بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم
صراط الذين انعمت عليهم
غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

تایید اعضای هیات داوران حاضر در جلسه

دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

طراحی هماهنگ توام کنترل‌کننده‌های ادوات FACTS و PSS برای میرا کردن نوسانات در سیستم قدرت بزرگ

نگارش : امین صفری

استاد راهنما :

دکتر سعید جلیل زاده

استاد مشاور :

دکتر حسین شایقی

شهریور ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر

مادر

و برادرم

تشکر و قدردانی

از میان تمام واژه‌هایی که می‌شناسم، نام تو را ای بزرگ بر زبان می‌رانم. هر گاه در تاریکی کورسویی می‌جستم تو پنجره‌ای از آفتاب به رویم می‌گشودی و هنگامی که قطره‌ای می‌طلبیدم تو اقیانوس کرامتت را بر من ارزانی می‌داشتی. تو را سپاس می‌گویم که از لحظه عزیمت تا هنگام رسیدن هر گشایشی که در راه بود با نام و یاد بی‌مانند تو بود.

و اینک در پایان راه از اساتید راهنمای خود، جناب آقای دکتر سعید جلیل زاده و دکتر حسین شایقی که در تمامی دوران تحصیل از تجربیات و راهنمایی‌های ارزنده ایشان بهره مند بودم، نهایت سپاس را دارم.

تقدیر و سپاس بی انتها از پدر و مادر عزیزم که بزرگترین مشوق من در طی دوران تحصیل بودند و همه داشته هایم را مرهون و مدیون آن دو بزرگوارم.

همچنین از تمام دوستانی که در طول این دو سال، افتخار آشنایشان نصیب اینجانب گردید، متشکرم. جا دارد از دوستان هم دوره‌ای خود، دوستان هم اتاقی و همچنین دوستان دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، بنحوی ویژه سپاسگزاری نمایم، دوستانی که باعث گردیدند تا خاطرات بسیار خوش و به یادماندنی‌ای از این دوره در ذهن اینجانب نقش گیرد.

امین صفری
شهریور ۸۸

چکیده

نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین از مشخصه‌های اجتناب‌ناپذیر سیستم‌های قدرت هستند و به طور عمده‌ای روی ظرفیت توان انتقالی و پایداری دینامیکی سیستم تأثیر می‌گذارند. هدف از این پایان‌نامه بررسی بهبود پایداری سیستم‌های قدرت با کنترل کننده‌های POD[۱] ادوات FACTS[۲] و پایدارساز سیستم قدرت(PSS[۳]) است. مسئله طراحی هماهنگ کنترل‌کننده‌های میرایی در ناحیه وسیعی از شرایط عملکرد به صورت یک مسئله بهینه‌سازی با تابع معیار زمانی تبدیل شده و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO[۴]) حل می‌شود. برای تضمین مقاومت روش پیشنهادی، فرایند طراحی در ناحیه وسیعی از شرایط عملکرد صورت گرفته است. کارآیی کنترل‌کننده‌های پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی زمانی غیرخطی و تعدادی شاخص عملکرد سیستم تحت اغتشاشات مختلف ارزیابی شده است. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که طراحی هماهنگ کنترل‌کننده‌های میرایی در مقایسه با طراحی ناهماهنگ این کنترل‌کننده‌ها در میرا کردن نوسانات فرکانس پایین عملکرد بهتری داشته و پایداری دینامیکی سیستم را افزایش می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: طراحی هماهنگ، ادوات FACTS، PSS، TCSC، UPFC، کنترل کننده میرایی نوسانات توان، PSO، پایداری دینامیکی و نوسانات فرکانس پایین.

---

[۱] *Power Oscillation Damping*

[۲] *Flexible AC Transmission Systems*

[۳] *Power System Stabilizer*

[۴] *Particle Swarm Optimization*

فهرست مطالب

۱–مقدمه ۱

۱-۱-ماهیت نوسانات سیستم های قدرت..... ۲

۱-۲-مروری بر روش های کنترلی انجام شده ۵

۱-۲-۱-پایدارسازهای سیستم قدرت..... ۵

۱-۲-۲-کنترل کننده های ادوات FACTS..... ٦

۱-۳-اهداف پایان نامه..... ۱۲

۱-٤-ساختار پایان نامه..... ۱۳

۲–معرفی ادوات FACTS..... ۱٤

۲-۱-تعریف ادوات FACTS ۱۵

۲-۲-ویژگی کاربرد ادوات FACTS در سیستم های انتقال توان..... ۱٦

۲-۳- انواع متعارف ادوات FACTS..... ۱٦

۲-٤-طبقه بندی ادوات FACTS ۱۹

۲-۵-مدل بندی انواع کنترل کننده ها برای ادوات FACTS ۲۷

۲-۵-۱-کنترل کننده حالت دایم ادوات FACTS..... ۲۷

۲-۵-۲-کنترل کننده پایداری گذرا ادوات FACTS ۲۹

۲-۵-۲-کنترل کننده POD ادوات FACTS ۲۹

۳–الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات..... ۳۱

۳-۱-مقدمه..... ۳۲

۳-۲-انواع توپولوژی..... ۳۵

۳-۲-۱-توپولوژی ستاره..... ۳۵

۳-۲-۲-توپولوژی حلقه..... ۳٦

۳-۲-۳-توپولوژی چرخی..... ۳٦

۳-۳-الگوریتم PSO..... ۳۷

۳-٤-مراحل اجرای الگوریتم PSO..... ٤۰

۳-۵-بررسی تأثیر پارامترهای PSO..... ٤۰

۳-۵-۱-ثابت های شتاب..... ٤٠
۳-۵-۲-تعداد ذرات..... ٤١
۳-۵-۳-حداکثر سرعت..... ٤٢
۳-۵-٤-وزن اینرسی..... ٤٣
۳-٦-تغییر ساختار استاندارد PSO..... ٤٤
۳-٦-۱-غلبه بر همگرایی زودرس..... ٤٦
۳-٦-۲-افزایش سرعت همگرایی..... ٤٦
۳-٦-۳-مواجه شدن با مسایل دینامیکی..... ٤٧
۳-۷-بحث و نتایج عددی..... ٤٧
٤- طراحی کنترل کننده های ادوات FACTS با روش بهینه سازی اجتماع ذرات..۵۲
٤-۱-مقدمه..... ۵۳
٤-۲-مدل بندی ماشین سنکرون و تحریک..... ..... ۵۴
٤-۳-خازن سری با کنترل تریستوری..... ..... ۵۵
٤-۳-۱-اصول های عملکرد اساسی..... ۵۵
٤-۳-۲-مدل کنترل کننده میرایی برای TCSC ۵۶
٤-۳-۳-سیستم مورد مطالعه ۵۷
٤-٤-کنترل کننده پخش توان یکپارچه ۵۹
٤-٤-۱-اصول های عملکرد اساسی..... ۵۹
٤-٤-۲-مدل کنترل کننده میرایی برای UPFC ٦۱
٤-٤-۳-سیستم مورد مطالعه ٦۲
٤-۵-طراحی کنترل کننده میرایی با روش PSO ۶۵
٤-٦-شبیه سازی زمانی غیرخطی..... ۶۸
٤-٦-۱-سناریوی اول ٦۸
٤-٦-۲-سناریوی دوم ۷۰
٤-٦-۳-ارزیابی با شاخص های عملکرد ۷۵
۵-هماهنگ سازی کنترل کننده های POD ادوات FACTS با PSS به منظور میرا کردن نوسانات فرکانس پایین..... ۷۷

۵-۱-مقدمه..... ۷۸
۵-۲-مدل بندی سیستم مورد مطالعه..... ۷۹
۵-۳-مدل بندی ادوات FACTS..... ۸۰
۵-۳-۱-مدل تزریق جریانی برای TCSC..... ۸۱
۵-۳-۲-مدل تزریق جریانی برای UPFC..... ۸۳
۵-۳-۳-کنترل کننده POD برای ادوات FACTS..... ۸۶
۵-۳-٤-روش طراحی هماهنگ با PSO..... ۸۷
۵-٤-شبیه سازی زمانی غیرخطی..... ۹۰
۶-نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات..... ۹۹
٦-۱-نتیجه گیری..... ۱۰۰
٦-۲-ارائه پیشنهادات..... ۱۰۱
فهرست منابع..... ۱۰۳
ضمیمه الف..... ۱۰۷
ضمیمه ب..... ۱۰۸
ضمیمه پ..... ۱۱۰
ضمیمه ت..... ۱۱۱

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ نماد عمومی برای یک قطعه از ادوات FACTS ۲۰

شکل ۲-۲ ادوات FACTS سری ۲۰

شکل ۲-۳ ادوات FACTS موازی ۲۲

شکل ۲-۴ ادوات FACTS ترکیبی سری – سری ۲۵

شکل ۲-۵ ادوات FACTS ترکیبی سری – موازی ۲۶

شکل ۲-۶ کنترل کننده پخش توان حالت دایم ادوات FACTS سری ۲۷

شکل ۲-۷ کنترل کننده پخش توان حالت دایم ادوات FACTS موازی ۲۸

شکل ۲-۸ کنترل کننده پایداری گذرا ادوات FACTS ۲۹

شکل ۲-۹ کنترل کننده POD ادوات FACTS ۳۰

شکل ۳-۱ توپولوژی های مطرح در PSO ۳۶

شکل ۳-۲ جهت گیری جستجوی i-امین ذره در PSO ۳۹

شکل ۳-۳ نمودار تابع Alphine ۴۸

شکل ۳-۴ منحنی همگرایی برای تابع Alphine ۴۹

شکل ۳-۵ لحظه اول نوسان حرکت ذرات در بعد (x) ۵۰

شکل ۳-۶ لحظه دوم نوسان حرکت ذرات در بعد (x) ۵۰

شکل ۳-۷ لحظه سوم نوسان حرکت ذرات در بعد (x) ۵۱

شکل ۳-۸ لحظه آخر نوسان حرکت ذرات در بعد (x) ۵۱

شکل ۴-۱ سیستم تحریک IEEE Type-st۱ ..... ۵۵

شکل ۴-۲ دیاگرام شماتیکی TCSC ۵۶

شکل ۴-۳ دیاگرام شماتیکی کنترل کننده میرایی TCSC ۵۷

شکل ۴-۴ سیستم قدرت مجهز به TCSC ۵۸

شکل ۴-۵ مدل تابع تبدیل هفرون-فیلیپس اصلاح شده با TCSC ۵۹

شکل ۴-۶ نمای کلی UPFC ۶۰

شکل ۴-۷ دیاگرام شماتیکی کنترل کننده میرایی UPFC ۶۱

شکل ۴-۸ کنترل کننده میرایی UPFC با رگولاتور ولتاژ DC ۶۱

شکل ۴-۹ سیستم قدرت مجهز به UPFC ۶۲

شکل ۴-۱۰ مدل تابع تبدیل هفرون-فیلیپس اصلاح شده با UPFC ۶۵
شکل ۴-۱۱ منحنی همگرایی الگوریتم PSO برای طراحی کنترل کننده TCSC ۶۷
شکل ۴-۱۲ منحنی همگرایی الگوریتم PSO برای طراحی کنترل کننده های UPFC: خط توپر(کنترل کننده δ_E) و خط تیره(کنترل کننده m_B) ۶۸
شکل ۴-۱۳ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده TCSC در شرایط الف) نامی ب) سبک ج) سنگین: خط توپر(کنترل کننده طراحی شده با PSO) و خط تیره (کنترل کننده طراحی شده با GA) ۶۹
شکل ۴-۱۴ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده m_B در شرایط الف) نامی ب) سبک ج) سنگین: خط توپر(کنترل کننده طراحی شده با PSO) و خط تیره (کنترل کننده طراحی شده با GA) ۷۰
شکل ۴-۱۵ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده δ_E در شرایط الف) نامی ب) سبک ج) سنگین: خط توپر(کنترل کننده طراحی شده با PSO) و خط تیره (کنترل کننده طراحی شده با GA) ۷۱
شکل ۴-۱۶ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده TCSC در شرایط الف) نامی ب) سبک ج) سنگین: خط توپر(کنترل کننده طراحی شده با PSO) و خط تیره (کنترل کننده طراحی شده با GA) ۷۲
شکل ۴-۱۷ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده m_B در شرایط الف) نامی ب) سبک ج) سنگین: خط توپر(کنترل کننده طراحی شده با PSO) و خط تیره (کنترل کننده طراحی شده با GA) ۷۳
شکل ۴-۱۸ پاسخ دینامیکی سیستم با کنترل کننده δ_E در شرایط الف) نامی ب) سبک ج) سنگین: خط توپر(کنترل کننده طراحی شده با PSO) و خط تیره (کنترل کننده طراحی شده با GA) ۷۴
شکل ۵-۱ سیستم قدرت چندماشینه با FACTS ۷۹
شکل ۵-۲ نمای شماتیکی AVR مجهز به PSS ۸۰
شکل ۵-۳ نحوه قرار گرفتن TCSC در خط انتقال. ۸۱
شکل ۵-۴ جایگزینی منبع ولتاژ با منبع جریان ۸۲
شکل ۵-۵ مدل تزریق جریانی برای TCSC ۸۲
شکل ۵-۶ مدل مداری UPFC ۸۳
شکل ۵-۷ جایگزینی منبع ولتاژ سری با منبع جریان ۸۴
شکل ۵-۸ مدل تزریق جریانی برای UPFC ۸۶
شکل ۵-۹ کنترل کننده POD ادوات FACTS ۸۶
شکل ۵-۱۰ روندنمای الگوریتم طراحی هماهنگ براساس بهینه سازی ۸۹
شکل ۵-۱۱ نوسانات مدهای محلی و میان ناحیه‌ای برای حالت ۱ : خط توپر(PSSs & TCSC)، خط تیره (TCSC) و خط نقطه‌دار(PSSs) ۹۱

شکل ۵-۱۲ نوسانات مدهای محلی و میان ناحیه‌ای برای حالت ۲ : خط توپر(PSSs & TCSC)، خط تیره (TCSC) و خط نقطه‌دار(PSSs) ۹۲
شکل ۵-۱۳ نوسانات مدهای محلی و میان ناحیه‌ای برای حالت ۳ : خط توپر(PSSs & TCSC)، خط تیره (TCSC) و خط نقطه‌دار(PSSs)..... ۹۳
شکل ۵-۱۴ نوسانات مدهای محلی و میان ناحیه‌ای برای حالت ۱ : خط توپر(PSSs & UPFC)، خط تیره (UPFC) و خط نقطه‌دار(PSSs)..... ۹۴
شکل ۵-۱۵ نوسانات مدهای محلی و میان ناحیه‌ای برای حالت ۲ : خط توپر(PSSs & UPFC)، خط تیره (UPFC) و خط نقطه‌دار(PSSs)..... ۹۵
شکل ۵-۱۶ نوسانات مدهای محلی و میان ناحیه‌ای برای حالت ۳ : خط توپر(PSSs & UPFC)، خط تیره (UPFC) و خط نقطه‌دار(PSSs)..... ۹۶
شکل ۵-۱۷ مقادیر شاخص عملکرد برای TCSC..... ۹۷
شکل ۵-۱۸ مقادیر شاخص عملکرد برای UPFC..... ۹۸

فهرست جداول

جدول ۲-۱ انواع ادوات FACTS ۱۸
جدول ۴-۱ شرایط عملکرد برحسب پریونیت..... ۶۶
جدول ۴-۲ پارامترهای بهینه شده کنترل کننده ها با PSO و GA..... ۶۷
جدول ۴-۳ مقادیر شاخص عملکرد ITAE ۷۶
جدول ۴-۴ مقادیر شاخص عملکرد FD ۷۶
جدول ۵-۱ شرایط عملکرد سیستم..... ۸۸
جدول ۵-۲ پارامترهای بهینه کنترل کننده TCSC POD و PSSs..... ۹۰
جدول ۵-۳ پارامترهای بهینه کنترل کننده UPFC POD و PSSs..... ۹۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱ ماهیت نوسانات سیستم‌های قدرت

در سیستم‌های قدرت بهم پیوسته، ژنراتورهای سنکرون بایستی در سرعت سنکرون چرخیده و توان جاری در خطوط انتقال بین نواحی را تحت شرایط عملکرد نامی در مقدار ثابتی حفظ کنند. با وجود این، نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین[۱] زمانی روی می‌دهد که اغتشاشی در سیستم قدرت ایجاد شود این نوسانات بیشتر در متغیرهای سیستم قدرت مثل ولتاژ شین، جریان خط، توان و سرعت ژنراتور مشاهده می‌شود.

توسعه سیستم‌های قدرت و اتصال ژنراتورهای سنکرون 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 پدیده ای است که پایداری دینامیکی سیستم های قدرت را تهدید می کند و شبکه هایی که ساختار طولی دارند احتمال بروز نوسانات الکترومکانیکی در آن زیاد است [۱].

مدهای الکترومکانیکی نوسانی بر دو دسته تقسیم می‌شوند [۲]:

- مد محلی[۲]: این نوسانات بین یک نیروگاه و یک شبکه بزرگ اتفاق می‌افتد. به عبارت دیگر نوسانات محلی زمانی رخ می‌دهد که یک واحد مولد در یک نیروگاه نسبت به بقیه شبکه نوسان نماید و محدوده فرکانس آنها بین ۰/۸-۳ هرتز می‌باشد. این نوسانات معمولا در

---

[۱] *Low Frequency Electromechanical Oscillations*

[۲] *Local Mode*

نیروگاه‌هایی با سیستم تحریک سریع که بار آن زیاد و توسط یک خط انتقال ضعیف به شبکه وصل باشد، رخ می‌دهد.

- مد میان ناحیه‌ای[1]: این نوسانات بین تعداد زیادی از ماشین‌های یک قسمت شبکه و ماشین‌های قسمت دیگر به وجود می‌آید که محدوده فرکانس آنها ۰/۲-۰/۸ هرتز می‌باشد. یکی از علت‌های اصلی این نوسانات وجود خط انتقال ضعیف بین دو ناحیه شبکه می‌باشد.

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. البته این راه حل غیر اقتصادی بوده و به جای آن از تنظیم کننده سرعت و کنترل کننده تحریک استفاده می‌کنند. علاوه براین شبکه‌هایی که خطوط انتقال ضعیف هم دارند 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 دایمی وجود ندارد. 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 صورتی‌که 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 ضعیف‌تر از حالت قبل شده و سیستم دچار ناپایداری دینامیکی می‌شود. برای میراکردن این نوسانات و افزایش پایداری دینامیکی از پایدارساز سیستم قدرت[2] که از لحاظ فنی و اقتصادی مناسب بوده، استفاده می‌کنند. پایدارساز سیستم قدرت با ایجاد گشتاور میرا کننده از طریق سیستم تحریک ژنراتور موجب میرا شدن سریع‌تر نوسانات فرکانس پایین می‌شود. PSSs بیشتر برای میرا کردن مدهای محلی طراحی می‌شود و توانایی میرا

---

[1] *Inter Area Mode*

[2] *Power System Stabilizer*

کردن نوسانات بین‌ناحیه‌ای را ندارند همچنین باعث تحریک مدهای پیچشی در سیستم شده و با افزایش دامنه نوسانات پیچشی باعث وارد شدن تنش‌هایی به محور روتور می‌شود [۲و۳].

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر[۱] روشی موثر در بهره‌برداری کامل از ظرفیت سیستم‌های انتقال موجود شده است. ادوات FACTS از طریق مدولاسیون ولتاژ شین، اختلاف فاز میان شین‌ها و راکتانس خطوط انتقال باعث افزایش قابل توجه در محدودیت توان انتقالی در شرایط دایم می‌شوند. به خاطر واکنش کنترلی سریع عملکرد ادوات FACTS، کنترل‌کننده مکمل مناسبی به منظور میراسازی نوسانات میان‌ناحیه‌ای برای این ادوات فراهم شده است [۴].

با وجود این، طراحی ناهماهنگ کنترل‌کننده میرایی نوسان توان[۲] ادوات FACTS و PSS باعث واکنش‌های ناخواسته در سیستم شده و منجر به ناپایداری دینامیکی شبکه و کاهش محدوده عملکرد توانی ژنراتورها می‌شود. این حالت بیشتر بعد از رفع خطای بحرانی در ناحیه‌ای که ادوات FACTS بکار برده شده باشند، اتفاق می‌افتد. بنابراین برای بهبود عملکرد کلی سیستم و غلبه بر مشکلات فوق کنترل کننده‌های میرایی ادوات FACTS و PSS به صورت هماهنگ طراحی می‌شوند.

---

[۱] *Flexible Altering Current Transmission Systems*

[۲] *Power Oscillation Damping*

۱-۲ مروری بر روش‌های کنترلی انجام شده

روش‌های بسیاری در مقالات به منظور میرا کردن نوسانات فرکانس پایین سیستم قدرت ارائه شده است. در این بخش تعدادی از مطالعات ارائه شده را مرور خواهیم کرد.

۱-۲-۱ پایدارسازهای سیستم قدرت

Demello و Concordia [۵] اولین کسانی بودند که با استفاده از شبکه تک ماشینه با شین بی-نهایت[۱] به ماهیت نوسانات الکترومکانیکی فرکانس پایین در سیستم قدرت پرداخته‌اند. آنها ابتدا با مفهوم گشتاور میرا کننده و سنکرون کننده پدیده نوسانات را تشریح کرده و اظهار داشته‌اند که کمبود گشتاور میرایی باعث نوسان و ناپایداری در سیستم می‌شود. مدل خطی شده ژنراتور سنکرون و سیستم تحریک آن را به شکل بلوکی بسط داده‌اند. براساس این بلوک دیاگرام، مولفان مطرح کردند که واکنش‌های رگولاتور ولتاژ اتوماتیک[۲] باعث افزایش گشتاور سنکرون کننده و کاهش گشتاور میرا کننده می شوند.

مولفان مرجع [۶] تاثیر تنظیم کننده‌های ولتاژ آمپلیدین روی عملکرد زیر تحریک ژنراتورهای توربین بزرگ را تحلیل کرده‌اند. آنها نخستین کسانی بودند که مدل اغتشاش کوچک شبکه تک ماشینه با شین بی‌نهایت را برحسب ثابت‌های $K_1 - K_6$ ارائه داده‌اند. بررسی‌های آنها نشان داد که تنظیم کننده‌های فعال پیوسته محدوده پایداری حالت دایم ژنراتورهای توربین دار در ناحیه زیر تحریک را بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهند.

---

[۱] *Single Machine Infinite Bus*

[۲] *Automatic Voltage Regulator*

Klein و همکاران [۷] تأثیر پایدارسازها روی مدهای محلی و بین‌ناحیه‌ای در سیستم قدرت بهم پیوسته را با مطالعات شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی کرده‌اند. آنها نشان دادند که جایگذاری بهینه PSS و مشخصه ولتاژ بارهای سیستم عامل مهمی در پایدارسازی سیستم و میرا کردن نوسانات با PSS هستند.

امروزه، با وجود توانایی روش‌های کنترل مدرن با ساختارهای مختلف، هنوز پایدارساز پیش‌فاز- پس‌فاز[۱] کلاسیک ترجیح داده می‌شود. برای این‌که این نوع پایدارسازها به راحتی تنظیم شده و اطمینان لازم از پایداری سیستم حاصل می‌شود [۸].

طرح‌ریزی استراتژی کنترلی مناسب برای میراکردن نوسانات الکترومکانیکی از مسایلی است که بایستی در هنگام طراحی و ساخت سیستم در نظر گرفته شود. سیستم‌های کنترل کلاسیک، مقاوم، تطبیقی، بهینه، ساختار متغیر، H_∞، روشهایی مبتنی بر کنترل فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی و هوش مصنوعی از جمله روشهایی هستند که طی دهه‌های اخیر در زمینه پایداری سیستم‌های قدرت و طراحی پایدارسازها مورد توجه قرار گرفته‌اند.

۱-۲-۲ کنترل‌کننده‌های ادوات FACTS

ادوات FCATS می‌تواند برای کنترل پخش بار و افزایش پایداری سیستم مورد بهره برداری قرار بگیرند. به ویژه با تجدید ساختار شدن بازار الکتریکی، استفاده از این ادوات در عملکرد

[۱] *Lead-Lag Stabilizer*