



www.ElitesJournal.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

ISSN 2538-581X

جلد ۲- شماره ۱- سال ۱۳۹۶



طراحی پایدار ساز برای سیستم‌های قدرت جهت بهبودی پایداری شبکه به منظور افزایش ضریب اطمینان در سیستم‌های قدرت

ابوالفضل رضایی فرد^{۱*}، حجت حاتمی^۲

۱- دانشجو، کارشناسی ارشد برق، دانشگاه آزاد اسلامی هریس

۲- استادیار برق، موسسه آموزش عالی سراج تبریز

*a.rezai1358@gmail.com

ارسال: اسفند ماه ۹۵ پذیرش: اردیبهشت ماه ۹۶

خلاصه

امروزه گسترش شبکه و افزایش اتصالات بین ناحیه‌ای جهت پاسخگویی به تقاضای انرژی باعث بوجود آمدن نوساناتی با فرکانس کم در سیستم قدرت می‌باشد این نوسانات در صورت میرا نشدن قابلیت بازدهی خطوط انتقال شبکه را کاهش داده و گاهی اوقات باعث خارج شدن سیستم قدرت از حالت سنکرون و حتی فروپاشی کل سیستم می‌گردد. برای مقابله با برخی پدیده‌های ناخواسته دینامیکی عموماً از سیستم‌های کنترلی استفاده می‌کنند برای این منظور سیستم کنترلی در نیروگاه‌ها مثل گاورنر و سیستم کنترلی در شبکه‌های قدرت مثل پایدار سازی سیستم قدرت معرفی و وارد نیروگاه‌ها شده‌اند. پایدار ساز سیستم قدرت به عنوان یکی از ارزان‌ترین روش‌های بهبود پایدار دینامیکی سیستم قدرت وسیله‌ای است که حلقه‌های کنترلی تکمیلی را برای سیستم تنظیم کننده خودکار ولتاژ فراهم ساخته و بر عملکرد دینامیکی سیستم قدرت با میرا کردن نوسان‌های آن تاثیر مطلوب می‌گذارد. عملکرد اصلی پایدار ساز سیستم قدرت تولید گشتاور مناسب روی روتور ماشین بوده بطوری که پس فازی میان ورودی تحریک و گشتاور الکتریکی جبران شود. سیگنال خروجی پایدار ساز متناسب با سرعت روتور است. در این پژوهش ابتدا به معرفی مدل دینامیکی شبکه قدرت تک ماشین متصل به شین بی نهایت SMIB پرداخته شده است در نتیجه پژوهش مشخص گردید برای از بین بردن نوسانات در سیستم پایدار که در خط انتقال رخ می‌دهد پایدار ساز سیستم قدرت PSS مورد استفاده قرار داده می‌شود. در نتیجه با طراحی و شبیه سازی پارامترهای PSS توسط الگوریتم فازی شبکه‌های تک ماشین انجام می‌گیرد.

کلمات کلیدی: شبکه تک ماشین متصل به شین بی نهایت (SMIB)، پایدار ساز سیستم قدرت (PSS)، الگوریتم فازی.

۱. مقدمه

با افزایش تقاضای انرژی و با توجه به این مساله که احداث خطوط انتقال جدید دارای هزینه بالایی می‌باشد، واحدهای تولیدکننده انرژی مجبور به تقویت واحدهای تولیدی موجود و استفاده از خطوط انتقال تا نزدیکی حد پایداری حرارتی می‌باشند. این در حالی است که پایداری سیستم قدرت باید تحت هر شرایطی برقرار باشد [۱]. پایداری سیستم‌های قدرت یکی از

موارد مهم در عملکرد سیستم‌های الکتریکی بوده و بایستی سیستم‌های کنترلی اندازه فرکانس و ولتاژ را تحت هر اغتشاشی از قبیل افزایش ناگهانی بار، خارج شدن یک ژنراتور از مدار یا قطع شدن یک خط انتقال در سطوح ثابتی حفظ کنند. توسعه سیستم‌های قدرت بزرگ و اتصال آنها به هم باعث ایجاد نوساناتی با فرکانس خیلی پایین در محدوده ۰.۲ تا ۳ هرتز می‌شود. این نوسانات به مدت طولانی در سیستم ادامه داشته و در بسیاری از موارد اگر میرایی کافی ایجاد نشود دامنه آنها افزایش یافته و باعث جداسازی و ناپایداری سیستم می‌شوند. نوسانات فرکانس پایین پدیده‌ای است که پایداری دینامیکی سیستم‌های قدرت را تهدید می‌کند. یک راه حل برای بهبود پایداری دینامیکی شبکه و افزایش میرایی اضافه کردن خطوط انتقال موازی برای کاهش مقاومت القایی بین مولد و شبکه است. علاوه بر این شبکه‌هایی که خطوط انتقال ضعیف هم دارن، به دنبال ناپایداری گذرا ممکن است مواجه با ناپایداری دینامیکی شوند به نحوی که در شبکه‌های قدرت بهم پیوسته امروزه ماشینی که در اولین نوسان پایدار گذرا بوده، تضمینی برای برگشت آن به نقطه کار حالت دائمی وجود ندارد [۲]. بدین معنی است که نوسانات فرکانس پایین ممکن است به دنبال بروز اتصال کوتاه در شبکه و خارج شدن بعضی از خطوط که ماشین را به سیستم وصل می‌کنند، نیز رخ دهد. در صورتی که این نوسانات میرا نشوند، باعث جدا شدن ماشین از شبکه می‌گردد. در صورتی که یکی از خطوط در اثر بروز اتصال کوتاه قطع شود سیستم انتقال ضعیف تر از حالت قبل شده و سیستم دچار ناپایداری دینامیکی می‌شود [۸,۶].

یک سیستم قدرت، سیستمی کاملاً غیر خطی می‌باشد که در صورت استفاده از روش‌های خطی برای یافتن مقادیر بهینه پارامترهای پایدارسازها، دقت محاسبات به شدت پایین خواهد آمد در نتیجه بایستی از روش‌های غیر خطی برای محاسبه مقادیر بهینه پایدارسازها استفاده کرد. اما استفاده از روش‌های غیرخطی به دلیل پیچیدگی بالای سیستم و تعدد پارامترهایی که بایستی تعیین شوند، مناسب برای اینکار نمی‌باشند. پس بایستی از روش‌های احتمالی و الگوریتمهای تکاملی استفاده نمود در این مقاله، به تحلیل خطی سیستم‌های قدرت تک ماشینه متصل به شین بی‌نهایت که برای مطالعه پایداری حالت ماندگار و پایداری ولتاژ مورد نیاز است، پرداخته می‌شود. در موارد متعددی، ناپایداری و سرانجام از بین رفتن سنکرونیزم با به وجود آمدن اغتشاشات در سیستم شروع می‌شود که منجر به رفتار نوسانی شده و در صورتی که این نوسانات میرا نشوند، نهایتاً تقویت می‌شوند [۷,۹]. این مسأله مقدار زیادی به شرایط کار سیستم وابسته است. حتی نوسانات با فرکانس‌های پایین در صورتی که میرا نشوند، به دلیل آن که باعث محدودیت انتقال توان در خطوط انتقال می‌شوند و در مواردی موجب وارد شدن فشار بر محور مکانیکی می‌گردد، نامطلوب هستند. منشأ ایجاد نوسانات بین ناحیه‌ای مشکل است. هدف از این تحقیق شبیه سازی سیستم و طراحی پایدارساز، با استفاده از برنامه الگوریتم فازی در محیط متلب می‌باشد.

۲. روش تحقیق

در حالت ماندگار تعادل بین گشتاورهای مکانیکی ورودی و گشتاور الکتریکی خروجی در ژنراتور وجود دارد و سرعت روتور ژنراتور ثابت باقی می‌ماند. اگر سیستم دستخوش تغییرات شود یا به عبارت دیگر در معرض اختلالی قرار گیرد، این تعادل از بین می‌رود و در نتیجه روتور ماشین‌ها بر اساس قوانین حرکتی اجسام دوار، شتاب مثبت یا منفی پیدا می‌کند [۹]. اگر بطور لحظه‌ای ژنراتوری نسبت به ژنراتور دیگر سریعتر بچرخد، موقعیت زاویه ای روتور آن نسبت به ماشین کندتر، جلوتر قرار می‌گیرد. رابطه توان زاویه به شکل سینوس می‌باشد این موضوع سبب می‌شود که بالاتر از حد مشخصی، افزایش در اختلاف زاویه باعث کاهش در توان مبادله شده گردد و از این رو اختلاف زاویه باز هم بیشتر می‌شود و این امر منجر به ناپایداری سیستم می‌گردد [۳]. پدیده نوسانات با فرکانس کم در این میان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و در بحث پایداری دینامیکی سیستم‌های قدرت مورد توجه قرار می‌گیرد. بروز اغتشاش‌های مختلف در شبکه، انحراف سیستم از نقطه تعادل پایدار را به

دنبال دارد، در چنین وضعیتی به شرط اینکه سنکرونیزم شبکه از دست نرود، سیستم با نوسانات فرکانس کم به نقطه تعادل جدید نزدیک می شود. هنگامی که یک ژنراتور به تنهایی کار می کند، نوسانات با فرکانس کم به دلیل میرایی ذاتی به شکل نسبتاً قابل قبولی میرا می شوند. اما کاربرد برخی از المان ها مانند تحریک کننده های سریع، با اثر دینامیک قسمت های مختلف شبکه ممکن است باعث تزریق میرایی منفی به شبکه شود، به طوریکه نوسانات فرکانس کم شبکه به شکل مطلوبی میرا نشده و یا حتی از میرایی منفی برخوردار شوند. بدیهی است افزایش میرایی مودهای الکترومکانیکی سیستم در چنین وضعیتی می تواند به عنوان یک راه حل مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس پایدار کننده های سیستم قدرت (PSS) بر اساس مدل تک ماشین شین بینهایت طراحی شده و در محدوده وسیعی به کار گرفته می شوند. شبکه هایی که ساختار طول زیاد دارند احتمال بروز نوسانات الکترومکانیکی در آن زیاد است.

۱.۲. ماشین سنکرون

یک ماشین سنکرون با تقریب خوب به کمک سه سیم پیچ استاتور و سه سیم پیچی بر روی روتور (سیم پیچ میدان و دو سیم پیچ دمپر) مدل سازی می شود. معادلات دینامیکی توصیف کننده رفتار ماشین شامل معادلات الکترومغناطیسی بین پیچ ها و معادله الکترومکانیکی حاکم بر دینامیک روتور می باشد. جهت دستیابی به مدلی با حداقل مرتبه از پدیده های کم اهمیت در نوسانات با فرکانس کم صرف نظر می شود. مهمترین این پدیده ها عبارتند از:

۱) در حین نوسانات با فرکانس کم جریان القاء شده در سیم پیچی های دمپر ناچیز است بنابراین از این سیم پیچی ها در مدل سازی صرف نظر می شود.

۲) چون مقادیر پایدار متناظر با معادلات سیم پیچ های d و q (معادل سیم پیچ های استاتور) به اندازه کافی از محور موهومی دور می باشند؛ این معادلات به شکل جبری در نظر گرفته می شوند [۱۱].

ژنراتورهای سنکرون در نیروگاه های بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند دلیل استفاده از این ژنراتور هم به این جهت می باشد که این نوع از ژنراتورها می توانند سطح ولتاژ و فرکانس شبکه را کنترل نمایند اگر میزان توانی که از توربین برای تغذیه ژنراتور سنکرون بالا باشد. فرکانس شبکه نیز افزایش می یابد و بالعکس اگر توان ورودی کم باشد فرکانس شبکه نیز کاهش می یابد لذا به این طریق می توان فرکانس شبکه را کنترل نمود ولتاژ نیز به وسیله اعمال تغییرات روی جریان ژنراتور کنترل می شود تغییرات جریان ژنراتور می تواند توان راکتیو شبکه را کنترل کند و به وسیله کنترل سطح توان راکتیو، سطح ولتاژ شبکه را کنترل نمود [۵].

نیروگاه های کوچک اگر بخواهد بدون اتصال به شبکه به صورت مستقل کار کنند، در این صورت می توان از ژنراتورهای سنکرون برای این نوع نیروگاه ها استفاده کرد. یک ژنراتور سنکرون در زمان اتصال کوتاه برای مدت زمان نسبتاً طولانی، جریان خطای بزرگی را ایجاد می کند. ژنراتورهای سنکرون از آنجایی که تحریکشان وابسته به شبکه نیست. می توانند به صورت مجزا از شبکه کار کنند و تولید توان نمایند. برای ژنراتور سنکرون مدل های مختلفی ارائه شده است که از میان آنها دو مدل مرتبه ۲ و ۳ معمول می باشند. تفاوت میان این دو مدل، در نظر گرفتن سیم پیچ تحریک و معادلات دیفرانسیلی مربوط به سیستم تحریک می باشد، که در مدل مرتبه سوم منظور گردیده است [۵].

پایه و اساس تمام نوسانات در سیستم های قدرت، ماشین سنکرون (قلب تپنده یک سیستم قدرت) است. یک ماشین سنکرون یک سیستم الکترومکانیکی است و از دو قسمت الکتریکی و مکانیکی تشکیل شده است. بخش مکانیکی آن (دینامیک روتور)

معمولاً با یک معادله دیفرانسیل درجه دو مدل‌سازی می‌شود. ولی در مدل‌سازی بخش الکتریکی اختلاف نظر زیادی وجود دارد. بسته به دقت لازم برای بخش الکتریکی مدل‌های درجه ۱، ۳، ۵ و صفر در نظر گرفته می‌شوند. تفاوت عمده این مدل‌ها در دقت آن‌هاست؛ مدل دقیق‌تر درجه بالاتری دارد [۲].

در مدل‌سازی بخش الکتریکی ماشین سنکرون، رابطه ولتاژ با جریان و همچنین فلو با جریان در سیم‌پیچی‌های مختلف، معادلات اصلی‌اند. در یک ماشین سنکرون سیم‌پیچ‌های مختلفی وجود دارند. سه سیم‌پیچ مربوط به سه فاز a ، b ، c تأمین‌کننده جریان و توان تزریقی به شبکه هستند. روی روتور، سیم‌پیچ میدان تحریک، تأمین‌کننده فلوی فاصله هوایی، نیز وجود دارد [۵].

۳. منطق فازی

امروزه سیستم فازی و کنترل فازی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد و نتایج بسیار سودمندی در بر داشته است. با توجه به اینکه سیستم فازی نیاز به مدل‌سازی نیازی ندارد در کنترل سیستم‌های دینامیکی و غیر خطی به طور موثری مورد بهره برداری قرار می‌گیرد [۴].

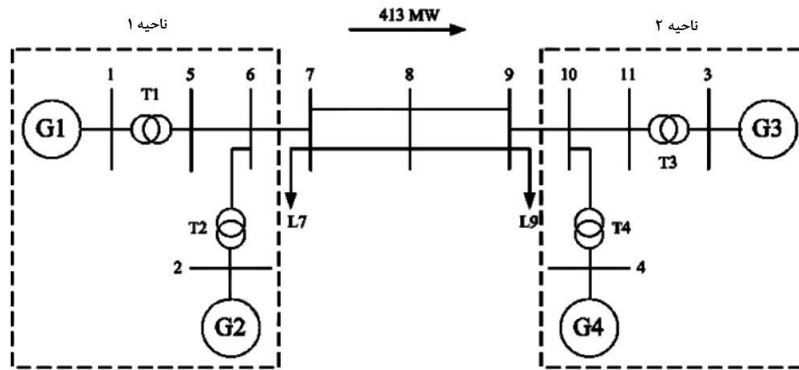
اگرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند با این حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق می‌باشد. می‌توان گفت مشخصه تئوری فازی ترکیب دانش و تجربه افراد خبره یک رشته یا معادلات ریاضی مختص آن می‌باشد. در سیستم‌های عملی اطلاعات مهم از دو منبع سرچشمه می‌گیرند. سیستم‌های فازی را می‌توان بعنوان کنترل‌کننده حلقه باز و یا کنترل‌کننده حلقه بسته مورد استفاده قرار داد. هنگامی که بعنوان کنترل‌کننده حلقه باز استفاده می‌شود سیستم فازی معمولاً بعضی پارامترهای کنترل را معین کرده و انگاه سیستم مطابق با این پارامترهای کنترل کار می‌کند. بسیاری از کار برد های سیستم فازی در الکترونیک به این دسته تعلق دارند. هنگامی که سیستم فازی بعنوان یک کنترل‌کننده حلقه بسته استفاده می‌شود در این حالت خروجی‌های فرایند را اندازه‌گیری کرده و بطور همزمان عملیات کنترل را انجام می‌دهد. کاربرد سیستم فازی در فرایندهای صنعتی به این دسته تعلق دارد. مزیت دوم اینکه این سیستم کنترلی تا حدود بسیار زیادی مستقل از معادلات ریاضی سیستم است [۴].

مزیت سوم که در ارتباط با همان مورد دوم می‌باشد آن است که با توجه به استقلال از معادلات سیستم این سیستم کنترل برای کنترل سیستم‌های با ماهیت غیر خطی بسیار مناسب می‌باشد. مزیت چهارم اینکه تئوری فازی تکیه بسیاری بر تجربیات و دانش فرد خبره سیستم دارد و این امر به تلفیق ریاضیات با تجربیات و دانش سیستم منجر می‌شود. در اینجا هدف طراحی کنترل‌کننده فازی جهت بهبود عملکرد کنترل‌کننده‌های کلاسیک سیستم قدرت یعنی کنترل‌کننده‌های کنترل‌کننده پایدار ساز سیستم قدرت (PSS) و تنظیم‌کننده خودکار ولتاژ (AVR) در شرایط بروز خطا در سیستم می‌باشد. کنترل‌کننده PSS به عنوان یکی از ارزاترین روش‌های بهبود پایداری دینامیکی سیستم قدرت وسیله‌ای است که حلقه‌های کنترلی تکمیلی را برای سیستم کنترلی AVR فراهم ساخته و با میرا کردن نوسان‌های سیستم بر عملکرد دینامیکی سیستم قدرت تاثیر مطلوب می‌گذارد. این روش بسیار سودمندی در تقویت عملکرد پایداری سیگنال کوچک (حالت ماندگار) و پایداری سیگنال بزرگ (گذاری) سیستم است. پایدار ساز سیستم قدرت (PSS) با تنظیم کردن میزان تحریک ژنراتور سنکرون، موجب حاشیه پایداری مناسب و بهبود عملکرد کل سیستم در مقابل اغتشاشات وارده می‌شود بیشتر کنترل‌کننده‌های خطی بعنوان پایدار ساز سیستم قدرت مورد استفاده قرار می‌گرفت، اما کارکرد این کنترل‌کننده بواسطه غیر خطی بودن سیستم قدرت و نامعینی در مدل‌سازی آن محدود می‌شود. مشکلی که در استفاده از ساختار فوق وجود دارد مربوط می‌شود به اینکه ترکیب کنترل‌کننده‌های PSS و AVR با توجه به اینکه برای حالت عملکرد عادی سیستم قدرت طراحی شده‌اند و بهره کنترلی و سایر پارامترهای آنها برای شرایط عملکرد عادی سیستم قدرت تنظیم شده‌اند، در حالت بروز خطا در سیستم، با توجه به تغییرات

دینامیکی سیستم، عملکرد متفاوتی را از خود نشان می دهند و ممکن است در اثر بروز خطا نتوانند سیستم را پایدار نگه دارند و در نتیجه سیستم به سمت ناپایداری پیش برود [۱۲ و ۱۰]. برای رفع این نقیصه از کنترل کننده فازی برای تنظیم مجدد بهره کنترل کننده های مذکور حین وقوع خطا در سیستم استفاده شده است.

۴. نتایج شبیه سازی

در این بخش نتایج شبیه سازی به دست آمده بر روی سیستم های مورد مطالعه نمایش و مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم های مورد مطالعه در این مقاله سیستمی با ۴ ماشین متصل به بار می باشد.



شکل ۱- سیستم قدرت شبیه سازی شده

۱.۴. نحوه محاسبات کنترل کننده فازی

یک سیستم غیر خطی گسسته در زمان با معادلات زیر بیان می شود:

$$X(k+1) = f(x(k) u(k)) \quad (1)$$

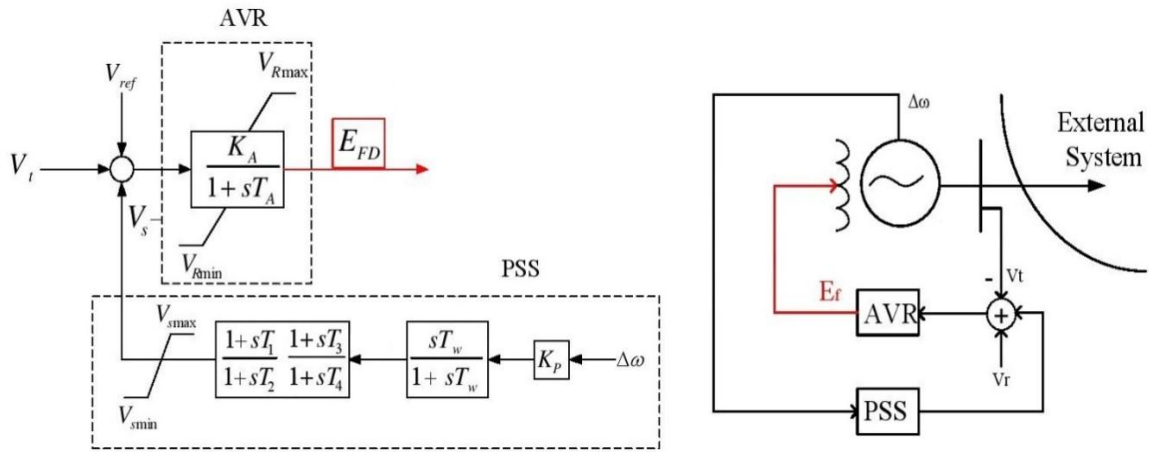
$$Y(k) = g(x(k) u(k)) \quad (2)$$

۵. روابط

که در آن k نشان دهنده زمان و $f(\cdot)$ و $g(\cdot)$ توابع غیر خطی و $u(k)$ ورودی سیستم $y(k)$ خروجی سیستم و $x(k)$ نشان دهنده حالت ها است.

در شناسایی یک سیستم با پارامترهای نامشخص بطوریکه اطلاعات اندکی از این سیستم، از جمله دسته ای از داده ای ورودی خروجی در دسترس باشد اصلی ترین وظیفه ارائه یک مدل ساختاری مناسب خواهد بود، بطوریکه مدل، مشخصات سیستم را تسخیر کند. با بکارگیری کنترل کننده فازی به این هدف دست می یابیم. ابتدا بایستی دینامیک سیستم را در حضور کنترل کننده های اصلی بدست آورده شود.

ورودی کنترل کننده PSS تغییرات زاویه روتور ماشین های سنکرون می باشد و خروجی این کنترل کننده در کنار تغییرات ولتاژ ترمینال ماشین سنکرون (ژنراتور) به عنوان ورودی برای کنترل کننده AVR مورد استفاده قرار می گیرد و در نهایت خروجی کنترل کننده AVR، به عنوان خروجی کنترلی به عنوان کنترل کننده تحریک ماشین سنکرون در نظر گرفته می شود. با توجه به رابطه $e = \hat{y} - y$ خطا محاسبه می گردد که در این رابطه y خروجی سیستم اصلی \hat{y} خروجی کنترل کننده AVR است.

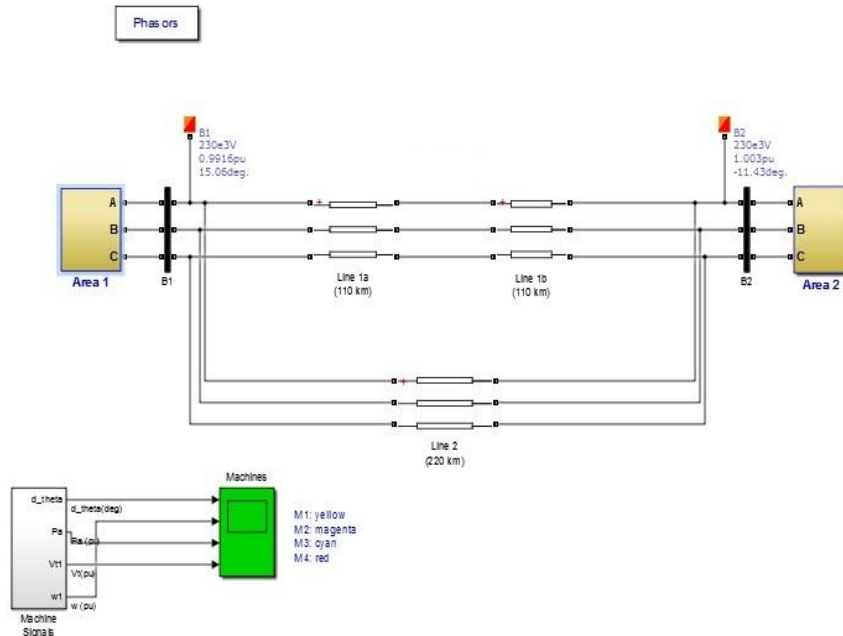


شکل ۲. دینامیک کنترل کننده‌های اصلی و ژنراتور

در حالتی که کنترل کننده فازی نیز به سیستم اضافه می شود، نقش تنظیم مقدار بهره دو کنترل کننده اصلی بر عهده این کنترل کننده قرار می گیرد. کنترل کننده فازی تغییرات زاویه روتور و تغییرات ولتاژ ترمینال‌های ژنراتور را به عنوان ورودی پذیرفته و بر اساس این اطلاعات و بوسیله قوانین فازی تعریف شده برای هدف خود، خروجی کنترلی خویش را به دو کنترل کننده اصلی (PSS و AVR) اعمال می کند. چنین عملکردی به سیستم این امکان را می دهد که در مواجهه با ناپایداری عملکرد بهتری از خود نشان دهد.

۶. اعمال کنترل کننده فازی به سیستم قدرت مورد آزمایش

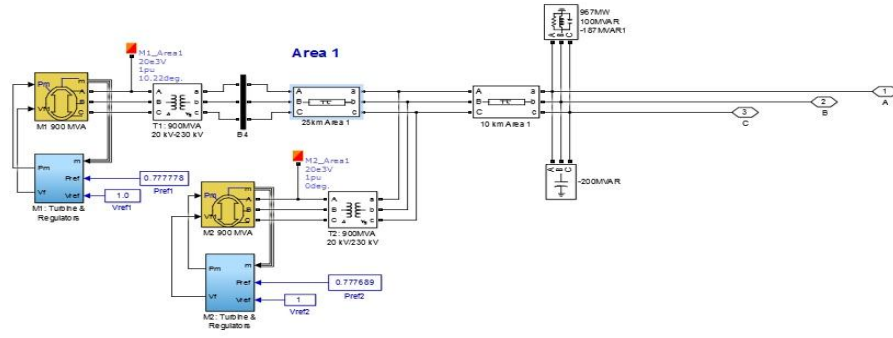
سیستم قدرت مورد بررسی در این مقاله متشکل از ۴ ژنراتور در دو ناحیه بوده و از دو طرف بارهای سیستم را تغذیه می کنند. در شکل (۳) بلوک دیاگرام سیستم که در محیط سیمولینک ایجاد شده نمایش داده شده است.



شکل ۳. بلوک دیاگرام سیستم در محیط سیمولینک

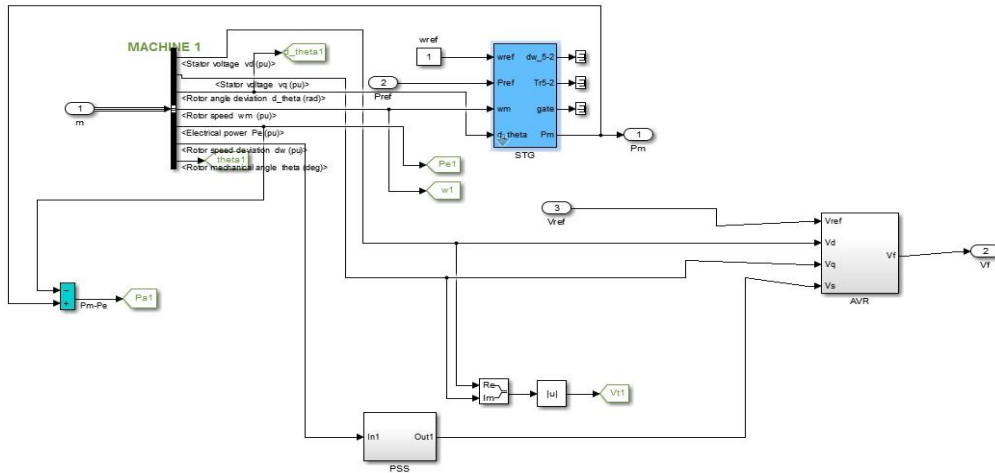
باتوجه به اینکه کنترل کننده‌های اصلی بر روی ژنراتور اعمال شده‌اند برای نمایش پیاده سازی کنترل کننده فازی لایه درونی ناحیه ۱ در شکل (۴) نمایش داده شده است. و در شکل (۵) بلوک کنترل کننده‌های متصل به ژنراتور نمایش داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود بلوک توربین و کنترل کننده توان الکتریکی، ولتاژ استاتور ژنراتور و زاویه روتور ژنراتور و تغییرات زاویه روتور را به صورت فید بک از ژنراتور می‌گیرد و توان مکانیکی را به آن تحویل می‌دهد.



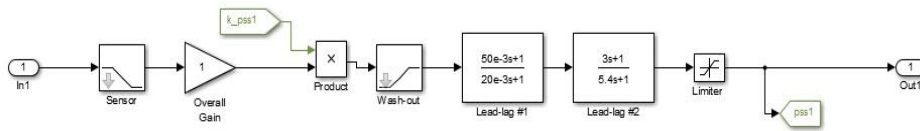
شکل ۴. بلوک دیاگرام ناحیه ۱ سیستم در محیط سیمولینک

در شکل (۴) بلوک های زرد رنگ ژنراتور و بلوک های آبی بلوک توربین و کنترل کننده می‌باشد. شکل (۴) جزئیات کنترل کننده ها و نحوه عملکرد آنها را نمایش می‌دهد.



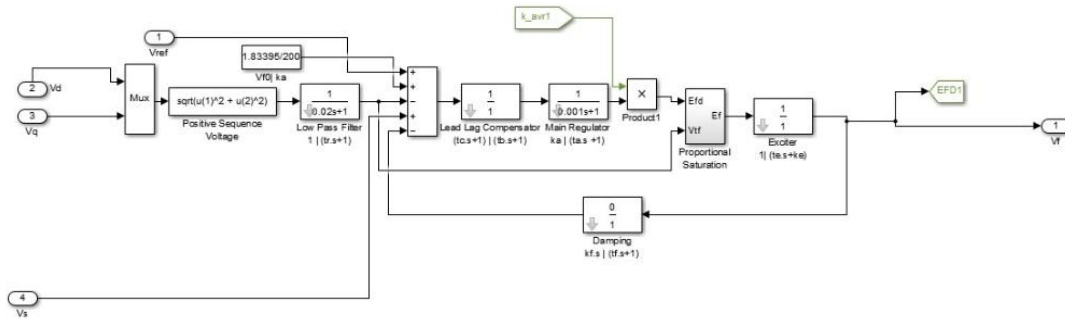
شکل ۵. بلوک دیاگرام توربین و کنترل کننده ها در محیط سیمولینک

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود کنترل کننده PSS تغییرات سرعت روتور ژنراتور را به عنوان ورودی گرفته و خروجی کنترلی خود را به کنترل کننده AVR اعمال می‌کند. کنترل کننده AVR نیز با داشتن ولتاژ مرجع و خروجی کنترل کننده PSS، ولتاژ استاتور ژنراتور را نیز به عنوان ورودی دیگر پذیرفته و خروجی کنترلی خود را که ولتاژ تحریک ژنراتور می‌باشد تولید می‌کند. در این میان نقش کنترل کننده فازی که وظیفه تنظیم کردن و هماهنگ کردن دو کنترل کننده اصلی سیستم را برعهده دارد به صورت تنظیم بهره این دو کنترل کننده به میان می‌آید. در شکل های (۶) و (۷) بلوک دیاگرام دو کنترل کننده اصلی سیستم و نقش کنترل کننده فازی در تنظیم بهره آنها را نمایش داده شده است.



شکل ۶. بلوک دیاگرام کنترل کننده PSS در محیط سیمولینک

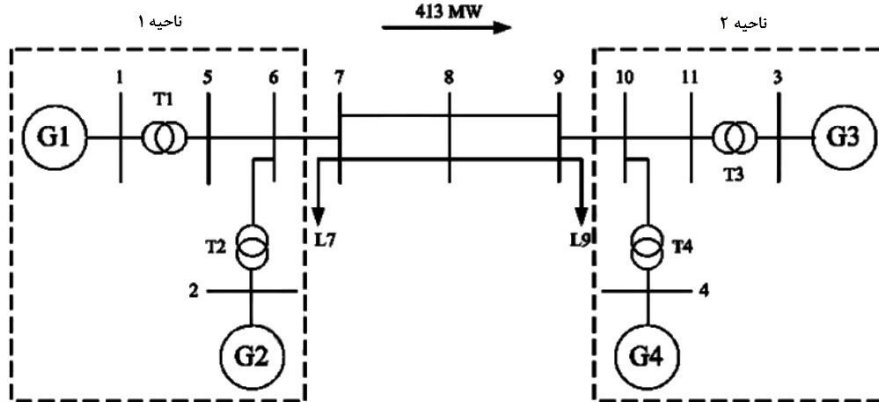
در ساختار هر دو کنترل کننده از خروجی کنترل کننده اصلی برای کنترل کننده فازی فیدبک گرفته شده و اطرفی خروجی کنترلی کنترل کننده فازی در بهره کنترل کننده اصلی ضرب شده است.



شکل ۶. بلوک دیاگرام کنترل کننده AVR در محیط سیمولینک

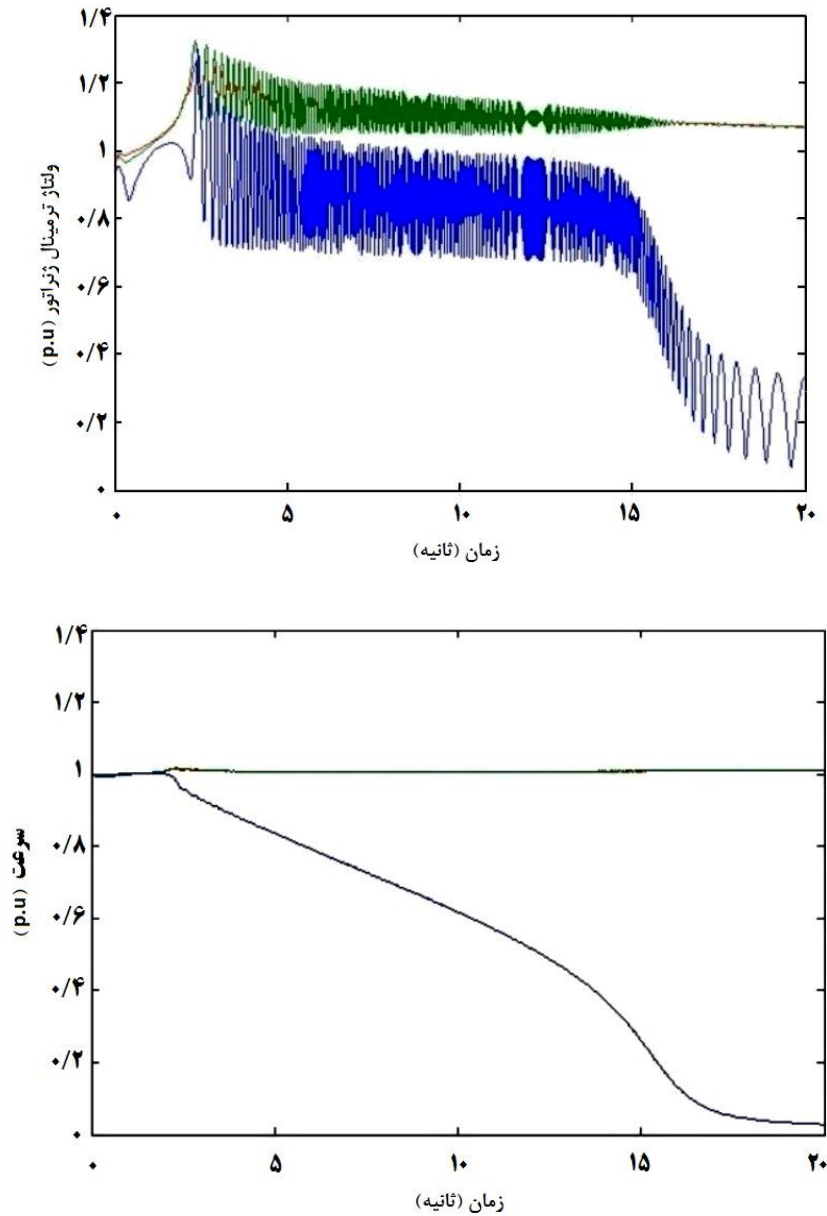
به این ترتیب کنترل ضریب بهره دو کنترل کننده اصلی سیستم توسط کنترل کننده فازی انجام می شود.

۱.۶. نتایج شبیه سازی در سیستم قدرت برای میرایی نوسانات فرکانس پایین



شکل ۷. بلوک دیاگرام سیستم مورد آزمایش

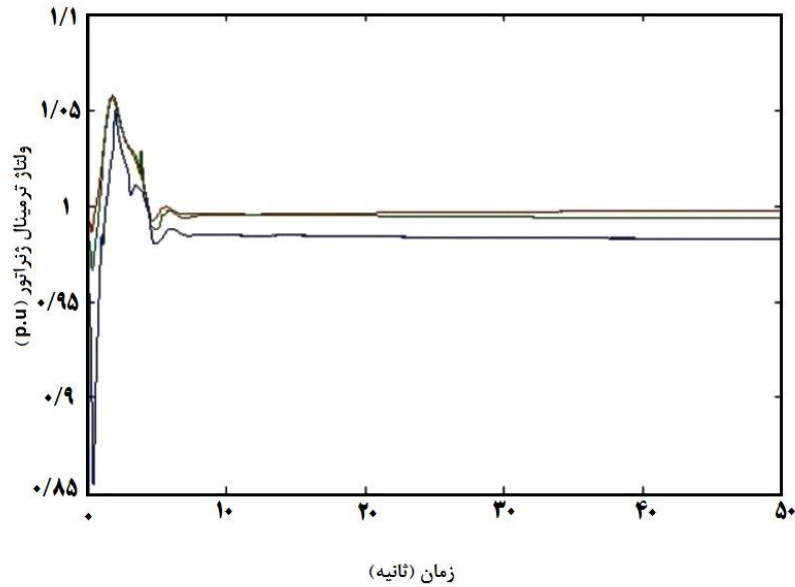
سیستم قدرت مطابق شکل (۷) دارای ۲ ناحیه است که هر ناحیه دارای ۲ ژنراتور می باشد که بارهای نشان داده شده در شکل را تغذیه می کنند. ناحیه ۱ به اندازه ۴۱۳ MW توان به ناحیه ۲ تحویل می دهد. خطایی که در سیستم رخ می دهد به این صورت است که در ثانیه صفر کلید حفاظتی ژنراتور شماره ۳، این ژنراتور را از خط خارج می کند. برای مقایسه عملکرد کنترل کننده فازی یک بار شبیه سازی بدون حضور این کنترل کننده و بار دیگر در حضور این کنترل کننده انجام شده است. نتایج به دست آمده بدون حضور کنترل کننده فازی به شرح زیر می باشد.



شکل ۸ نتایج شبیه‌سازی بدون کنترل کننده فازی

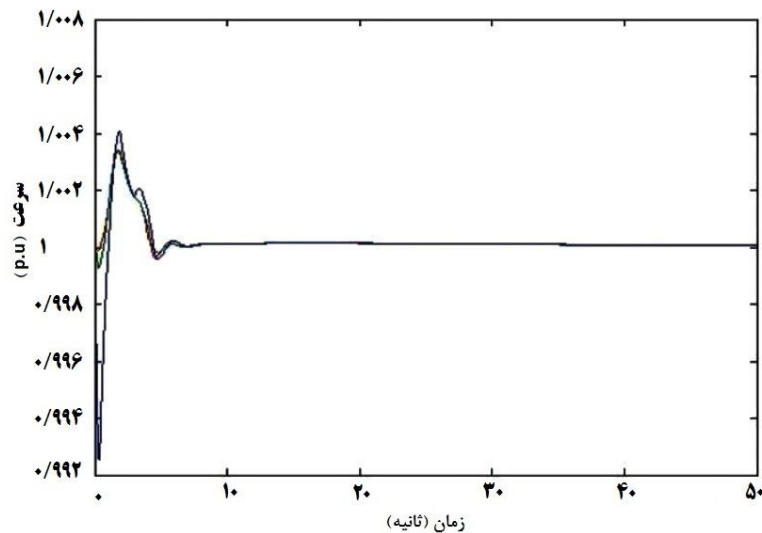
در شکل (۸) نمودار آبی رنگ تغییرات ولتاژ ترمینال ژنراتور شماره ۴ و شکل های قرمز و سبز رنگ تغییرات ولتاژ ترمینال ژنراتور های شماره ۱ و ۲ را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود ژنراتور شماره ۴ بعد از لحظه ناپایداری در ثانیه صفر، دچار نوسان شده و در ثانیه ۱۵ دچار افت شدید می گردد و تا ثانیه ۲۰ فروپاشی ولتاژ ترمینال ژنراتور شماره ۴ به صورت کامل اتفاق می افتد. ولی ژنراتورهای ۱ و ۲ بعد از ۱۵ ثانیه نوسان به نقطه آرامش جدید می رسند. در شکل (۸) نمودار آبی رنگ تغییرات زاویه روتور ژنراتور شماره ۴ و شکل های قرمز و سبز رنگ تغییرات زاویه روتور ژنراتور های شماره ۱ و ۲ را نشان می دهد. مطابق شکل فوق ژنراتور ۱ و ۲ سنکرون می مانند ولی ژنراتور ۴ از حالت سنکرون در می آید و سیستم به دو ناحیه جدا تقسیم می شود. بعد از ۲۰ ثانیه ژنراتور ۴ کاملاً از سیستم خارج می شود و سرعت آن به صفر می رسد.

۲.۶. نتایج شبیه سازی در حضور کنترل کننده فازی



شکل ۹. نتایج شبیه سازی در حضور کنترل کننده فازی

شکل (۹) نمودار ولتاژ ترمینال ژنراتور را پس از وقوع خطا در لحظه صفر نشان می دهد. همانطوری که در شکل مشاهده می شود هر سه ژنراتور در لحظه صفر یک اورشوت را تجربه می کنند اما کنترل کننده فازی موفق به کنترل این اغتشاش می شود، به طوری که بر خلاف حالت قبلی (بدون فازی) نه تنها سطح ولتاژ ژنراتور ۴ ناپایدار نشده است، بلکه با افت حدود ۲ درصدی به حالت آرامش باز می گردد. دو ژنراتور دیگر به مانند حالت قبل پس از دوره گذرا عملکرد مطلوب خود را حفظ می کنند.

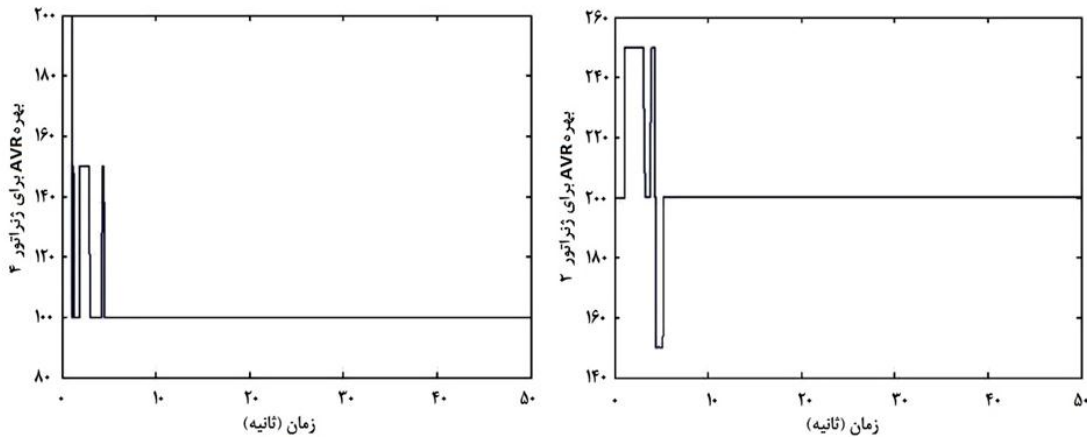


شکل ۱۰. نتایج شبیه سازی در حضور کنترل کننده فازی

شکل (۱۰) نمودار سرعت زاویه روتور ژنراتور را پس از وقوع خطا در لحظه صفر نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود سیستم برای هر سه ژنراتور یک اور شورت را در چند ثانیه اول تجربه می کند و سپس به نقطه آرامش باز می گردد. لذا هر سه ژنراتور در حالت سنکرون باقی می مانند.

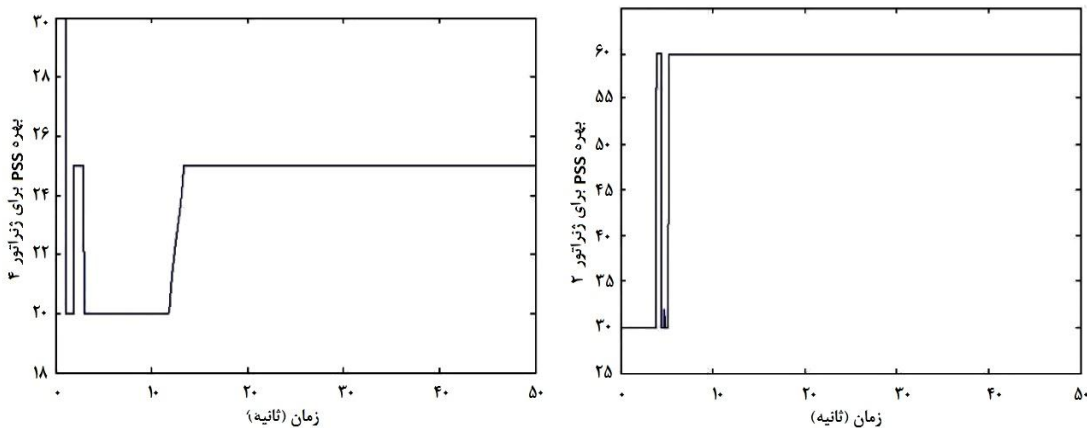
۳.۶. عملکرد کنترل کننده فازی

عملکرد مورد انتظار از کنترل کننده فازی تغییر بهره دو کنترل کننده AVR و PSS بود که مطابق نتایج بدست آمده دیدیم که بسیار مطلوب بود. در شکل (۱۱) عملکرد کنترل کننده فازی در تغییر بهره کنترل کننده AVR برای دو ژنراتور ۲ و ۴ مقایسه شده است.



شکل ۱۱. عملکرد کنترل کننده فازی

همان طور که در شکل (۱۱) مشاهده می شود برای ژنراتور شماره ۴ در لحظه وقوع خطا بهره از ۲۰۰ به ۱۰۰ رسیده و در این مقدار تثبیت شده است (کاهش بهره). ولی برای برای ژنراتور شماره ۲ بعد از دوره گذرای ناپایداری، بهره کنترل کننده به مقدار قبلی خود یعنی ۲۰۰ بر می گردد. در مقابل کنترل کننده PSS را داریم که در شکل (۱۲) عملکرد کنترل کننده فازی را نسبت به این کنترل کننده نمایش داده ایم.



شکل ۱۲. عملکرد کنترل کننده فازی

همان طور که در شکل (۱۲) مشاهده می شود کنترل کننده فازی، برای ژنراتور شماره ۴ بهره کنترل کننده PSS را در لحظه اول از ۳۰ به ۲۰ کاهش داده و سپس با اندکی افزایش در مقدار ۲۵ تثبیت می نماید. اما در مقابل برای ژنراتور شماره ۲ بهره کنترل کننده PSS را از مقدار اولیه ۳۰ به ۶۰ افزایش داده و در همین مقدار تثبیت می کند.

۷. نتیجه گیری

در اولین قسمت این بخش نتایج شبیه سازی PSS بر روی سیستم قدرت مورد که متشکل از ۴ ژنراتور، خط انتقال و تعدادی مصرف کننده بود مورد بررسی قرار گرفت. نشان داده شد که کنترل کننده های طراحی شده بر مبنای AVR و PSS در شرایط

کار عادی سیستم به خوبی پایداری سیستم را افزایش داده و میرایی لازم را برای سیستم تامین می‌کنند. اما در شرایط خاصی از رخ دادن خطا (خروج یک ژنراتور بزرگ از سیستم قدرت) نتوانستند پایداری کل سیستم را حفظ کنند و در نتیجه یکی از ژنراتورها (ژنراتور شماره ۴) از سیستم خارج شده و در یک ناحیه سیستم شاهد خاموشی بودیم. اما با ورود کنترل کننده فازی در نقش تنظیم کننده مجدد ضرایب بهره کنترل کننده های اصلی سیستم قدرت به وضوح مشاهده کردیم که در هنگام رخ دادن خطا، کنترل کننده فازی به خوبی عمل کرده و با بهبود عملکرد کنترل کننده های اصلی سیستم قدرت، سیستم را به نقطه پایدار جدیدی رهنمون کرده و مانع از ناپایداری سیستم قدرت و فروپاشی ولتاژ در شبکه شد. در این مقاله قصد بهینه ساختن پارامترهای پایدار ساز سیستم قدرت (PSS) و تنظیم کننده خودکار ولتاژ (AVR) در سیستم قدرت مورد آزمایش در لحظه وقوع خطا را با استفاده از کنترل کننده فازی را داریم، تا بتوانیم توانی ثابت و بدون نوسان و با قابلیت اطمینان بالا انتقال دهیم. پس برای تحقق این امر توابع هدف بصورت غیر خطی در گرفته شد و توابع هدف بصورت غیر خطی، براساس تغییرات مقدار خطای سرعت روتور بدست آورده شد.

با توجه به اهمیت پایدار ساز سیستم قدرت در پایداری و بهره برداری ایمن از سیستم های قدرت تحقیقات وسیعی در این زمینه صورت گرفته و بیش از سه دهه است که توجه محققین زیادی را به خود معطوف ساخته است نظریه های کنترل وسیعی با پیشرفت تئوری ها کنترلی برای طراحی پارامترهای پایدار ساز سیستم قدرت ارائه شده است که می توان آنها را در نظریه های مبتنی بر روش کلاسیک تطبیقی و ساختار متغیر روش های هوشمند و روشهای مقاوم دسته بندی نمود. در این میان الگوریتم های بهینه سازی هوشمند نظیر الگوریتم ژنتیک الگوریتم اجتماع ذرات پرندگان و کنترل فازی و... می توان بعنوان یک روش در طراحی پارامترهای کنترل کننده پایدار ساز سیستم قدرت مطرح باشند. عیب عمده الگوریتم ژنتیک مساله کدینگ و کندی همگرایی آن با افزایش پارامترهای مساله و در نتیجه کاهش سرعت حل مساله مقاوم به عنوان یک مساله است و همچنین عملکرد یک الگوریتم اجتماع ذرات تا حد زیادی بر روی پارامترهای آن بستگی دارد و اغلب از مشکل در دام افتادن در نقاط محلی رنج می برد که در نتیجه منجر به همگرایی زودرس می شود. اما کنترل کننده فازی با فازی سازی سیستم به کمک دانش و تجربه طراح و تا حدود زیادی استقلال از معادلات ریاضی سیستم می تواند در بهینه کردن سیستم های دینامیکی و غیر خطی بسیار موثر باشد. که در این پایان نامه نتایج به خوبی نشان داد که عملاً سیستم کنترل فازی به بهبود عملکرد سیستم کمک شایانی نمود.

۸. مراجع

۱. کراری، مهدی، ۱۳۸۹، "دینامیک و کنترل سیستم های قدرت"، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
۲. کریمی حسن آبادی، حامد. شاهقلیان، غضنفر و محمودیان، سید حمید. طراحی پایدار ساز سیستم قدرت بر اساس تئوری کنترل لغزشی فازی. اولین کنفرانس ایده نو در مهندسی برق. دانشگاه آزاد واحد خوراسگان. ۱۳۹۱
۳. سعادت، ه.، سال ۱۳۸۵، بررسی سیستمهای قدرت، ترجمه احد کاظمی، شهرام جدید، محمد علی شایانفر، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، جلد اول
۴. شکوهنده، حسن و صدیقزاده مصطفی. پایداری سیستم قدرت چند ماشینه با استفاده از پایدار ساز PSS3B بهینه شده توسط الگوریتم HBB-BC بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق. دانشگاه شهید بهشتی. ۲۰۱۴.
5. A. Safari, R. Jahani, M. Hajinasiri, A.H. Araskalaei and H.A. Shayanfar, "COA based coordinated design of FACTS and PSS output feedback controllers", International Review of Electrical Engineering, vol. 21, pp. 2803-2808, 2010.
6. J.H. Holland, "Adaptation in natural and artificial systems", University of Michigan Press, Ann Arbor, US, 1975.
7. J.S. Sarda, V.N. Parmar, D.G. Patel, L.K. Patel, "Genetic algorithm approach for optimal location of FACTS devices to improve system load ability and minimization of losses", IJAREEIE, vol.1, pp.114-125, 2012.

8. K.R. Padiyar, "FACTS Controllers in power Transmission and Distribution", New Age International(P) limited, India, 2007.
9. M.R. Gonzalez and O.P. Malik, "PSS Design using an On Line Adaptive Neuro-Fuzzy Controller with Adaptive Input Link Weights", IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 23, No. 3, pp. 914-922, Sep. 2008.
10. P. Mitra, et al., "Intelligent AVR and PSS with Adaptive Hybrid Learning Algorithm", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 20-24 July, pp. 1-7, 2008
11. L. Baochun, L. Baoguo, L. Yi, G. Weiguo, and L. Gang, "Studies of Voltage stability Based on SVC Control in Innovative Computing Information and Control", 2008 ICICIC;08, 3rd International conference on 2008, pp. 124-124.
12. R. Sirjani and A. Mohamed, "Improved Harmony Search Algorithm for Optimal placement and Sizing of Static Var Compensators in power Systems", in Informatics and Computational Intelligence (ICI), 2014 First International Conference on, 2011, pp. 295-300.