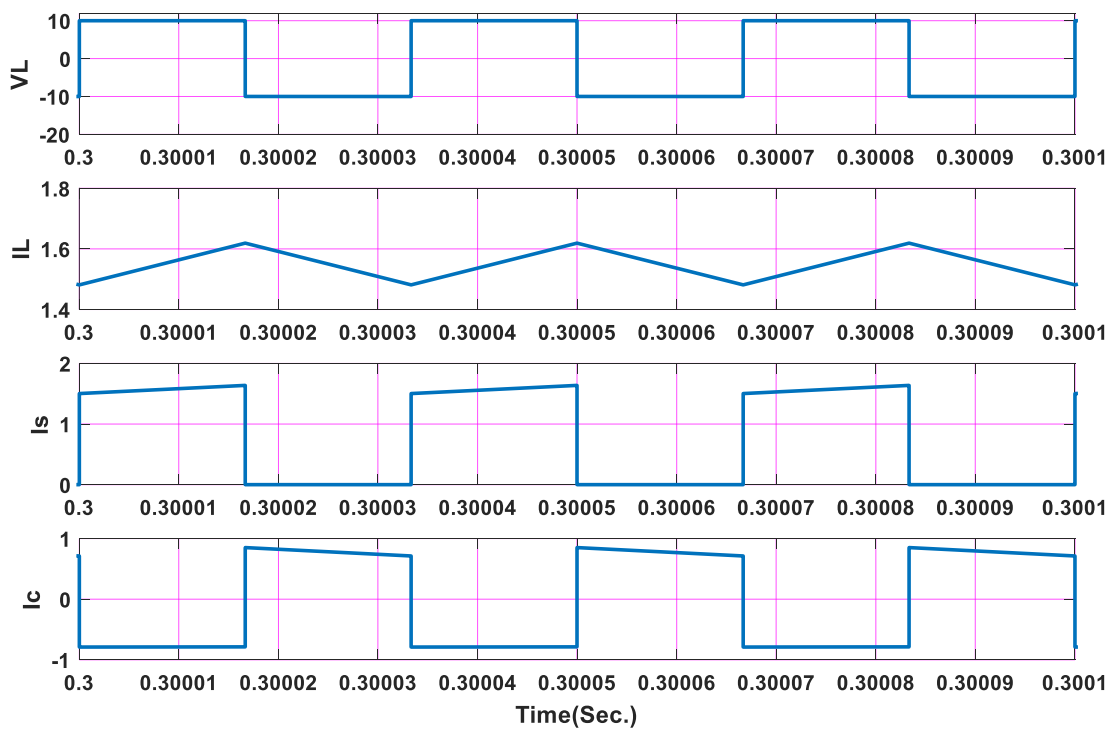
## ۲- طرز کار و مدلسازی مبدل افزاینده

یک مبدل الکترونیک قدرت متشکل از قطعات یا عناصر نیمه هادی مانند سلف، دیود و ترانزیستور است. با استفاده از مدارهای الکترونیک قدرت می‌توان توان الکتریکی را به شکل دیگری تبدیل کرد. بطور خاص در سیستم‌های انرژی خورشیدی لازم است تا ولتاژ تولیدی توسط مبدل افزایش و یا گاهاً کاهش یابد. برای افزایش ولتاژ می‌توان از مبدل افزاینده یا افزاینده و برای کاهش ولتاژ از مبدل کاهنده استفاده کرد.

در مبدل افزاینده یا افزاینده، میانگین ولتاژ خروجی از ولتاژ ورودی بیشتر است. مدار مبدل افزاینده در نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱ مدار مبدل افزاینده در دو مد کار می‌کند. در حالت اول ترانزیستور روشن و دیود خاموش است که در این حالت سلف شروع به ذخیره انرژی می‌کند. در حالت دوم ترانزیستور خاموش و دیود روشن است. در این حالت رفتار کلی مدار باعث افزایش ولتاژ خروجی می‌شود. شکل ۲ جریان‌های یک مبدل افزاینده را نشان می‌دهد [۱۸].



شکل ۱: ساختار مبدل افزایشی



شکل ۲: شکل موج‌های مبدل افزایشی

در حالت ماندگار می‌توان نوشت [۱۹]:

$$V_d t_{on} + (V_d - V_o) t_{off} = 0 \tag{1}$$

با کمی ساده‌سازی داریم:

$$\frac{V_o}{V_d} = \frac{1}{1-D} \tag{2}$$

بوسیله تغییر نسبت وظیفه، مدت زمان روشن بودن سوئیچ و در نتیجه مقدار ولتاژ خروجی تغییر می‌کند. با توجه به کمتر بودن زمان وظیفه از یک ولتاژ خروجی همیشه از ورودی بیشتر است.

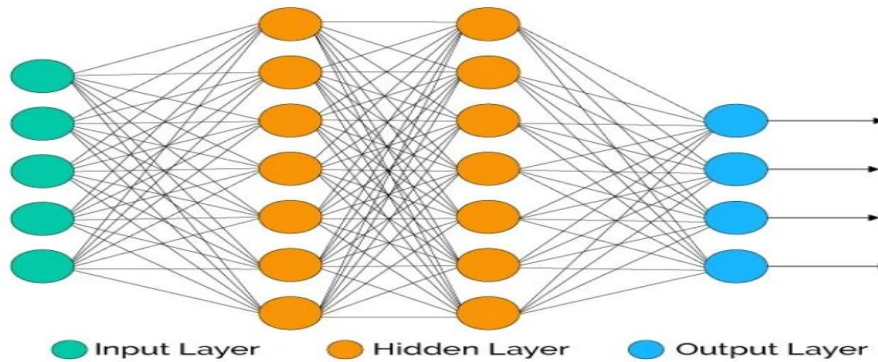
### ۳- شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی که از صدها، هزاران یا میلیون‌ها سلول مغز مصنوعی تشکیل شده‌اند برنامه‌هایی کامپیوتری هستند که شبیه به مغز انسان، عمل یادگیری و رفتاری را انجام می‌دهد. فلسفه مهم شبکه عصبی مصنوعی در واقع مدل کردن برخی ویژگی‌های پردازشی مغز انسان برای تقریب زدن روش‌های معمول محاسباتی با روش پردازش زیستی است. در واقع شبکه عصبی مصنوعی تلاش می‌کند تا دانش ارتباط بین چند مجموعه داده را از طریق آموزش فرا گرفته و برای استفاده در موارد مشابه ذخیره نماید [۲۰].

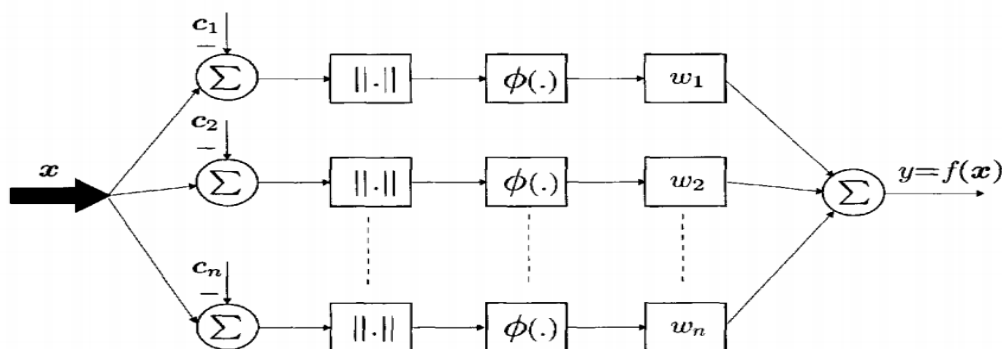
مشابه مدل شبکه‌های عصبی چند لایه که قبلاً معرفی شد، نوع دیگری از شبکه‌های عصبی ارایه شده است که در آن‌ها، واحدهای محاسباتی، از نظر پردازشی در بازه خاصی متمرکز هستند. این مهم، از طریق توابع شعاعی مدل‌سازی و پردازش می‌شود. از نظر کلی می‌توان گفت شبکه‌های عصبی شعاعی تفاوت بارزی با شبکه‌های چند لایه ندارند و فقط نوع پردازشی که نورون‌ها روی ورودی‌هایشان انجام می‌دهند، فرق دارد. با این وجود، فرایند یادگیری در شبکه‌های شعاعی سریعتر رخ می‌دهد. در واقع، به دلیل تمرکز نورون‌ها در بازه خاص، کار تنظیم این نوع شبکه‌ها، آسانتر خواهد بود. این نوع شبکه عصبی در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است این شبکه عصبی شامل سه لایه است. این سه لایه لایه ورودی، لایه میانی (مخفی) و لایه خروجی هستند. در لایه میانی فاصله بین بردار ورودی و مراکز توابع شعاعی محاسبه می‌شود. خروجی هر تابع شعاعی که در شکل با علامت  $\phi$  داده شده است. خروجی شبکه را می‌توان بصورت زیر بیان کرد:

$$\phi_i = e^{-\left(\frac{\|x - c_i\|}{2\sigma^2}\right)} \quad (۳)$$

$$y = \sum_{i=1}^n w_i \phi_i \|x - c_i\| \quad (۴)$$



شکل ۳: شبکه عصبی چند لایه [۲۱]



شکل ۴: شبکه عصبی شعاعی پایه [۲۱]

که  $w_i (i=1,2,\dots,n)$  وزن‌های شبکه و  $c_i (i=1,2,\dots,n)$  مراکز توابع شعاعی هستند. این پارامترها برای رسیدن به هدف مطلوب باید بصورت مناسب تنظیم شوند. توابع گوسین از معروفترین توابع شعاعی هستند که  $\sigma$  واریانس است و یکی از پارامترهای مهم و تاثیر گذار در عملکرد شبکه است.

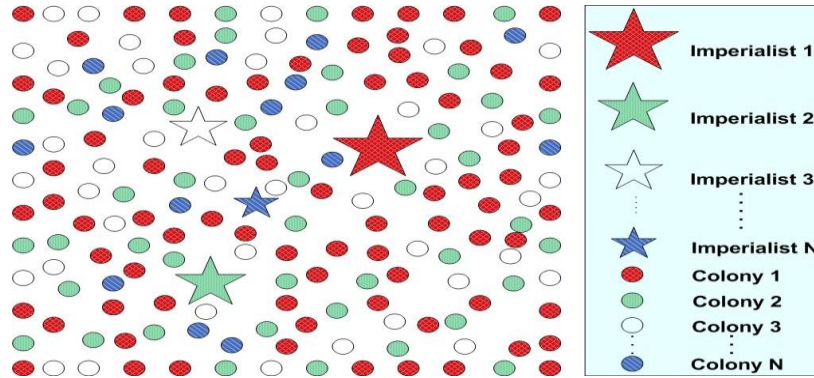
#### ۴- فرمول‌های ریاضی الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری روشی در حوزه محاسبات تکاملی است که به یافتن پاسخ بهینه مسائل مختلف بهینه‌سازی می‌پردازد. این الگوریتم با مدل‌سازی ریاضی فرایند تکامل اجتماعی-سیاسی، الگوریتمی برای حل مسائل ریاضی بهینه‌سازی ارائه می‌دهد. از لحاظ کاربرد، این الگوریتم در دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی همچون الگوریتم‌های ژنتیک [۲۲]، بهینه‌سازی انبوه ذرات [۲۳]، بهینه‌سازی کلونی مورچگان [۲۴]، تبرید فلزات شبیه‌سازی شده [۲۵]، تکامل تفاضلی [۲۶] و غیره قرار می‌گیرد. همانند همه الگوریتم‌های قرار گرفته در این دسته، الگوریتم رقابت استعماری نیز مجموعه اولیه‌ای از جواب‌های احتمالی را تشکیل می‌دهد. این جواب‌های اولیه در الگوریتم ژنتیک با عنوان "کروموزوم"، در الگوریتم ازدحام ذرات با عنوان "ذره" و در الگوریتم رقابت استعماری نیز با عنوان "کشور" شناخته می‌شوند. الگوریتم رقابت استعماری با روند خاصی که در ادامه می‌آید، این جواب‌های اولیه (کشورها) را به تدریج بهبود داده و در نهایت جواب مناسب مسئله بهینه‌سازی (کشور مطلوب) را در اختیار می‌گذارد.

پایه‌های اصلی این الگوریتم را سیاست همسان‌سازی یا جذب، رقابت استعماری و انقلاب تشکیل می‌دهند. این الگوریتم با تقلید از روند تکامل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشورها و با مدل‌سازی ریاضی بخش‌هایی از این فرایند، عملگرهایی را در قالب منظم به صورت الگوریتم ارائه می‌دهد که می‌توانند به حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی کمک کنند. در واقع این الگوریتم جواب‌های مسئله بهینه‌سازی را در قالب کشورها نگریسته و سعی می‌کند در طی فرایندی تکرار شونده این جواب‌ها را رفته رفته بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه مسئله برساند [۲۷].

همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی [۳]، این الگوریتم، نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک «کشور» نامیده می‌شوند؛ شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت (معادل نخبه‌ها در الگوریتم ژنتیک) به عنوان امپریالیست انتخاب می‌شوند. باقی‌مانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. برای تقسیم مستعمرات اولیه بین امپریالیست‌ها، به هر امپریالیست، تعدادی از مستعمرات را که این تعداد، متناسب با قدرت آن است، می‌دهیم. در شکل ۵ نحوه تقسیم مستعمرات، میان کشورهای استعمارگر به صورت نمادین نشان داده شده است [۲۸]. استعمارگران بسته به قدرت‌شان، این مستعمرات را با یک روند خاص که در ادامه می‌آید؛ به سمت خود می‌کشند. قدرت کل هر امپراطوری، به هر دو بخش تشکیل دهنده آن یعنی کشور امپریالیست (به عنوان هسته مرکزی) و مستعمرات آن، بستگی دارد. در حالت ریاضی، این وابستگی با تعریف قدرت امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور امپریالیست، به اضافه درصدی از میانگین قدرت مستعمرات آن، مدل شده است. با شکل‌گیری امپراطوری‌های اولیه، رقابت امپریالیستی میان آن‌ها شروع می‌شود. هر امپراطوری‌ای که نتواند در رقابت استعماری، موفق عمل کرده و بر قدرت خود بیفزاید (و یا حداقل از کاهش نفوذش جلوگیری

کند)، از صحنه رقابت استعماری، حذف خواهد شد. بنابراین بقای یک امپراطوری، وابسته به قدرت آن در جذب مستعمرات امپراطوری‌های رقیب، و به سيطرة در آوردن آنها خواهد بود. در نتیجه، در جریان رقابت‌های امپریالیستی، به تدریج بر قدرت امپراطوری‌های بزرگتر افزوده شده و امپراطوری‌های ضعیف‌تر، حذف خواهند شد. امپراطوری‌ها برای افزایش قدرت خود، مجبور خواهند شد تا مستعمرات خود را نیز پیشرفت دهند [۱۷].



شکل ۵: نحوه تقسیم مستعمرات، میان کشورهای استعمارگر [۱۶]

### ۵- روش کنترلی پیشنهادی

در این قسمت روش پیشنهادی مطرح می‌شود. در ابتدا کنترل کننده شبکه عصبی طراحی می‌شود و سپس با استفاده از روش بهینه‌سازی رقابت استعماری ساختار آن بهینه خواهد شد. لازم به ذکر است با توجه به اینکه هدف مقاله تنظیم ولتاژ خروجی است خطای سیستم که کنترل کننده قصد کاهش آن را دارد بصورت زیر قابل بیان است:

$$e(t) = V_o(t) - V_s(t) \quad (5)$$

ساختار کنترل کننده پیشنهادی در شکل ۶ نشان داده شده است.

کنترل کننده عصبی دارای دو ورودی خطا و مشتق خطا است. تعداد نرون‌های لایه میانی ۱۲ عدد انتخاب می‌شود. با توجه به اینکه در این پایان‌نامه از توابع گوسین استفاده می‌شود تعداد کل تعداد پارامترهایی که باید توسط الگوریتم رقابت استعماری بهینه شود ۴۸ عدد است (۲۴ عدد برای مراکز، ۱۲ عدد برای واریانس و ۱۲ عدد هم برای ضرایب وزنی  $w$  - توجه شود چون هر نرون دو ورودی دارد پس مرکز نرون  $i$  ام بصورت  $c_{1i} - c_{2i}$  در نظر گرفته می‌شود). پس الگوریتم بهینه‌سازی باید این ۴۸ پارامتر را بهینه نماید. برای اعمال الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر رقابت استعماری ابتدا باید یک تابع هزینه مناسب مانند تابع زیر اختیار کرد.

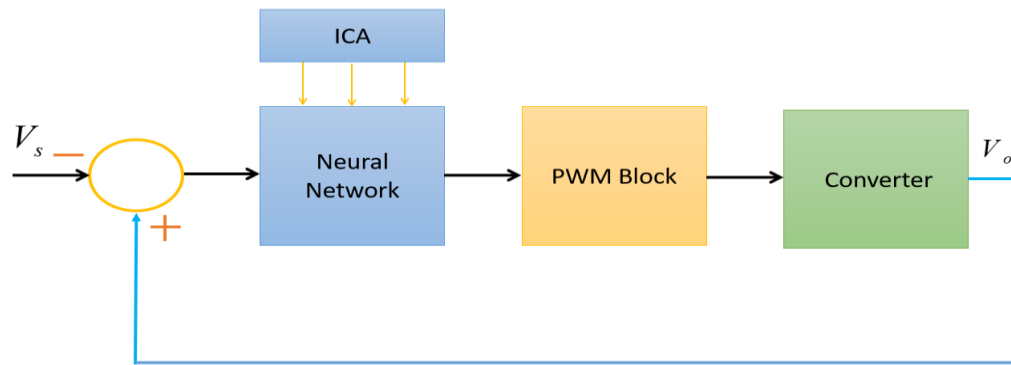
$$J = \int_0^{0.1} e(t)^2 dt \quad (6)$$

### ۶- نتایج شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

در این قسمت ابتدا کنترل کننده مد نظر برای کنترل سویچینگ در مبدل افزایش‌دهنده طراحی شده و سپس با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری عملکرد سیستم کنترل با بهینه کردن پارامترها ارتقا داده می‌شود.

#### ۶-۱- مبدل افزایش‌دهنده

مبدل افزایش‌دهنده مورد استفاده در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است. پارامترهای مبدل افزایش‌دهنده نیز در جدول ۱ آمده است. هدف از طراحی کنترل کننده این است که ولتاژ خروجی ۲ برابر ورودی شود. توجه شود به پایه سویچ سیگنال کنترلی اعمال می‌شود. توجه شود که در عمل فرکانس کاری مبدل با توجه به امکانات سخت افزاری بین ۵ تا ۳۰ کیلو هرتز انتخاب می‌شود. برای اجرای الگوریتم مد نظر جمعیت اولیه که در واقع همان تعداد کشورها است برابر با ۱۰۰، حداکثر تعداد تکرار هم برابر با ۱۰۰ در نظر گرفته شده است.



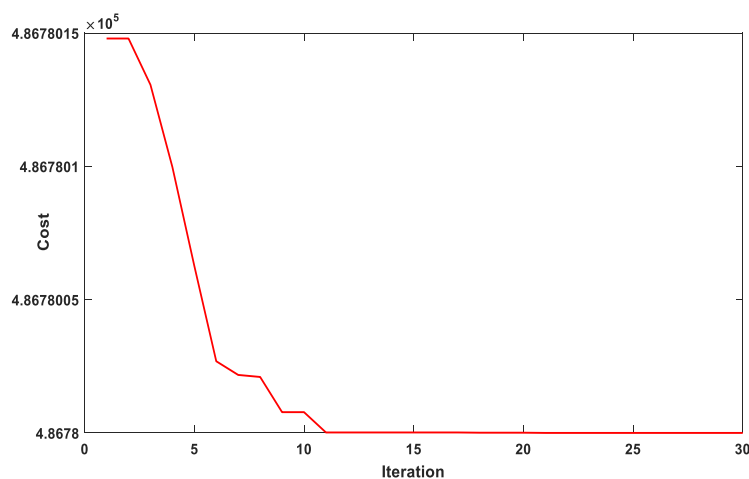
شکل ۶: بلوک دیاگرام سیستم کنترل پیشنهادی

جدول ۱: پارامترهای مبدل [۲۹]

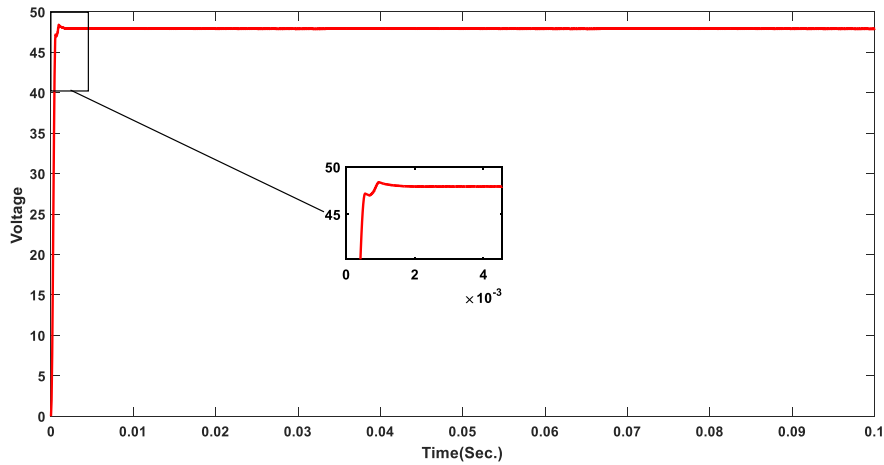
$L$	$C$	$R$	$V_s$	$V_o$	$f$
$150\mu H$	$1200\mu F$	$150\Omega$	۲۴	۴۸	۳۰ KH

### ۶-۲- پیاده سازی شبکه عصبی

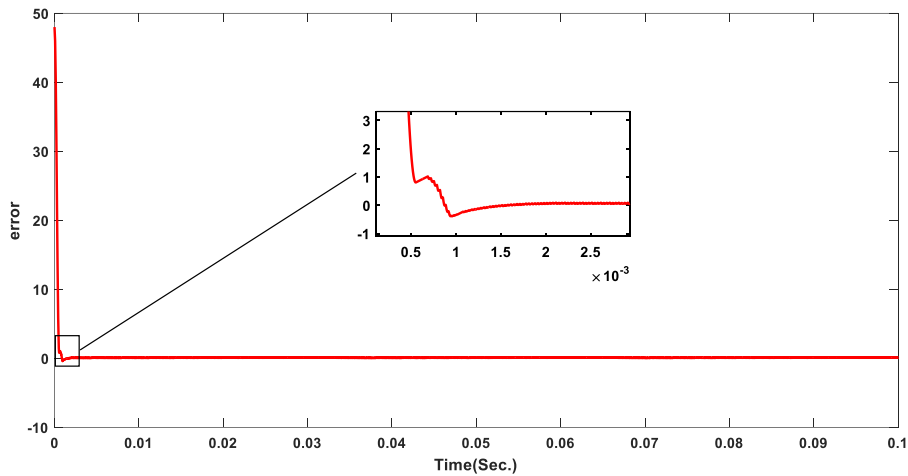
در این قسمت شبکه عصبی برای کنترل سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. با اجرای برنامه تابع هزینه در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود الگوریتم خوبی و سریع همگرا شده است. در واقع این الگوریتم در یک روند مناسب تابع هزینه تعریف شده را کاهش داده و مقادیر پارامترهای سیستم را بهینه کرده است. با اعمال کنترل کننده عصبی طراحی شده ولتاژ خروجی مبدل و همچنین خطای کنترل کننده بترتیب در شکل ۸ و شکل ۹ نشان داده شده است. همانطور آشکار است که ولتاژ خروجی بعد از ۱ میلی ثانیه به ۴۸ ولت رسیده است. نکته مهم دیگر عدم وجود نوسانات ولتاژ در شکل ۸ است. این مهم نشان دهنده کارا بودن روش پیشنهادی دارد. زیرا تنظیم دقیق ولتاژ خروجی برای کارکرد صحیح بسیاری از وسایل الکترونیکی ضروری است.



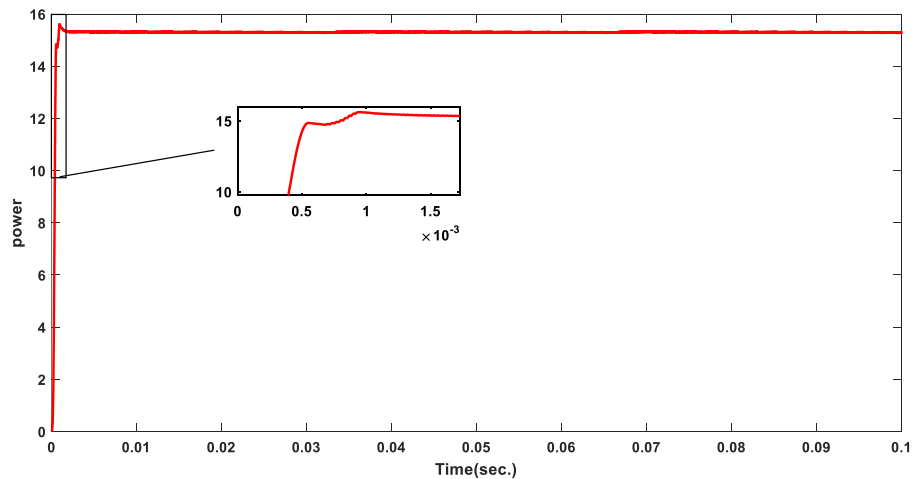
شکل ۷: تابع هزینه الگوریتم بهینه سازی (نشان دهنده همگرا شدن الگوریتم بهینه سازی)



شکل ۸: ولتاژ خروجی مبدل افزایشدهنده (بدون نوسان در خروجی)



شکل ۹: خطای سیستم کنترل پیشنهادی (رسیدن خطا به صفر)



شکل ۱۰: توان خروجی مبدل افزایشدهنده (متوسط توان خروجی مبدل حدود ۱۵ وات)

همچنین توان خروجی نیز در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به این شکل متوسط توان خروجی مبدل حدود ۱۵ وات است. همانطور که آشکار است رفته رفته با افزایش تقریباً یکنواخت ولتاژ خروجی، متوسط توان مصرفی نیز افزایش پیدا کرده است.



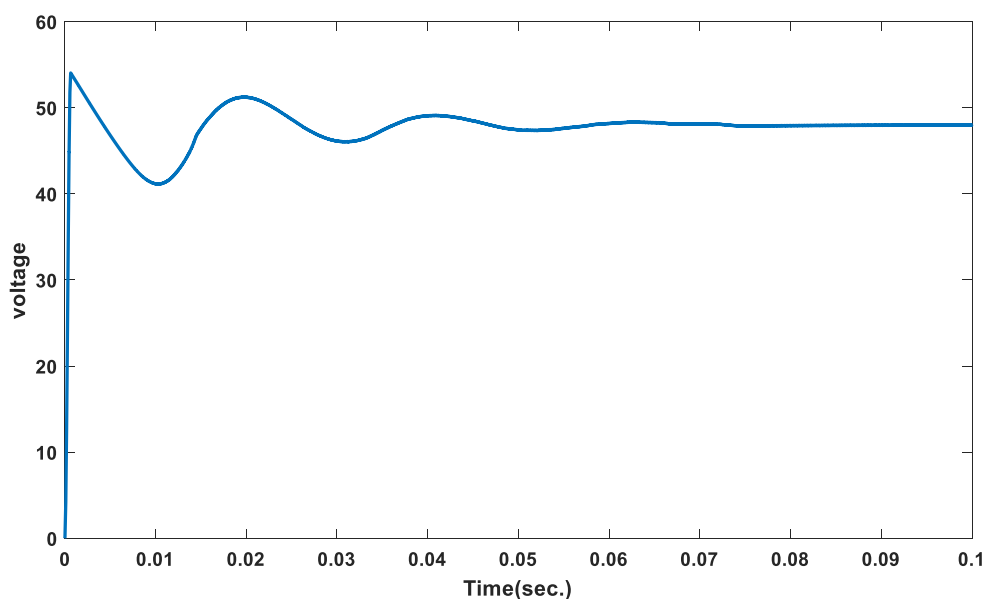
## ۳-۶- کنترل کننده PID

در این قسمت کنترل کننده PID با روش سعی و خطا برای تنظیم ولتاژ خروجی بکار گرفته می‌شود. ضرایب کنترل کننده بصورت جدول ۲ تنظیم شده‌اند.

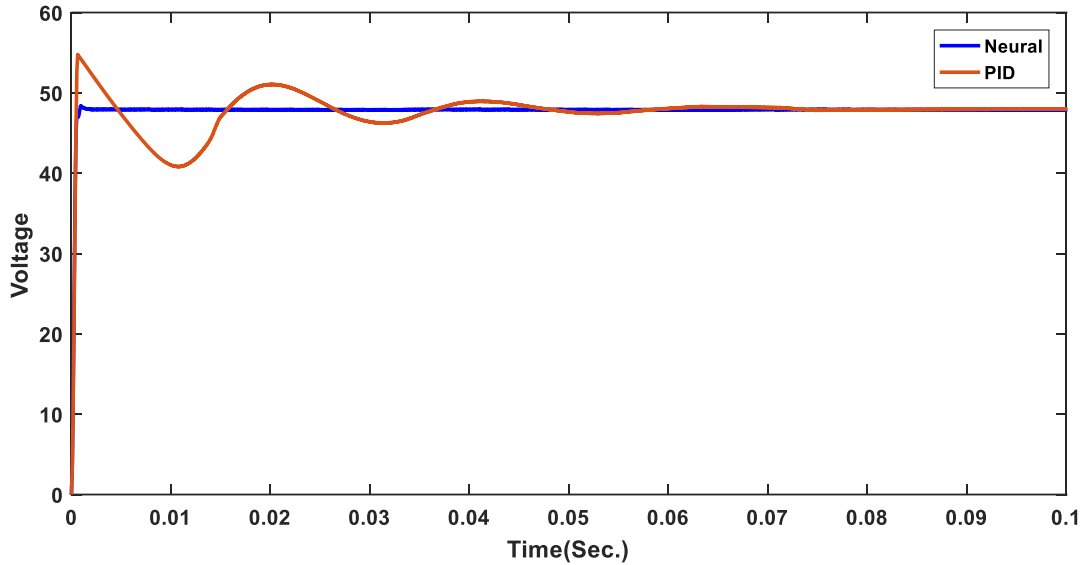
ولتاژ خروجی مبدل با کنترل کننده طراحی شده در شکل ۱۱ نشان داده شده است. این شکل موج نشان می‌دهد که ولتاژ خروجی ۲ برابر ولتاژ ورودی شده است. یعنی کنترل کننده به هدف خود رسیده است اما خروجی دارای نوسان است. نکته مهم این است که نوسانات خروجی برای کارکرد بسیاری از وسایل الکترونیک مناسب نیست. در واقع این نوسانات حالت گذرا بدلیل طولانی شدن ممکن است به وسیله الکترونیکی صدمه وارد نماید. برای مقایسه بهتر نتایج، شکل ۸ و شکل ۱۱ با هم در شکل ۱۲ ترسیم شده است. با توجه به این شکل آشکار است که کنترل کننده پیشنهادی دارای پاسخ سریعتر و نوسانات کمتری است و در مجموع دارای عملکرد بهتری است.

جدول ۲: ضرایب کنترل کننده PID

$k_p$	$k_i$	$k_d$
۰.۰۰۱	۵۰۰	۰.۰۰۱



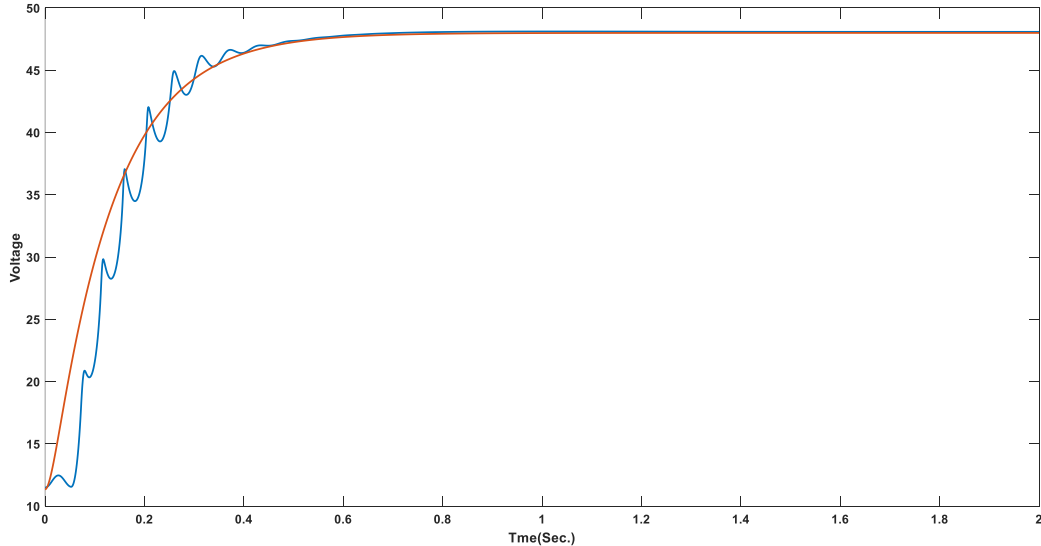
شکل ۱۱: ولتاژ خروجی با کنترل کننده PID (خروجی دارای نوسان است)



شکل ۱۲: ولتاژ خروجی با کنترل کننده عصبی و PID (مقایسه نتایج)

#### ۴-۶- مقایسه روش پیشنهادی با یک روش هوشمند

در این قسمت نتیجه روش پیشنهادی با روش هوشمند معرفی شده در [۳۰] مقایسه می‌شود. با اعمال روش هوشمند معرفی شده نتیجه در شکل ۱۳ نشان داده شده است. با مقایسه شکل ۱۳ و شکل ۱۲ مشاهده می‌شود روش پیشنهادی بخاطر ماهیت بهینه دارای عملکرد بهتری از نقطه نظر سرعت پاسخ دهی خوب و تثبیت ولتاژ خروجی بدون نوسان است.



شکل ۱۳: ولتاژ خروجی با کنترل کننده هوشمند معرفی شده در مرجع [۳۰]

برای مقایسه بهتر بین کنترل کننده عصبی و کنترل کننده PID معیارهای زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$ISE = \int_0^{0.1} e(t)^2 dt \quad (7)$$

$$ITAE = \int_0^{0.1} t |e(t)| dt \quad (8)$$

نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کنترل کننده عصبی طراحی شده عملکرد بهتری دارد.

جدول ۳: مقایسه عددی نتایج

کنترل کننده PID	روش پیشنهادی	معیار مقایسه
۳۹۸,۹۲۰۴	۲۸۵,۵۵۸۵	ISE
۱۲۲,۸۳۰۱	۴۳,۹۳۰۴	ITAE

#### ۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله به کنترل مبدل افزایشدهنده با استفاده از کنترل کننده عصبی پرداخته شد. ابتدا معادلات طرز کار مبدل افزایشدهنده بیان شد و سپس به طراحی کنترل کننده پرداخته شد. کنترل کننده‌ی پیشنهادی برای کنترل سطح ولتاژ DC خروجی مبدل، یک کنترل کننده عصبی بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری است. در ادامه برای نشان دادن کارا بودن روش پیشنهادی نتایج با کنترل کننده PID مقایسه شد. نتایج نشان داد که خروجی مبدل افزایشدهنده با کنترل کننده PID دارای نوسان است. نکته مهم این است که نوسانات خروجی برای کارکرد بسیاری از وسایل الکترونیک مناسب نیست. در واقع این نوسانات حالت گذرا بدلیل طولانی شدن ممکن است به وسیله الکترونیک صدمه وارد نماید. با تعریف چند شاخص عملکردی نتایج نشان داد که کنترل کننده پیشنهادی دارای عملکرد بسیار خوبی است.

#### مراجع

- [1] A. Rezaeipناه and S. J. Mirabedini, A. Mobaraki, "An Ensemble Classifier Method for Breast Cancer Detection Using Genetic Algorithm and Multistage Adjustment of Weights in the MLP Neural Network", *Journal of Communication Engineering*, vol. 10, no. 40, pp. 1-16, 2021 (in Persian).
- [2] E. Faraji, M. Mirzaeian, H. Parvin, A. Chamkoorii and M. Mohammadpour, "Short-Term Load Forecasting using an Ensemble of Artificial Neural Networks: Chaharmahal Bakhtiari Case", *Journal of Communication Engineering*, vol. 10, no. 38, pp. 17-30, 2020 (in Persian).
- [3] A. Sedaratnia, M. M. Zirkohi and N.C. Shirazi, "esign of Optimal Sugeno-type fuzzy Controller for Speed Control of DC Motor Including Drive and Chopper Dynamic Considering Multi-Objective Optimization Using Teaching Learning Optimization Algorithm", *Journal of Communication Engineering*, vol. 10, no. 40, pp. 51-64, 2021 (in Persian).
- [4] J. D. Irwin, and M. H. Rashid, "Power Electronics handbook," Book, Auburn University, 2001.
- [5] E. M. Navarro-López, D. Cortés, and C. Castro, "Design of practical sliding-mode controllers with constant switching frequency for power converters," *Electric Power Systems Research*, vol. 79, no. 5, pp. 796-802, 2009.
- [6] H. Li, and X. Ye, "Sliding-mode PID control of DC-DC converter," in *Industrial Electronics and Applications (ICIEA) IEEE Conference on*, 2010, pp. 730-734.
- [7] R.-J. Wai, and L.-C. Shih, "Design of voltage tracking control for DC-DC boost converter via total sliding-mode technique," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 6, pp. 2502-2511, 2011.
- [8] V. Raviraj, and P. C. Sen, "Comparative study of proportional-integral, sliding mode, and fuzzy logic controllers for power converters," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 33, no. 2, pp. 518-524, 1997.
- [9] H. Lam, T. Lee, F. H. Leung, and P. K. Tam, "Fuzzy control of DC-DC switching converters: stability and robustness analysis/sup 1," in *Industrial Electronics Society, Annual Conference of the IEEE*, 2001, pp. 899-902.
- [10] C. Elmas, O. Deperlioglu, and H. H. Sayan, "Adaptive fuzzy logic controller for DC-DC converters," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, no. 2, pp. 1540-1548, 2009.
- [11] S. C. Lin, and C. C. Tsai, "Adaptive backstepping control with integral action for PWM buck DC-DC converters," *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, vol. 28, no. 6, pp. 977-984, 2005.
- [12] J. Fermeiro, J. Pombo, M. Calado, and S. Mariano, "A new controller for DC-DC converters based on particle swarm optimization," *Applied Soft Computing*, vol. 52, pp. 418-434, 2017.
- [13] N. Bouarroudj, D. Boukhetala, V. Feliu-Batlle, F. Boudjema, B. Benlahbib, and B. Batoun, "Maximum power point tracker based on fuzzy adaptive radial basis function neural network for PV-system," *Energies*, vol. 12, no. 14, pp. 2827, 2019.

- [14] S. Shoja-Majidabad, and A. Hajizadeh, "Decentralized adaptive neural network control of cascaded DC-DC converters with high voltage conversion ratio," *Applied Soft Computing*, vol. 86, pp. 105878, 2020.
- [15] H. Hamdi, C. B. Regaya, and A. Zaafouri, "Real-time study of a photovoltaic system with boost converter using the PSO-RBF neural network algorithms in a MyRio controller," *Solar Energy*, vol. 183, no. 3, pp. 1-16, 2019.
- [16] E. Atashpaz-Gargari, and C. Lucas, "Imperialist competitive algorithm: an algorithm for optimization inspired by imperialistic competition," in *IEEE congress on evolutionary computation*, 2007, pp. 4661-4667.
- [17] D. Lei, Y. Yuan, J. Cai, and D. Bai, "An imperialist competitive algorithm with memory for distributed unrelated parallel machines scheduling," *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 2, pp. 597-614, 2020.
- [18] T. Instruments, "Understanding boost power stages in switchmode power supplies," Texas Instruments, Mar, 1999.
- [19] N. Mohan, and T. M. Undeland, *Power electronics: converters, applications, and design*: John Wiley & Sons, 2007.
- [20] T. Vijayakumar, "Comparative study of capsule neural network in various applications," *Journal of Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 01, pp. 19-27, 2019.
- [21] M. Anthony, and P. L. Bartlett, *Neural network learning: Theoretical foundations*: cambridge university press, 2009.
- [22] S. Mirjalili, "Genetic algorithm," *Evolutionary algorithms and neural networks*, pp. 43-55: Springer, 2019.
- [23] J. C. Bansal, "Particle swarm optimization," *Evolutionary and swarm intelligence algorithms*, pp. 11-23: Springer, 2019.
- [24] J. M.-T. Wu, J. Zhan, and J. C.-W. Lin, "An ACO-based approach to mine high-utility itemsets," *Knowledge-Based Systems*, vol. 116, no. 2, pp. 102-113, 2017.
- [25] B. Morales-Castañeda, D. Zaldívar, E. Cuevas, O. Maciel-Castillo, I. Aranguren, and F. Fausto, "An improved simulated annealing algorithm based on ancient metallurgy techniques," *Applied Soft Computing*, vol. 84, pp. 105761, 2019.
- [26] W. Deng, J. Xu, Y. Song, and H. Zhao, "Differential evolution algorithm with wavelet basis function and optimal mutation strategy for complex optimization problem," *Applied Soft Computing*, vol. 2, no. 3, pp. 106724, 2020.
- [27] B. Xing, and W.-J. Gao, "Imperialist competitive algorithm," *Innovative computational intelligence: A rough guide to 134 clever algorithms*, pp. 203-209: Springer, 2014.
- [28] S. Hosseini, and A. Al Khaled, "A survey on the imperialist competitive algorithm metaheuristic: implementation in engineering domain and directions for future research," *Applied Soft Computing*, vol. 24, pp. 1078-1094, 2014.
- [29] M. H. Rashid, *Power electronics handbook: devices, circuits and applications*: Academic press, 2010.
- [30] S. Khorashadizadeh, and M. Mahdian, "Voltage tracking control of DC-DC boost converter using brain emotional learning," in *international conference on control, instrumentation, and automation (ICCIA)*, 2016, pp. 268-272.

## Design of Optimal Sugeno-Type Fuzzy Controller for Speed Control of DC Motor Including Drive and Chopper Dynamic Considering Multi-Objective Optimization Using Teaching Learning Optimization Algorithm

---

Mohammad Zaraei<sup>1\*</sup>, Majid Moradi Zirkohi<sup>2</sup>, Najmeh Cheraghi Shirazi<sup>3</sup>

---

1: MSc. Student of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Bushehr branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

2\*: Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Behbahan Khatam-Alanbia University of Technology, Iran, moradi@bkatu.ac.ir

3: Assistant Professor, Faculty of Engineering, Bushehr branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

### ABSTRACT:

Due to the simple structure of DC motors, these motors have found many applications in industry. Therefore, in this paper, the speed control of DC motor is investigated by considering the dynamics of drive and chopper with Sugeno-type fuzzy controller. A chopper is used to control the voltage applied to the DC motor armature. Considering the dynamics of the chopper drive increases the complexity of the system. After designing the fuzzy controller to increase the performance of the control system, the fuzzy controller parameters are adjusted using a teaching-learning-based optimization algorithm. This algorithm is new and one of its features is its small number of parameters. The results show that the fuzzy controller has better performance against changes in system parameters and uncertainties compared to the classic PID controller. Considering the appropriate criterion function, the value of the cost function for the proposed method is 0.2. But with the optimized PID controller about 0.31 which shows a 55% superiority of the proposed method.

**KEYWORDS:** Sugeno-type fuzzy controller, DC motor, chopper, Teaching-Learning-Based Optimization algorithm