

طراحی کنترل کننده Fuzzy – PID بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری جهت کنترل سیستم AVR

صابر فلاحتی علی آبادی^{۱*}، سید عباس طاهر^۲، مسعود حاجی اکبری فینی^۳

*۱- نویسنده مسئول: دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران،

برق منطقه‌ای اصفهان، s_falahati@yahoo.com

۲- استاد، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، sataher@kashanu.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، hajiakbari@grad.kashanu.ac.ir

چکیده- در این مقاله به روش جدیدی برای کنترل سیستم AVR پرداخته شده است. در این روش از کنترل کننده Fuzzy-PID برای کنترل سیستم AVR استفاده شده بطوریکه این کنترل کننده دارای چهار پارامتر می‌باشد که برای تعیین آنها از روش بهینه‌سازی و الگوریتم رقابت استعماری که به دلیل سرعت و دقت بالا مورد توجه محققین قرار گرفته، استفاده شده است. با استفاده از این کنترل کننده می‌توان سیستم را به طور موثرتری کنترل نمود. برای نشان دادن کارایی کنترل کننده پیشنهادی، شبیه‌سازی‌هایی در محیط برنامه MATLAB انجام شده و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از کنترل کننده‌های FOPID و PID مقایسه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها کارایی کنترل کننده پیشنهادی را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم رقابت استعماری، بهینه‌سازی، کنترل اتوماتیک ولتاژ، PID فازی

۱- مقدمه

در یک نیروگاه معمولاً چند ژنراتور به باس مشترک متصل می‌شوند. هر یک از این ژنراتورها دارای یک سیستم کنترل اتوماتیک ولتاژ (AVR^۱) می‌باشند که هدف از آن کنترل ولتاژ است [۱]. به دلیل اغتشاشات سیستم، نوسانات الکتریکی ممکن است به مدت زیادی در شبکه باقی مانده و در نهایت سبب ناپایداری سیستم قدرت گردند. لذا برای غلبه بر این مشکلات باید الگوریتم‌های کنترلی موثری را به کار گرفت.

روش‌های کنترلی متعددی در مقالات برای کنترل سیستم AVR پیشنهاد شده است. روش‌های سنتی تنظیم کنترل کننده نظیر تکنیک‌های تخصیص قطب و مینیمم واریانس در مرجع [۲] آورده شده است. در مرجع [۳] یک روش کنترل پیشرفته برای نظارت بر عملکرد AVR معرفی شده است. استفاده از روش‌های بهینه‌سازی به منظور طراحی کنترل کننده برای سیستم قدرت اخیراً توجه زیادی را به خود جلب نموده است [۴-۷]. در مرجع [۸] از الگوریتم انبوه ذرات (PSO^۲) برای کنترل AVR بهره گرفته شده

است. مرجع [۹] از روش بهینه‌سازی چند هدفه برای تنظیم پارامترهای جبران‌ساز پیشفاز - پسفاز به منظور کنترل AVR بهره گرفته است. در مرجع [۱۰] الگوریتم ترکیبی GA^۳ و BF^۴ برای تنظیم PID در یک سیستم AVR نشان داده شده است. در مرجع [۱۱] از یک نوع PSO برای تنظیم پارامترهای PID در سیستم AVR استفاده نموده است. همچنین استفاده از بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم مورچگان نامنظم در مرجع [۱۲] برای تنظیم پارامترهای AVR مورد توجه قرار گرفته است.

امروزه استفاده از PID مرتبه کسری (FOPID^۵) نیز به دلیل انعطاف بیشتر آن نسبت به PID سنتی برای کنترل سیستم‌های قدرت در مقالات متعددی مورد اشاره واقع شده است [۱۳-۱۶]. در مرجع [۱۳] کنترل کننده FOPID مبتنی بر PSO برای کنترل سیستم قدرت استفاده شده است. همچنین در مرجع [۱۴] از کنترل کننده FOPID به همراه الگوریتم CAS^۶ برای کنترل سیستم AVR بهره گرفته شده است. مرجع [۱۵] از الگوریتم

³ Genetic Algorithm

⁴ Bacterial Foraging

⁵ Fractional Order PID

⁶ Chaotic Ant Swarm

¹ Automatic Voltage Regulator

² Particle Swarm Optimization

(ج) مدل ژنراتور

در این مطالعه ژنراتور به صورت زیر مدل سازی شده است:

$$\frac{V_G(s)}{V_{F\lim}(s)} = \frac{K_G}{1 + \tau_G s} \quad (3)$$

که در آن $0.7 < K_G < 1$ و $1 < \tau_G < 2$ می باشند. این مقادیر به بار بسیار وابسته می باشند.

(د) مدل سنسور

مجموعه قسمت های سنسور به صورت رابطه (۴) مدل شده است:

$$\frac{V_S(s)}{V_{out}(s)} = \frac{K_S}{1 + \tau_S s} \quad (4)$$

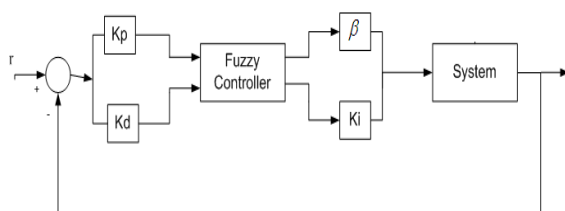
مقدار ثابت زمانی سنسور معمولا بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ انتخاب می گردد.

۳- اصول طراحی کنترل کننده

۳-۱- PID فازی

در طراحی کنترل کننده فازی سه مرحله اساسی وجود دارد که عبارتند از: (۱) طراحی مبتنی بر شناخت (۲) تنظیم پارامترهای کنترلی (۳) توابع عضویت. برای اینکه کنترل کننده فازی بتواند اهداف کنترلی خود را به درستی انجام دهد مراحل بالا باید به طور مناسب انجام گیرد.

در این مقاله از PID فازی معرفی شده در مرجع [۱۹] برای کنترل سیستم AVR استفاده شده است. شکل (۲) طرح این کنترل کننده را نشان می دهد. در این طرح، کنترل کننده PID فازی شامل دو ورودی خطا و مشتق خطا می باشد. از آنجا که توصیف توابع عضویت مثلثی شکل نسبت به دیگر شکل ها، بهینه تر می باشد [۲۰]، لذا از توابع عضویت مثلثی شکل به صورت گسترده ای در طراحی کنترل کننده ها استفاده می شود. در طرح PID فازی پیشنهادی نیز از توابع عضویت مثلثی شکل استفاده شده است. شکل (۳) توابع عضویت به کار رفته در این مقاله را نشان می دهد. همچنین در شکل (۴) قوانین فازی به کار رفته برای کنترل کننده نمایش داده شده است.



شکل ۲: طرح کنترل کننده PID فازی

PSO برای طراحی کنترل کننده FOPID به منظور کنترل سیستم AVR استفاده کرده است. در مرجع [۱۶] نویسندگان از بهینه سازی چند هدفه برای طراحی کنترل کننده PID مرتبه کسری به منظور کنترل سیستم قدرت بهره گرفته اند.

اخیرا استفاده از روش های فازی نیز برای کنترل سیستم قدرت در مقالات پیشنهاد شده است [۱۷، ۱۸]. در مرجع [۱۷] از یک نوع کنترل کننده فازی برای کنترل بار فرکانس در یک سیستم قدرت استفاده گشته است. همچنین نویسندگان در مرجع [۱۸] از کنترل کننده فازی مبتنی بر PSO برای کنترل تولید اتوماتیک در یک سیستم قدرت دو ناحیه ای تجدید ساختار یافته استفاده نموده اند.

در این مقاله برای کنترل AVR از یک نوع کنترل کننده Fuzzy – PID بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری (ICA^۱) استفاده شده است. به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده پیشنهادی شبیه سازی ها با کنترل کننده FOPID و نیز PID سنتی انجام شده است. همچنین به منظور مقایسه، بهینه سازی کنترل کننده Fuzzy-PID با الگوریتم ژنتیک نیز انجام پذیرفته است. نتایج حاصل از شبیه سازی ها عملکرد مطلوب کنترل کننده پیشنهادی را نشان می دهند.

۲- سیستم تحت مطالعه

مدل AVR از قسمت های مختلفی تشکیل می شود که عبارتند از: سیستم تقویت کننده، سیستم تحریک، مدل ژنراتور و قسمت سنسور. شکل (۱) شماتیک این سیستم را نشان می دهد. در ادامه به معرفی توابع انتقال قسمت های مختلف سیستم AVR پرداخته می شود [۱۷، ۱۵].

(الف) مدل تقویت کننده

مدل تقویت کننده به صورت ذیل می باشد:

$$\frac{V_R(s)}{V_C(s)} = \frac{K_A}{1 + \tau_A s} \quad (1)$$

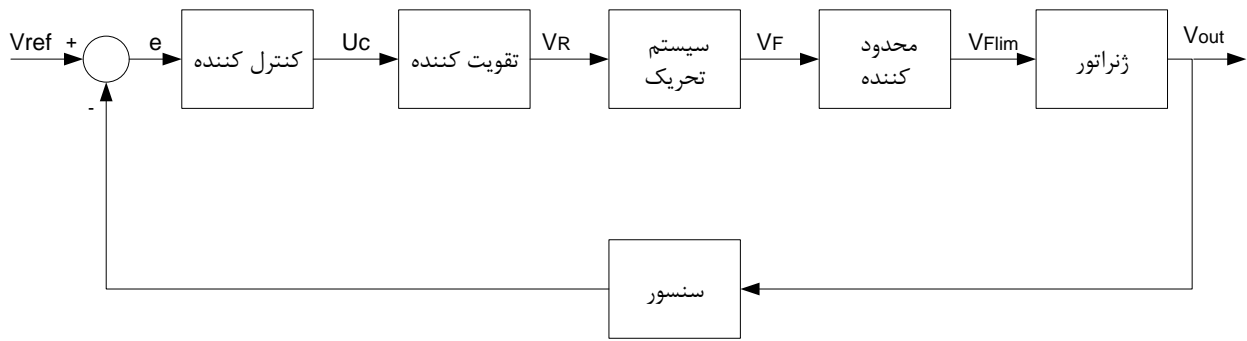
مقادیر نوعی K_A در محدوده ۱۰-۴۰۰ بوده و ثابت زمانی معمولا بین ۰/۰۲ تا ۰/۱ ثانیه می باشد.

(ب) مدل سیستم تحریک

مدل سیستم تحریک به صورت رابطه (۲) بوده و مقادیر K_E و τ_E معمولا به ترتیب بین ۱۰ تا ۴۰۰ و ۰/۵ تا ۱ ثانیه می باشند.

$$\frac{V_F(s)}{V_R(s)} = \frac{K_E}{1 + \tau_E s} \quad (2)$$

¹ Imperialist Competitive Algorithm



شکل ۱: شماتیک سیستم تحت مطالعه

طراحی FOPID شامل تعیین سه پارامتر k_P ، k_I و k_D و دو مرتبه λ و δ که لزوماً عدد صحیحی نیستند، می‌باشد. روش‌های طراحی متفاوتی برای این نوع کنترل کننده معرفی شده است از جمله: توزیع قطب [۲۲]، استراتژی حوزه فرکانس [۲۳]، طراحی فضای حالت [۲۴] و استراتژی ترکیبی [۲۵]. در این مطالعه برای یافتن پارامترهای کنترل کننده FOPID از الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است.

تکنیک‌ها و روش‌های تقریب‌سازی مختلفی برای دستیابی به مدل‌های گسسته یا پیوسته مدل‌های مرتبه کسری وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش Crone می‌باشد. این تقریب به صورت زیر می‌باشد [۲۶]:

$$s^v \approx k \prod_{n=1}^N \frac{1 + \frac{s}{\omega_{zn}}}{1 + \frac{s}{\omega_{pn}}} \quad v > 0 \quad (7)$$

این تقریب در بازه فرکانسی $[\omega_l; \omega_h]$ معتبر است. فرکانس قطب‌ها و صفرها را می‌توان با روابط ذیل بدست آورد [۲۶]:

$$\omega_{z1} = \omega_l \sqrt{\lambda} \quad (8)$$

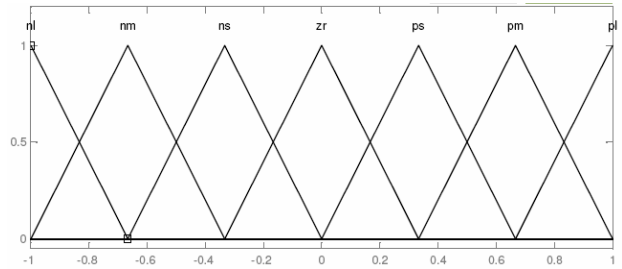
$$\omega_{pn} = \omega_{zn} \delta, \quad n = 1 \dots N \quad (9)$$

$$\omega_{zn+1} = \omega_{pn} \lambda, \quad n = 1 \dots N - 1 \quad (10)$$

$$\delta = \left(\frac{\omega_h}{\omega_l} \right)^{\frac{v}{N}} \quad (11)$$

$$\lambda = \left(\frac{\omega_h}{\omega_l} \right)^{\frac{v}{N}} \quad (12)$$

در این مقاله از روش Crone و $N=5$ برای پیاده‌سازی FOPID استفاده شده است.



شکل ۳: توابع عضویت

E/E	NL	NM	NS	ZR	PS	PM	PL
PL	ZR	ps	pm	pl	pl	pl	pl
PM	ns	ZR	ps	pm	pl	pl	pl
PS	nm	ns	ZR	ps	pm	pl	pl
ZR	nl	nm	ns	ZR	ps	pm	pl
NS	nl	nl	nm	ns	ZR	ps	pm
NM	nl	nl	nl	nm	ns	ZR	ps
NL	nl	nl	nl	nl	nm	ns	ZR

شکل ۴: قوانین فازی

۳-۲- PID مرتبه کسری

کنترل کننده PID مرتبه کسری یک ساختار مناسب با مرتبه کسری است که برای اهداف کنترلی به کار گرفته می‌شود. این کنترل کننده برای اولین بار توسط پودلابنی در سال ۱۹۹۹ معرفی شد [۲۱]. این کنترل کننده با پنج پارامتر بهره تناسبی، بهره انتگرالی، بهره مشتقی، مرتبه انتگرالگیری و مرتبه مشتق‌گیری مشخص می‌شود. معادله دیفرانسیل یک کنترل کننده $PI^\lambda D^\delta$ مرتبه کسری به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$u(t) = k_p e(t) + k_i D_t^{-\lambda} e(t) + k_D D_t^\delta e(t) \quad (5)$$

تابع انتقال FOPID با تبدیل لاپلاس بدست آمده و برابر است با:

$$G_c(s) = k_p + k_i s^{-\lambda} + k_D s^\delta \quad (6)$$

۴- الگوریتم رقابت استعماری

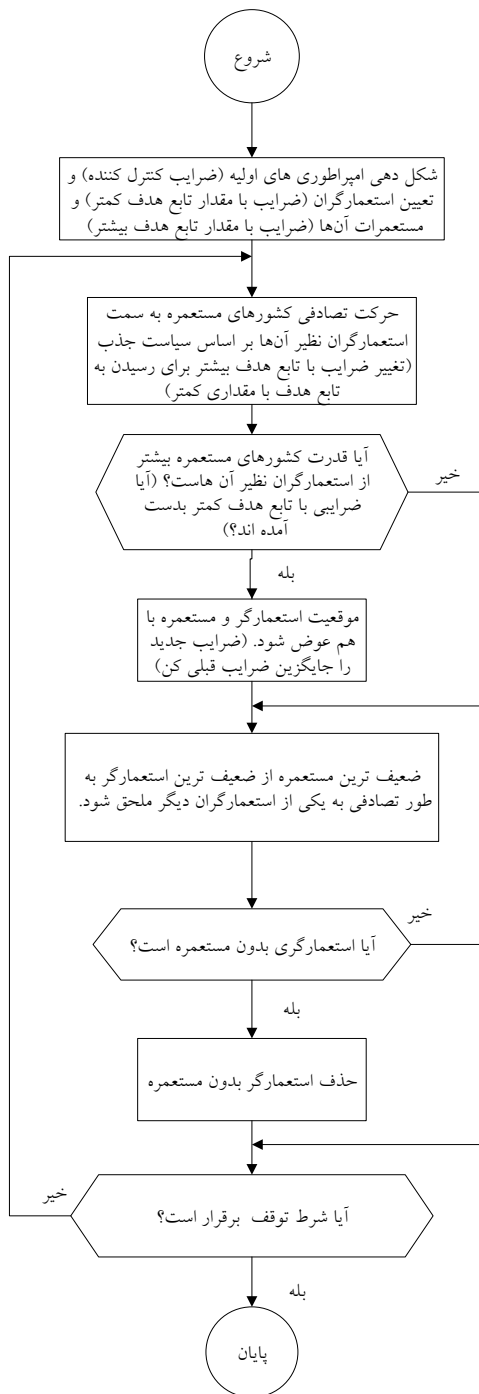
امروزه الگوریتم رقابت استعماری به دلیل سرعت و دقت بالای آن در دستیابی به پاسخ‌های مسئله، محبوبیت زیادی یافته است [۲۹-۲۷]. همانند دیگر الگوریتم‌های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آنها یک «کشور» نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. تعدادی از بهترین عناصر جمعیت به عنوان امپریالیست انتخاب شده و باقیمانده جمعیت نیز به عنوان مستعمره، در نظر گرفته می‌شوند. امپریالیست‌ها بسته به قدرت خود، این مستعمرات را با یک روند خاص به سمت خود می‌کشند. به طور خلاصه مراحل الگوریتم رقابت استعماری را می‌توان بدین صورت برشمرد [۳۰]:

شکل‌دهی امپراطوری‌های اولیه
سیاست جذب
انقلاب؛ تغییرات ناگهانی در موقعیت یک کشور
جابجایی موقعیت مستعمره و امپریالیست
رقابت استعماری
سقوط امپراطوری‌های ضعیف

فلوچارت این الگوریتم در شکل (۵) آورده شده است [۳۰].

۵- نتایج شبیه‌سازی

در این بخش به بررسی نتایج شبیه‌سازی پرداخته می‌شود. در همه موارد جهت تعیین پارامترهای هر سه کنترل کننده Fuzzy – PID، FOPID و PID از الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است. همچنین لازم به ذکر است که در این مطالعه زمان خیز مدت زمانی در نظر گرفته شده است که مقدار ولتاژ خروجی سیستم از ۵٪ به ۹۰٪ مقدار ماندگار خود می‌رسد. مقادیر پارامترهای سیستم و الگوریتم رقابت استعماری در ضمیمه آورده شده‌اند.



شکل ۵: فلوچارت الگوریتم رقابت استعماری

۵-۱- عملکرد کنترل کننده پیشنهادی

برای تعیین پارامترهای کنترل کننده پیشنهادی از الگوریتم رقابت استعماری و نیز از تابع هدف ITAE استفاده شده است. همچنین از آنجا که مقدار سیگنال کنترلی کنترل کننده باید به گونه‌ای باشد تا سیستم را به اشباع نبرد، انترگرال توان دوم سیگنال کنترلی نیز به توابع هدف افزوده شده است بنابراین تابع هدف بکار گرفته شده در این مقاله به صورت زیر می‌باشد [۳۱]:

۵-۲- عملکرد کنترل کننده در حضور عدم قطعیت‌ها

در این بخش به بررسی عملکرد سه کنترل کننده در حضور عدم قطعیت در پارامترهای سیستم پرداخته می‌شود. در ابتدا فرض می‌شود که پارامترهای سیستم تحریک دارای ۵۰٪ عدم قطعیت باشند. نتایج در شکل‌های (۸) تا (۱۰) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کنترل کننده پیشنهادی دارای مقاومت بیشتری نسبت دو کنترل کننده دیگر می‌باشد. شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) عملکرد سه کنترل کننده را در حضور عدم قطعیت در پارامترهای ژنراتور به میزان ۵۰٪ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با استفاده از دو کنترل کننده FOPID و FOPID، در هنگام کاهش پارامترهای مدل ژنراتور به اندازه ۵۰٪، زمان نشست و زمان خیز ولتاژ خروجی سیستم بسیار زیاد می‌شود، همچنین با افزایش پارامترها به میزان ۵۰٪، مقدار فرارجهش ولتاژ خروجی سیستم چند برابر می‌شود اما زمانی که از کنترل کننده پیشنهادی استفاده می‌شود میزان افزایش زمان نشست، زمان خیز و فرارجهش به میزان بسیار کمتری افزایش می‌یابد.

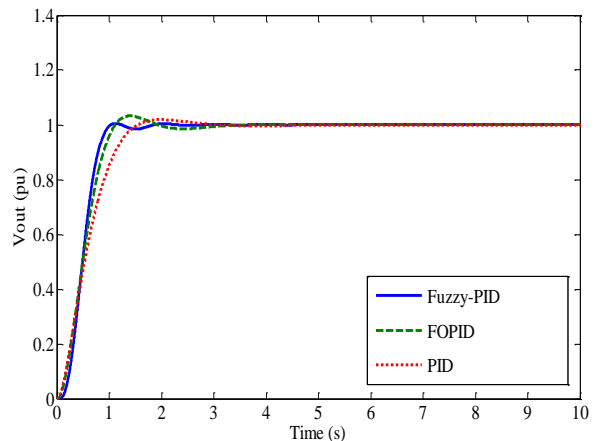
شکل‌های (۱۴) تا (۱۶) شکل ولتاژ خروجی سیستم را در هنگام کاهش و افزایش پارامترهای سیستم تقویت کننده نشان می‌دهد. در این مورد نیز عملکرد کنترل کننده پیشنهادی با توجه به شکل‌ها در مجموع بهتر می‌باشد.

۵-۲- مقایسه با الگوریتم ژنتیک

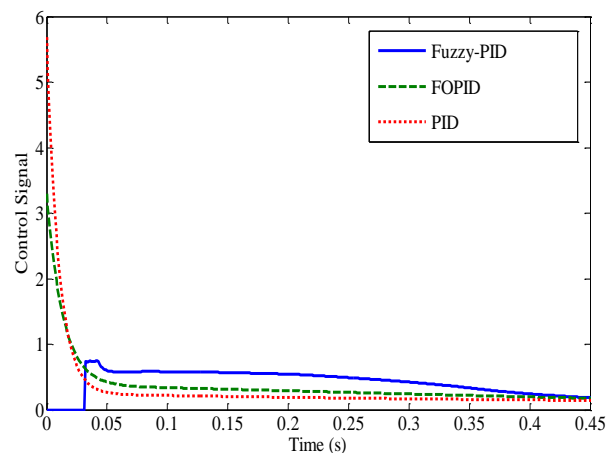
در ادامه به منظور مقایسه، بهینه‌سازی کنترل کننده Fuzzy-PID با الگوریتم ژنتیک نیز انجام پذیرفته است. پارامترهای کنترل کننده Fuzzy-PID بهینه شده با الگوریتم ژنتیک و پارامترهای الگوریتم ژنتیک به ترتیب در جدول (۲) و (۳) آورده شده‌اند. در شکل (۱۷) ولتاژ خروجی سیستم به ازای کنترل کننده Fuzzy-PID بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود کنترل کننده Fuzzy-PID بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری عملکرد مطلوبتری نسبت به کنترل کننده بهینه شده با الگوریتم ژنتیک دارد. همچنین از جدول (۲) می‌توان مشاهده نمود که مقدار تابع هدف با الگوریتم رقابت استعماری کمتر از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

$$(13) \int_0^T |e| dt + \int_0^T u^2 dt$$

در رابطه مذکور e اختلاف بین ورودی مرجع و خروجی سیستم بوده، t نشانگر متغیر زمان و u نمایانگر سیگنال کنترلی می‌باشند. در رابطه (۸) حدود انتگرالگیری از ۰ تا ۲۰ ثانیه می‌باشد. شکل (۶) ولتاژ خروجی سیستم را به ازای تابع هدف تعریف شده نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، ولتاژ خروجی حاصل از کنترل کننده پیشنهادی دارای مقدار فرارجهش، زمان نشست و زمان خیز کمتری نسبت به ولتاژ خروجی بدست آمده از دو کنترل کننده FOPID و PID می‌باشد. میزان سیگنال کنترلی سه کنترل کننده تحت مطالعه به ازای تابع هدف تعریف شده در شکل (۷) آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار پیک اندازه سیگنال کنترلی حاصل از کنترل کننده Fuzzy - PID از دو کنترل کننده PID و FOPID بسیار کمتر می‌باشد. جدول (۱) خلاصه‌ای از نتایج شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



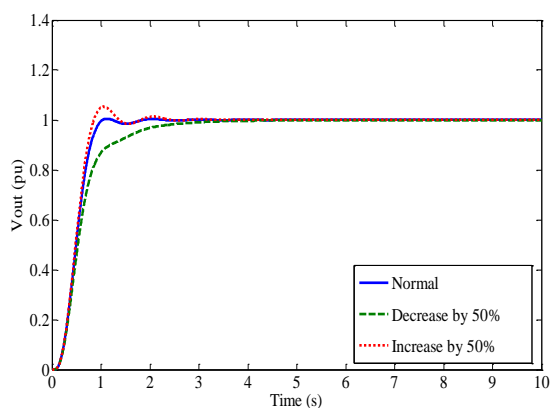
شکل ۶: ولتاژ خروجی سیستم به ازای سه کنترل کننده



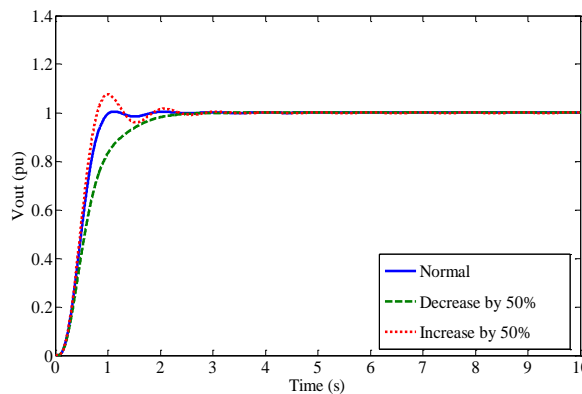
شکل ۷: سیگنال کنترلی به ازای سه کنترل کننده

جدول ۱: خلاصه نتایج شبیه‌سازی مربوط به کنترل کننده‌های مختلف

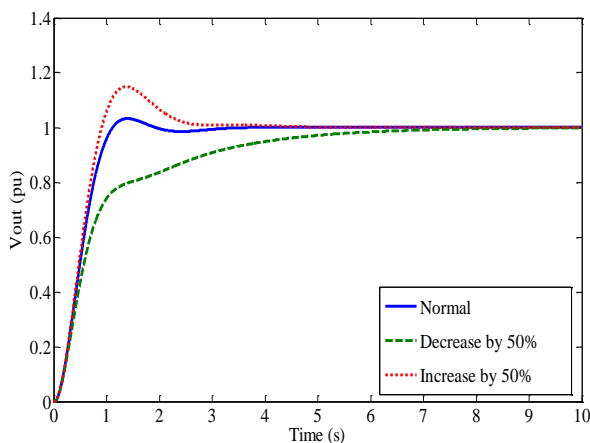
Fit. Fun.	Controller	Kp	Ki	Kd	Δ	λ	B	O.V	S.T	R.T	Fit.Val
ITAE	FuzzyPID	0.6880	0.8733	0.2529	-	-	0.8269	0.53%	0.9414	.597	0.484
	FOPID	0.2414	0.0733	0.1766	0.9968	0.8102	-	3.28%	1.6661	.877	0.5945
	PID	0.2246	0.1564	0.0574	-	-	-	1.93%	1.4064	.999	0.7419



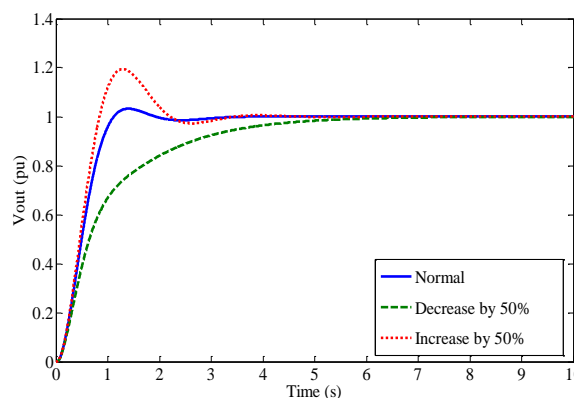
شکل ۱۱: عملکرد کنترل کننده Fuzzy - PID در هنگام تغییر پارامترهای ژنراتور



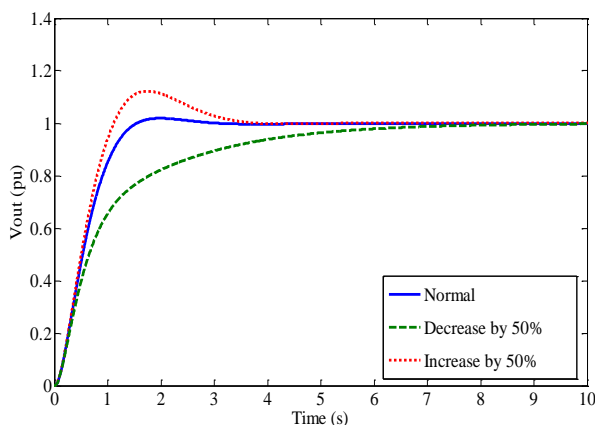
شکل ۸: عملکرد کنترل کننده Fuzzy - PID در هنگام تغییر پارامترهای سیستم تحریک



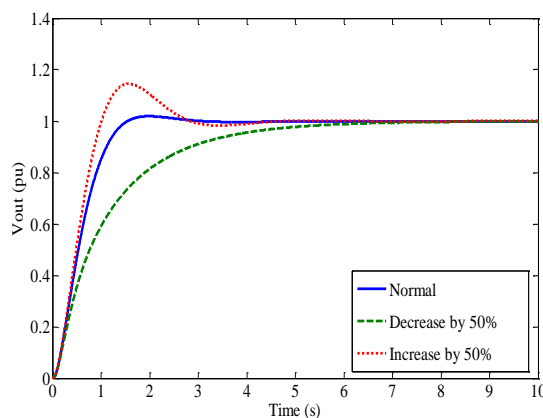
شکل ۱۲: عملکرد کنترل کننده FOPID در هنگام تغییر پارامترهای ژنراتور



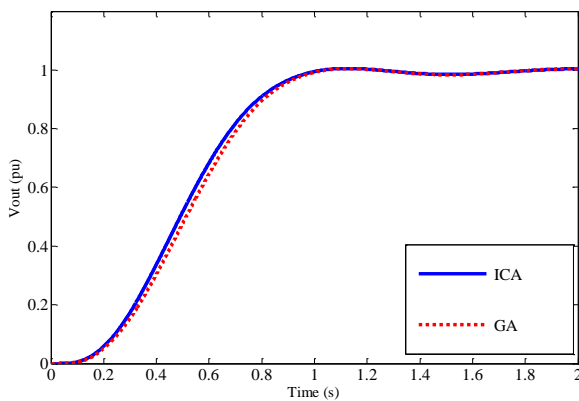
شکل ۹: عملکرد کنترل کننده FOPID در هنگام تغییر پارامترهای سیستم تحریک



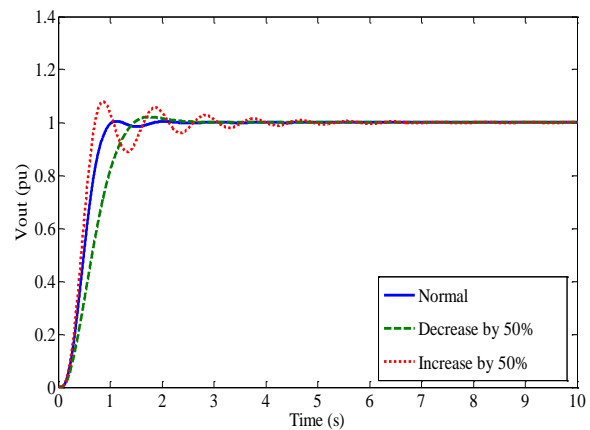
شکل ۱۳: عملکرد کنترل کننده PID در هنگام تغییر پارامترهای ژنراتور



شکل ۱۰: عملکرد کنترل کننده PID در هنگام تغییر پارامترهای سیستم تحریک



شکل ۱۷: ولتاژ خروجی سیستم به ازای مقادیر حاصل از دو الگوریتم GA و ICA



شکل ۱۴: عملکرد کنترل کننده Fuzzy - PID در هنگام تغییر پارامترهای سیستم تقویت کننده

در شکل (۱۸) پاسخ کنترل کننده Fuzzy-PID بهینه شده با ICA و GA در حالتی که ورودی به صورت ذیل تغییر نماید نشان داده است:

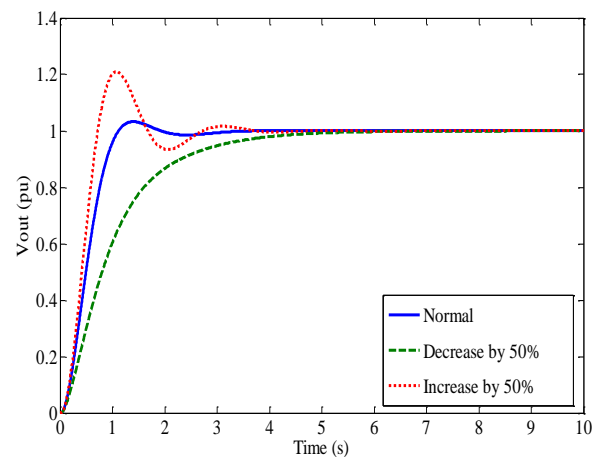
$$t(s): [0 \ 5 \ 10 \ 15] \rightarrow V_{out}(pu): [1 \ 0.5 \ 0.1 \ 1]$$

همانطور که مشاهده می گردد کنترل کننده بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری پاسخ بهتری نسبت به کنترل کننده بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در ردیابی ورودی مرجع دارد.

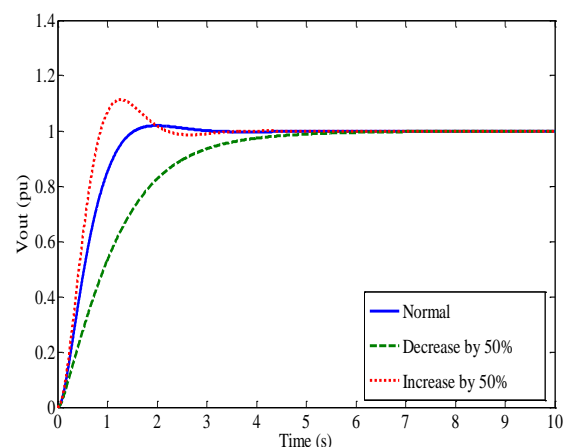
در ادامه خروجی های سیستم AVR با کنترل کننده های بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک با فرض اینکه پارامترهای سیستم تحریک دچار ۵۰٪ افزایش و کاهش شده باشند، با یکدیگر مقایسه شده اند. در شکل (۱۹) خروجی سیستم در حالتی که پارامترهای سیستم تحریک دچار ۵۰٪ افزایش و در شکل (۲۰) خروجی سیستم در حالتی که پارامترهای سیستم تحریک دچار ۵۰٪ کاهش گشته اند نمایش داده شده اند. همانطور که در هر دو شکل می توان مشاهده نمود، کنترل کننده بهینه شده با ICA پاسخ بهتری نسبت به کنترل کننده بهینه شده با GA دارد. در واقع می توان بیان نمود که کنترل کننده فازی PID بهینه شده با ICA تحت شرایط مذکور دارای مقاومت بیشتری نسبت به کنترل کننده بهینه شده با GA می باشد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله به روش جدیدی برای کنترل سیستم AVR پرداخته شده است. در این روش از یک PID فازی بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری برای کاهش فراجهدش، زمان نشست و زمان خیز ولتاژ خروجی سیستم AVR استفاده شد. برای بررسی عملکرد کنترل کننده پیشنهادی، شبیه سازی ها با دو کنترل کننده PID و FOPID نیز انجام گرفت.



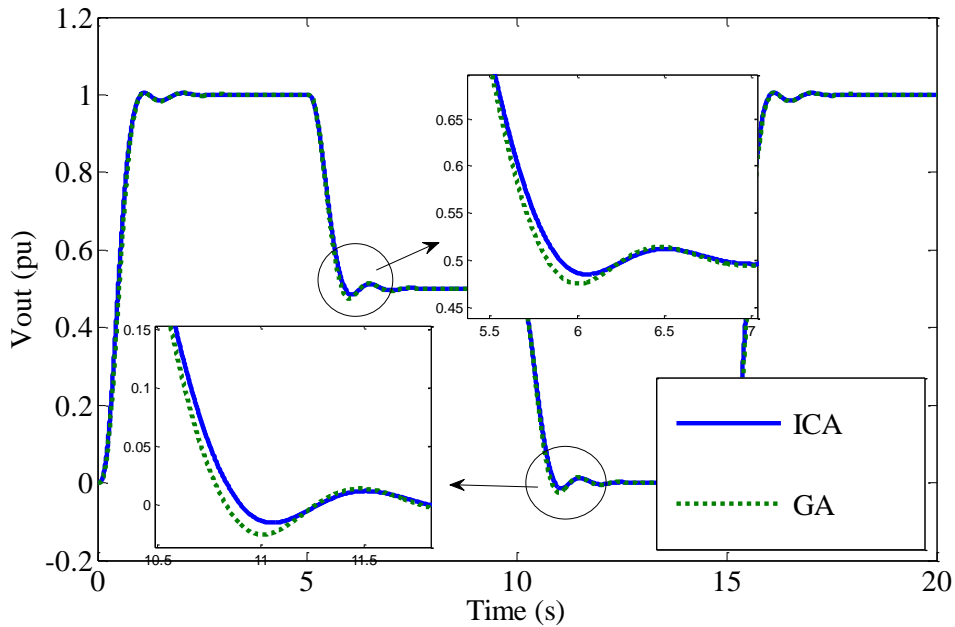
شکل ۱۵: عملکرد کنترل کننده FOPID در هنگام تغییر پارامترهای سیستم تقویت کننده



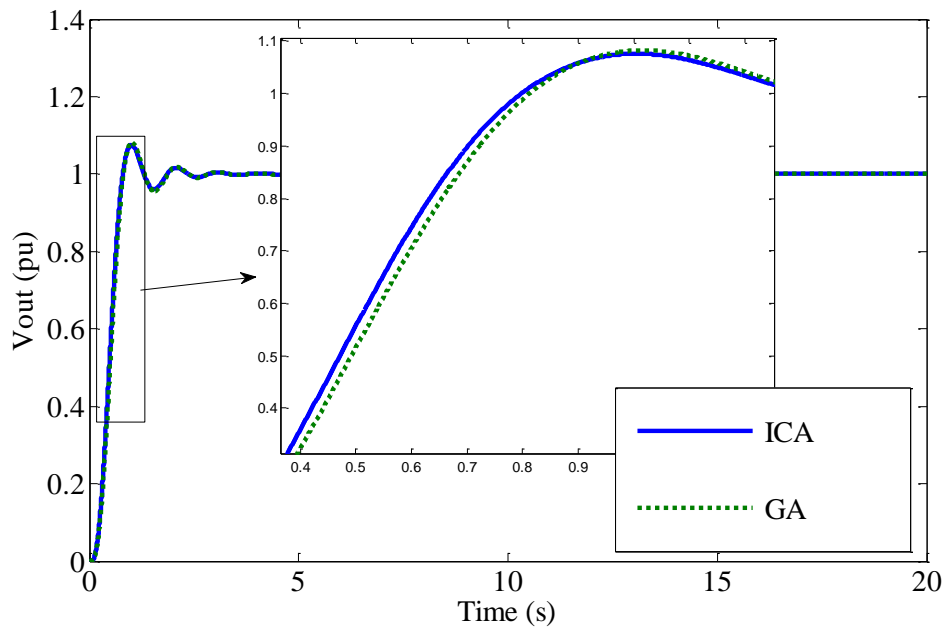
شکل ۱۶: عملکرد کنترل کننده PID در هنگام تغییر پارامترهای سیستم تقویت کننده

جدول ۲: پارامترهای بهینه شده کنترل کننده Fuzzy-PID با دو الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک

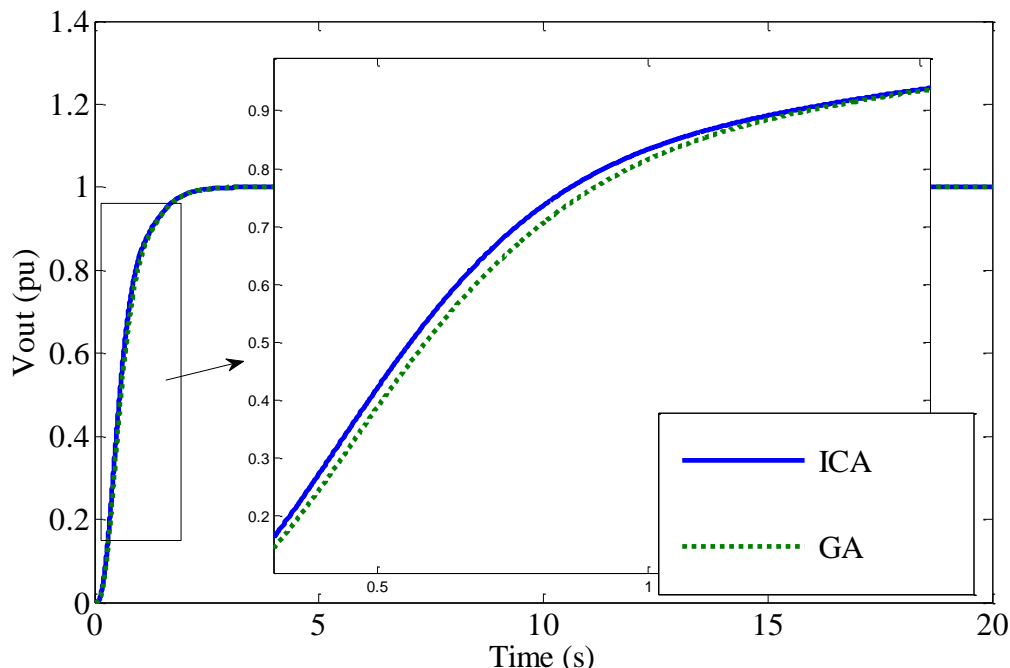
	Algorithm	Kp	Ki	Kd	β	Fitness Value
ITAE	ICA	0.6880	0.8733	0.2529	0.8269	0.484
	GA	0.8338	0.3050	0.7693	0.7142	0.4888



شکل ۱۸: مقایسه عملکرد کنترل کننده‌های بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک در ردیابی ورودی مرجع



شکل ۱۹: مقایسه عملکرد کنترل کننده‌های بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک در افزایش ۵۰٪ پارامترهای سیستم تحریک



شکل ۲: مقایسه عملکرد کنترل کننده‌های بهینه شده با الگوریتم رقابت استعماری و الگوریتم ژنتیک در کاهش ۵۰٪ پارامترهای سیستم تحریک

- [4] E.S. Ali, S.M. Abd-Elazim, "Coordinated design of PSSs and TCSC via bacterial swarm optimization algorithm in a multimachine power system", *Int J Electr Power Energy Syst*, 2012, Vol.36, No. 1, pp. 84-92.
- [5] Shaw B, Banerjee A, Ghoshal S, Mukherjee V., "Comparative seeker and bioinspired fuzzy logic controllers for power system stabilizers", *Int J Electr Power Energy Syst*, 2011, Vol. 33, No. 10, pp. 1728-38.
- [6] Talaat HEA, Abdennour A, Al-Sulaiman AA., "Design and experimental investigation of a decentralized GA-optimized neuro-fuzzy power system stabilizer", *Int J Electr Power Energy Syst*, 2010, Vol. 32, No. 7, pp. 751-9.
- [7] Mostafa HE, El-Sharkawy MA, Emary AA, Yassin K., "Design and allocation of power system stabilizers using the particle swarm optimization technique for an interconnected power system", *Int J Electr Power Energy Syst*, 2011, Vol. 34, No. 1, pp. 57-65.
- [8] Gaing ZL., "A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system", *Energy Convers IEEE Trans*, 2004, Vol. 19, No. 2, pp. 384-91.
- [9] Selvabala B, Devaraj D., "Co-ordinated design of AVR-PSS using multi objective genetic algorithm". *Swarm Evol Memet Comput LNCS 010:6466/2010*, pp. 481-93.
- [10] Kim DH., "Hybrid GA-BF based intelligent PID controller tuning for AVR system", *Appl Soft Comput*, 2011, Vol. 11, No. 1, pp. 11-22.
- [11] Chatterjee A, Mukherjee V, Ghoshal S., "Velocity relaxed and craziness-based swarm optimized intelligent PID and PSS controlled AVR system", *Int J Electr Power Energy Syst*, 2009, Vol. 31, No. 7-8, pp. 323-33.
- [12] Zhu H, Li L, Zhao Y, Guo Y, Yang Y., "CAS algorithm-based optimum design of PID controller in AVR system", *Chaos Solit Fract*, 2009, Vol. 42, No. 2, pp. 792-800.
- [13] Karimi-Ghartemani M., Zamani M., Sadati N., Parniani M., "An Optimal Fractional Order Controller for an AVR System Using Particle Swarm optimization Algorithm", *Power Engineering, 2007 Large Engineering Systems Conference on*, pp. 244-247.

پاسخ کنترل کننده PID نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که پاسخ کنترل کننده PID فازی نسبت به دو کنترل کننده PID و FOPID از لحاظ میزان فراجهش، زمان نشست و زمان خیز بهتر می‌باشد.

ضمن اینکه کنترل کننده PID فازی دارای پیک سیگنال کنترلی کمتری نسبت به دو کنترل کننده دیگر می‌باشد. همچنین برای بررسی میزان مقاوم بودن کنترل کننده پیشنهادی، شبیه‌سازی‌هایی به ازای سه حالت مختلف عدم قطعیت صورت گرفت. نتایج حاصل از این شبیه‌سازی‌ها نشان داد که کنترل کننده پیشنهادی در همه موارد نسبت به دو کنترل کننده دیگر دارای عملکرد بهتری می‌باشد. همچنین به منظور مقایسه بهینه‌سازی کنترل کننده Fuzzy-PID با الگوریتم ژنتیک نیز انجام پذیرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها عملکرد بهتر الگوریتم رقابت استعماری در بهینه‌سازی را نشان دادند.

مراجع

- [1] Finch J., Zachariah K., Farsi M., "Turbogenerator self-tuning automatic voltage regulator", *Energy Convers IEEE Trans*, 1999, Vol. 14, No. 3, pp. 843-8.
- [2] Ibrahim A., Hogg B., Sharaf M., "Self-tuning automatic voltage regulators for a synchronous generator", *Contr Theor Appl IEE Proc D*, 1989, Vol. 136, No. 5, pp. 252-60.
- [3] Flynn D., Hogg B., Swidenbank E., Zachariah K., "Expert control of a self-tuning automatic voltage regulator", *Contr Eng Pract*, 1995, Vol.3, No.11, pp. 571-9.

- [14] Tang Y, Cui M, Hua C, Li L, Yang Y., "Optimum design of fractional order $PI^{\delta}D^{\delta}$ controller for AVR system using chaotic ant swarm", *Exp Syst Appl*, 2012, Vol. 39, No. 8, pp. 6887–96.
- [15] Zamani M., Karimi-Ghartemani M. Sadati N., Parniani M., "Design of a fractional order PID controller for an AVR using particle swarm optimization", *Control Engineering Practice* 17 (2009) 1380–1387.
- [16] Indranil Pan , Saptarshi Das "Chaotic multi-objective optimization based design of fractional order $PI^{\delta}D^{\delta}$ controller in AVR system", *Electrical Power and Energy Systems*, 2012, Vol. 43, No. 1, pp. 393–407
- [17] Bevrani H., Daneshmand PR., "Fuzzy logic-based load–frequency control concerning high penetration of wind turbines", *Syst J IEEE*, 2012, Vol. 6, No. 1, pp. 173–80.
- [18] Sinha S, Patel R, Prasad R., "Application of AI supported optimal controller for automatic generation control of a restructured power system with parallel AC–DC tie lines", *Eur Trans Electr Power*, <http://dx.doi.org/10.1002/etep.595>.
- [19] Woo Z., Chung H., Lin J., "A PID type fuzzy controller with self-tuning scaling factors" *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, Vol. 115, pp. 321-326.
- [20] Driankov D., Hallendorn H., Reinfrank M., "An introduction to fuzzy control", Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- [21] Podlubny I., "Fractional-order systems and $PI^{\delta}D^{\delta}$ Controllers", *IEEE Trans. Automatic Control*, 1999, Vol. 44, No. 1, pp. 208-214.
- [22] Petras I., "The fractional order controllers: methods for their synthesis and application, *Journal of Electrical Engineering*", 1999 Vol. 50, No. 9-10, pp. 284-288.
- [23] Vinagre B.M., Podlubny I., Dorack L., Feliu V., "On fractional PID controllers: a frequency domain approach. In: *Proceedings of IFAC Workshop on Digital Control-PID*", Terrassa, Spain, 2000.
- [24] Dorcak I., Petras I., Kostical I., Terpak J., "State-space controller design for the fractional-order regulated systems", In: *Proceedings of the ICC2001, Krynica*, pp. 15-20, 2001.
- [25] Chengbin M., Hori Y., "The application of fractional order PID controller for robust two-inertia speed control", In: *Proceedings of the 4th International Power Electronic and Motion Control Conference, Xi'an*, 2004.
- [26] Vale´rio D., Sa´da Costa J. "Time-domain implementation of fractional order controllers", *IEE Proc.-Control Theory Appl.*, 2005 Vol. 152, No. 5, pp. 539-552.
- [27] Karami A., Rezaei E., Shahhosseni M., Aghakhani M., "Optimization of heat transfer in an air cooler equipped with classic twisted tape inserts using imperialist competitive algorithm", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2012, Vol. 38, pp. 195-200.
- [28] Kaveh A., Talatahari S., "Optimum design of skeletal structures using imperialist competitive algorithm" *Computers&Structures*, 2010, Vol. 88, No. 21-22, pp. 1220-1229.
- [29] Nazari-Shirkouhi S., Eivazy H., Ghodsi R., Rezaei K., Atashpaz-Gargari E., "Solving the integrated product mix-outsourcing problem using the imperialist competitive algorithm", *Expert Systems with Applications*, 2010, Vol. 37, No. 12, pp. 7615-7626
- [30] Atashpaz-Gargari E., Lucas C., "Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition", *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2007, pp. 4661–4667.
- [31] Saptarshi Das, Indranil Pan, Shantanu Das, Amitava Gupta, "A Novel Fractional Order Fuzzy PID Controller and Its Optimal Time Domain Tuning Based on Integral Performance Indices", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 25, Issue 2, March 2012, Pages 430–442

Design of Fuzzy-PID controller Optimized by Imperialist Competitive Algorithm to control of AVR system

Saber Falahati^{1*}, Seyed Abbas Taher² and Masoud Hajiakbari³

1*- Corresponding Author: Electrical and Computer Department, Kashan University, Kashan, Iran.

1*- Technical Expert, Esfahan Regional Electric Company

2- Electrical and Computer Department, Kashan University, Kashan, Iran.

3- Electrical and Computer Department, Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran.

^{1*}s_falahati@yahoo.com, ²sataher@kashanu.ac.ir, ³M.hajiakbari@ec.iut.ac.ir

Abstract- In this paper a new method has been proposed for control of AVR system. For this purpose Fuzzy-PID controller has been employed. This controller has four parameters that their values have been obtained with optimization and imperialist competitive algorithm due to its high speed and accuracy. By using of proposed controller it is possible to control the system more effective. To illustrate good performance of proposed Fuzzy-PID, simulations have been carried out in MATLAB environment and results have been compared with PID and FOPID controllers. Results of simulations show good performance of suggested controller.

Keywords- Imperialist Competitive Algorithm, Optimization, Automatic Voltage Regulator, Fuzzy-PID