بسم الله الرحمن الرحيم

١٥٧٤٠٠

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

گرایش برق-قدرت

عنوان :

کاربرد ادوات FACTS برای پایداری سیستم‌های قدرت و استفاده از داده‌های PMU برای کنترل این ادوات

نگارش: منصور خلیلیان

استاد راهنما: دکتر داریوش نظرپور

بهمن ۱۳۸۹

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
IRANDOC

۱۵۷۶۰۰

۱۳۹۰/۳۱ ۲

پایان نامه خانم/آقای منصور جلیلیان به تاریخ ۸۹/۱۱/۲۴
شماره ۲۲۲-۲۰۱۰ مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه عالی
و نمره ۱۹ قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران :

۲ - داور خارجي :

۳ - داور داخلي :

٤ - نماینده تحصیلات تکمیلي :

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

تقدیم به

پدر گرامی

مادر عزیز

و ....

تقدیر و تشکر

لازم می دانم از جناب آقای دکتر نظرپور که در دوران کارشناسی ارشد همواره نهایت لطف را در حق اینجانب داشته اند تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

استفاده از ادوات FACTS برای کنترل توان عبوری خطوط، کنترل ولتاژ، میرایی نوسانات سیستم و بهبود پایداری گذرای سیستم روشی شناخته شده است. با این وجود به دلیل مشکلاتی از قبیل پیچیدگی ساختار، نیازهای عایقی و هزینه های مرتبط با این ادوات شاهد کاربرد گسترده این ادوات در سیستم قدرت نیستیم. در سال‌های اخیر نوع توزیع شده ادوات FACTS یعنی D-FACTS معرفی شده‌اند. که برخلاف ادوات FACTS دارای توان نامی پایین می‌باشند و تعداد زیادی از آنها در طول خط نصب می‌شوند. انتظار می‌رود که از این ادوات با توجه به حل مشکلات ادوات FACTS به صورت گسترده در شبکه‌های انتقال استفاده شود. یکی از ادوات D-FACTS که اخیرا معرفی شده است(*Distributed Static Series Compensator*) DSSC می‌باشد. با توجه به اینکه مدت زمان زیادی از معرفی DSSC نمی‌گذرد لازم است که مطالعات تحقیقاتی گسترده‌ای بر روی آنها انجام شود. یکی از این موارد بررسی طراحی یک کنترل کننده تکمیلی برای DSSC برای بهبود پایداری گذرای سیستم قدرت است که در این پایان‌نامه به آن پرداخته شده است. استفاده از داده‌های (*Phasor Measurement Unit*) PMU به عنوان سیگنال ورودی برای کنترل کننده تکمیلی DSSC برای میراسازی نوسانات بین ناحیه‌ای و محلی سیستم قدرت است موضوع دیگری است که در این پایان‌نامه بررسی می‌شود. در این تحقیق ابتدا نشان داده می‌شود که DSSC باعث بهبود پایداری گذرا می‌شود. سپس یک کنترل کننده تکمیلی کلاسیک و یک کنترل کننده فازی برای DSSC طراحی می‌شود که باعث می‌شوند تاثیر DSSC در بهبود پایداری گذرای سیستم قدرت افزایش یابد و در ادامه مقایسه نتایج حاصل از این دو کنترل کننده نشان می‌دهد که کنترل کننده فازی عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

در قسمت دیگر پایان‌نامه از سیگنال‌های خروجی PMU به عنوان داده‌های ورودی کنترل کننده تکمیلی DSSC استفاده می‌شود و با استفاده از یک کنترل کننده فازی تاخیر زمانی داده‌های دریافت شده از PMU جبران می‌شود و کارآیی این کنترل کننده فازی با شبیه‌سازی بررسی شده و نتایج حاصل بر عملکرد مطلوب آن دلالت می‌کنند.

کلمات کلیدی: جبرانگر استاتیک سری توزیع شده، پایدرای گذرا، کنترل کننده فازی، واحد اندازه‌گیری فازور، تاخیر زمانی، میراسازی نوسانات

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱ مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ اهداف پایان نامه ۳

۱-۳ بررسی کارهای انجام شده ٤

۱-٤ رئوس مطالب پایان نامه ٥

۲ جبران‌سازی سری ۷

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ مفهوم جبران‌سازی خازنی به صورت سری ۸

۲-۲-۱ کنترل توان ۹

۲-۲-۲ پایداری ولتاژ ۱۰

۲-۲-۳ اصلاح پایداری گذار ۱۰

۲-۲-٤ میرایی نوسانات توان ۱۲

۲-۳ خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC) ۱٤

۲-٤ جبران‌ساز استاتیک سری سنکرون(SSSC) ۱۷

۲-٤-۱ مبنای عملکردSSSC ۱۷

۲-٤-۲ مدهای عملکردی SSSC ۱۹

۲-٥ مقایسه SSSC باTCSC ۲۱

۳ معرفی DSSC ۲۳

۳-۱ مقدمه ۲۳

۳-۲ معرفی DSSC ۲۳

۳-۳ ساختار DSSC ۲۵
۳-٤ عملکرد DSSC ۲۷
۳-۵ مزایای استفاده از DSSC در سیستم قدرت ۲۸
۳-٦ مقایسه اقتصادی استفاده از DSSC بجایSSSC ۲۹
۳-۷ مدل شبیه سازی ۲۹
۳-۷-۱ مدل اینورتر ۲۹
۳-۷-۲ مدل ترانسفورماتور تکدور ۳۱
۳-۷-۳ سیستم کنترل ۳۱
۳-۷-٤ مدل نهایی DSSC ۳۲
٤ بهبود پایداری گذرا با استفاده از DSSC ۳٤
٤-۱ مقدمه ۳٤
٤-۲ مفهوم پایداری در سیستم‌های قدرت ۳٤
٤-۲-۱ پایداری زاویه‌ای روتور ۳۵
٤-۲-۲ پایداری سیگنال کوچک ۳۵
٤-۲-۳ پایداری گذرا ۳٦
٤-۳ انواع کنترل کننده‌های مورد استفاده ۳۸
٤-۳-۱ روش‌های کنترل قدیمی ۳۸
٤-۳-۲ روش‌های کنترل جدید ۳۸
٤-۳-۳ روش‌های هوش مصنوعی ۳۹
٤-۳-٤ روش‌های مرکب هوش مصنوعی ٤۰
٤-٤ کنترل کننده فازی(FLC) ٤۰
٤-۵ بهبود پایداری گذرا با استفاده از DSSC ٤۱
٤-۵-۱ طراحی کنترل کننده کلاسیک ٤۳

٤-٥-٢ طراحی کنترل کننده فازی ٤٤
٤-٦ نتایج شبیه‌سازی ٤٨
٤-٦-١ تاثیر DSSC برروی نقطه کار حالت دائمی ٤٨
٤-٦-٢ خطای سه فاز- تاثیر DSSC بدون کنترل کننده اضافی ٤٨
٤-٦-٣ خطای سه فاز- تاثیر DSSC با کنترل کننده POD تکمیلی ٥٠
٤-٦-٤ خطای سه فاز- تاثیر DSSC مجهز به کنترل کننده فازی ٥٢
٥ کاربرد داده‌های PMU برای میراسازی نوسانات سیستم قدرت با استفاده از DSSC ٥٦
٥-١ مقدمه ٥٦
٥-٢ PMU و ویژگی‌های آن نسبت به ابزارهای پایش دیگر ٥٦
٥-٢-١ تاریخچه استفاده از PMU ٥٨
٥-٢-٢ کاربردهای PMU در سیستم‌های قدرت ٥٩
٥-٣ تاخیر زمانی ٦٢
٥-٤ طراحی کنترل کننده ٦٣
٥-٤-١ طراحی کنترل کننده فازی ٦٥
٥-٤-٢ طراحی کنترل کننده فازی مقاوم در برابر تاخیر زمانی ٦٧
٥-٥ نتایج شبیه سازی ٧٠
٥-٥-١ کنترل کننده فازی ٧٠
٥-٥-٢ کنترل کننده فازی مقاوم در برابر تاخیر زمانی ٧٣
٦ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ٧٦
٦-١ نتیجه‌گیری ٧٦
٦-٢ پیشنهادها ٧٧
پیوست‌ها ٧٨
مراجع ٨١

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: تاثیر خازن سری در کنترل شارش توان در یک خط انتقال ۹

شکل ۲-۲: توان قابل انتقال و حد پایداری ولتاژ در یک خط انتقال شعاعی به عنوان تابعی از جبران‌سازی خازنی سری ۱۰

شکل ۲-۳: شبکه ساده جبران‌سازی سری شده ۱۱

شکل ۲-٤: معیار سطح مساوی برای نشان دادن حاشیه پایداری گذرا برای سیستم ساده دو ماشینه (الف) بدون جبران-سازی (ب) با یک خازن سری ۱۲

شکل ۲-۵: شکل موج‌های نشان دهنده میرا شدن نوسانات به وسیله جبران‌سازی سری قابل کنترل ۱٤

شکل ۲-٦: مدار خازن سری کنترل شده باتریستور ۱۵

شکل ۲-۷: محدوده عملکرد TCSC ۱٦

شکل ۲-۸: تاثیر TCSC در کنترل شارش توان در یک خط انتقال ۱٦

شکل ۲-۹: شبکه ساده جبران‌سازی شده (الف) توسط خازن سری (ب) توسط منبع ولتاژ سنکرون ۱۸

شکل ۲-۱۰: نمودار ولتاژ–جریان در دو حالت کنترل ولتاژ (الف) و کنترل راکتانس (ب) ۱۹

شکل ۲-۱۱: نمودار توان–زاویه برای جبران راکتانس مختلف ۲۰

شکل ۲-۱۲: نمودار توان–زاویه برای ولتاژهای تزریقی متفاوت ۲۱

شکل ۳-۱: نحوه قرار گرفتن ادوات DSSC بر روی خطوط ۲۳

شکل ۳-۲: شمای کلی DSSC ۲٦

شکل ۳-۳: اینورتر تکفاز DSSC ۳۰

شکل ۳-٤: مدار قدرت DSSC ۳۲

شکل ۳-۵: سیستم کنترل DSSC ۳۳

شکل ٤-۱: انواع پایداری در سیستم قدرت ۳۵

شکل ٤-۲: ساختار کلی اکثر کنترل کننده‌ها ٤۰

شکل ٤-۳: سیستم دو ماشینه شامل DSSC ها ٤۲

شکل ٤-٤: بلوک دیاگرام کنترل کننده POD ٤٤
شکل ٤-٥: اضافه شدن کنترل کننده POD به حلقه کنترل اصلی DSSC..... ٤٤
شکل ٤-٦: (الف) و (ب) توابع عضویت ورودی‌ها (ج) تابع عضویت خروجی..... ٤٦
شکل ٤-٧: صفحه قوانین فازی..... ٤٧
شکل ٤-٨: اضافه شدن کنترل کننده فازی به حلقه کنترل اصلی DSSC..... ٤٧
شکل ٤-٩: تغییرات زاویه رتور بین دو ماشین زمانی که DSSC ها وارد مدار می شوند ٤٨
شکل ٤-١٠: تغییرات اختلاف زاویه رتور بین ماشین‌ها بعد از خطا با DSSC و بدون DSSC (بدون کنترل کننده اضافی) ٤٩
شکل ٤-١١: تغییرات سرعت زاویه‌ای ماشین‌ها بعد از خطا با DSSC و بدون DSSC (بدون کنترل کننده اضافی) ٤٩
شکل ٤-١٢: تغییرات اختلاف زاویه رتور بین ماشین‌ها بعد از خطا با DSSC بدون کنترل کننده و DSSC مجهز به کنترل کننده POD..... ٥٠
شکل ٤-١٣: تغییرات سرعت زاویه‌ای ماشین ها بعد از خطا با DSSC بدون کنترل کننده و DSSC مجهز به کنترل کننده POD..... ٥١
شکل ٤-١٤: تغییرات ولتاژ ماشین‌ها بعد از خطا با DSSC بدون کنترل کننده و DSSC مجهز به کنترل کننده POD. ٥١
شکل ٤-١٥: سیگنال خروجی کنترل کننده POD ٥٢
شکل ٤-١٦: تغییرات اختلاف زاویه رتور بین ماشین‌ها بعد از خطا DSSC با کنترل کننده‌های فازی و کلاسیک ٥٣
شکل ٤-١٧: تغییرات ولتاژ ماشین‌ها بعد ار خطا DSSC با کنترل کننده‌های فازی و کلاسیک..... ٥٣
شکل ٤-١٨: تغییرات اختلاف زاویه رتور ماشین‌ها بعد از خطا با کنترل کننده‌های فازی و کلاسیک و بدون کنترل کننده ٥٤
شکل ٤-١٩: تغییرات ولتاژ ماشین‌ها بعد از خطا با کنترل کننده‌های فازی و کلاسیک و بدون کنترل کننده..... ٥٤
شکل ٤-٢٠: تغییرات سیگنال کنترل کننده فازی بعد از خطا..... ٥٥
شکل ٥-١: تصویر یک نمونه تجاری PMU ساخت شرکت Macrodyne..... ٥٧
شکل ٥-٢: نمودار یک سیستم پیمایش مبتنی‌بر PMU..... ٥٨
شکل ٥-٣: سیستم قدرت مورد مطالعه ٦٤
شکل ٥-٤: سیستم قدرت شامل DSSC ها..... ٦٥

شکل ۵-۵: (الف) و (ب) توابع عضویت ورودی‌ها (ج) تابع عضویت خروجی ٦٦
شکل ۵-٦: اتصال کنترل کننده فازی به حلقه کنترل اصلی DSSC ٦٧
شکل ۵-۷: (الف) ، (ب) و(ج) توابع عضویت ورودی‌ها (د) تابع عضویت خروجی ٦٩
شکل ۵-۸: نوسانات بین ناحیه‌ای در حضور و بدون حضور کنترل کننده فازی ۷۰
شکل ۵-۹: نوسانات محلی در حضور و بدون حضور کنترل کننده فازی ۷۰
شکل ۵-۱۰: نوسانات اختلاف زاویه ولتاژها در حضور و بدون حضور کنترل کننده فازی ۷۱
شکل ۵-۱۱: دسته بندی DSSC ها در سیستم قدرت ۷۱
شکل ۵-۱۲: نوسانات بین ناحیه‌ای با وجود تاخیر زمانی برای سیگنال ورودی کنترل کننده و بدون وجود تاخیرزمانی... ۷۲
شکل ۵-۱۳: نوسانات محلی با وجود تاخیر زمانی برای سیگنال ورودی کنترل کننده و بدون وجود تاخیرزمانی ۷۳
شکل ۵-۱٤: نوسانات اختلاف زاویه ولتاژها با وجود تاخیر زمانی برای سیگنال ورودی کنترل کننده و بدون وجود تاخیرزمانی ۷۳
شکل ۵-۱۵: نوسانات بین ناحیه‌ای در حضور کنترل کننده فازی مقاوم در برابر تاخیر زمانی ۷٤
شکل ۵-۱٦: نوسانات محلی در حضور کنترل کننده فازی مقاوم در برابر تاخیر زمانی ۷۵
شکل ۵-۱۷: نوسانات اختلاف زاویه ولتاژها در حضور کنترل کننده فازی مقاوم در برابر تاخیر زمانی ۷۵
شکل پ-۱: سیستم چهار ماشینه، دو ناحیه‌ای ۷۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ٤-١: قوانین فازی کنترل کننده DSSC ٤٦

جدول ٥-١: تاخیر زمانی برای لینک‌های ارتباطی مختلف ٦٣

جدول ٥-٢: قوانین فازی کنترل کننده DSSC ٦٧

جدول ٥-٣: قوانین فازی کنترل کننده مقاوم در برابر تاخیر زمانی DSSC ٦٩

جدول ٥-٤: تاخیر زمانی دسته‌های DSSC ٧٢

جدول ٥-٥: تاخیر زمانی دسته‌های DSSC با کنترل کننده مقاوم ٧٤

جدول پ-١: پارامترهای ژنراتورهای سیستم چهار ماشینه ٧٩

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر به علت تجدید ساختار در سیستم‌های قدرت، بسیاری از ویژگی‌های اقتصادی و فنی صنعت برق در بخش‌های مختلف از جمله تولید، انتقال، توزیع و مصرف تحت تاثیر قرار گرفته است. به ویژه شبکه‌های انتقال که بارگذاری خطوط آنها معمولاً در نزدیکی حد دمائی خود بوده و از محدوده حاشیه پایداری فعلی خود تجاوز می کنند. از عمده دلایل آن می‌توان به مشکل بودن احداث خطوط جدید و یا در بعضی از موارد غیر ممکن بودن آن به علت ملاحظات زیست محیطی، اقتصادی و یا سیاسی اشاره نمود. بنابراین برای دستیابی به سطح قابل قبولی از قابلیت اطمینان می بایست استراتژی‌های کنترلی ویژه‌ای بکار گرفته شود که نه تنها در حالت کارکرد عادی سیستم بلکه پس از ایجاد تغییرات ساختاری قابل ملاحظه مثل خارج شدن واحدهای تولید، خطوط انتقال و یا تغییر شرایط بار، تداوم تامین نیاز مصرف کننده از دست نرود.

دو مسئله اصلی برای ارتقاء عملکرد سیستم قدرت، برنامه ریزی و پایدارسازی می باشند. برنامه ریزی عبارت است از تنظیم بلند مدت ولتاژها و توان برای برقراری شرایط کاری مورد نظر سیستم (حالت ماندگار) عمل پایدارسازی می بایست بصورت پیوسته و در تمامی شرایط کاری سیستم انجام گیرد تا از ناپایدار شدن سیستم جلوگیری شود. پایداری سیستم‌های قدرت به دوصورت پایداری ولتاژ و زاویه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. ناپایداری استاتیک یا ناپایداری ولتاژ براثر تغییرات آهسته و مداوم بار در سیستم قدرت رخ می‌دهد. پایداری زاویه‌ای در سیستم‌های قدرت متناسب با دامنه اغتشاشات و فرکانس آنها در دو حالت سیگنال کوچک (دینامیک) و گذرا مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مطالعات پایداری در برابر اغتشاشات کوچک تحت عنوان پایداری دینامیکی یا سیگنال کوچک مطرح می‌شود. در این نوع پایداری، به علت کوچک بودن دامنه اغتشاش می‌توان از مدل خطی شده سیستم حول نقطه کار ماندگار استفاده نمود. چنانچه دامنه

اغتشاش وارد شده بزرگ باشد، پایداری سیستم، تحت عنوان پایداری گذرا مطرح می‌شود. پایداری گذرا به ساختار سیستم قدرت، نقطه کار حالت تعادل قبل از اغتشاش و بعد از رفع آن و همچنین دامنه و مدت زمان اغتشاش وارد شده بستگی دارد. یک سیستم قدرت پایدار گذرا است اگر سیستم پس از رفع خطا بتواند به یک حالت تعادل پایدار قابل قبول برسد. برای ارزیابی پایداری گذرای سیستم قدرت، حد پایداری یا زمان بحرانی رفع خطا (CCT)[1] تعیین می شود. این زمان بحرانی دقیقاً به نوع و محل بروز اغتشاش بستگی دارد. هرچه قدر این زمان با مدت زمان تداوم خطا فاصله بیشتری داشته باشد، حاشیه پایداری گذرای سیستم بیشتر خواهد بود. مبانی تئوری پایداری گذرا در کتاب‌ها و مراجع متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است [۱].

پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه ادوات الکترونیک قدرت در اواخر دهه ۱۹۸۰ منجر به ساخت سیستم‌های انتقال متناوب انعطاف پذیر (FACTS)[2] گردید. این ادوات کنترل پذیری ولتاژ و توان را برای افزایش بهره‌وری و پایداری سیستم‌های موجود افزایش می‌دهند. امروزه این ادوات نقش مهمی را در بهره برداری و کنترل سیستم‌های قدرت ایفا می کنند [۲].

تاکنون کنترل کننده‌های بسیاری برای ادوات FACTS طراحی شده‌اند. از جمله این کنترل کننده‌ها می‌توان به نمونه هایی که برای مدل خطی شده در نقاط کار خاص طراحی شده‌اند اشاره نمود [۳]-[۵]. سایر موارد شامل کنترل کننده های پیشرفته می باشد که برای درنظر گرفتن تغییرات نقطه کار سیستم طراحی می‌شوند. کنترل مقاوم، تطبیقی و کنترل فازی از جمله روش‌هایی هستند که برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۶]-[۸].

با وجود اینکه زمان نسبتا زیادی از معرفی ادوات FACTS می‌گذرد و از نظرتئوری و عملی ثابت شده است که این تجهیزات باعث بهبود عملکرد شبکه انتقال می‌شوند، اما هنوز شاهد پیاده‌سازی گسترده آنها در شبکه‌های انتقال نیستیم. دلیل اصلی این موضوع می‌تواند هزینه سرمایه‌گذاری اولیه به نسبت بالا، نرخ پایین بازگشت سرمایه و نگرانی‌های مرتبط با بحث قابلیت اطمینان این المان‌ها باشد. به منظور فائق آمدن بر این مشکلات به تازگی بحث مربوط به ادوات FACTS

[1] Critical Clearing Time
[2] Flexible Alternating Current Transmission Systems

پخش شده (D-FACTS)[1] مطرح شده است [۹]. تفاوت D-FACTS با FACTS در این است که برخلاف ادوات FACTS که دارای توان بالا هستند، ادوات D-FACTS دارای توان پایین می‌باشند و در هر کیلومتر از خط انتقال چند عدد از آنها نصب می‌شوند. با توجه به اینکه ادوات D-FACTS دارای توان پایین می‌باشند قابلیت ساخت با المان های الکترونیک قدرت متداول را دارا می‌باشند و در نتیجه انتظار می‌رود که هزینه ساخت پایینی داشته باشند. همچنین به این دلیل که تعداد ادوات D-FACTS بر روی خطوط انتقال را می‌توان بر اساس نیاز و رشد بار در هر سال به میزان لازم افزایش داد، این ادوات نسبت به ادوات FACTS دارای نرخ بازگشت سرمایه بهتری هستند. از دید قابلیت اطمینان نیز این ادوات بسیار مطلوب هستند زیرا تعداد زیادی از آنها با نرخ جبران‌سازی پایین بر روی یک خط انتقال قرار می‌گیرند و در نتیجه انتظار می‌رود که حتی خروج همزمان تعدادی از آنها نیز تاثیر چندانی بر روی عملکرد سیستم نگذارد. بنابر آنچه گفته شد انتظار می‌رود که ادوات D-FACTS پس از طی مراحل تحقیقاتی لازم جای خود را به خوبی در شبکه‌های انتقال باز کنند. یکی از ادوات D-FACTS که به تازگی معرفی شده است DSSC[2] می‌باشد [۱۰]. در این پایان‌نامه مطالعات بر روی این تجهیز انجام می‌شود. در ادامه اهداف پایان‌نامه ذکر می‌شود. سپس کارهای انجام شده مرتبط با موضوع این پایان‌نامه بررسی می‌شوند و در انتهای فصل، ساختار کلی پایان‌نامه ارائه می‌شود.

۱-۲ اهداف پایان‌نامه

در این پایان‌نامه دو هدف دنبال می‌شود، یکی طراحی یک کنترل کننده تکمیلی برای DSSC به منظور بهبود پایداری گذرای سیستم قدرت و دیگری استفاده از داده‌های PMU[3] به عنوان سیگنال ورودی کنترل کننده تکمیلی DSSC که به منظور میراسازی نوسانات فرکانس کوچک طراحی شده است.

برای طراحی کنترل کننده تکمیلی DSSC برای بهبود پایداری گذرا نیاز است که در ابتدا نحوه عملکرد DSSC بررسی شود. سپس براساس شناخت درست از عملکرد DSSC و با توجه به روش‌های مرسوم می‌توان یک کنترل‌کننده مناسب برای DSSC ارائه کرد. در این پایان‌نامه ابتدا یک مدل از DSSC ارائه می‌شود و سپس این مدل در سیستم قدرت استفاده می‌شود و تاثیر DSSC ها بر روی پایداری گذرای سیستم قدرت بررسی می‌شود. در ادامه یک کنترل کننده

[1] Distributed Flexible Alternating Current Transmission Systems
[2] Distributed Static Series Compensator
[3] Phasor Measurement Unit

کلاسیک به منظور بهبود پایداری گذرای سیستم قدرت به حلقه کنترلی DSSC افزوده می‌شود و تاثیر آن بر روی پایداری گذرای سیستم قدرت مطالعه می‌شود. در مرحله بعد یک کنترل کننده هوشمند فازی بجای کنترل کننده کلاسیک پیشنهاد می‌شود و عملکرد این کنترل کننده‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شود.

در قسمت دیگری از پایان‌نامه داده‌های PMU به عنوان سیگنال ورودی کنترل کننده تکمیلی DSSC که به منظور میراسازی نوسانات فرکانس کوچک طراحی شده استفاده می‌شود. در ادامه تاخیر زمانی برای این داده‌ها در نظر گرفته می‌شود و یک کنترل کننده مناسب فازی به منظور رفع اثر این تاخیر پیشنهاد می‌شود.

۱-۳ بررسی کارهای انجام شده

از معرفی ادوات D-FACTS مدت زمان زیادی نمی‌گذرد. مبحث ادوات D-FACTS به تازگی و در [۹] معرفی شده‌اند و با توجه به اینکه مشکلات اصلی ادوات FACTS مانند هزینه زیاد و نرخ بازگشت سرمایه‌ی پایین در این ادوات حل شده است، انتظار می‌رود که در آینده به صورت گسترده از این ادوات استفاده شود. DSSC نیز به عنوان یکی از ادوات D-FACTS در [۱۰] معرفی شده است، با توجه به این که مدت زمان زیادی از معرفی این المان نمی‌گذرد، نیاز است که مطالعات گسترده‌ای بر روی آن انجام شود. مرجع [۱۱] مطالعات مرتبط با طراحی این المان را ارائه کرده است. در[۱۲] کنترل پایداری استاتیکی سیستم‌های قدرت با استفاده از DSSC بررسی شده است. مرجع [۱۳] مدل کردن DSSC در محاسبات پخش بار را بررسی کرده است. در [۱٤] به بررسی تاثیر DSSC بر ویژگی‌های گذرای سیستم پرداخته شده است. مرجع [۱۵] جایابی DSSC در سیستم قدرت را بررسی کرده است. با توجه به کم بودن مطالعات در زمینه DSSC نیاز است که تحقیقات بیشتری برروی این ادوات، اعم از تاثیر این ادوات بر روی سیستم و افزودن کنترل کننده‌های تکمیلی به آنها برای بهبود عملکردشان انجام شود. در این پایان نامه یک کنترل کننده تکمیلی به منظور بهبود پایداری گذرای سیستم قدرت برای DSSC پیشنهاد می‌شود و تاثیر این کنترل کننده بر روی پایدرای گذرای سیستم قدرت بررسی می‌شود. اگرچه هنوز کنترل کننده‌ای بدین منظور برای DSSC ارائه نشده است اما برای ادوات FACTS

گوناگونی مانند SSSC[1]، UPFC[2] و TCSC[3] به ترتیب در [۱۶]-[۱۸]چنین کنترل کننده‌ای ارائه شده است. مرجع [۱۹] نیز یک کنترل کننده فازی برای SSSC بدین منظور ارائه کرده است.

در قسمت دیگر این پایان‌نامه یک کنترل کننده فازی به منظور رفع سوء اثر تاخیر سیگنال‌های دریافتی از PMU پیشنهاد می‌شود. مطالعات اندکی در رابطه با جبران تاخیر سیگنال‌های دریافتی از PMU تاکنون انجام شده است. در [۲۰] و [۲۱] روشی به منظور برطرف کردن تاخیر زمانی سیگنال‌های دریافتی کنترل کننده TCSC به منظور میراسازی نوسانات فرکانس کوچک ارائه شده است. در [۲۲] نیز روشی برای پایدارساز سیستم قدرت PSS[4] برای برطرف کردن تاخیر زمانی سیگنال ورودی آن پیشنهاد شده است. با توجه به تحقیقات اندک در این زمینه نیاز به مطالعات بیشتر احساس می‌شود.

۱-٤ رئوس مطالب پایان‌نامه

رئوس مطالب و ساختار فصول این پایان‌نامه به شرح ذیل می‌باشد:

در فصل دوم مروری بر جبران‌سازی خازنی سری شده است و مزایای آن ذکر شده است و سپس خازن سری کنترل شده با تریستور و جبران‌ساز استاتیک سری سنکرون معرفی شده و نحوه عملکرد آنها بررسی شده است و مقایسه‌ای بین این دو انجام شده است.

در فصل سوم، ساختار و نحوه عملکرد DSSC توضیح داده شده است. همچنین مزایای اقتصادی و عملکردی آن در صورت بکارگیری در سیستم قدرت بر شمرده شده است و مقایسه‌ای در خصوص بکارگیری DSSC به جای SSSC در یک خط انتقال آورده شده است. در انتها یک مدل کامل از DSSC در محیط SIMULINK نرم افزار MATLAB ارائه شده است.

---

[1] Static Synchronous Series Compensator
[2] Unified Power Flow Controller
[3] Thyristor Controlled Series Capacitor
[4] Power System Stabilizer

در فصل چهارم ابتدا با بهره‌گیری از مدل DSSC ارائه شده، تاثیر DSSC برروی پایداری گذرای شبکه انتقال بررسی می‌شود سپس یک کنترل کننده کلاسیک برای آن پیشنهاد می‌شود. در ادامه یک کنترل کننده فازی به جای کنترل کننده کلاسیک طراحی می‌شود. در پایان نتایج شبیه‌سازی مربوط به کنترل کننده‌های طراحی شده آورده شده است.

در فصل پنجم ابتدا DSSC های مجهز به یک کنترل کننده فازی میراکننده نوسانات در سیستم چهار ماشینه قرار داده شده‌اند. از سیگنال‌های PMU به عنوان ورودی کنترل کننده استفاده شده است. در ادامه اثر تاخیر زمانی سیگنال‌های دریافتی از PMU بررسی می‌شود و سپس کنترل کننده فازی مناسب به منظور جبران تاخیر زمانی سیگنال دریافتی از PMU پیشنهاد شده است.

در فصل ششم به بررسی نتایج بدست آمده پرداخته و پیشنهاداتی برای ادامه و تکمیل تحقیق انجام شده و کارهای جدید ارائه خواهد شد.

فصل دوم

جبران‌سازی سری

۲-۱ مقدمه

همواره بدیهی بوده است که انتقال توان ac در خطوط طولانی در درجه اول با امپدانس راکتیو سری خط محدود می شود. جبران‌سازی خازنی سری، چندین دهه قبل برای حذف بخشی از امپدانس راکتیو خط و در نتیجه افزایش توان قابل انتقال، عرضه شده بود. سپس از طریق نوآوری FACTS نشان داده شد که جبران‌سازی سری متغیر، هم در کنترل سیلان توان در خط و همچنین در بهبود پایداری به شدت موثر است.

انواع جبران‌سازی سری در شبکه‌های قدرت عبارت است از:

FSC: Fixed Series Capacitor
TCSC: Thyristor Controlled Series Capacitor
TSSC: Thyristor Switched Series Capacitor
GCSC:GTO thyristor Controlled Series Capacitor
SSSC: Static Synchronous Series Compensator

که نوع اول مکانیکی، دوم، سوم و چهارم کنترل شونده تریستوری(نسل اول ادوات FACTS) و آخری از نوع مبدلی (نسل دوم ادوات FACTS) می‌باشد.

جبران‌سازی قابل کنترل خط به صورت سری، شالوده فن آوری FACTS است. این نوع جبران‌سازی را می‌توان برای بهره‌برداری کامل از تأسیسات انتقال، از طریق کنترل سیلان توان در خطوط، جلوگیری از سیلان‌های حلقوی، و یا استفاده از کنترل‌های سریع برای به حداقل رساندن تأثیر اغتشاشات سیستم و در نتیجه افزایش حاشیه پایداری مرسوم، به کار گرفت.