اولین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق
۱۶ و ۱۷ آذر ماه ۱۳۹۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان-اصفهان

طراحی پایدارساز سیستم قدرت بر اساس تئوری کنترل حالت لغزشی فازی

حامد کریمی حسن‌آبادی[۱]، غضنفر شاهقلیان[۲]، سید حمید محمودیان[۳]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، Hamed.karimi35@yahoo.com

[۲] دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد،Shahgholian@iaun.ac.ir

[۳] دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد،H-mahmoodian@pel.iaun.ac.ir

چکیده- در یک سیستم قدرت به دلیل وجود شرایط کاری مختلف، از جمله تغییرات توان اکتیو، راکتیو، پارامترهای خط انتقال و... نیاز است تا با استفاده از یک سیستم کنترلی، سیستم قدرت تحت مطالعه را در برابر نوسانات فرکانس پائین بوجود آمده ناشی از تغییرات ذکر شده محافظت کند و در نهایت به پایداری دینامیکی مطلوب برسد. در این مقاله جهت طراحی پایدارساز سیستم قدرت از کنترل حالت لغزشی فازی استفاده شده است. مزیت این روش غیر حساس کردن و مقاوم کردن سیستم در برابر تغییر در شرایط کارکرد سیستم است، همچنین با استفاده از مکانیسم استنباط فازی مشکل کنترلرهای حالت لغزشی معمولی (SMC) را که عدم روشی منظم جهت انتخاب بهره‌های کنترلی است حل شده است. در نهایت نتایج شبیه-سازی کامپیوتری را بر روی یک سیستم قدرت تک ماشینه متصل به شین بینهایت نشان داده شده است و نتایج بدست آمده با یک پایدار ساز سیستم قدرت کلاسیک (CPSS) در شرایط مختلف کاری مقایسه شده است.

کلید واژه: پایدارساز سیستم قدرت (PSS)، کنترل حالت لغزشی (SMC)، کنترلر منطق فازی(FLC)

۱- مقدمه

رفتار سیستم قدرت در گذر از یک نقطه کار به نقطه دیگر با نوساناتی همراه است که فرکانس و میرائی این نوسانات تابعی از نقطه کار و ساختار شبکه است. نوساناتی که در اثر تغییر نقطه کار در زاویه روتور ژنراتورهای سنکرون شبکه رخ می‌دهد و دارای فرکانسی در حدود چند دهم هرتز تا چندین هرتز است را نوسانات فرکانس پائین می‌نامند، که در اکثر مواقع اینگونه نوسانات مربوط به مدهای الکترومکانیکی مولدهای شبکه است. در صورتیکه گشتاور میراکننده ژنراتور کافی نباشد، این نوسانات برای مدت طولانی موجود بوده و حتی تشدید می‌شوند و این امر باعث محدود شدن قابلیت‌های انتقال قدرت روی خط انتقال و ایجاد فشار روی شفت مکانیکی می‌شود. یک راه حل ممکن جهت افزایش پایداری در چنین شرایطی، تولید سیگنال ورودی جدید جهت کنترل گشتاور در فاز مقابل با سرعت می‌باشد که می‌تواند پایدارسازی را بهبود ببخشد، این سیگنال اضافی اصطلاحا سیگنال پایدارساز سیستم قدرت (PSS) نامیده می‌شود [۱].

تاکنون روش‌های کنترل مختلفی برای طراحی PSS ارائه شده است، که از میان آنها پایدارسازهای کلاسیک (CPSS) که دارای جبران کننده پس‌فاز- پیش‌فاز می‌باشند، به دلیل ساختار ساده، انعطاف پذیری بالا و پیاده‌سازی آسان مورد توجه اغلب محققان قرار گرفته است. ساختار یک CPSS، به نحوی است که تنظیم بهره‌های آن معمولا در شرایط خاصی از عملکرد سیستم قدرت محاسبه و ثابت نگه داشته می‌شود، واضح است که نقطه کار سیستم قدرت همراه با تغییرات بار عوض می‌شود و لذا طراحی

صورت گرفته قابلیت پایداری خود را از دست خواهد داد، به همین دلیل پایدارسازهای کلاسیک در عمل از کارائی خوبی برخوردار نیستند[۳-۲] . بعد از سال‌ها تحقیق روی PSSها، پایدراسازهائی معرفی شدند، که پارامترهای مورد نیاز خود را بصورت همزمان با توجه به تغییر شرایط کارکرد سیستم قدرت تنظیم می‌نمودند، که این نوع PSSها به PSSها با کنترل کننده تطبیقی شناخته شدند [۹-۴]. اما استفاده از این نوع کنترل‌کننده‌ها به دلیل محاسبات زیاد همزمان جهت پیاده کردن پارامترهای مورد نیاز PSS، همچنین دشواری آموزش دادن آنها و گاهی موارد نیاز به دانش قبلی از عملکرد سیستم می‌تواند سرعت و دقت عملکرد کنترل کننده را تحت تاثیر قرار دهد[۱۰].

یکی دیگر از تکنیک‌های ارائه شده جهت برقراری پایداری با رنج گسترده‌ای از شرایط عملکرد استفاده از تئوری کنترل حالت لغزشی است. که اگر چه بیشتر کاربرد کنترلرهای لغزشی و ساختار متغیر در زمینه‌های رباتیک و کنترل موتورهای الکتریکی است [۱۱]، اما در چند سال اخیر از آن در بهبود پایداری گذرا و دینامیکی سیستم قدرت نیز استفاده شده است، بعنوان مثال در [۱۲]، بمنظور بهبود عملکرد پایداری گذرای سیستم قدرت، کنترل کننده ساختار متغییری جهت کنترل ادوات FACTS مختلف از جمله STATCOM استفاده شده است و یا در [۱۳] یک پایدارساز سیستم قدرت (PSS)، بر اساس تئوری کنترل حالت لغزشی برای یک سیستم قدرت ۱۰ ماشینه ۳۹ باسه طراحی شده است. همچنین از SMC در موارد مختلف دیگری همچون کنترل سیستم‌های انرژی بادی[۱۴] و یا طراحی کنترل بار-فرکانس جهت بهبود عملکرد دینامیکی سیستم قدرت استفاده شده است[۱۵].

مشکل اساسی طراحی SMC، در کاربردهای ذکر شده در فوق نحوه انتخاب بهره‌های فیدبک کنترلی SMC، است، که در اکثر موارد این بهره‌ها ثابت هستند و انتخاب آنها از طریق سعی و خطا است، که این امر باعث محدود شدن برخی از مزایای SMC و همچنین ایجاد نوسان‌های مزاحم (چترینگ)می‌شود. محققان روش‌های مختلفی از جمله استفاده از برنامه‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد کردند [۱۸-۱۶]. که این روش‌ها روشی سیستماتیک برای انتخاب بهره کنترلی SMC ارائه کردند اما بازهم در همه موارد ثابت فرض می‌شدند. در [۱۹]، جهت تطبیقی کردن بهره با تغییر شرایط کارکرد از شبکه‌ها عصبی مصنوعی استفاده شده است، که البته استفاده از این تکنیک دارای روندی دشواری جهت آموزش شبکه است.

در این مقاله هدف بررسی و امکان استفاده از کنترل حالت لغزشی فازی در طراحی پایدارساز سیستم قدرت است. که جهت غیر حساس کردن سیستم کنترلی به تغییرات ایجاد شده در شرایط کار از تئوری کنترل لغزشی استفاده شده و جهت حل مشکل انتخاب بهره‌های کنترلی از مکانیسم استنباط فازی استفاده می‌شود.

۲- تئوری کنترل حالت لغزشی

روش کنترل لغزشی یکی از حالت‌های کنترل ساختار متغیر است که در این روش حالت‌های سیستم توسط قوانین کنترلی روی مسیر از پیش تعیین شده‌ای (خط یا سطح سوئیچینگ) قرار می-گیرد و با دینامیک مشخصی که توسط طراح مشخص می‌شود و می‌تواند غیر از دینامیک سیستم باشد به سمت نقطه مورد نظر (مبداء) حرکت می‌کند. اگر اغتشاش وارد شده به سیستم دارای علامت معینی باشد در هر لحظه بااعمال قانون کنترلی معین می-توان اثر این اغتشاش را از بین برد، که می‌توان برای این عمل از سوئیچینگ سریع سیگنال کنترلی یا تابع علامت استفاده کرد. مهمترین خاصیتی که باعث شده این روش توسعه پیدا کند دقت زیاد، پاسخ دینامیکی سریع، سادگی پیاده‌سازی و پایداری مقاوم است.

طراحی سیستم‌های کنترل حالت لغزشی شامل دو مرحله طراحی بردار سوئیچینگ است و انتخاب زیر سیستم‌های کنترلی است بطوریکه مسیرهای حالت روی سطح سوئیچینگ لغزش یا حرکت کنند.

ایده اصلی روش کنترل حالت لغزشی از مقایسه آن با طراحی فیدبک حالت خطی برای سیستم زیر بدست آمده است:

$$\dot{X} = AX + BU \qquad (۱)$$

که در این سیستم، بردار حالت x، یک بردار 1×n، بردار کنترل u، یک بردار 1×m، است و ماتریس حالت A، یک ماتریس n×n، و ماتریس کنترل B، یک ماتریس m×n، است که n,m، به ترتیب تعداد ورودی‌های سیستم و تعداد متغیرهای حالت است. در طراحی فیدبک حالت، سیگنال کنترلی بصورت زیر تعریف می شود:

$$u = k^T x \qquad (۲)$$

که بردار k براساس روش‌های مختلفی همچون قراردادن مقادیر ویژه مطلوب بدست می‌آید. اما در سیستم‌های کنترل حالت لغزشی، ساختار کنترل کننده در هر لحظه از یک عضو مجموعه توابع پیوسته به عضوی دیگر تغییر می‌کند، پس در اصل طراحی کنترل حالت لغزشی انتخاب پارامترهای هر ساختار و تعریف یک منطق سوئیچینگ است که تغییر در ساختار سوئیچینگ باید بر روی سطح لغزشی بصورت زیر انجام شود:

$$S = C^T X = 0 \qquad (۳)$$

که در آن C^T، بردار سوئیچینگ و X بردار متغیرهای حالت است. می‌توان با در نظر گرفتن سیگنال کنترل بصورت زیر مسیرهای حالت را روی سطح سوئیچینگ قرار داد:

$$U = -\psi^T X$$
$$\begin{cases} \alpha & if \quad S > 0 \\ -\alpha & if \quad S < 0 \end{cases} \qquad (٤)$$

بنابراین جهت طراحی دو مرحله طراحی بردار سوئیچینگ و انتخاب بهره کنترلی انجام می‌شود، که در ادامه به این دو مرحله می-پردازیم.

۲-۱- طراحی سطح سوئیچینگ

جهت طراحی سطح سوئیچینگ در گام اول باید یک ماتریس انتقال بصورت زیر گرفته شود:

$$Y = TX \qquad (۵)$$

بطوریکه:

$$TB = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ B_2 \end{bmatrix} \qquad (۶)$$

و در آن T یک ماتریس نامنفرد n×n، و B_2، نیز یک ماتریس با رتبه کامل m×m، باشد.که با در نظر گرفتن معادلات (۱)و (۵) خواهیم داشت،

$$\dot{Y} = TAT^{-1}Y + TBU \qquad (۷)$$

که می‌توان آن را در فرم ماتریسی بصورت زیر نوشت،

$$\begin{bmatrix} \dot{Y}_1 \\ \dots \\ \dot{Y}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & \vdots & A_{12} \\ \dots & \vdots & \dots \\ A_{21} & \vdots & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ \dots \\ Y_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ B_2 \end{bmatrix} \qquad (۸)$$

که زیرماتریس‌های A_{11}،A_{12}، A_{21}، A_{22}، به ترتیب ماتریس‌هائی با ابعاد (n-m)×(n-m)، (n-m)×m، m×(n-m)،m×m، هستند. حال سیستم (۸) را یک سیستم کنترل حلقه باز با بردار حالت Y_1 و سیگنال کنترل Y_2، در نظر می‌گیریم، و با توجه به روابط (۳)و(۵) سطح سوئیچینگ بصورت زیر قابل تعریف است:

$$S = S^T T^{-1} Y = 0 \qquad (۹)$$

و با تعریف رابطه زیر :

$$C^T T^{-1} Y = \begin{bmatrix} C_1^T & C_2 \end{bmatrix} \qquad (۱۰)$$

که در آن C_1 یک بردار ستونی با بعد n-1، و C_2، یک اسکالر است، و با فرض C_2=1، می‌توان سیگنال کنترلی Y_2، را بصورت زیر در نظر گرفت،

$$Y_2 = -C_1^T Y_1 \qquad (۱۱)$$

و با استفاده از روابط (۸)و(۱۱)، معادله حلقه بسته در مد لغزشی بصورت زیر خواهد بود،

$$\dot{Y}_1 = (A_{11} - A_{12} C_1^T) Y_1 = A_c Y_1 \qquad (۱۲)$$

و از آنجائیکه فرض می‌شود زوج (A,B)، کنترل پذیر است، لذا می-توان نتیجه گرفت که زوج (A_{11},A_{12})، نیز کنترل پذیر هستند و در

اینصورت می‌توان مقادیر A_c، را در صفحه مختصات دلخواه در نظر گرفت.

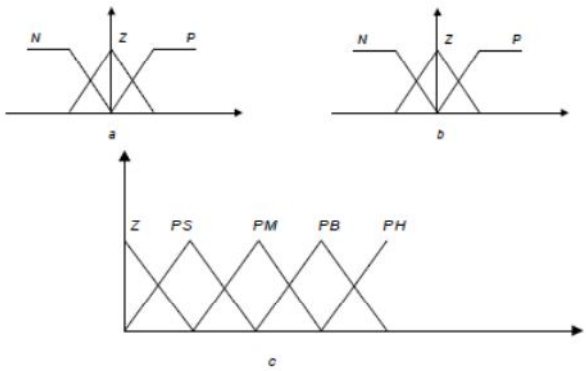
بنابراین طراحی سطح سوئیچینگ شامل سه مرحله است، انتخاب ماتریس تبدیل T ، طراحی بردار C_1 ، به طوری که مقادیر ویژه λ تا λ_{n-1} ، ماتریس A_c ، مکان مطلوبی داشته باشند و انتخاب معادله سطح سوئیچینگ را بصورت زیر است:

$$S = \begin{bmatrix} C_1^T & 1 \end{bmatrix} TX = 0 \qquad (۱۳)$$

۲-۲- طراحی بهره کنترلی SMC

در این قسمت یک مکانیسم استنباط فازی برای تخمین بهره‌های کنترلی SMC، استفاده می‌شود. کنترل منطق فازی در واقع الگوریتمی را فراهم می‌کند که بوسیله آن می‌توان دانش شخص خبره و استراتژی زبانی را به یک استراتژی کنترل خودکار تبدیل کرد.

طبق رابطه (۴)یکی از پارامترهای مهم جهت بررسی شرایط مسیر حالت، سطح لغزشS است، به همین عنوان سطح لغزش S بعنوان ورودی اول و مشتق آن بعنوان ورودی دوم کنترلر فازی انتخاب می‌شود، در مرحله بعدی از طراحی کنترلر فازی برای دو متغیر ورودی S وŚ ترم‌های زبانی منفی، صفر و مثبت، و برای خروجی U، ترم‌های زبانی صفر، مثبت کوچک، مثبت متوسط، مثبت بزرگ و مثبت خیلی بزرگ انتخاب می‌شود. توابع عضویت را برای ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌توان مطابق شکل (۱) در نظر گرفت.



شکل ۱: توابع عضویت، a,b مربوط به ورودی کنترلر فازی و cمربوط به خروجی کنترلر

ازآنجائیکه یک بهره سیگنال بزرگ، مسیر حالت را مجبور می‌کند که سریعا به سطح لغزش S=۰ میل کند. اما همزمان نوسانات مزاحم (چترینگ) را نیز افزایش می‌دهد، لذا هنگامی که مسیرهای حالت از نیم‌صفحه لغزش دور هستند، بهره سوئیچینگ باید متناسب با آن افزایش یابد و بر عکس. بنابراین، هنگامی‌که مسیرهای حالت از سطح لغزش منحرف شده اند، بهره سوئیچینگ باید افزایش داده شوند تا مسیرها به عقب برگردند و برعکس زمانی که مسیرهای حالت به لغزش میل کند، بهره سوئیچینگ باید کاهش یابد تا از ایجاد نوسانات مزاحم جلوگیری کند. بنابراین با توجه به علم فوق و ترم‌های زبانی در نظر گرفته شده، پایگاه قواعد را می‌توان بصورت جدول (۱) تعریف کرد:

جدول (۱): پایگاه قواعد سیستم فازی

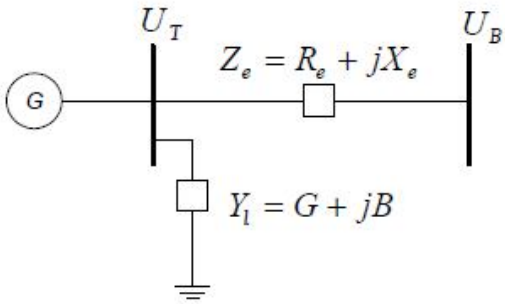
		$\dot{S}$		
		N	Z	P
S	N	**PH**	**PB**	**PM**
	Z	**PS**	**Z**	**PS**
	P	**PM**	**PB**	**PH**

۳- مدل سیستم قدرت

نوسانات فرکانس پائین یکی از عوامل از دست رفتن پایداری سیستم قدرت است. که برای از بین بردن و میراسازی هر جه بیشتر این نوسانات می‌توان از PSS، استفاده کرد، که این پایدارسازهای سیستم قدرت یک سیگنال کمکی برای قسمت تحریک ژنراتور به وجود می‌آورند. یکی از روش‌های بررسی نوسانات فرکانس پائین و همچنین پایداری سیستم قدرت، در برابر نوسانات مختلف استفاده از یک سیستم قدرت تک ماشینه متصل به شین بینهایت است همچنین با خطی سازی روابط حاکم بر یک سیستم قدرت تک ماشینه و استفاده از مدل هفرون-فیلیپس آن، می‌توان

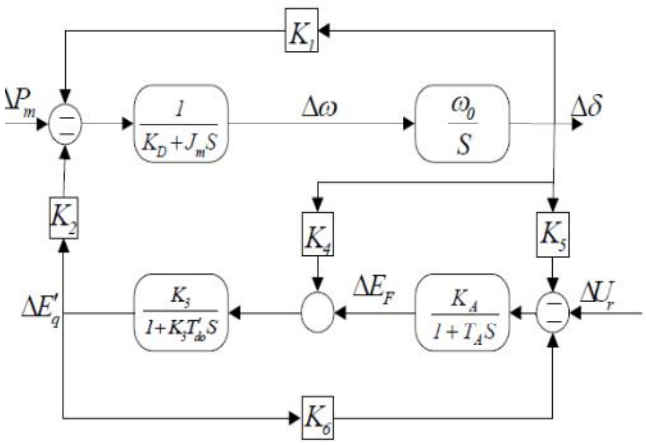
تقریب دقیقی از سیستم را برای بررسی پایداری سیستم قدرت دست آورد.

یک سیستم قدرت تک ماشینه متصل به شین بینهایت در شکل (۲) نشان داده شده است، در این مدل ژنراتور از طریق یک خط انتقال با امپدانس Z_e، به شین بینهایت متصل شده است، و جهت نزدیک شدن نتایج شبیه‌سازی به واقعیت از یک بار محلی Yl نیز استفاده شده است.



شکل ۲: سیستم قدرت تک ماشینه متصل به شین بینهایت

همچنین مدل خطی شده هفرون-فیلیپس مطابق شکل (۳) می‌باشد.



شکل ۳: مدل هفرون- فیلیپس سیستم قدرت

بنابراین با توجه به شکل (۳) می‌توان معادلات حالت خطی شده یک ماشین سنکرون متصل به شین بینهایت را بصورت زیر در نظر گرفت:

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix}\Delta\omega\\ \Delta\delta\\ \Delta E'_q\\ \Delta H_F\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{-K_D}{j_m} & \frac{-K_1}{j_m} & \frac{-K_2}{j_m} & 0\\ \omega_0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \frac{-K_4}{T'_{do}} & \frac{-1}{K_3 T'_{do}} & \frac{1}{T'_{do}}\\ 0 & \frac{-K_A K_5}{T_A} & \frac{-K_A K_6}{T_A} & \frac{-1}{T_A}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\omega\\ \Delta\delta\\ \Delta E'_q\\ \Delta H_F\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0\\ \frac{K_A}{T_A}\end{bmatrix}\Delta U_r \qquad (۱۳)$$

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت به منظور بررسی و ارزیابی اثر روش پیشنهادی بر پایداری سیستم قدرت شبیه‌سازی‌های کامپیوتری در حوزه زمان انجام می‌شود. شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در این مقاله بر روی مدل نشان داده شده در شکل (۲) صورت می‌گیرد، و همچنین جهت نشان دادن توانمندی روش ارائه شده بر پایداری نتایج را با به کارگیری یک پایدارساز کلاسیک که شامل یک بلوک جبرانساز فاز، یک بلوک پاکساز و یک بلوک بهره است مقایسه می‌کنیم.

پارامترهای سیستم تحت مطالعه را می‌توانیم در جدول (۲) مشاهده کنیم،

جدول (۲): پارامترهای سیستم مورد نظر

Generator Parameter
J_m=9.26 , T'_{do}=7.76 , K_D=0.0 x_d=0.973 , x'_d=0.19 , x_q=0.55
Excitation system data and line data
K_A=50 , T_A=0.05 R_e=-0.034 , x_e=0.997 G=0.249 , B=0.262
CPSS Parameter
K_p=5.068 T_w=3 T_1=0.6851 , T_2=0.1

عملکرد سیستم کنترلی ارائه شده در این مقاله را تحت دو حالت مختلف از شرایط کاری مطابق زیر بررسی می‌کنیم،

الف) شرایط بار نامی، در این حالت P_{e0}=1 p.u، Q_{e0}=0.015 p.u، و V_{T0}=1.05، انتخاب می‌شود.

ب)شرایط بارگذاری با بار پیش‌فاز، در این حالت P_{e0}=0.7 p.u، Q_{e0}=-0.3 p.u، و V_{T0}=1.05 انتخاب می‌شود.

حال با توجه به این حالات ثابت‌های K موجود در مدل هفرون فیلیپس را می‌توان مطابق جدول (۳) محاسبه کرد،

جدول (۳): ضرایب K

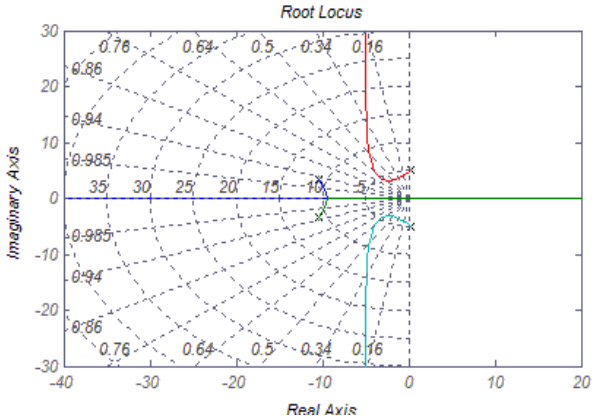
Operation condition	Loding Normal	Loding Power factor
K_1	0.5441	0.7387
K_2	1.2067	1.0270
K_3	0.6584	0.6584
K_4	0.6981	0.6024
K_5	-0.0955	-0.0188
K_6	0.8159	0.8365

با توجه با رابطه (۱۳) و همچنین پارامترهای سیستم، ماتریس A وB بصورت زیر خواهد بود:

$$A=\begin{bmatrix} 0 & -0.0588 & -0.1303 & 0 \\ 377 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.09 & -0.1957 & 0.1289 \\ 0 & 95.532 & -815.93 & -2 \end{bmatrix}$$

$$B=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1000 \end{bmatrix}^T$$

اگر قبل از بکارگیری هر نوع پایدارسازی نمودار مکان هندسی ریشه‌های سیستم را رسم کنیم ، مطابق شکل (۴) مشاهده می‌شود که سیستم ناپایدار است و استفاده از پایدارساز سیستم الزامی است.



شکل ۴: نمودار مکان هندسی ریشه‌های سیستم در حالت بدون پایدارساز

حال با توجه به ماتریس‌های AوB، و همچنین مطالب ذکر شده در قسمت دوم بردار سوئیچینگ و سطح سوئیچینگ بصورت زیر قابل محاسبه است، ماتریس T را می‌توان بصورت زیر در نظر گرفت:

$$T=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

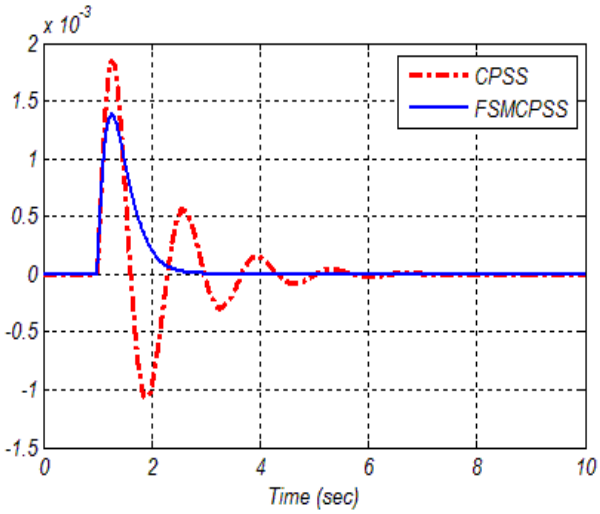
و با توجه به روش جایگذاری قطب و انتخاب ۴- و ۶- و۸- بعنوان قطب‌های مطلوب ماتریس A_c، بردار سوئیچینگ بصورت زیر بدست می‌آید.

$$C=\begin{bmatrix} -4813.7 & 31.98 & 138.984 & 1 \end{bmatrix}^T$$

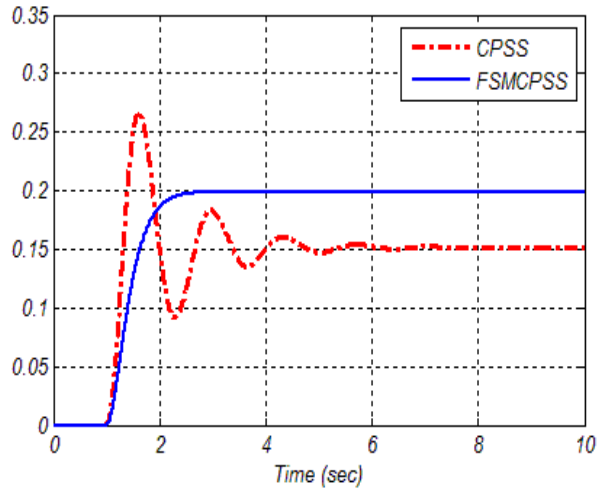
بنابراین با توجه به بردار سوئیچینگ محاسبه شده و بدنبال آن با توجه به رابطه (۱۳) محاسبه سطح سوئیچینگ و همچنین انتخاب بهره کنترلی بعنوان متغیر فازی شبیه‌سازی کامپیوتری را انجام می‌دهیم.

در حالت اول شبیه‌سازی را در شرایط نرمال و به ازای ۱۰٪ تغییر ناگهانی در مقدار مرجع گشتاور مکانیکی ورودی ژنراتور انجام گرفته است. در این حالت تغییرات سرعت و تغییرات زاویه روتور را می‌توان در شکل (۵) مشاهده کنیم. همانطور که از پاسخ بدست آمده مشخص است، با استفاده از کنترل حالت لغزش فازی

عملکردی مطلوب تر نسبت به استفاده از پایدارساز کلاسیک دارد، چراکه باعث کاهش درصد فراجهش و همچنین زمان نشست پاسخ شده است.



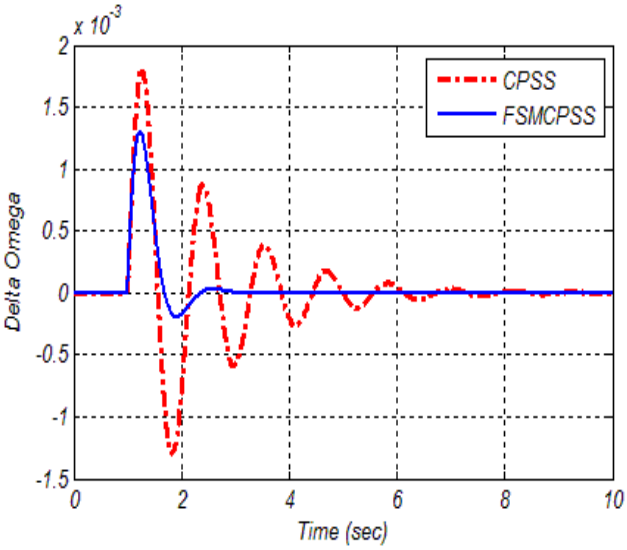
a



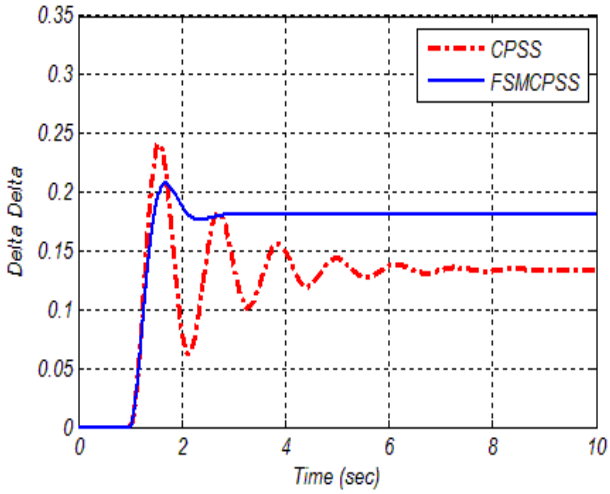
b

شکل ۵: پاسخ سیستم در شرایط عادی و به ازای ۱۰٪ تغییر در ورودی گشتاور ، a تغییرات سرعت و b تغییرات زاویه روتور

در حالت بعدی شبیه‌سازی در شرایط بارگذاری دیگر یعنی بارگذاری پیش‌فاز انجام شده است که نتایج حاصل از این شبیه-سازی را در شکل (۶) مشاهده می‌کنیم. در این حالت نیز مشاهده می‌شود که با بکارگیری روش پیشنهادی سیستم عکلمردی مناسب نسبت به حالت مشابه دارد.



a



b

شکل ۵: پاسخ سیستم در شرایط بارگذاری پیش‌فاز و به ازای ۱۰٪ تغییر در ورودی گشتاور ، a تغییرات سرعت و b تغییرات زاویه روتور

۵- نتیجه‌گیری

از آنجا که در یک سیستم قدرت سرعت و دقت دو معیار مهم برای ارزیابی پایداری سیستم قدرت است، لذا استفاده از کنترل-کننده‌ای که بتواند با تغییر شرایط کار سیستم، پایداری سیستم را حفظ کند و سرعت میرائی نوسانات را افزایش دهد، همچنین دارای بازدهی و عملکرد مناسب در مواجهه با تغییرات بوجود آمده در سیستم باشد، امری ضروری بنظر می‌رسد. در این مقاله یک روش منظم برای طراحی کنترل کننده حالت لغزشی فازی جهت پایدار ساز سیستم قدرت ارائه شد. با ترکیب منطق فازی و کنترل ساختار متغیر شرایط مطلوب برای پایداری سیستم قدرت تک ماشینه ایجاد شد، و بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داده شد که با استفاده از این روش سرعت میرائی نوسانات روتور و زاویه روتور حتی با تغییر در شرایط عملکرد سیستم به میزان قابل توجهی افزایش یافته وهمچنین باعث کاهش میزان فراجهش در پاسخ سیستم خواهد داشت.

مراجع

[1] M.J. Basler, R.C. Schaefer, "Understanding Power-System Stability", IEEE Transactinns on Industry Applications, Vol. 44, No. 2, p.p. 463-474, 2008.
[2] Z.Wang, C.Y. Chung, K.P.Wong, C.T.Tse, "Robust power system stabiliser design under multi-operating conditions using differential evolution", IET Generation Transmiddion Distribution, Vol. 2, No. 5, P.P. 690-700, 2008.
[3] J.Faiz, G. Shahgholian, M. Arezoomand, "Analysis and simulation of the AVR system and parameters variation effects", IEEE Power Engineering conference, p.p.450-453, 2007.
[4] S. Zhang, F.L. Luo, "An improved simple adaptive control applied to power system stabilizer", IEEE Transaction on Power Electric, Vol.20, No.2 , p.p.369-375, 2009.
[5] C.J. Chen, T.C. Chen, H.J. Ho, C.C. Ou, "PSS design using adaptive recurrent neural network controller", IEEE ICNC, Vol.2, Tianjin, p.p.277-281, 2009.
[6] A S. Ahang, F.L. Lou, "An Improved Simple Adaptive Control Applied to Power System Stabilizer" IEEE Transaction Power Electronics, Vol. 24, No. 2, p.p. 369-375, 2009.
[7] S.M.Baek, J.W.Park, I.A.Hisken, "Optimal Tuning for Linear and Nonlinear Parameters of Power System Stabilizers in Hybrid System Modeling", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 45, No. 1, p.p 87-97, 2009.
[8] S. Panda, N.P. Padhy, "Application of genetic algorithm for PSS and FACTS based controller design", Inte. Jou. Of Com. Met., Vol.5, No.4,p.p.607-620, 2008.
[9] G. Cheng, L.Q. Zhan, "Simultaneous coordinated tuning of PSS and FACTS damping controllers using improved particle swarm optimization", IEEE Power and Energy Engineering Conference, p.p.1-4, 2009.
[10] S. K. Yee, V. Milanovi, "Fuzzy Logic Controller for Decentralized Stabilization of Multimachine Power Systems", IEEE Transaction on fuzzy systems, Vol. 16, NO. 4, pp.971-981, 2008
[11] K.B.Mohanty, M.Singh, "Robust Control of a Feedback Linearized Induction Motor through Sliding Mode", IEEE Power Electronics Conference, p.p.1-7, 2010.
[12] S.Morris, P.K.Dash, K.P.Basu, "A Fuzzy Variable Structure Current Controller For Flexible AC Transmission Systems", IEEE Transmission and Distribution Conference, p.p.330-335, 2002.
[13] V.Bandal, B.Bandyopadhyay, "Robust decentralised output feedback sliding mode control technique-based power system stabiliser (PSS) for multimachine power system", IET Control Theory Applications, Vol. 1, No. 5, p.p.1512-1522, 2007.
[14] I. Munteanu, S. Bacha, A. Bratcu"Energy-reliability optimization of wind energy conversion systems by sliding mode control" . IEEE Transaction Energy Convers ,Vol,23 No. 3, p.p. 275–985,2008.
[15] G.Meng, H.Xiong, J.Li, "Power System Load-Frequency Controller Design Based on Discrete Variable Structure Control Theory", IEEE Power Electronics and Control Conference, p.p.2591-2594, 2009.
[16]Al-Hamouz, Al-Duwaish," A new load frequency variable structure controller using genetic algorithms" Electrical Power System Res,p.p.1–6, 2000.
[17]Al-Hamouz, Al- N, Al-Duwaish, Al-Baiyat," On the design of variable structure load frequency controllers by Tabu search algorithm: application to nonlinear interconnected modea" Electrical Power Compon System,p.p.1253–672005.
[18]Al-Musabi, Al-Hamouz, Al-Duwaish," Design of variable structure stabilizer for a nonlinear mode of SMIB system: particle swarm approach", WSEAS Transaction Power System,.p.p. 311–6 2006.
[19] Hussain, Al-Duwaish, Zakariya, Al-Hamouz," A neural network based adaptive sliding mode controller: Application toa power system stabilizer", Energy Conversion and Management,p.p. 1533–1538,2011.