



طراحی کنترل کننده بار-فرکانس PID با استفاده از الگوریتم PSO با در نظرگیری نامعینی- های سیستم قدرت دوناحیه‌ای و محدودیت‌های گاورنر و توربین

غلامرضا زارعی گوار¹ آیدین سخاوتی² گئورگ قره پتیان³ حسین شایقی⁴ سید حسین حسینی⁵
1-عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، gr.zareie@gmail.com
2-دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، aidin_sakhavati@yahoo.com
3- دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، grptian@aut.ac.ir
4-دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیل، hshayeghi@gmail.com
5-دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، hosseini@tabrizu.ac.ir

واژه‌های کلیدی- الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات، سیستم قدرت دو ناحیه‌ای، کنترل بار-فرکانس، کنترل کننده PID

چکیده

5٪ مقادیر نامی پارامترهای نامعین فرض می‌شود. شبیه‌سازی-ها با در نظر گرفتن محدوده‌های اشباع گاورنر و توربین (غیرخطی) سیستم قدرت انجام شده است. برای طراحی کنترل کننده PID با تابع هزینه جدید از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO) استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی برای یک سیستم قدرت غیرمتمرکز دو ناحیه‌ای ارائه گردیده و با نتایج PID کلاسیک مقایسه شده است.

در این مقاله کنترل کننده PID جدید و ضریب بایاس مناسب در کنترل بار-فرکانس (LFC) با بکارگیری ایده پیشنهادی برای کاهش انحراف فرکانس در حالت دینامیکی طراحی شده است. در ایده جدید پیشنهادی علاوه بر حداکثر محدودیت سرعت دریچه بخار (VSL) و محدودیت نرخ تولید (GRC) جهت میرایی هر چه بیشتر انحراف فرکانس در حالت دینامیکی، نامعینی‌های سیستم قدرت در طراحی در نظر گرفته شده است. نامعینی‌های سیستم قدرت از 75٪ تا 125٪ با گام

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

مقدمه

کنترل کننده PID طراحی شده با روشهای مزبور برای یک نقطه کار نامی طراحی شده است. بدیهی است با تغییر نقطه کار دیگر کنترل کننده طراحی شده کارایی مطلوب را نخواهد داشت. لذا با روش جدید ارائه شده در این مقاله، در طراحی کنترل کننده علاوه بر اینکه اثر اشباع اجزای سیستم قدرت در نظر گرفته شده، تغییرات نقطه کار سیستم نیز بصورت نامعینی پارامترها در نظر گرفته شده است.

مدل بار فرکانس سیستم قدرت دو ناحیه ای

همچنانکه در شکل (1) نمایش داده شده است، سیستم تحت مطالعه یک سیستم قدرت دوناچه ای است که جهت مطالعات دینامیکی خطی سازی شده است [5,6].

کنترل بار-فرکانس و توان تبادلی بین دو ناحیه در بهره برداری از سیستم های قدرت، از اهمیت زیادی برخوردار است. محدود کردن انحراف فرکانس و کنترل توان تبادلی بین نواحی از اهداف اصلی LFC1 می باشد. بهره برداری بهینه از سیستم های قدرت، ایجاب می کند که تغییرات فرکانس در محدوده مشخصی ثابت بماند [1, 2]. جهت طراحی کنترل کننده بار-فرکانس در گذشته روشهای مختلفی در حوزه فرکانس و حوزه زمان بکار گرفته شده است [3-10]. در سالهای اخیر همچنین کنترل کننده بار-فرکانس PID با در نظر گرفتن اشباع گاورنر و توربین در حوزه فرکانس طراحی شده است [3-5]. الگوریتم ژنتیک و دیگر روش های هوش مصنوعی در طراحی کنترل کننده PI و کنترل کننده PID بدون در نظر گرفتن محدودیت های اشباع استفاده شده اند [6-9]. همه روشهای مذکور شده سعی در کاهش تغییرات فرکانس در حالت دینامیکی و ماندگار دارند. در طراحی کنترل کننده در حوزه زمان تابع هزینه بکار گرفته شده می تواند مبتنی بر حداقل سازی انتگرال قدرمطلق خطا یعنی انحراف فرکانس (IAE2)، انتگرال حاصلضرب زمان در قدرمطلق انحراف فرکانس (ITAE3) انتگرال حاصلضرب زمان در مربع انحراف فرکانس (ITSE4) به ازای ورودی تغییرات پله بار باشد [6, 10].

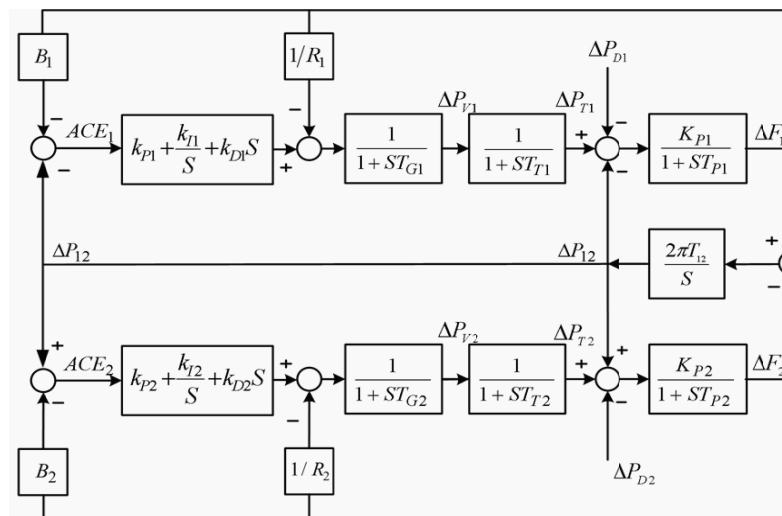
¹ Load-Frequency Control

² Integral of Absolute Error

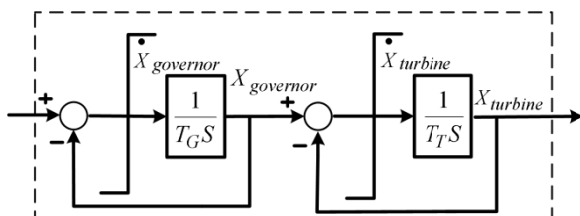
³ Integral of Time multiplied Absolute Error

⁴ Integral of Time multiplied Square Error

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



گرفته شده است [4]. شکل (2) مدل کاملتر گاورنر و توربین با در نظر گرفتن محدودیت سرعت در چرخه بخار (VSL) و محدودیت نرخ تولید (GRC) نشان می‌دهد. در نظر گرفتن محدوده‌های اشباع، سیستم مورد نظر را غیرخطی می‌کند، همچنین باعث افزایش نقطه اوج و زمان نشست تغییرات فرکانسی به ازای تغییرات پله بار نسبت به حالت خطی می‌شود [5].



شکل (2): مدل گاورنر و توربین غیر خطی

ایده پیشنهادی کنترل بار-فرکانس

در این بخش ایده جدید طراحی کنترل کننده PID مقاوم پیشنهادی (PPID¹) که به ازای تغییرات بار ΔP_L در سیستم قدرت انحراف فرکانس ΔF را در حالت دینامیکی کاهش می‌دهد، معرفی می‌شود. تابع هدف اولیه مبتنی بر تابع ITAE

مقادیر نامی پارامترهای سیستم قدرت دوناچه‌ای شکل (1) در ضمیمه داده شده است [10]. در بلوک کنترل کننده هر ناحیه سیستم قدرت شکل (1)، کنترل کننده PID بکار گرفته شده است. تابع تبدیل کنترل کننده PID در رابطه (1) نشان داده می‌شود.

$$PID = k_p + \frac{k_I}{S} + k_D S \quad (1)$$

و همچنین متغیرهای سیستم عبارتند از:

- T_{Gi} : ثابت زمانی گاورنر معادل در ناحیه i ام،
- T_{Ti} : ثابت زمانی توربین معادل در ناحیه i ام،
- H_i : ثابت اینرسی ژنراتور معادل در ناحیه i ام،
- R_i : شیب تنظیم کننده معادل در ناحیه i ام،
- D_i : ضریب میرایی معادل در ناحیه i ام و
- M_i : ثابت اینرسی معادل در ناحیه i ام.

در بلوک دیاگرام شکل (1) معادل $1/D_i$ و T_{Pi} معادل M_i/D_i در نظر گرفته شده است. ساخت کنترل کننده PID ایده‌آل در عمل غیر ممکن است. در کنترل کننده های صنعتی استفاده از فیلتر پایین گذر در ورودی مشتق-گیر برای حذف نویز فرکانس بالا ضروری است. بنابراین در این مقاله تابع تبدیل مشتق گیر در کنترل کننده PID بصورت $K_D S / (1 + T_d S)$ که در آن $(K_D \ll T_d)$ است در نظر

¹ Proposed Proportional Integral Derivative

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

$$E_{t,j,k} = \dot{X}_{t \max} - \dot{X}_{t,j,k}^{sim.} \quad (5)$$

که در آنها

$$\dot{X}_{g \max} \text{ حداکثر سرعت دریچه بخار (گاورنر)}$$

$$\dot{X}_{g,j,k}^{sim.} \text{ حداکثر سرعت دریچه بخار شبیه سازی}$$

شده برای ورودی پله اعمالی به ناحیه k ام

$$\dot{X}_{t \max} \text{ حداکثر ورودی مجاز توربین (GRC)}$$

$$\dot{X}_{t,j,k}^{sim.} \text{ حداکثر ورودی مجاز توربین شبیه سازی}$$

شده برای ورودی پله اعمالی به ناحیه k ام

است. از روابط (3) تا (5) ملاحظه می شود خروج مقادیر شبیه سازی شده سیگنالهای $\dot{X}_{g,j,k}^{sim.}$ و $\dot{X}_{t,j,k}^{sim.}$ از محدوده مجاز بصورت مقادیر جریمه مثبت به تابع هدف اضافه می شود [11]. برای در نظر گرفتن نامعینی ها در طراحی کنترل کننده، تابع هدف $f_{init.}$ را بازای p نامعینی ($p = -25\%, -20\%, \dots, +25\%$) از مقدار نامی پارامترهای نامعین سیستم قدرت دو ناحیه ای پس از شبیه سازی محاسبه می شود. پارامترهای نامعین سیستم قدرت دو ناحیه ای $T_{T1}, T_{T2}, T_{G1}, T_{G2}, T_{P1}, T_{P2}, K_{P1}, K_{P2}, R_1, R_2$ فرض شده اند. تابع هدف $f_{init.}$ شبیه سازی شده برای بازای p مقدار نامی پارامترهای نامعین سیستم با $f_{init.}^p$ نشان داده می شود. تابع هدف نهایی بزرگترین مقدار تابع هدف $f_{init.}$ بازای تمام نامعینی هاست. تابع هدف نهایی طراحی کنترل کننده PID پیشنهادی برای سیستم قدرت N ناحیه ای بصورت زیر نشان داده می شود.

$$fitness = \text{Max} \{ f_{init.}^{p=-25\%}, f_{init.}^{p=-20\%}, \dots, f_{init.}^{p=+25\%} \} \quad (6)$$

بمنظور بهینه سازی تابع هدف جهت طراحی پارامترهای کنترل کننده CPID و PPID الگوریتم PSO بکار گرفته شده است.

الگوریتم PSO

Kennedy و Eberhart، در سال 1995 الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات را به عنوان یک روش ابتکاری جدید با الهام از جستجوی گروهی غذا توسط ماهیها یا پرندگان معرفی

با اضافه کردن تابع جریمه ای برای در نظر گرفتن محدودیت های اشباع است. تابع هدف ITAE بصورت رابطه (2) می باشد.

$$f_{ITAE} = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt \quad (2)$$

بدون در نظر گرفتن نامعینی ها تابع هدف اولیه بصورت رابطه (3) تعریف می شود:

$$f_{init.} = \sum_{k=1}^N \left(\sum_{i=1}^N \left(\int_0^{\infty} |\Delta f_{i,k}^{sim.}| dt \right) + \sum_{j=1}^n \omega_g \left(|E_{g,j,k} - E_{g,j,k}| \right) + \sum_{j=1}^n \omega_t \left(|E_{t,j,k} - E_{t,j,k}| \right) \right) \quad (3)$$

که در آن

N تعداد نواحی سیستم قدرت

n تعداد کل گاورنرها یا توربین ها

$\Delta f_{i,k}^{sim.}$ انحراف فرکانسی شبیه سازی شده ناحیه i ام

بازای ورودی پله اعمالی به ناحیه k ام

$E_{g,j,k}$ انحراف سیگنال ورودی گاورنر j ام از محدوده

اشباع بازای ورودی پله اعمالی به ناحیه k ام

$E_{t,j,k}$ انحراف سیگنال ورودی توربین j ام از محدوده

اشباع بازای ورودی پله اعمالی به ناحیه k ام

در تابع هدف (3) جملات $\omega_g \left(|E_{g,j,k} - E_{g,j,k}| \right)$ و

$\omega_t \left(|E_{t,j,k} - E_{t,j,k}| \right)$ توابع جریمه ای هستند که باعث می-

شوند نقطه بهینه تابع هدف یا پارامترهای بهینه طراحی شده

برای کنترل کننده PID پیشنهادی طوری باشد که سیگنال

کنترلی کنترل کننده طراحی شده در محدوده مجاز ورودی

گاورنر و توربین باشد. $E_{g,j,k}$ و $E_{t,j,k}$ که بترتیب میزان

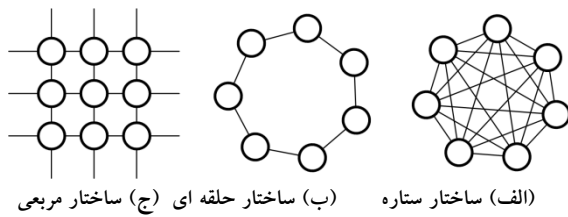
خروج از حد اشباع سیگنال ورودی گاورنر و توربین j ام

بازای ورودی پله اعمالی به ناحیه k ام را نشان می دهند،

بصورت روابط (4) و (5) تعریف می شوند.

$$E_{g,j,k} = \dot{X}_{g \max} - \dot{X}_{g,j,k}^{sim.} \quad (4)$$

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



شکل (3): توپولوژی های مورد استفاده در الگوریتم PSO

بعد از مشخص شدن بردار سرعت از رابطه (7)، ذرات گروه طبق رابطه (8) از موقعیت فعلی به موقعیت جدید حرکت می کنند [14].

$$\vec{x}(t+1) = \vec{x}(t) + \vec{v}(t+1) \quad (8)$$

در رابطه (7)، ω ضریب اینرسی ذره و c_1 و c_2 ضرایب فنری هوک یا ضرایب شتابند که معمولاً در مقدار 2 تنظیم می شوند. برای تصادفی کردن ماهیت سرعت، ضرایب c_1 و c_2 در اعداد تصادفی $rand_1$ و $rand_2$ ضرب شده اند. معمولاً در اجرای PSO مقدار ω بصورت خطی از یک تا نزدیکی صفر کاهش می یابد. بطور کلی ضریب اینرسی ω مطابق رابطه زیر تنظیم می شود [14].

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{iter_{\max}} \cdot iter \quad (9)$$

در رابطه (9) $iter_{\max}$ ماکزیمم شماره تکرار، $iter$ شماره تکرار کنونی، ω_{\max} و ω_{\min} بترتیب مقدار ماکزیمم و مینیمم ضریب اینرسی می باشند. مقادیر ω_{\max} در 0/9 و ω_{\min} در 0/3 تنظیم می شوند [15]. \vec{v}_i سرعت ذره i در هر بعد از فضای جستجوی D بعدی در بازه $[-v_{\max}, +v_{\max}]$ محدود می شود تا احتمال ترک فضای جستجو توسط ذره کم شود. فلوجارت الگوریتم PSO بکار گرفته شده در شکل (4) نشان داده شده است.

کردند [12]. در سالهای اخیر توپولوژی های متنوعی برای الگوریتم PSO مطرح شده است. از انواع توپولوژی های مطرح شده برای تبادل اطلاعات بین ذرات در الگوریتم PSO می توان توپولوژی های ستاره، حلقه ای و مربعی را نام برد [13].

در توپولوژی ستاره هر ذره می تواند با تمامی ذرات اجتماع ارتباط داشته باشد. در این توپولوژی هر ذره تمایل به پیروی از خود و بهترین ذره جمعیت را دارد. در توپولوژی حلقه ای هر ذره با دو همسایه مجاور خود ارتباط دارد. در این توپولوژی هر ذره تمایل به پیروی از خود و بهترین ذره همسایگی خود را دارد. در توپولوژی مربعی که الهام گرفته از ساختار مولکولی مواد است، هر ذره در یک شبکه دو بعدی با چهار ذره همسایه خود (بالا، پایین، راست و چپ) ارتباط دارد. هر ذره از بهترین تجربه خودش و بهترین تجربه ذرات مجاورش (چهار ذره) برای حرکت در لحظه بعدی استفاده می کند [13]. ارتباط ذرات در این توپولوژی نسبت به ارتباط ستاره محدود شده است ولی نسبت به ارتباط حلقه ای افزایش یافته است. در نتیجه روند همگرایی ذرات نسبت به ارتباط ستاره کندتر و نسبت به ارتباط حلقه ای تندتر شده است. شکل (3) نحوه ارتباط بین ذرات را در توپولوژی های مختلف نشان می دهد. در این مقاله توپولوژی ستاره بکار گرفته شده است. الگوریتم PSO با توپولوژی ستاره را می توان بصورت زیر ارایه نمود. در فضای جستجوی D بعدی بهترین موقعیت شخصی ذره i با $\vec{p}_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$ و بهترین موقعیت گروه را با $\vec{g} = (g_1, g_2, \dots, g_D)$ نمایش داده می شود. رابطه نهایی سرعت ذره در لحظه یا تکرار بعد با استفاده از مکانیک نیوتن بشکل زیر بدست می آید [14].

$$v_{id}(t+1) = \omega v_{id}(t) + c_1 rand_1(p_{id}(t) - x_{id}(t)) + c_2 rand_2(g_d(t) - x_{id}(t)) \quad (7)$$

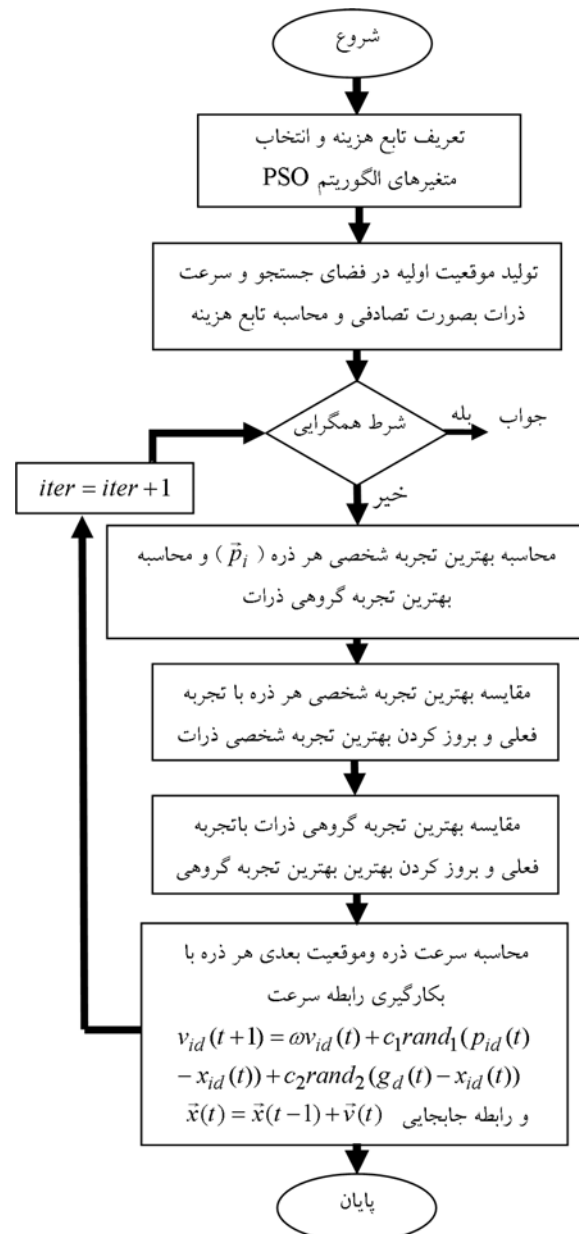
بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

برای نقطه کار نامی بدون در نظر گرفتن نامعینی ها طراحی شده است. جهت طراحی کنترل کننده PPID الگوریتم PSO به روی تابع هدف رابطه (6) اعمال شده است. پس از اعمال الگوریتم PSO روی تابع هدف رابطه (6) کنترل کننده برای نقطه کار نامی با در نظر گرفتن نامعینی ها طراحی می شود. در اعمال الگوریتم PSO بروی توابع هدف تعداد ذرات الگوریتم 100 و ماکزیمم تعداد تکرار 100 در نظر گرفته شده است. در شبیه سازی ها محدوده های اشباع گاورنرها و توربینها برتیب $\dot{X}_{g \max} = 1$ و $\dot{X}_{t \max} = 1$ فرض شده اند [1, 3-5]. نتایج طراحی CPID و PPID پس از اجرای در جدول (1) نشان داده شده است.

جدول (1): مقادیر طراحی شده پارامترهای CPID و PPID

PPID				CPID			
$k_{P1,2}$	$k_{I1,2}$	$k_{D1,2}$	$B_{1,2}$	$k_{P1,2}$	$k_{I1,2}$	$k_{D1,2}$	$B_{1,2}$
/940	/065	/370	/457	/427	/885	/178	/987
0	2	0	0	0	0	0	0

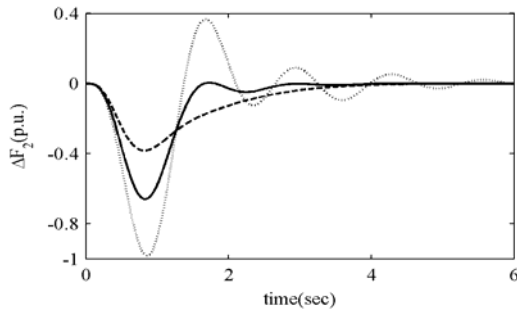
در شبیه سازیها بار پله واحد به ناحیه اول سیستم قدرت دوناحیه ای شکل (1) با کنترل کننده CPID و PPID اعمال شده است. نتایج شبیه سازی انحرافات فرکانسی نواحی یک و دو سیستم قدرت با کنترل کننده CPID و PPID بازای نامعینی های مختلف در شکل های 5 الی 10 نشان داده شده است. در شکل های 7 و 10 نتایج شبیه سازی انحرافات فرکانسی نواحی یک و دو سیستم قدرت با کنترل کننده CPID و PPID مقایسه شده است. نتایج شبیه سازیها نشان می دهد سیستم قدرت با کنترل کننده PPID رفتار مقاومی را بازای نامعینی ها دارد. نتایج شبیه سازی سیگنال های ورودی توربین و گاورنر در شکل های 11 تا 14 نشان داده شده است. شکل های 12 و 14 نشان می دهد در روش PPID سیگنال های ورودی گاورنر و توربین ناحیه اول در داخل محدوده اشباع قرار دارند. در حالیکه نتایج ورودی توربین ناحیه اول بروش CPID در شکل 13 نشان می دهد بازای نامعینی 25% سیگنال ورودی از مرز اشباع خارج شده است. برای نشان دادن کارایی و رفتار مطلوبتر



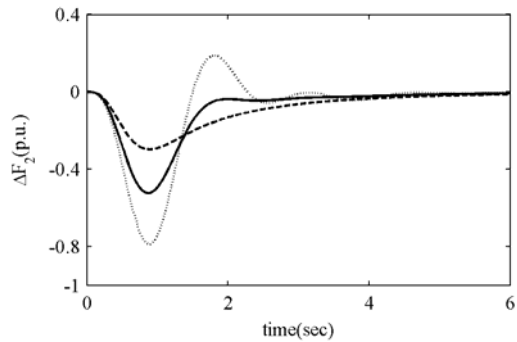
شکل (4): فلوچارت الگوریتم PSO بکار برده شده

پیاده سازی الگوریتم PSO برای طراحی کنترل کننده PPID و CPID در سیستم قدرت دوناحیه ای در این بخش کنترل کننده پیشنهادی PPID و کنترل کننده کلاسیک CPID با استفاده از الگوریتم PSO طراحی شده است. برای طراحی کنترل کننده CPID تابع هدف رابطه (3) بکار گرفته شده است. پس از اعمال الگوریتم PSO روی تابع هدف رابطه (3) کنترل کننده

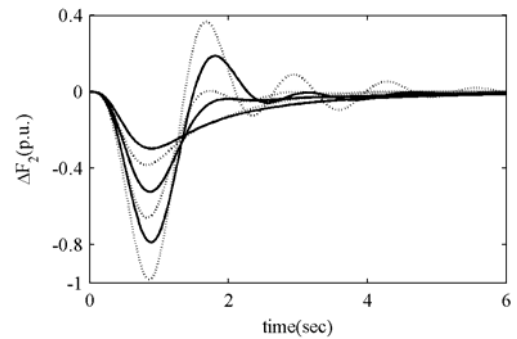
بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



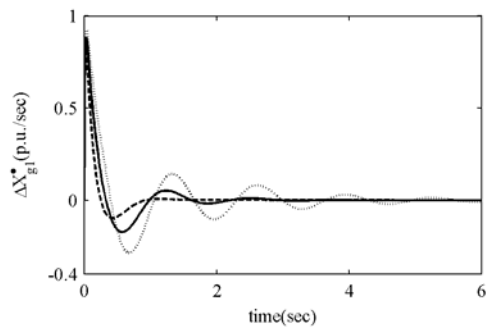
شکل 8: انحرافات فرکانسی ناحیه دوم بازای درصد نامعینی های $\pm 25\%$ ،
 CPID $+/25\%$ (---) و 0% (—) و $+/25\%$ (···) بروش



شکل 9: انحرافات فرکانسی ناحیه دوم بازای درصد نامعینی های $\pm 25\%$ ،
 PPID $+/25\%$ (---) و 0% (—) و $+/25\%$ (···) بروش

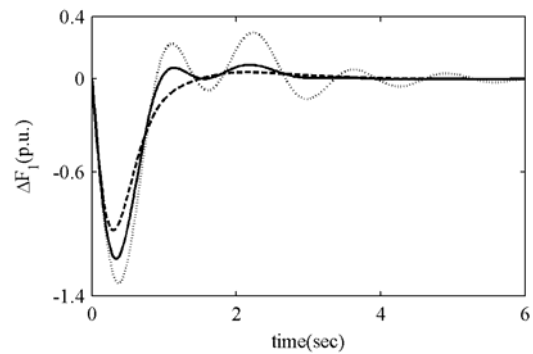


شکل 10: مقایسه انحرافات فرکانسی ناحیه دوم بازای درصد نامعینی های
 $\pm 25\%$ ، 0% و $+/25\%$ بروش CPID (···) و PPID (—)

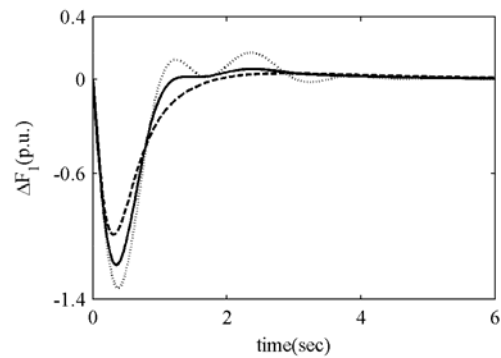


شکل 11: سیگنال ورودی گاورنر ناحیه اول بازای درصد نامعینی های $\pm 25\%$ ،
 CPID $+/25\%$ (···) و 0% (—) ، 0% (—)

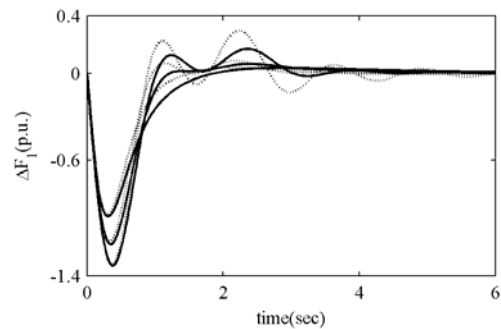
کنترل کننده پیشنهادی انحرافات فرکانسی نواحی کتتری بازای اعمال ورودی پله واحد به ناحیه اول و درصد نامعینی های $\pm 25\%$ تا $+25\%$ با گام 5% بروش CPID و PPID در شکل های 15 و 16 مقایسه شده است. نتایج شبیه سازی شکل های 15 و 16 نشان دهنده کاهش زمان نشست انحراف فرکانسی نواحی یک و دو با بکارگیری PPID در مقایسه با CPID است.



شکل 5: انحرافات فرکانسی ناحیه اول بازای درصد نامعینی های $\pm 25\%$ ،
 CPID $+/25\%$ (---) و 0% (—) و $+/25\%$ (···) بروش

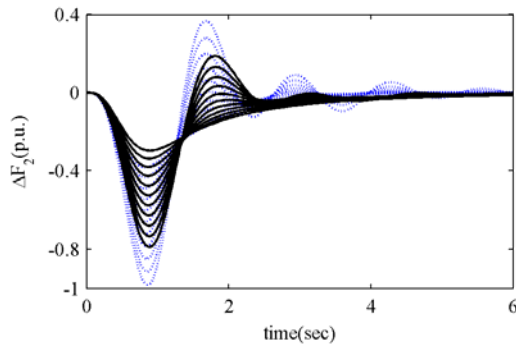


شکل 6: انحرافات فرکانسی ناحیه اول بازای درصد نامعینی های $\pm 25\%$ ،
 PPID $+/25\%$ (---) و 0% (—) و $+/25\%$ (···) بروش

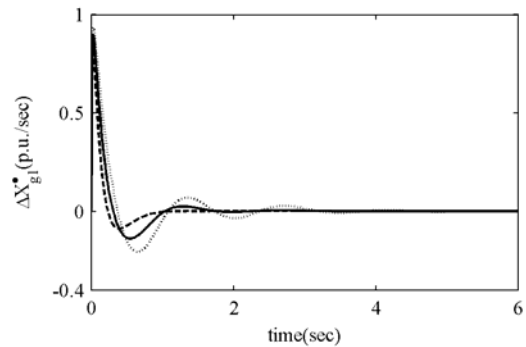


شکل 7: مقایسه انحرافات فرکانسی ناحیه اول بازای درصد نامعینی های $\pm 25\%$ ،
 $+/25\%$ و 0% بروش CPID (···) و PPID (—)

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق



شکل 16: انحرافات فرکانسی ناحیه دوم بازای درصد نامعینی های 25- تا 25+ با گام 5٪ بروش CPID (...) و PPID (-)



شکل 12: سیگنال ورودی گاورنر ناحیه دوم بازای درصد نامعینی های 25- تا 25+ ، 0- ، و 25+ (•••) بروش PPID

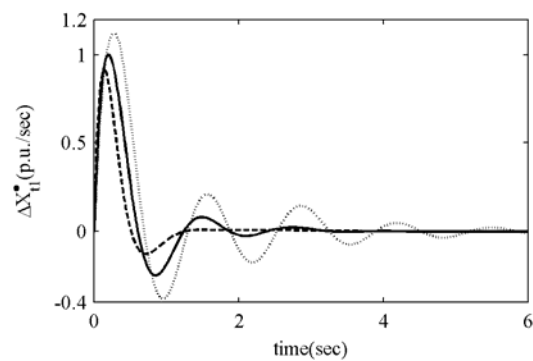
برای بررسی و مقایسه بیشتر رفتار کنترل کننده پیشنهادی بازای نامعینی ها معیار عملکرد ITAE که مشابه رابطه (2) و (3) است، استفاده می شود. تابع معیار ITAE استفاده شده بصورت رابطه (10) در نظر گرفته می شود.

$$ITAE = \sum_{k=1}^N \left(\sum_{i=1}^N \left(\int_0^{\infty} |\Delta f_{i,k}^{sim}| dt \right) \right) \quad (10)$$

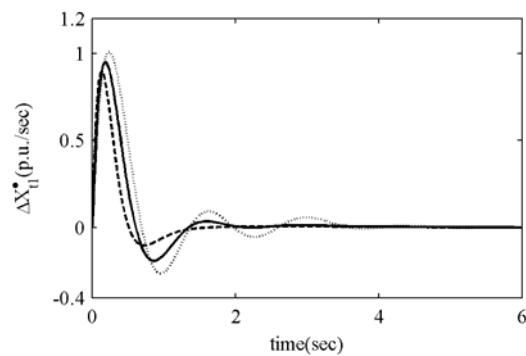
نتایج معیار عملکرد ITAE برای کنترل کننده CPID و PPID در جدول (2) آمده است.

جدول(2): معیار عملکرد ITAE برای کنترل کننده PPID و CPID

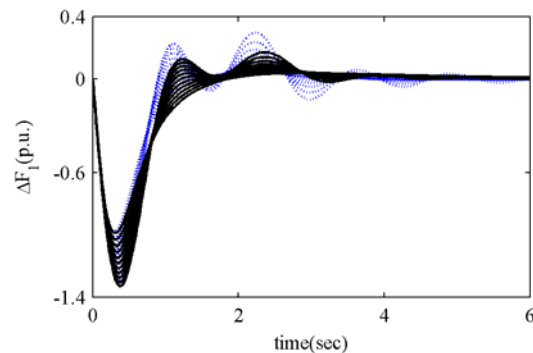
درصد تغییر پارامترهای نامعین	CPID ITAE	PPID ITAE
-0/25	1/16	1/97
-0/20	1/10	1/87
0-15	1/04	1/79
-0/10	1/00	1/71
-0/05	0/98	1/64
نامی	0/96	1/60
+0/05	1/07	1/56
+0/10	1/29	1/57
+0/15	1/62	1/63
+0/20	2/11	1/70
+0/25	2/78	1/83
بدترین	2/78	1/97



شکل 13: سیگنال ورودی توربین ناحیه اول بازای درصد نامعینی های 25- تا 25+ ، 0- ، و 25+ (•••) بروش CPID



شکل 14: سیگنال ورودی توربین ناحیه دوم بازای درصد نامعینی های 25- تا 25+ ، 0- ، و 25+ (•••) بروش PPID



شکل 15: انحرافات فرکانسی ناحیه اول بازای درصد نامعینی های 25- تا 25+ با گام 5٪ بروش CPID (...) و PPID (-)

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

المللی برق، آبان 1386.

[7] آیدین سخاوتی، گئورگ قره پتیان، سید حسین حسینی، سعید شجاعی، سعید جلیل زاده، غلامرضا زارعی گوار " بهبود کنترل کننده بار- فرکانس در سیستم های دو ناحیه ای به روش جدید با استفاده از الگوریتم سوارم (PSO) " شانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت 1387.

[8] L. Pingkang, Z. Hengjun and L. Yuyun "Genetic algorithm optimization for AGC of multi-area power systems," TENCON '02. Proc. of the IEEE Region 10 Conf. on Computers, Communications, Control and Power Eng. vol.3, pp. 1818- 1821, Oct. 2002.

[9] R. Singh and I. Sen, "Tuning of PID controller based AGC system using genetic algorithms," TENCON, IEEE Region 10 Conference, Vol. 3, Nov. 2004. pp. 531-534,

[10] Dawoud M. Abdel-Magid and M. L. Y. "Genetic algorithms applications in load Frequency Control," Genetic Algorithms in Eng. Sys. Innovations and Applications, Conf. Pub. No. 414, IEE, Sep. 1995

[11] ابوالفضل جلیلونند، غلامرضا زارعی گوار، آیدین سخاوتی و وحید نبئی "کنترل بار- فرکانس سیستم های قدرت با در نظر گرفتن محدودیت های اشباع گاورنر با استفاده از الگوریتم PSO" بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق (PSC2008)، آذر 1387

[12] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.

[13] J. Kennedy and R. Mendes, "Neighborhood topologies in fully-informed and best-of-neighborhood particle swarms," Proc. of the IEEE International Workshop, pp. 45-50, June 2003.

[14] N. Jin and Y. Rahmat-Samii, "Advances in Particle Swarm Optimization for Antenna Designs: Real-Number, Binary, Single-Objective and Multiobjective Implementations," IEEE Tran. On Antenas and Propagation, Vol. 55, No. 3, pp. 556-567, March 2007.

[15] R. Eberhart and Y. Shi, "Particle swarm optimization: developments, applications and resources," in Proc. Cong. Evol. Comput, Vol. 1, pp. 81-86, 2001.

ضمیمه: نقطه کار (مرجع [10])

$TT1=TT2=0.3s$, $TG1=TG2=0.08s$, $TP1=TP2=20s$,
 $R1=R2=2.4Hz/puMW$, $KP1=KP2=120Hz/puMW$,
 $T12=0.0866 pu. MW/rad$

نتایج جدول (2) نشان می دهد اگرچه کنترل کننده CPID بازای نقطه کار نامی نتایج مطلوبی دارد، با در نظر گرفتن نامعینی ها کنترل کننده PPID رفتار مطلوبتری از خود نشان می دهد. نتایج جدول (2) نشان دهنده بهبود نتیجه شبیه سازی با در نظر گرفتن نامعینی های سیستم قدرت برای کنترل کننده PPID در مقایسه با کنترل کننده RPID است.

نتیجه گیری

روش پیشنهادی در این مقاله جهت طراحی کنترل کننده بار فرکانس مبتنی بر الگوریتم PSO با تابع هدف انتگرال حاصلضرب زمان در قدرمطلق پاسخ پله انحراف فرکانس می- باشد. در طراحی کنترل کننده PID پیشنهادی حداکثر محدودیت سرعت در پیچه بخار، محدودیت نرخ تولید و تغییرات نقطه کار سیستم که بصورت نامعینی در پارامترهای سیستم نشان داده شده، در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه سازی ها نشان دهنده این است که کنترل کننده پیشنهادی رفتار مطلوبتری را برای محدوده وسیعی از تغییرات نقطه کار نسبت به کنترل کننده کلاسیک به ازای محدودیت های نرخ تولید و سرعت در پیچه بخار داراست.

مراجع

[1] P. Kundur, Power system stability and control, McGraw-hill, 1994.

[2] H. Saadat, Power System Analysis, McGraw-Hill, 1999.

[3] Y. Moon, H. Rye, B. Choi and B. Cho, "Modified PID Load-Frequency Control with the Consideration of Valve Position Limits," Proceedings of the IEEE PES, Vol. 1, pp. 701-706, Feb. 1999.

[4] A. Khodabakhshian and N. Golban, "Unified PID design for load frequency control," Conf. on Control Applications, Vol. Inter .Proc 2, pp. 1627-1632, Taipei, Taiwan, September 2004.

[5] H. Ryu, K. Min, J. Lee and Y. Moon, "Extended Integral based Governor Control for Power System Stabilization," Proceedings of the IEEE PES, Vol. 3, pp. 1610-1614, July 2002.

[6] آیدین سخاوتی، گئورگ قره پتیان، سید حسین حسینی، غلامرضا زارعی گوار، سعید شجاعی " بهبود کنترل کننده بار- فرکانس غیر متمرکز در سیستم های دو ناحیه ای به روش جدید با استفاده از الگوریتم ژنتیک " بیست و دومین کنفرانس بین