بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

کنترل هوشمند ادوات FACTS به منظور بهبود پایداری سیستم قدرت

نگارش : یونس پیرحیاتی

استاتید راهنما :

دکتر ابوالفضل جلیلوند

دکتر سعید جلیل زاده

استاد مشاور :

دکتر رضا نوروزیان

شهریور ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر

مادر

و روح بزرگ خواهرم

تشکر و قدردانی

"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 ابوالفضل جلیلوند و جناب آقای دکتر سعید جلیل زاده و استاد مشاور خود جناب آقای دکتر رضا نوروزیان که در تمامی دوران تحصیل از تجربیات و راهنمایی‌های ارزنده ایشان بهره مند بودم، نهایت سپاس را دارم.

از جناب آقای دکتر کاظم مظلومی و زحمات بی‌دریغ ایشان در راه اتمام این پایان‌نامه تشکر ویژه دارم و همچنین از جناب آقای دکتر حیدر صامت برای کمک‌هایشان سپاسگذارم.

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

همچنین از تمام دوستانی که در طول این سال‌ها، در کنار من بوده‌اند، 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.

یونس پیرحیاتی

شهریور ۹۰

چکیده

یکی از مسائل مهم در سیستم‌های قدرت بحث پایداری می‌باشد و تنظیم توان انتقالی از خطوط می‌تواند بر بهبود پایداری تأثیرگذار باشد. یکی از راهکارهای افزایش ظرفیت انتقال شبکه استفاده از ادوات FACTS[۱] است. این ادوات مفهوم و ایده جدیدی هستند که با بکارگیری و استفاده از کنترل‌کننده‌ها و ادوات الکترونیک قدرت باعث تقویت کنترل‌پذیری و توسعه ظرفیت انتقال شبکه‌ها می‌شوند. هدف از این پایان‌نامه بررسی بهبود پایداری سیستم‌های قدرت با کنترل-کننده فازی برای این ادوات است. برای تضمین مقاومت روش پیشنهادی، فرایند طراحی برای دو نوع از این ادوات صورت گرفته است. در این پایان‌نامه بجای استفاده از مدل‌های خطی شده، از مدل واقعی به همراه کلیدهای قدرت و سوئیچینگ مبدل‌ها استفاده شده است. سیستم قدرت دو ماشینه به همراه ادوات SVC[۲] و UPFC[۳] در نرم‌افزار PSCAD/EMTDC[۴] شبیه سازی شده است در حالی که کنترل‌کننده‌های فازی در نرم‌افزار MATLAB به طور هم‌زمان اجرا می‌شود. کارایی کنترل‌کننده‌های پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی سیستم تحت اغتشاشات مختلف ارزیابی شده است. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که کنترل‌کننده‌های فازی در مقایسه با کنترل‌کننده‌های کلاسیک در میراکردن نوسانات عملکرد بهتری داشته و پایداری دینامیکی سیستم را افزایش می-دهند.

واژه‌های کلیدی: کنترل فازی، ادوات FACTS، SVC، UPFC، پایداری دینامیکی، میراسازی نوسانات.

---

[۱] Flexible Altering Current Transmission Systems
[۲] Static var compensator
[۳] Unified Power Flow Controller
[۴] Power System Computer-Aided Design

فهرست مطالب

صفحه

۱- **مقدمه** ۱

۱-۱- نوسانات سیستم‌های قدرت و کاربرد ادوات FACTS ۲

۱-۲- کنترل کننده های ادوات FACTS ۴

۱-۳- روش های کنترلی انجام شده ۵

۱-۴- اهداف پایان نامه ۸

۱-۵- ساختار پایان نامه ۹

۲- **معرفی ادوات FACTS** ۱۰

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- تاریخچه FACTS ۱۲

۲-۳- اهداف FACTS ۱۳

۲-۴- محدودیتهای بار پذیری سیستم ۱۴

۲-۵- انواع متعارف ادوات FACTS ۱۶

۲-۶- شرح مختصر و تعاریف کنترل کننده های FACTS ۱۹

۲-۷- انواع اصلی کنترل‌کننده‌های FACTS ۲۱

۲-۷-۱- کنترل‌کننده‌های سری ۲۱

۲-۷-۲- کنترل‌کننده‌های موازی ۲۵

۲-۷-۳- کنترل‌کننده‌های ترکیبی سری - سری ۳۰

۲-۷-۴- کنترل‌کننده‌های ترکیبی سری و موازی ۳۱

۲-۷-۵- کنترل‌کننده‌های دیگر ۳۳

۳- سیستم‌های کنترل فازی و نحوه بکارگیری آن در PSCAD ۳۵

۳-۱- تاریخچه مختصری از تئوری و کاربردهای فازی ۳۶

۳-۲-مجموعه های فازی ۳۶

۳-۳- عملیات بر روی مجموعه‌های فازی ۳۷

۳-۳-۱- مکمل فازی ۳۸

۳-۳-۲- اجتماع فازی، s_ نرم ها ۳۹

۳-۳-۳- اشتراک فازی، s_ نرم ها ۴۰

۳-۴- متغییر های زبانی و قواعد اگر – آنگاه فازی ۴۰
۳-۴-۱- قیود زبانی ۴۱
۳-۴-۲- قواعد اگر – آنگاه فازی ۴۲
۳-۴-۳- اشتراک فازی، s_ نرم ها ۴۰
۳-۵- سیستم های فازی و ویژگیهای آنها ۴۴
۳-۵-۱- پایگاه قواعد فازی ۴۴
۳-۵-۲- موتور استنتاج فازی ۴۵
۳-۵-۳- جزئیات چند موتور استنتاج فازی ۴۷
۳-۶- فازی‌سازها و غیر فازی‌سازها ۴۹
۳-۶-۱- فازی‌سازها ۵۰
۳-۶-۲- غیر فازی ساز ۵۱
۳-۶-۳- مقایسه غیر فازی سازها ۵۴
۳-۷- طراحی سیستم های فازی از روی داده های ورودی – خروجی ۵۴
۳-۸- بکارگیری کنترل‌کننده فازی در نرم‌افزار PSCAD ۵۶
۳-۸-۱- نرم‌افزارهای PSCAD و MATLAB ۵۶
۳-۸-۲- ساختار لینک نرم‌افزار PSCAD به MATLAB ۵۷
۳-۸-۳- تشریح بلوک MATLAB ۵۷
۴- طراحی کنترل کننده فازی برای جبران‌ساز توان راکتیو (SVC) ۵۹
۴-۱- مقدمه ۶۰
۴-۲- جبران موازی ایده آل ۶۰
۴-۳- کنترل کننده‌های موازی ۶۲
۴-۴- جبران‌ساز توان راکتیو استاتیکی (SVC) ۶۲
۴-۴-۱- اصول جبران استاتیک موازی و توان راکتیو SVC ۶۳
۴-۵- اصول عملکرد و آرایش SVC ۶۵
۴-۵-۱- راکتور کنترل شده تریستوری (TCR) ۶۵
۴-۵-۲- خازن سوئیچ شده تریستوری (TSC) ۶۵
۴-۵-۳- ترکیب TCR/ TSC ۶۶
۴-۶- مدل ریاضی SVC ۶۶

۴-۷- مدار قدرت SVC ۶۷
۴-۸- مدار کنترلی SVC ۶۸
۴-۹- ساختار کنترل‌کننده فازی پیشنهادی ۷۰
۴-۱۰- شبیه‌سازی ۷۲
۴-۱۰-۱- مورد اول : خطای خط تک فاز به زمین ۷۲
۴-۱۰-۲- مورد دوم : خطای خط سه فاز به زمین ۷۶
۵- طراحی کنترل‌کننده فازی برای کنترل‌کننده یکپارچه پخش توان (UPFC) ۸۰
۵-۱- مقدمه ۸۱
۵-۲- کنترل‌کننده یکپارچه پخش توان ۸۱
۵-۲-۱- اصول اساسی عملکرد کنترل‌کننده یکپارچه پخش توان ۸۲
۵-۲-۲- قابلیت های کنترل انتقال متداول ۸۴
۵-۳- مدل بندی سیستم مورد مطالعه همراه با UPFC ۸۸
۵-۴- الگوریتم‌های کنترلی UPFC ۹۰
۵-۴-۱- الگوریتم کنترلی مبدل موازی ۹۰
۵-۴-۲- طراحی کنترل‌کننده فازی ۹۱
۵-۴-۳- الگوریتم کنترلی مبدل سری ۹۳
۵-۴-۴- واحد مدولاسیون پهنای پالس (PWM) ۹۴
۵-۵- شبیه‌سازی و نتایج ۹۷
۵-۵-۱- مورد اول : خطای خط تکفاز به زمین ۹۸
۵-۵-۲- مورد دوم : خطای خط سه‌فاز به زمین ۹۹
۶- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۰۲
۶-۱- نتیجه گیری ۱۰۳
۶-۲- ارائه پیشنهادات ۱۰۴
فهرست منابع ۱۰۵
ضمیمه الف ۱۰۹
ضمیمه ب ۱۱۱

فهرست اشکال صفحه

شکل ۲-۱ : نماد عمودی برای یک کنترل کننده FACTS ۲۱

شکل ۲-۲ : کنترل کننده‌هایFACTS سری ۲۲

شکل ۲-۳ : نماد عمومی برای کنترل کننده موازی ۲۵

شکل۲-۴ : ادوات FACTS ترکیبی سری- سری ۳۱

شکل ۲-۵: ادوات *FACTS* ترکیبی سری- موازی ۳۲

شکل ۳-۱ سرعت ماشین بعنوان یک متغیر زبانی ۴۱

شکل ۳-۲ ساختار اصلی سیستم‌های فازی با فازی‌ساز و غیر فازی‌ساز ۴۹

شکل ۳-۳ : ساختار لینک PSCAD-MATLAB ۵۷

شکل ۴-۱ : الف) سیستم دو ماشینه ب) دیاگرام فازوری ج) منحنی توان زاویه ۶۱

شکل ۴-۲ : جبران استاتیکی موازی var ۶۴

شکل ۴-۳ : جبرانگرهای استاتیکی کنترل شده بوسیله تریستور ۶۴

شکل ۴-۴ : دیاگرام مداری SVC ۶۷

شکل ۴-۵ : سیستم قدرت مورد مطالعه همراه با SVC ۶۸

شکل ۴-۶ : سیستم قدرت مورد مطالعه همراه با SVC ۶۹

شکل ۴-۷ : توابع عضویت برای ورودی‌ها ۷۱

شکل ۴-۸ : توابع عضویت برای خروجی ۷۱

شکل ۴-۹ : نمایش رویه برای کنترل‌کننده فازی SVC ۷۱

شکل ۴-۱۰ : جریان سه فاز باس SVC با کنترل‌کننده فازی در خطای تک‌فاز به زمین ۷۳

شکل ۴-۱۱ : جریان سه فاز باس SVC با کنترل‌کننده PI در خطای تک‌فاز به زمین ۷۳

شکل ۴-۱۲ : توان اکتیو P_{SVC} در خطای تک‌فاز به زمین ۷۳

شکل ۴-۱۳ : توان راکتیو Q_{SVC} در خطای تک‌فاز به زمین ۷۴

شکل ۴-۱۴ : توان اکتیو P_s در خطای تک‌فاز به زمین ۷۴

شکل ۴-۱۵ : توان راکتیو Q_s در خطای تک‌فاز به زمین..... ۷۴
شکل ۴-۱۶ : ولتاژ پریونیت باس SVC در خطای تک‌فاز به زمین ۷۵
شکل ۴-۱۷ : ولتاژ پریونیت باس Er در خطای تک‌فاز به زمین ۷۵
شکل ۴-۱۸ : زاویه α مورد نیاز برای SVC ۷۵
شکل ۴-۱۹ : جریان سه فاز باس SVC با کنترل‌کننده فازی در حالت خطای سه‌فاز ۷۶
شکل ۴-۲۰ : جریان سه فاز باس SVC با کنترل‌کننده PI در حالت خطای سه‌فاز ۷۶
شکل ۴-۲۱ : توان اکتیو P_{SVC} در خطای سه فاز به زمین ۷۷
شکل ۴-۲۲ : توان راکتیو Q_{SVC} در خطای سه فاز به زمین..... ۷۷
شکل ۴-۲۳ : توان اکتیو P_s در خطای سه فاز به زمین ۷۷
شکل ۴-۲۴ : توان راکتیو Q_s در خطای سه فاز به زمین ۷۸
شکل ۴-۲۵ : ولتاژ پریونیت باس SVC در خطای تکفاز به زمین ۷۸
شکل ۴-۲۶ : ولتاژ پریونیت باس Er در خطای تکفاز به زمین ۷۸
شکل ۴-۲۷ : زاویه α مورد نیاز برای SVC ۷۹
شکل ۵-۱: نمایش مفهومی UPFC در یک سیستم قدرت چند ماشینه ۸۲
شکل ۵-۲: اجرای UPFC بوسیله دو کنورتور منبع ولتاژی پشت به پشت ۸۳
شکل ۵-۳: کارایی‌های مختلف UPFC ۸۵
شکل ۵-۴ : مدل گذرای UPFC..... ۸۹
شکل ۵-۵ : الگوریتم کنترلی مبدل موازی UPFC ۹۱
شکل ۵-۶ : توابع عضویت ورودی و خروجی ۹۲
شکل ۵-۷ : نمایش رویه برای کنترل‌کننده فازی ولتاژ باس ۹۲
شکل ۵-۸: نمایش رویه برای کنترل‌کننده فازی ولتاژ خازن DC ۹۳
شکل ۵-۹: الگوریتم کنترلی مبدل سری UPFC ۹۴
شکل ۵-۱۰ : واحد PWM برای تولید پالس مثلثی ۹۵

شکل ۵-۱۱ : واحد PWM برای تولید موج سینوسی ۹۶
شکل ۵-۱۲ : واحد PWM برای تولیدپالس گیت‌ها ۹۷
شکل ۵-۱۳ : ولتاژ پریونیت باس Es در خطای تکفاز به زمین ۹۸
شکل ۵-۱۴ : ولتاژ پریونیت باس Er در خطای تکفاز به زمین ۹۸
شکل ۵-۱۵ : ولتاژ خط DC در خطای تکفاز به زمین ۹۹
شکل ۵-۱۶ : توان اکتیو P_r در خطای تکفاز به زمین ۹۹
شکل ۵-۱۷ : توان راکتیو Q_r در خطای تکفاز به زمین ۹۹
شکل ۵-۱۸: ولتاژ پریونیت باس Es در خطای سه فاز به زمین ۱۰۰
شکل ۵-۱۹: ولتاژ خط DC در خطای سه فاز به زمین ۱۰۰
شکل ۵-۲۰: توان اکتیو Pr در خطای سه فاز به زمین ۱۰۰
شکل ۵-۲۱: توان راکتیو Qr در خطای سه فاز به زمین ۱۰۱

فهرست جداول **صفحه**

جدول ۲-۱: انواع ادوات FACTS ۱۷
جدول ۳-۱ : مقایسه غیر فازی‌سازها از نظر توجیه‌پذیری، سادگی محاسبات و پیوستگی ۵۴
جدول ۴-۱ : قوانین فازی برای کنترل‌کننده SVC ۷۱
جدول ۵-۱: قوانین فازی برای کنترل ولتاژ باس ۹۲
جدول ۵-۲: قوانین فازی برای کنترل ولتاژ خازن DC ۹۳

فصل اول

مقدمه

۱-۱ نوسانات سیستم‌های قدرت و کاربرد ادوات FACTS

در سال‌های اخیر با رشد مناطق مسکونی و صنعتی، میزان تقاضای توان الکتریکی به عنوان یک انرژی پاک افزایش یافته است. اما پراکندگی جغرافیایی این تقاضا نامتعادل است. از سویی، اغلب مراکز تولید برق فعلی از مراکز بار در حال رشد دور هستند و از جهتی دیگر برای احداث نیروگاه‌های جدید مسائلی از قبیل شرایط زیست محیطی، هزینه‌های انرژی تولیدی و ... نیز مانع احداث نیروگاه جدید می‌باشد. مشکلاتی از قبیل افزایش هزینه‌ها، حریم خطوط، مسائل زیست محیطی و ... مانع احداث خطوط انتقال جدید هستند. همچنین با افزایش توجه افکار عمومی به اثرات خطوط انتقال بر روی سلامت اشخاص، مشکلات و هزینه‌های عبور از املاک اشخاص نیز به موانع فوق افزوده می‌شوند. به این ترتیب شبکه‌های که قبلاً مستقل بوده شاید در سیستم به هم پیوسته فقط نقش واسط بین دو شبکه دیگر را ایفا کند و توان را از یک شبکه گرفته و به شبکه دیگر تحویل دهد. از آنجا که خطوط انتقال موجود برای استفاده در سیستم به هم پیوسته قدرت طراحی نشده‌اند در نتیجه خطوط موجود، متحمل اضافه بار خواهند شد که این اضافه بار بر روی مقدار کلی ولتاژ اثر گذاشته و پایداری سیستم را کاهش می‌دهد. با در نظر گرفتن تمام این شرایط نیاز به یک بازبینی تئوری و علمی در امر انتقال توان، کنترل ولتاژ، پایداری سیستم و استفاده کامل از ادواتی که تولید و انتقال را با ابزارهای موجود بدون کاهش امنیت و پایداری فراهم سازند، اجتناب ناپذیر است. در این راه شناخت نیازهای اساسی انتقال توان AC در اولویت قرار می‌گیرد [۱]. سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر[۱] (FACTS) مفهوم و ایده جدیدی است که برای تقویت کنترل‌پذیری و توسعه ظرفیت انتقال شبکه‌ها، به‌کارگیری و استفاده از کنترل‌کننده‌ها و ادوات الکترونیک قدرت را توصیه و تشویق می‌نماید.

[۱] Flexible Altering Current Transmission Systems

در واقع سیستم‌های FACTS قادر هستند که پارامترها و مشخصه‌های خطوط انتقال مانند امپدانس سری، امپدانس شنت، زاویه فاز که به عنوان محدودیت اصلی بر سر راه افزایش ظرفیت شبکه عمل می‌نماید، را کنترل نمایند. ایده اساسی که در مفهوم FACTS وجود دارد توانا نمودن سیستم انتقال از طریق فعال نمودن عناصر و اجزاء آن می‌باشد. در واقع FACTS دارای نقش اساسی در افزایش انعطاف‌پذیری انتقال توان و امنیت پایداری دینامیک سیستم‌های قدرت می‌باشد. کنترل‌کننده‌های FACTS با به‌کارگیری کنترل‌کننده‌های پر سرعت الکترونیک قدرت، امکانات و قابلیت‌های زیر را برای سیستم قدرت ایجاد می‌نمایند:

-کنترل فلوی توان حقیقی به نحوی که بتواند انتقال و مقدار آن را در مسیرهای دلخواه کنترل نماید.

-کنترل و به‌کارگیری خطوط انتقال تا نزدیکی‌های ظرفیت حرارتی آن‌ها به نحوی که از حداکثر ظرفیت خطوط استفاده می‌گردد و در عین حال مانع از اضافه بار آن‌ها می‌شود. این امر باعث می‌شود که به واسطه افزایش توانایی انتقال توان بین نواحی، بتوان حاشیه رزرو تولید در سیستم را کاهش داد.

- میرایی نوسانات توان که در صورت عدم میرایی می‌توانند باعث صدمه دیدن تجهیزات از طریق محدود نمودن اثر خطاها و معیوب شدن تجهیزات گردند[۴].

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر 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 برای این ادوات فراهم شده است [۲].

۱-۲ کنترل‌کننده‌های ادوات FACTS

ادوات FCATS می‌تواند برای کنترل پخش بار و افزایش پایداری سیستم مورد بهره‌برداری قرار بگیرند. به ویژه با تجدید ساختار شدن بازار الکتریکی، استفاده از این ادوات در عملکرد و کنترل سیستم‌های قدرت با شرایط پخش توان و بارگذاری بالا روز به روز در حال افزایش است. در این پایان‌نامه کنترل‌کننده فازی برای دو نوع از ادوات FACTS یکی از نسل قدیم و دیگری از نسل جدید، در سیستم قدرت دو ماشینه مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

الف- جبران‌ساز توان راکتیو استاتیکی[۱] (SVC): مولد یا جذب کننده استاتیکی توان راکتیو که به صورت موازی متصل شده و خروجی آن برای مبادله جریان خازنی یا القایی تنظیم می‌شود به طوری که پارامترهای مشخصی در سیستم قدرت (نوعاً ولتاژ شین) را حفظ یا کنترل نماید. این نوع جبران‌ساز از ادوات گروه دوم می‌باشد.

ب- کنترل‌کننده پخش توان یکپارچه[۲] (UPFC): که در این پایان‌نامه به طور اختصار با کلمه لاتین UPFC به آن اشاره می‌شود. این وسیله یکی از کارآمدترین ادوات FACTS می‌باشد و می‌تواند برای تنظیم ولتاژ، تغییر امپدانس خط انتقال و زاویه ولتاژ شین‌ها به کار رود. از این وسیله می‌توان برای کنترل توان اکتیو و راکتیو عبوری از خط انتقال نیز استفاده کرد.

از معایب تریستورهای معمولی می‌توان به عدم توانایی قطع جریان زمانی با تغییرکردن از حالت روشن به حالت خاموش اشاره کرد که این حالت باعث کاربرد محدود آن‌ها در عملکردهای کلیدزنی شده است. با توسعه تریستورهای خاموش شونده با گیت ولتاژ و جریان بالا به این عیب غلبه شد. مشابه با تریستور معمولی، هر تریستور خاموش شونده با گیت می‌تواند با اعمال یک سیگنال مثبت به گیت روشن شود. به علاوه با اعمال سیگنال منفی به گیت، می‌توان آن را

---

۱ Static var compensator
۲ Unified Power Flow Controller

خاموش کرد. این مشخصه و نرخ‌های بهبود یافته از تریستورهای خاموش شونده با گیت استفاده از مبدل‌های منبع ولتاژ در سیستم قدرت را ممکن ساخته است.

مبدل منبع ولتاژ[۱] که از طریق کوپلاژ ترانسفورمری به خط انتقال نصب می‌شود شامل مبدل‌های GTO[۲]، دیودها و یک خازن DC است که یک ولتاژی در فرکانس اصلی و با اندازه و فاز قابل کنترل تولید می‌کند. قطعه‌ای که به این صورت سه تا ولتاژ سینوسی چرخان تولید کند مثل یک ژنراتور سنکرون رفتار می‌کند و همچنین این توانایی را دارد که با سیستم قدرت توان اکتیو و راکتیو مبادله کند. از جمله این ادوات که شامل مبدل‌های استاتیکی هستند می‌توان به جبران‌ساز سنکرون استاتیکی[۳] (STATCOM)، جبران‌ساز سری سنکرون استاتیکی[۴] (SSSC)، کنترل‌کننده پخش توان یکپارچه (UPFC) و کنترل‌کننده پخش توان بین خطوط[۵] (IPFC) اشاره کرد[۲].

۳-۱ روش‌های کنترلی انجام شده

طرح‌ریزی استراتژی کنترلی مناسب برای میراکردن نوسانات 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 در زمینه پایداری سیستم‌های قدرت و طراحی پایدارسازها مورد توجه قرار گرفته‌اند.

در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری روی مدل‌سازی و کاربرد SVC انجام شده است [۳و۴]. اما باز هم مدل‌های ساده و قابل اطمینانی نیاز بود. در مرجع [۵] یک مدل دقیق و مدولار از SVC در یک شکل مناسب برای کاربردهای کنترلی و مطابق مدل‌های خطی‌سازی شده، مناسب برای

---

[۱] Voltage Source Converter
[۲] Gate Turn Off
[۳] Static Synchronous Compensator
[۴] Static Synchronous Series Compensator
[۵] Interline Power Flow Controller

تحلیل پیشنهاد شده است. این هدف با استفاده از یک روش دینامیک فازوری محقق شده است [۶و۷].

مدل دینامیکی UPFC در فرکانس اصلی سیستم در مراجع [۸-۱۰] بحث شده است. این مدل شامل دو منبع ولتاژ سری و موازی با شبکه قدرت است که مبدل‌های منبع ولتاژ سری و موازی را نشان می‌دهند. هر دو منبع ولتاژ طوری مدل‌بندی شده‌اند که ولتاژی با فرکانس اصلی به سیستم تزریق کنند. در مرجع [۸] مدل خطی شده هفرون – فیلیپس سیستم قدرت مجهز به UPFC را پیشنهاد داده‌اند که برای تحلیل سیگنال کوچک و طراحی کنترل‌کننده میرایی مدل مناسبی می‌باشد. در این مقاله روش سیستماتیکی برای طراحی کنترل‌کننده میرایی ارائه نشده است. مولفان مرجع [۱۰] از دینامیک لینک dc صرف‌نظر کرده‌اند که باعث شده مدل حاصله، غیردقیق باشد.

تعدادی از مؤلفان روش‌های شبکه‌های عصبی [۱۱] و کنترل مقاوم [۱۲و ۱۳] را برای غلبه بر عدم قطعیت سیستم و افزایش میرایی با UPFC پیشنهاد داده‌اند. با و جود این، پارامترهای قابل تنظیم این کنترل‌کننده‌ها مبتنی بر روش سعی و خطا هستند. اگرچه روش‌های کنترل مقاوم عدم قطعیت معرفی شده را تا اندازه‌ای بهبود می‌دهند اما برای سیستم قدرت بزرگ کنترل‌کننده منتجه خیلی پیچیده‌تر خواهد بود که این کار از نظر عملی شدنی نیست.

در مرجع [۱۴] مؤلفان دو نوع طرح کنترلی را برای UPFC تشریح کرده‌اند که یکی از طرح‌ها مدولاسیون ولتاژ با کمک مبدل موازی و دیگری مدولاسیون توان با مبدل سری است. از تابع تبدیل پس‌فاز- پیش‌فاز پشت سر هم به منظور میرایی نوسانات به عنوان کنترل مکمل استفاده شده است.

مقالات متعددی در مورد استفاده از UPFC برای افزایش پایداری سیستم قدرت و قابلیت اطمینان سیستم قدرت [۱۵و۱۶]، بهبود پایداری گذرا و کنترل پخش توان اکتیو و راکتیو

[۱۷و۱۸] منتشر شده است. برای به‌کارگیری UPFC روش‌های مختلف ساختار کنترلی، روش کنترل و روش سوئیچ کلیدها موجود است. ساختارهای کنترلی دارای حالت‌های مختلفی می‌باشد. روش‌های کنترلی معمول، PID ، منطق فازی، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک هستند [۱۸-۲۱]. این روش‌های کنترلی که کنترل پارامترهای شبکه قدرت را به عهده دارند از طریق روش‌های مختلف سوئیچینگ عناصر الکترونیک قدرت، که به سه دسته کلی سوئیچینگ چند پالسه، PWM، و هیسترزیس تقسیم می‌شوند به UPFC و شبکه قدرت اعمال می‌گردند.

تعدادی از این روش‌ها براساس شبیه سازی غیرخطی پیچیده و تعدادی نیز براساس خطی-سازی مدل سیستم قدرت ارائه شده است.

این پایان‌نامه یک روش جدید را برای طراحی دو نوع از ادوات FACTS (SVC و UPFC) با استفاده از کنترل‌کننده منطق فازی برای میراسازی نوسانات سیستم قدرت بیان می‌کند. در این پایان‌نامه بجای استفاده از مدل‌های خطی شده ادوات FACTS، از مدل واقعی به همراه کلیدهای قدرت و سوئیچینگ مبدل‌ها استفاده شده است و همچنین برای کنترل این ادوات بجای استفاده از کنترل‌کننده PI و بهینه‌سازی پارامترها با روش سعی و خطا که روش معمول در نرم‌افزار PSCAD می‌باشد از کنترل‌کننده فازی استفاده شده است. واحدهای کنترلی فازی در MATLAB با سیستم اصلی در PSCAD/EMTDC لینک شده‌اند و در طول شبیه‌سازی هر دو نرم‌افزار با هم کار می‌کنند. ورودی‌های فازی به MATLAB ارسال شده و خروجی کنترل-کننده فازی در آنجا تولید شده و به نرم‌افزار PSCAD/EMTDC برای سیستم اصلی فرستاده می-شود.

۱-۴ اهداف پایان‌نامه

هدف از این تحقیق بررسی پایداری سیستم‌های قدرت از طریق کنترل مناسب کنترل-کننده‌های ادوات FACTS با استفاده از روش کنترل فازی است. مراحل لازم برای رسیدن به اهداف پایان‌نامه در زیر به طور خلاصه اشاره شده است:

- معرفی ادوات FACTS : در این بخش اصول عملکرد، مدل‌های ریاضی و طرح‌های کنترلی اصلی که شامل کنترل پخش توان، کنترل گذرا برای بهبود پایداری نوسان و کنترل میرایی نوسانات توان به منظور میراسازی نوسانات برای ادوات FACTS معرفی شده‌اند.

- سیستم‌های کنترل فازی و نحوه به‌کارگیری آن در PSCAD: در این تحقیق از روش کنترل فازی برای طراحی کنترل‌کننده ادوات FACTS بهره گرفته شده است. در این فصل پس از معرفی سیستم‌های فازی، چگونگی لینک نرم‌افزار PSCAD/EMTDC با MATLAB و کارکرد هم‌زمان این دو نرم‌افزار با هم شرح داده شده است.

- طراحی کنترل‌کننده SVC با روش کنترل فازی : در این بخش پس از معرفی SVC نحوه طراحی کنترل‌کننده، برای SVC در سیستم دو ماشینه با روش کنترل فازی بیان شده است.

- طراحی کنترل‌کننده UPFC با روش کنترل فازی: در این بخش ابتدا به معرفی UPFC و چگونگی کارکرد آن در شرایط مختلف و جبران‌سازی سری و موازی آن پرداخته خواهد و در ادامه فصل، مدل‌سازی شده و در یک سیستم دوماشینه با کنترل‌کننده فازی شبیه-سازی و کنترل می‌شود.