

۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

## طراحی مقاوم کنترل کننده PID جهت بهبود پایداری سیستم قدرت در مقابل نوسانات توان

میثم اعتمادی نسب<sup>۱</sup>، محمد علی عباسیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، etemadi\_meysam@yahoo.com

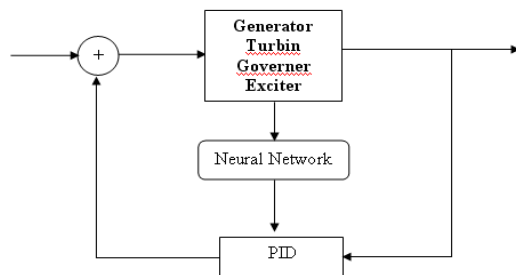
<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، mail.abbasian@gmail.com

**چکیده** - سیستم قدرت یک سیستم بسیار پیچیده میباشد که به شدت غیر خطی است، معادلات دیفرانسیل سیستم تابع زمان هستند و تحت شرایط مختلف از جمله تغییر نقطه کار، وارد شدن یک اغتشاش و غیره پارامترهای سیستم تغییر خواهند کرد. این بدان معنی است که با یک کنترل کننده با پارامترهای ثابت امکان کنترل مقاوم سیستم قدرت در برابر LFO وجود ندارد. بنابراین جهت داشتن کنترل مناسب لازم است پارامترهای کنترل کننده همگام با تغییرات سیستم به صورت بهینه تغییر کند.

**کلید واژه** - کنترل کننده، LFO، PSS، پایدار ساز، PID، شبکه عصبی

هستند و تحت شرایط مختلف از جمله تغییر نقطه کار، وارد شدن یک اغتشاش و غیره پارامترهای سیستم تغییر خواهند کرد. این بدان معنی است که با یک کنترل کننده با پارامترهای ثابت امکان کنترل مقاوم سیستم قدرت در برابر LFO وجود ندارد. بنابراین جهت داشتن کنترل مناسب لازم است پارامترهای کنترل کننده همگام با تغییرات سیستم به صورت بهینه تغییر کند.

در این مقاله از یک PID به عنوان پایدار ساز استفاده شده است. پارامترهای PID ثابت نیستند و با تغییرات سیستم تغییر می کنند. یک شبکه عصبی جهت این هدف بکار گرفته شده است. شبکه عصبی مقادیر P, Q, Xe را نمونه برداری کرده و سپس پارامترهای مناسب (Kp, Ki, Kd) را برای PID تولید می نماید. در ادامه رون کار توضیح داده می شود.



شکل ۱: سیستم پایدار ساز کلاسیک PID

### ۲-۱- معادلات ریاضی

یک ژنراتور که از طریق یک خط انتقال به شبکه بی نهایت متصل است مورد مطالعه قرار گرفته است

### مقدمه

ریشه اصلی در یک ژنراتور سنکرون تقابل بین گشتاور مکانیکی، که از توربین به روتور اعمال می شود، با گشتاور الکتریکی، که از سیم پیچ استاتور روی روتور اعمال می شود و با گشتاور مکانیکی به مقابله بر می خیزد، است. این معادله به صورت زیر است.

(۱)

$$T_m - T_e = J d\omega/dt + D\omega$$

در این معادله  $\omega$  سرعت زاویه ای روتور،  $J$  اینرسی روتور و  $D$  ضریب اصطحکاک است که عملاً مقدار ثابتی نیست ولی با تقریب آن را ثابت در نظر می گیرند. حال  $T_m$ ، گشتاور مکانیکی و  $T_e$  گشتاور الکتریکی بیشتر بررسی می شوند.

$T_m$  مقدار گشتاور مکانیکی است که توربین تولید می کند. در حین نوسانات در یک سیستم قدرت گاورنر مشغول به کار است و با باز و بسته کردن دریچه تغذیه کننده توربین (بخار، آب و گاز) مقدار گشتاور مکانیکی را تغییر می دهد. این تغییرات در جهت تسریع میرا شدن این نوسانات است.  $T_e$  گشتاور الکتریکی است که توسط سیم پیچ استاتور به روتور اعمال می گردد. [۴-۱]

### ۲-۲- روش پیشنهادی در این مقاله

در این مقاله به منظور پایدار سازی نوسانات توان از یک PID به عنوان یک پایدار ساز استفاده شده است. پایدار سازهای کلاسیک سالهاست جهت اضافه کردن میرایی به سیستم قدرت مورد استفاده قرار می گیرند.

سیستم قدرت یک سیستم بسیار پیچیده میباشد که به شدت غیر خطی است، معادلات دیفرانسیل سیستم تابع زمان

۲۰۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

با توجه به ضرایب  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$  ماتریس های  $A, B, C$  به صورت زیر می باشند:

$$x = [\Delta\delta \quad \Delta\omega \quad \Delta E'q \quad \Delta E'fd],$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{k_1}{M} & \omega_0 & -\frac{k_2}{M} & 0 \\ k_4 & 0 & 1 & -\frac{1}{T'_{do}} \\ -\frac{1}{T'_E} & 0 & -\frac{k_G k_E}{T_E} & -\frac{1}{T_E} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{k_E}{T_E} \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0], T = k_3 T'_{do}$$

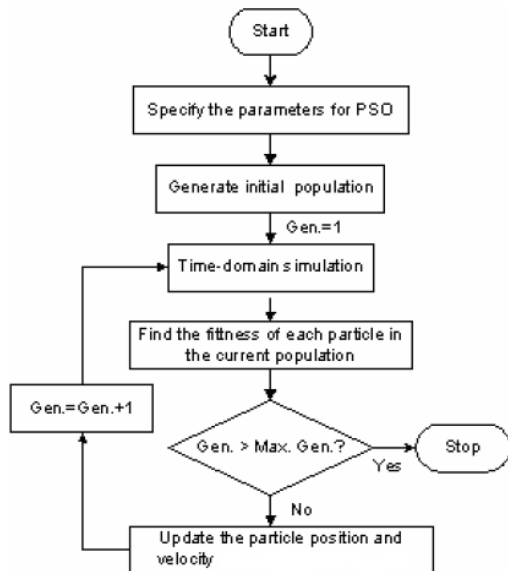
### ۲-۲- طراحی شبکه عصبی

ابتدا زوج دادهای جهت آموزش شبکه به صورت تصادفی و به تعداد ۱۰۰ عدد از بازه زیر انتخاب می گردند:

$$P = [0:1.2]$$

$$Q = [0:0.6]$$

برای هر زوج داده یکبار ضرایب  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$  و ماتریس های  $A, B, C$  محاسبه می شوند، سپس توسط الگوریتم PSO مقادیر بهینه  $K_p, K_i, K_d$  برای PID بدست می آید و به عنوان خروجی داده های آموزشی مورد استفاده قرار می گیرد.

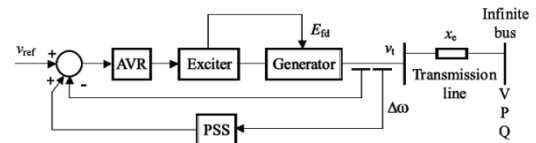


شکل ۳: الگوریتم PSO جهت به دست آوردن ضرایب مدل همفرون فیلیپس تابع هدف به صورت زیر انتخاب می گردد:

(۵)

$$J = \int_{t=0}^{t=t_{sim}} [\Delta\omega] \cdot t \, dt$$

که  $t_{sim}$  زمان شبیه سازی می باشد.



شکل ۲: سیستم تولید و انتقال به همراه پایدار ساز PSS

پس از تبدیل تونن و صرف نظر از مقاومت خط داریم:

(۲)

$$x_d = 1.6, \quad x'_d = 0.32, \quad x_q = 1.55,$$

$$\omega_b = 2\pi \times 50 \text{ rad/sec}, \quad T'_{do}$$

$$= 6 \text{ sec and } M = 10, \quad x_e = 0.4$$

نقطات کار به صورت زیر است:

جدول (۱): توان اکتیو و راکتیو بر حسب توزیع بار

بار	P	Q
سنگین	1.2	0.2
عادی	1	0
سبک	0.7	0.3

پارامترهای  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$  مدل همفرون فیلیپس بایستی حول نقطه کار محاسبه شوند، این ضرایب با توجه به Setpoint به صورت زیر محاسبه می شود:

(۳)  $(K_6$  الی  $K_1)$

$$K_1 = c_3 \frac{p^2}{p^2 + (Q + C_1)^2} + Q + C_1,$$

$$K_2 = C_4 \frac{p}{\sqrt{p^2 + (Q + C_1)^2}},$$

$$K_3 = \frac{x'_d + x_e}{x_d + x_e},$$

$$K_4 = C_5 \frac{p}{\sqrt{p^2 + (Q + C_1)^2}},$$

$$K_5 = C_4 x_e \frac{p}{V^2 + Q x_e} \left[ C_6 \frac{C_1 + Q}{p^2 + (C_1 + Q)^2} \right],$$

$$K_6 = C_7 \frac{\sqrt{p^2 + (Q + C_1)^2}}{V^2 + Q x_e} \left[ x_e + \frac{C_1 x_q (C_1 + Q)}{p^2 + (C_1 + Q)^2} \right],$$

(۴)  $(C_7$  الی  $C_1)$

$$C_1 = \frac{V^2}{x_e + x'_d}, \quad C_2 = k_3$$

$$C_3 = C_1 \frac{x_q - x'_d}{x_e + x'_d}, \quad C_4 = \frac{V}{x_e + x'_d},$$

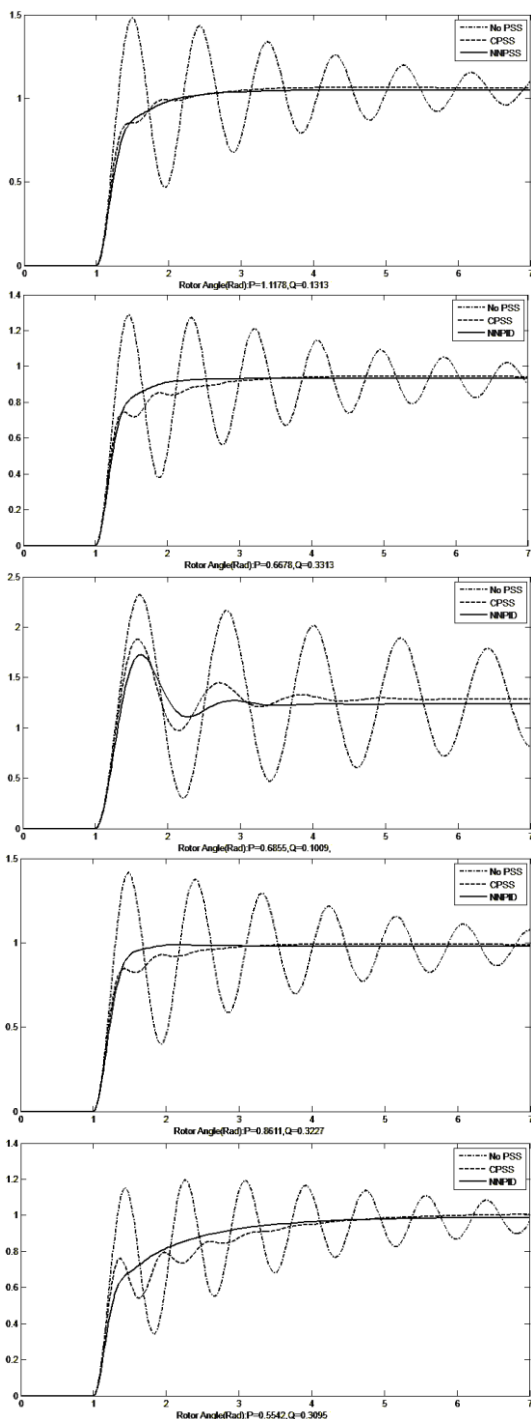
$$C_5 = \frac{x_q - x'_d}{x_e + x'_d}, \quad C_6 = C_1 \frac{x_q (x_q - x'_d)}{x_e + x_q},$$

$$C_7 = \frac{x_e}{x_e + x'_d}$$

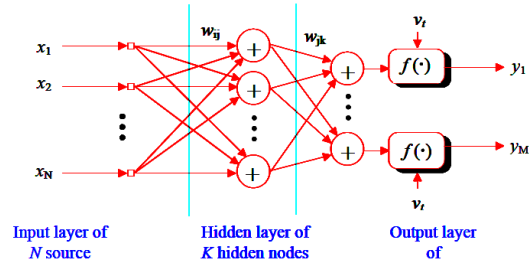
۲۰۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

### ۳- نتایج شبیه سازی

در این مرحله کنترل کننده ارائه شده در نقاط کار مختلف با PSS کلاسیک مقایسه شده است، نتایج به صورت زیر می باشد (تمام نتایج پاسخ سیستم به ۱۰۰ درصد تغییر در  $T_m$  می باشد):

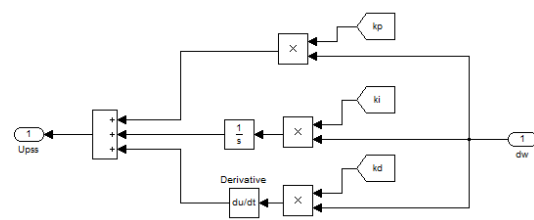


پس از جمع آوری زوج داده های آموزشی شبکه عصبی آموزش داده می شود. شبکه مذکور دارای ۲ لایه مخفی و یک خروجی است، تابع فعال ساز لایه های مخفی Tansig و تابع فعال ساز لایه خروجی Purelin می باشد. در هر لایه مخفی ۲۰ نرون و در لایه خروجی ۳ نرون قرار دارد.

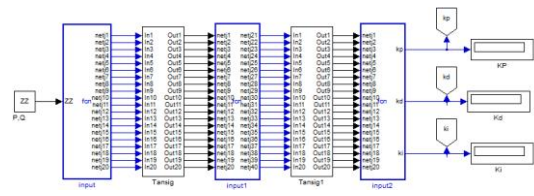


شکل ۴: زوج داده های آموزشی شبکه ی عصبی

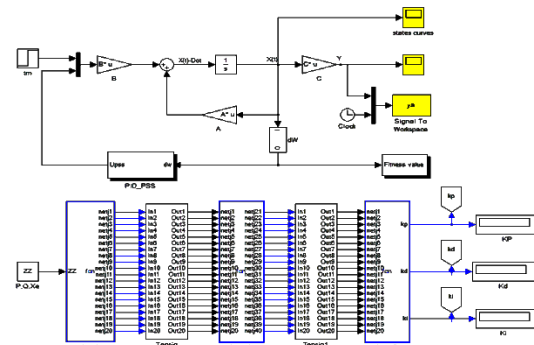
خروجی شبکه عصبی را سه پارامتر  $K_p, K_i, K_d$  برای PID تشکیل می دهند. این پارامترها مقادیر بهینه شده توسط PSO Algorithms می باشند.



شکل ۵: مدل PID



شکل ۶: مدل شبکه عصبی



شکل ۷: مدل خطی ژنراتور همراه با کنترلر

۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

نتایج نشان دهنده مقاوم بودن کنترل کننده ارائه شده می باشد.

#### ۴- نتیجه گیری

پایدار سازهای کلاسیک سالهاست جهت اضافه کردن میرایی به سیستم قدرت مورد استفاده قرار می گیرند.

سیستم قدرت یک سیستم بسیار پیچیده میباشد که به شدت غیر خطی است، معادلات دیفرانسیل سیستم تابع زمان هستند و تحت شرایط مختلف از جمله تغییر نقطه کار، وارد شدن یک اغتشاش و غیره پارامترهای سیستم تغییر خواهند کرد. این بدان معنی است که با یک کنترل کننده با پارامترهای ثابت امکان کنترل مقاوم سیستم قدرت در برابر LFO وجود ندارد.

بنابراین جهت داشتن کنترل مناسب لازم است پارامترهای کنترل کننده همگام با تغییرات سیستم به صورت بهینه تغییر کند.

در این پروژه از یک PID به عنوان پایدار ساز استفاده شده است. پارامترهای PID ثابت نیستند و با تغییرات سیستم تغییر می کنند. یک شبکه عصبی جهت این هدف بکار گرفته شده است. شبکه عصبی مقادیر P, Q را نمونه برداری کرده و سپس پارامترهای مناسب (Kp, Ki, Kd) را برای PID تولید می نماید.

#### مراجع

- [1] Hisham M.Soliman, Ehab H.E.Bayoumi, Mohamed F.Hassan, "PSO-BASED POWER SYSTEM STABILIZER FOR MINIMAL OVERSHOOT AND CONTROL CONSTRAINTS", Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 59, NO. 3, 2008, 153-159
- [2] Ravi Segal, Avdhesh Sharma, M.L.Kothari "A self-tuning power system stabilizer based on artificial neural network", Electrical Power and Energy Systems 26 (2004) 423-430
- [3] P. M. Anderson and A. A. Fouad, Power System Control and Stability, IEEE Press, 1994.
- [4] Sidhartha Panda, N. P. Padhy, "Robust Power System Stabilizer Design using Particle Swarm Optimization Technique "