



طراحی پایدار ساز سیستم قدرت با استفاده از کنترل کننده PID نوع فازی بهینه شده با الگوریتم کرم شب تاب

امین گشتی^{۱*}، عارف جلیلی ایرانی^۲

a.gashti.ee@gmail.com

arefjalili@gmail.com

چکیده

در این مقاله ساختار پایدار ساز سیستم قدرت مقاوم با استفاده از کنترل کننده^۱ PID نوع فازی بهینه شده با الگوریتم کرم شب تاب^۲ (FA-PID-FLC) پیشنهاد شده است. جهت میرایی نوسانات فرکانس پایین و افزایش پایداری سیگنال کوچک، پایدار ساز سیستم قدرت فازی^۳ (FPSS) به سیستم تحریک اضافه می شود. مدل سیستم قدرت تک ماشین متصل به شین بینهایت^۴ (SMIB) همراه با پایدار ساز سیستم قدرت متداول، FPSS و FA-PID-FLC مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات سرعت و شتاب روتور به عنوان ورودی کنترل کننده فازی در نظر گرفته شده است. تابع هدف بر اساس یکی از حالات سیستم (در اینجا تغییرات زاویه روتور) و با در نظر گرفتن مدهای نوسانی انتخاب شده است. اثربخشی FA-PID-FLC با FPSS و پایدار ساز سیستم قدرت متداول مقایسه شده است که نتایج شبیه سازی به دست آمده در شرایط عملیاتی مختلف حکایت از بهبود قابل توجه عملکرد سیستم در حالت میرایی نوسانات با کنترل کننده پیشنهادی دارد.

کلمات کلیدی: PID، PSS، الگوریتم کرم شب تاب، نوسانات سیستم قدرت، کنترل کننده فازی.

۱- مقدمه

با توجه به شبکه های قدرت بهم پیوسته، سیستم های مدرن امروزی بسیار پیچیده هستند. نوسانات فرکانس پایین الکترومکانیکی در بازه ۰/۱ تا ۳ هرتز در سیستم قدرت وجود دارند که ممکن است به علت عدم میرایی مناسب رخ دهند. حضور این نوسانات برای مدت زمان طولانی باعث تاثیر منفی بر پایداری دینامیکی و قابلیت انتقال توان توسط سیستم قدرت خواهد شد. پایدار سازهای سیستم قدرت مدت زمان طولانیست که مورد استفاده قرار می گیرند (Mahmud.Rabbani, ۲۰۱۵: ۲۰۱). جهت فراهم کردن میرایی اضافی، PSS یک سیگنال کنترلی مکمل را به سیستم تحریک ژنراتور اعمال می نماید. پایدار ساز سیستم قدرت متداول^۵ (CPSS) به طور معمول جهت افزایش پایداری دینامیکی سیستم قدرت به کار می رود. CPSS برای

¹- Proportional Integral Derivative

²- Firfly Algorithm Proportional Integral Derivative Fuzzy Logic Controller

³- Fuzzy Power System Stabilizer

⁴- Single Machine Infinite Bus

⁵- Conventional Power System



سیستم قدرت مدل خطی حول یک نقطه کار مشخص تعریف می‌گردد. روشی تحلیلی برای پیدا کردن پارامترهای CPSS مانند سیگنال وش اوت^۱ و بهره عددی در (Kahlout, Said, Ellithy, ۲۰۱۳: ۱) ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که با تنظیم مناسب پارامترهای CPSS، می‌تواند در رنج گسترده‌ای از شرایط سیستم به خوبی کار کند. با این حال به علت تغییرات گسترده در پارامترها و شرایط سیستم، CPSS ممکن است کارایی ممکن را نداشته باشد (Ayala, Sanchez, Centeno, ۲۰۱۶: ۲۲۰; Wakasugi, Zhang, Hiyama, ۲۰۰۷: ۶). عدم عملکرد صحیح CPSS می‌تواند ناشی از ماهیت غیر خطی سیستم قدرت باشد. روش‌های دیگر طراحی PSS در (Kim, Hyun, Hwang, ۲۰۰۸: ۸۶; Jiang, Zhenhua, ۲۰۰۹: ۸۵۵; Andreoiu, Bhattacharya, ۲۰۰۲: ۱۴۹۵; Morishita, Suzuki, Iwamoto, ۲۰۱۲: ۵) ارائه شده است که عموماً برای سیستم‌های ساده کاربرد داشته و نیاز به محاسبات پیچیده ریاضی و اطلاع از شرایط دینامیکی سیستم قدرت دارد.

کنترل کننده منطق فازی نیاز به محاسبات پیچیده ریاضی ندارد. برخلاف دیگر PSSها حساسیت خیلی کم به تغییر در شرایط عملیاتی و پارامترهای سیستم داشته و در نتیجه می‌تواند جایگزین مناسبی برای غلبه بر محدودیت‌های CPSS باشد. تکنیک‌های زیادی جهت بهبود عملکرد پایدارساز فازی سیستم قدرت مطرح شده است که از آن جمله می‌توان به روش تنظیم تطبیقی فازی (Metwally, Elshafei, ۲۰۰۵: ۴۱۳)، خودسازماندهی کنترل‌کننده‌های فازی، الگوریتم ژنتیک (Tang, Quek, ۲۰۰۲: ۱۰)، الگوریتم PSO^۲ (Yuhui, Eberhart, ۲۰۰۱: ۸۱) و غیره ... اشاره کرد. بهینه‌سازی توسط الگوریتم کرم شب تاب بر مشکل همگرایی در GA^۳ و PSO غلبه می‌کند که روش جستجو FA^۴ برگرفته از رفتار اجتماعی کرم شب تاب در طبیعت است. FA نیاز به چند پارامتر برای تنظیم و نتایج سریعتر نسبت به GA و PSO و روش‌های محاسباتی دیگر دارد. در این مقاله یک پایدارساز سیستم قدرت PID نوع فازی با استفاده از الگوریتم FA به منظور افزایش پایداری دینامیکی سیستم قدرت طراحی شده است. در این مقاله مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی بین پایدارساز سیستم قدرت متداول (CPSS)، پایدارساز سیستم قدرت فازی (FPSS) و پایدارساز سیستم قدرت PID نوع فازی بهینه شده توسط الگوریتم کرم شب تاب (FA-PID-FLC) انجام شده است که نشان از برتری کنترل کننده پیشنهادی دارد.

۲- مدل سیستم قدرت

مدل سیستم قدرت تک ماشین متصل به شین بینهایت در نظر گرفته شده برای طراحی FA-PID-FLC در شکل ۱ ارائه شده است. سیستم قدرت مورد مطالعه شامل یک ژنراتور سنکرون می‌باشد که از طریق یک خط انتقال به شین بینهایت متصل شده است. یک سیگنال کنترلی خارجی توسط پایدارساز فازی سیستم قدرت به ژنراتور سنکرون اعمال می‌شود (Lather, Tayal, ۲۰۱۵: ۳).

¹- Washout

²- Particle Swarm Optimizatio

³- Genetic Algorithm

⁴- Firefly Algorithm



$$\delta = \omega \quad (1)$$

$$\dot{\omega} = \frac{(P_m - P_e - D \cdot \omega)}{M} \quad (2)$$

$$E'_q = \frac{(-E_q + E_{fd}) - (X_d - X'_d)I_d}{T'_{do}} \quad (3)$$

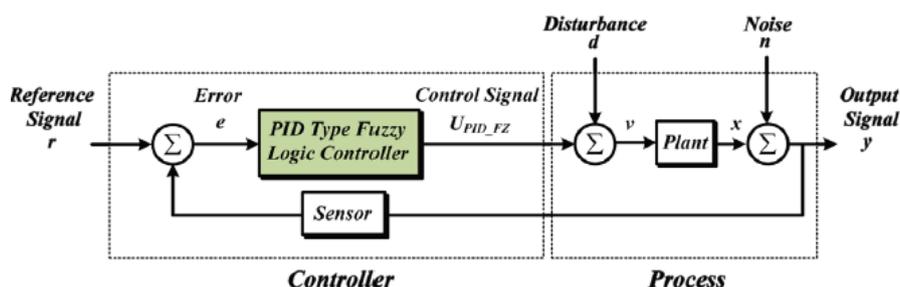
$$\dot{E}_{fd} = \frac{-E_{fd} + K_a(V_{ref} - V_t)}{T_a} \quad (4)$$

که در اینجا P_m و P_e به ترتیب توان ورودی و خروجی ژنراتور، M و D به ترتیب ثابت اینترسی و ضریب نوسانات، δ و ω به ترتیب زاویه و سرعت روتور، E_{fd} ولتاژ میدان، T'_{do} ثابت زمانی گذرای محور طولی ژنراتور در حالت مدار باز، X'_d و X_d به ترتیب راکتانس محور عرضی ژنراتور و راکتانس گذرای محور طولی ژنراتور، K_a و T_a به ترتیب بهره و ثابت زمانی سیستم تحریک، V_{ref} ولتاژ مرجع و V_t ولتاژ ترمینال می‌باشند.

۳- طراحی پایدارساز سیستم قدرت FA-PID-FLC

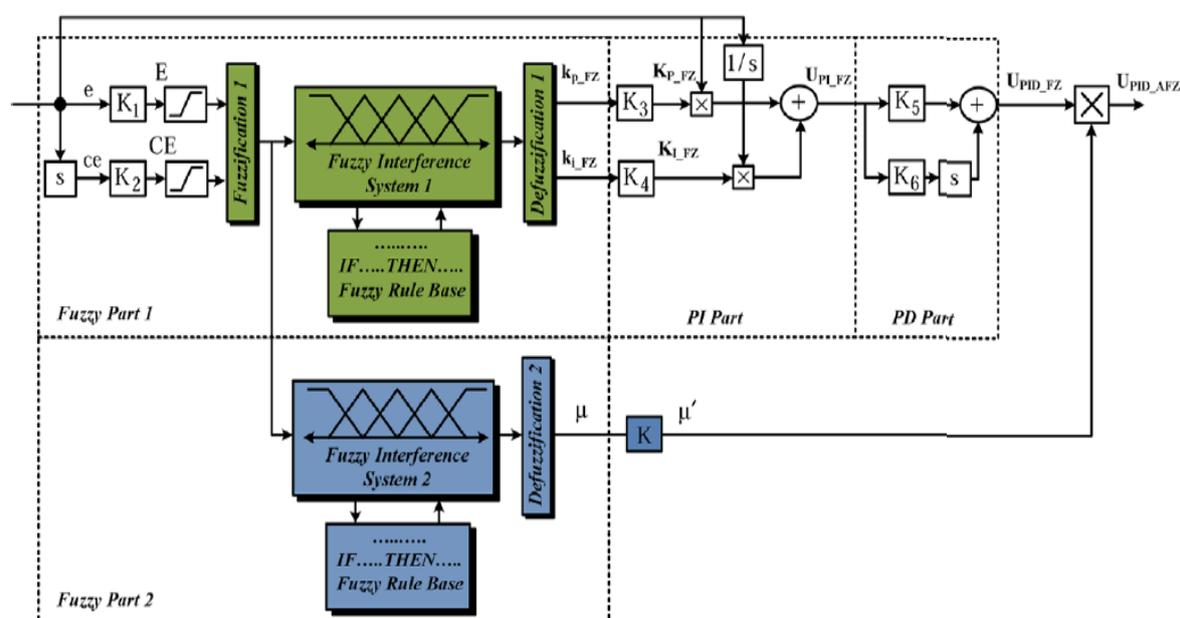
منطق فازی یک منطق ریاضی چند ارزشی می‌باشد که در حل مشکلات با اختصاص مقادیر تقریبی به جای مقادیر دقیق به حل مسئله می‌پردازد. کنترل کننده های فازی همانند انسان عمل نموده و از طریق بررسی تمامی اطلاعات موجود بهترین راه حل عملی به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود (Lather, Tayal, ۲۰۱۵: ۳).

ساختار سیستم کنترل و پردازش کنترل کننده پیشنهادی در شکل ۳ نشان داده شده است که از دو قسمت PI نوع فازی و کنترل کننده PD معمولی تشکیل شده است. سیستم نشان داده شده شکل ۳ از دو بلوک کنترل کننده و پردازشگر تشکیل شده است. دو نوع اختلال به قسمت پردازشگر اعمال می‌شود، یکی اختلال بار (d) و دیگری مقدار نویز اندازه‌گیری شده (n) می‌باشد. مشخصه اختلال بار بیانگر میزان انحراف آن از حالت مطلوب است. متغیر پردازشگر (x) یک متغیر فیزیکی واقعی می‌باشد که هدف کنترل است. متغیر y سیگنال کنترلی خروجی متاثر شده از سیگنال نویز می‌باشد. پردازشگر از طریق سیگنال کنترلی UPID_FZ تحت تاثیر قرار می‌گیرد. پردازشگر یک سیستم با سه ورودی و یک خروجی می‌باشد که ورودی‌های آن به ترتیب سیگنال UPID_FZ، سیگنال اختلال بار و سیگنال نویز هستند. خروجی آن یک سیگنال اندازه‌گیری شده می‌باشد. کنترل کننده یک سیستم با دو ورودی و یک خروجی می‌باشد که ورودی‌های آن سیگنال اندازه‌گیری شده y و سیگنال مرجع r هستند. خروجی آن نیز سیگنال UPID_FZ می‌باشد. باید توجه داشت که سیگنال کنترلی ورودی پردازشگر، سیگنال خروجی کنترل کننده می‌باشد و این درحالیست که سیگنال اندازه‌گیری شده خروجی پردازشگر، سیگنال ورودی کنترل کننده است (Moghabel, Masoum, Fereidouni, ۲۰۱۵: ۵۶).



شکل ۳- ساختار سیستم پردازش و کنترل

کنترل کننده FA-PID-FLC پیشنهادی در شکل ۴ نشان داده شده است که شامل دو بخش کنترل کننده فازی، کنترل کننده های PI و PD، ثابت های عددی (K_1 تا K_6 و K) که در مسیر اتصال مستقیم ورودی ها و خروجی کنترل کننده جهت بهبود پاسخ سیستم قرار گرفته اند. با این تفاسیر انتظار می رود که پاسخ سیستم با این کنترل کننده سریعتر باشد. در این تحقیق جهت تعیین بهینه ثابت های عددی K_1 تا K_6 و K از الگوریتم بهینه سازی کرم شب تاب استفاده شده است (Moghabel, Masoum, Fereidouni, ۲۰۱۵: ۵۶).



شکل ۴- ساختار سیستم کنترل FA-PID-FLC پیشنهادی

قسمت های اصلی کنترل کننده فازی عبارتند از: مرحله فازی سازی که در آن ورودی ها با استفاده از متغیرهای زبانی به مجموعه فازی تبدیل می شوند. فرآیند استنتاج که به تعریف قوانین پایه فازی اختصاص دارد و در پایان مرحله غیر فازی سازی که در آن متغیرهای فازی به خروجی های واقعی با استفاده از توابع عضویت تبدیل می شوند. که توابع عضویت ارائه شده برای کنترل کننده فازی بخش اول در جدول ۱ و کنترل کننده فازی بخش دوم در جدول ۲ عبارتند از: PS, PM, PB, Z, NS, NM و NB که به ترتیب به معنی، مثبت کوچک، مثبت متوسط، مثبت بزرگ، صفر، منفی کوچک، منفی متوسط و منفی بزرگ هستند (Devers, Djahli, Mayouf, ۲۰۱۴: ۴۵۴; Ramirez, Malik, ۲۰۰۸: ۲۳; Ross, ۲۰۰۷: ۲۳).

قوانین پایه کنترل کننده فازی بخش اول در جدول ۱ و قوانین پایه کنترل کننده فازی بخش دوم در جدول ۲ ارائه شده است.

دامنه تعریف ورودی و خروجی ها در بازه $[-1, 1]$ تعریف شده و توابع عضویت از نوع مثلثی متقارن انتخاب شده است که در این مقاله برای ورودی های مطابق شکل ۵، برای خروجی کنترل کننده بخش اول مطابق شکل ۶ و برای کنترل کننده بخش دوم مطابق شکل ۷ می باشد.



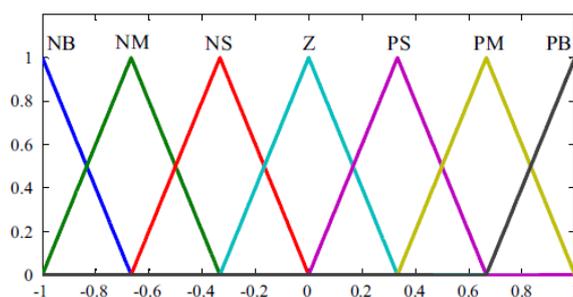
اولین مسابقه کنفرانس بین المللی جامع علوم مهندسی در ایران

جدول ۱-قوانین پایه کنترل کننده فازی بخش اول

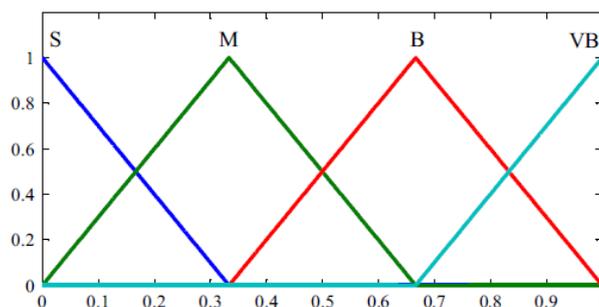
CE	E						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	VB						
NM	B	VB	VB	VB	VB	VB	B
NS	M	B	VB	VB	VB	M	M
Z	S	M	B	VB	B	B	S
PS	M	B	VB	VB	VB	M	M
PM	B	VB	VB	VB	VB	VB	B
PB	VB						

جدول ۱-قوانین پایه کنترل کننده فازی بخش دوم

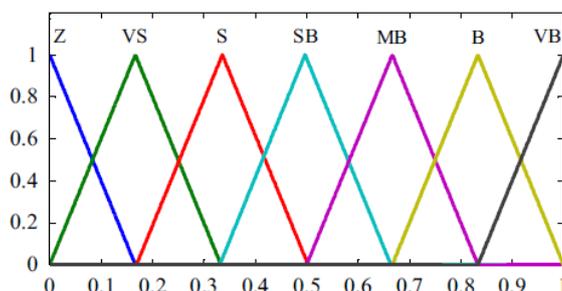
CE	E						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	Z	Z	Z	VS	SB	MB	VB
NM	Z	Z	VS	VS	S	MB	B
NS	VB	S	VS	Z	B	MB	B
Z	VB	SB	S	VB	S	SB	MB
PS	B	MB	B	Z	VS	S	Z
PM	B	MB	S	VS	VS	Z	Z
PB	VB	MB	SB	VS	Z	Z	Z



شکل ۵-توابع عضویت ورودی‌ها



شکل ۶-توابع عضویت خروجی کنترل کننده بخش اول



شکل ۷- توابع عضویت خروجی کنترلی کننده بخش دوم

۴- تابع هدف

برای انتخاب بهینه پارامترهای کنترلی کننده پیشنهادی می‌توان مسئله را به صورت یک مسئله بهینه سازی در یک فضای چند وجهی در نظر گرفت. روش‌های سنتی برای حل اینگونه مسائل از قبیل روش سعی و خطا انتخاب بهینه پارامترهای کنترلی کننده پیشنهادی را تضمین نمی‌کند. هدف از هر روش بهینه سازی تکاملی بهینه کردن (بیشینه/کمینه) تابع هدف و یا تنظیم تابع بر اساس ارضای قیود ثابت یا متغیر مسئله می‌باشد. لازم به ذکر است که هدف از طراحی کنترلی کننده پایدارساز به حداقل رساندن نوسانات سیستم جهت بهبود پایداری، پس از بروز یک اختلال می‌باشد که بر روی انحراف زاویه روتور ژنراتور ($\Delta\delta$) تاثیر می‌گذارد، از این رو تابع هدف به صورت رابطه (۵) در نظر گرفته می‌شود:

$$ITSE = \int_0^t t(\Delta\delta)^2 dt \quad (5)$$

واضح است که تابع هدف حداقل مقدار $\Delta\delta$ را در همه نقاط کار مورد بررسی قرار داده و شناسایی می‌نماید. بنابر این می‌توان با کمینه کردن تابع هدف، نرخ میرایی مدهای الکترومکانیکی سیستم را افزایش داد بدین ترتیب یک مساله بهینه سازی داشته‌که در این تحقیق برای حل این مسئله بهینه سازی از الگوریتم کرم شب تاب استفاده شده است.

۵- الگوریتم کرم شب تاب

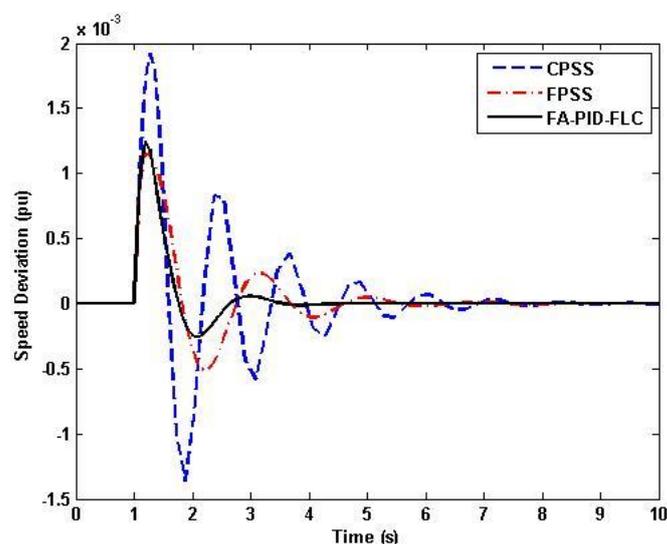
الگوریتم کرم شب تاب جدید ترین الگوریتم فرا ابتکاری الهام گرفته شده از طبیعت است که در اواخر سال ۲۰۰۷ توسط یانگ^۱ معرفی شده است. اساس این الگوریتم مشابه رفتار کرم شب تاب در ساعات کردن نور از خود است و همانند دیگر الگوریتم‌های بهینه سازی مبتنی بر هوش دسته جمعی می‌باشد. الگوریتم کرم شب تاب سه قاعده کلی را به کار می‌بندد: الف) همه کرم‌های شب تاب فاقد جنسیت هستند، یعنی یک کرم شب تاب دیگری را فارغ از نوع جنسیت جذب خواهد کرد. ب) درجه و میزان جذابیت کرم شب تاب متناسب با میزان درخشندگی آن است. در نتیجه برای هر کرم شب تاب که از خود نور ساعت می‌کند، آن یکی با نور کمتر به سمت کرم با نور بیشتر حرکت خواهد کرد، درخشندگی بیشتر به معنی فاصله کمتر بین دو کرم شب تاب خواهد بود. ج) در صورتی که میزان نور ساعت شده دو کرم با هم برابر باشد حرکت آنها به صورت تصادفی خواهد بود (Yang, ۲۰۱۱: ۴۵).

^۱- Yang

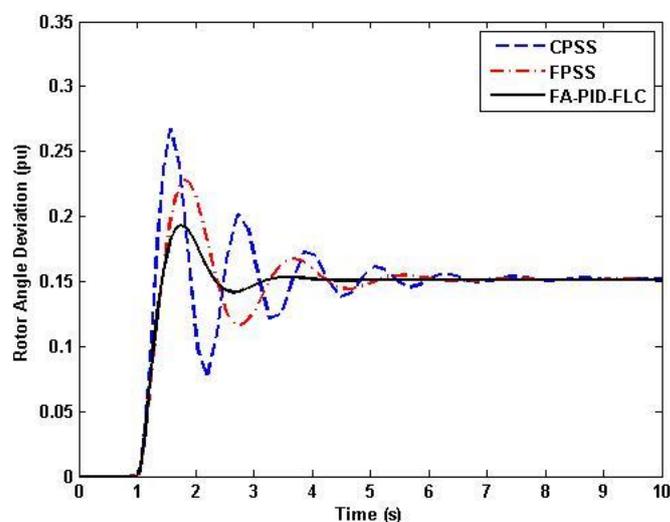


۶- نتایج شبیه سازی

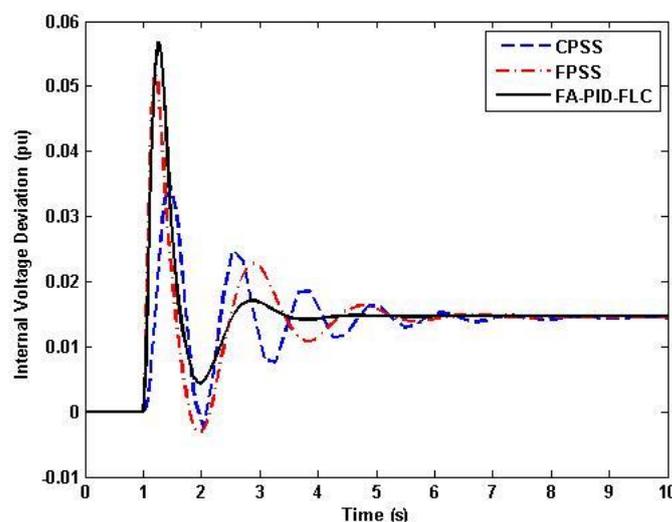
جهت دستیابی به عملکرد بهینه و پایداری بهتر از الگوریتم بهینه سازی کرم شب تاب به منظور تعیین مقدار بهینه ثابت‌های عددی کنترل کننده فازی استفاده شده است که نتایج شبیه سازی با استفاده از نرم افزار مطلب و در سه حالت کنترلی CPSS، FPSS و FA-PID-FLC در این قسمت ارائه می‌شود. در زمان $t=1$ ثانیه یک اغتشاش جزئی به مقدار 0.1 pu به سیستم اعمال شده و پاسخ سیستم در سه مد کنترلی CPSS، FPSS و FA-PID-FLC در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۸- منحنی تغییرات سرعت روتور در سه مد کنترلی



شکل ۹- منحنی تغییرات زاویه روتور در سه مد کنترلی



شکل ۱۰- منحنی تغییرات ولتاژ داخلی در سه مد کنترلی

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل‌های ۸ تا ۱۰ و مقادیر عددی توابع هدف مختلف در جدول ۳، مشاهده می‌شود که پایداری دینامیکی سیستم تک ماشین متصل به شین بینهایت به ازای پایدارساز سیستم قدرت پیشنهادی بهبود قابل توجهی داشته میرایی سیستم افزایش چشم‌گیری را نشان می‌دهد.

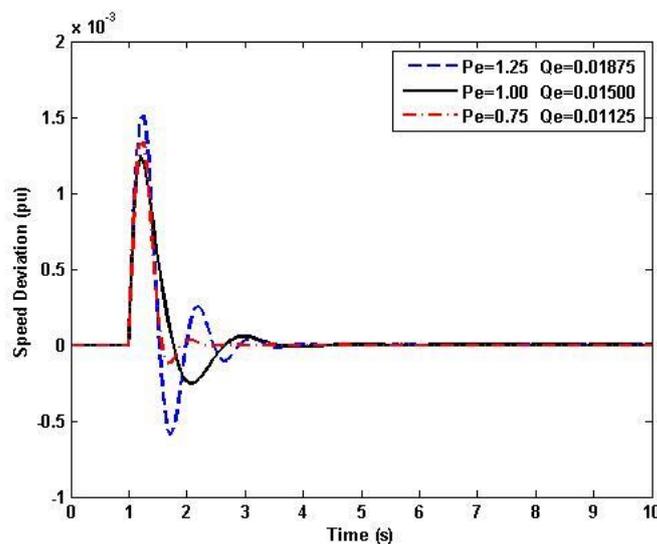
جدول ۳- مقادیر عددی توابع هدف مختلف

	<i>IAE</i>	<i>ITAE</i>	<i>ISE</i>	<i>ITSE</i>
<i>CPSS</i>	13.7713	63.8456	2.1774	9.8523
<i>FPSS</i>	11.5053	54.0720	1.7660	8.2380
<i>FA-PID-FLC</i>	7.5533	39.2445	1.2108	6.0806

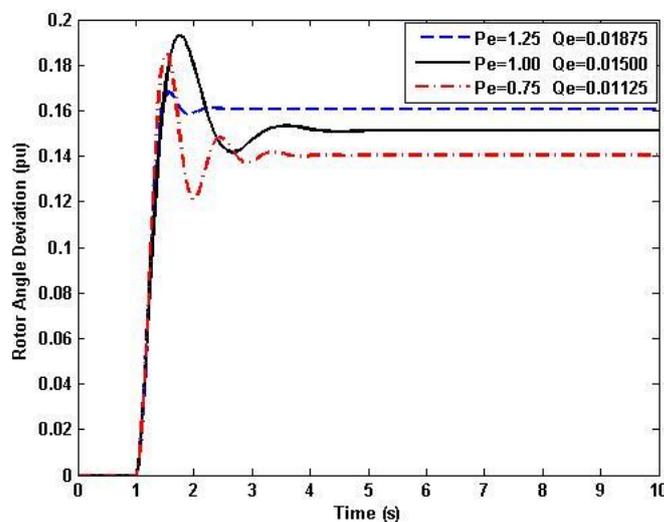
هر سیستم قدرت در طیف گسترده‌ای از تغییرات بار کار می‌کند. بنابراین بررسی اثر تغییرات شرایط بارگذاری در عملکرد دینامیکی سیستم بسیار مهم است. به منظور بررسی کارایی کنترل کننده طراحی شده پاسخ سیستم به سه حالت بارگذاری مختلف در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ آورده شده است.

- (a) $P_e = 0.75 pu$ $Q_e = 0.01125 pu$
 (b) $P_e = 1.00 pu$ $Q_e = 0.01500 pu$
 (c) $P_e = 1.25 pu$ $Q_e = 0.08750 pu$

به وضوح دیده می‌شود که عملکرد دینامیکی سیستم با افزایش بارگذاری سیستم رو به وخامت است. با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌گردد که پایداری دینامیکی و میرایی سیستم به ازای پایدارساز سیستم قدرت *FA-PID-FLC* به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافته است.



شکل ۱۱- منحنی تغییرات سرعت روتور در سه حالت بارگذاری



شکل ۱۲- منحنی تغییرات زاویه روتور در سه حالت بارگذاری

مقادیر ثابت‌های عددی پایدارساز سیستم قدرت FA-PID-FLC در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر ثابت‌های عددی بهینه شده

K_1	2.9395	K_3	2.5081	K_5	4.3109	K	2.7833
K_2	1.9487	K_4	0.0200	K_6	1.3122		



۷- نتیجه گیری

در این مقاله نتایج شبیه سازی های سیستم تک ماشین متصل به شین بینهایت بر روی یک فضای حالت خطی و با حضور اغتشاش مکانیکی به ازای پایدارساز سیستم قدرت متداول، پایدارساز سیستم قدرت فازی و پایدارساز سیستم قدرت با کنترل کننده PID نوع فازی بهینه شده توسط الگوریتم کرم شب تاب توسط نرم افزار مطلب ارائه شده و باهم مقایسه گردید. که نتایج حاصل برتری کنترل کننده پیشنهادی جهت بهبود عملکرد دینامیکی سیستم قدرت در حضور یک اغتشاش کوچک و بارگذاری های مختلف را در مقایسه با CPSS و FPSS اثبات نمود.

مراجع

1. Andreoiu, A., & Bhattacharya, K. (2002). *Lyapunov's method based genetic algorithm for multi-machine PSS tuning*. Paper presented at the Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE.
2. Ayala, G. A. Sanchez, & Centeno, V. (2016). *Modal Analysis Applied to Dynamic Reduction of Power System Models*. IEEE Latin America Transactions.
3. Eberhart, & Yuhui, Shi. (2001). *Particle swarm optimization: developments, applications and resources*. Paper presented at the Evolutionary Computation.
4. Ellithy, K., Said, S., & Kahlout, O. (2013). *Design of Power System Stabilizers based on controller for power system stability enhancement*. Paper presented at the Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), 3rd International Conference on.
5. Elshafei, A. L., El-Metwally, K. A., & Shaltout, A. A. (2005). *A variable-structure adaptive fuzzy-logic stabilizer for single and multi-machine power systems*. Control Engineering Practice.
6. Fereidouni, Alireza, Masoum, Mohammad A. S., & Moghbel, Moayed. (2015). *A new adaptive configuration of PID type fuzzy logic controller*. ISA Transactions.
7. Hiyama, T., Zhang, W., & Wakasugi, S. (2007). *Eigenvalue Based Wide Area Dynamic Stability Control of Electric Power Systems*. Paper presented at the Intelligent Systems Applications to Power Systems, International Conference on.
8. Hwang, Gi-Hyun, Kim, Dong-Wan, Lee, Jae-Hyun, & An, Young-Joo. (2008). *Design of fuzzy power system stabilizer using adaptive evolutionary algorithm*. Engineering Applications of Artificial Intelligence.
9. Jiang, Zhenhua. (2009). *Design of a nonlinear power system stabilizer using synergetic control theory*. Electric Power Systems Research.
10. Mayouf, F., Djahli, F., Mayouf, A., & Devers, T. (2014). *A new hybrid controller for superconducting machine in a SMIB power system*. Paper presented at the Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 14th International Conference on.
11. Morishita, Y., Suzuki, K., & Iwamoto, S. (2012). *Lead-lag PSS design based on H_{∞} control theory and genetic algorithm*. Paper presented at the IEEE Power and Energy Society General Meeting.
12. Rabbani, M., Mahmud, M. A., & Oo, A. M. T. (2015). *A comparative study of different power system stabilizers for dynamic stability analysis*. Paper presented at the Power Engineering Conference (AUPEC), Australasian Universities.



First International Comprehensive Competition Conference
on Engineering Sciences in Iran

September 2016
Anzali - Iran

اولین مسابقه کنفرانس بین المللی جامع علوم مهندسی در ایران

WWW.IRAN3C.COM

13. Ramirez-Gonzalez, M., & Malik, O. P. (2008). *Power System Stabilizer Design Using an Online Adaptive Neurofuzzy Controller With Adaptive Input Link Weights*. IEEE Transactions on Energy Conversion.
14. Ross. T. J. (2007). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Wiley.
15. Tang .W. L and Quek C. (2002). *A generic self- organization fuzzy neural network*. IEEE Transactions on Neural Networks.
16. Tayal, V. K., & Lather, J. S. (2015). *PSO based robust Fuzzy power system stabilizer design for single machine infinite bus system*. Paper presented at the Annual IEEE India Conference (INDICON).
17. Vijayaraghavan, M., & Sanavullah, M. Y. (2011). *A Supervisory Hierarchical Fuzzy logic controller for power system stabilizer*. Paper presented at the Electronics Computer Technology (ICECT), 3rd International Conference on.
18. Yang. X. S. (2011). *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*. Luniver Press. United Kingdom.