دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر

مدل سازی کنترل کننده جامع توان بر اساس عناصر مداری

نگارش:

کیومرث سبزواری

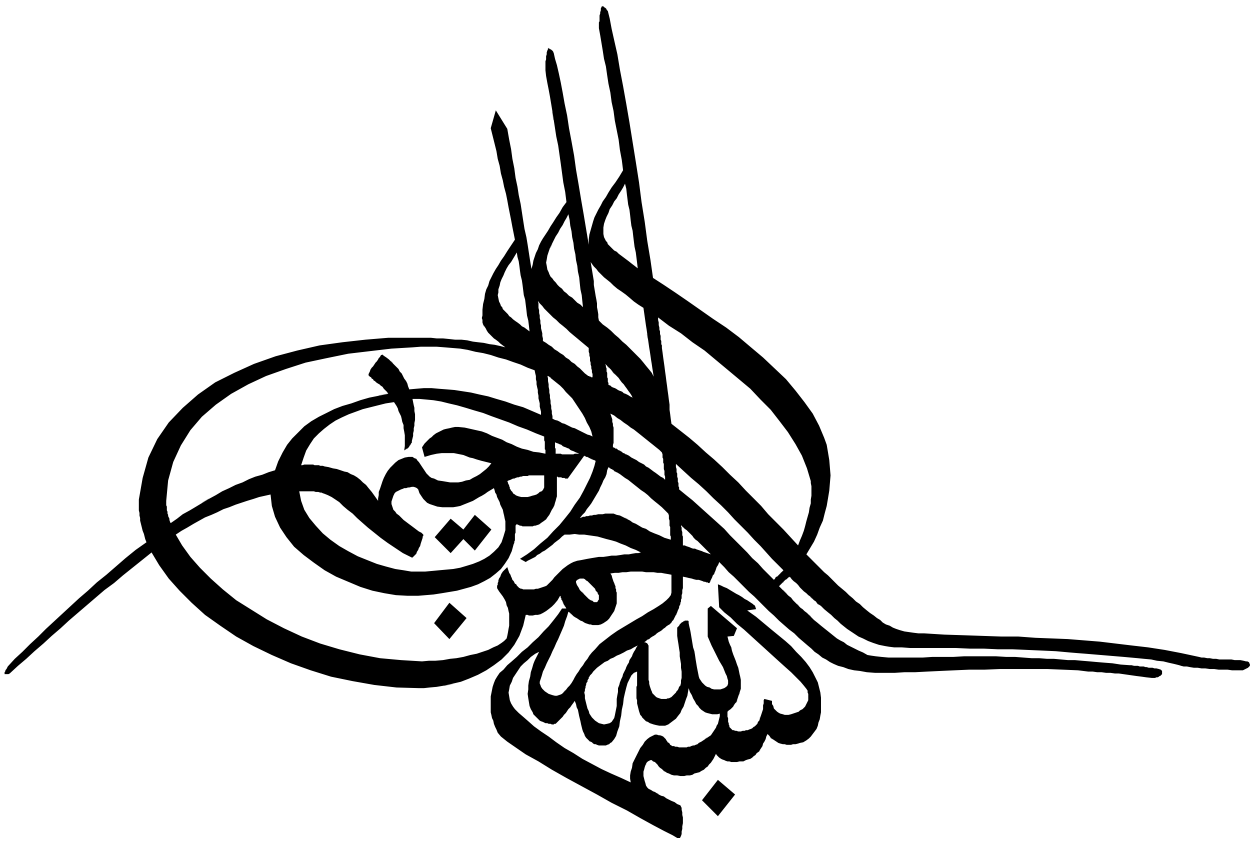
استاد راهنما: دکتر علی اکبر مطیع بیرجندی

استاد مشاور:دکتر محمد توکلی بینا

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته برق – قدرت

دی ۱۳۸۸


بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب کیومرث سبزواری متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن ها استفاده شده است ،مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع ومأخذ ذکر گردیده است . این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالا تر ارایه نشده است . در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درج اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می باشد.

کیومرث سبزواری

دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر

مدل سازی کنترل کننده جامع توان بر اساس عناصر مداری

نگارش:

کیومرث سبزواری

استاد راهنما: دکتر علی اکبر مطیع بیرجندی

استاد مشاور:دکتر محمد توکلی بینا

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته برق – قدرت

دی ۱۳۸۸

شماره: ۱۲/۱۸۶
تاریخ: ۸۹/۰۲/۲۴
پیوست:

بسمه تعالی

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای **کیومرث سبزواری** رشتهٔ: **مهندسی‌برق–قدرت** با عنوان **مدل سازی کنترل کننده جامع توان بر مبنای عناصر**، که در تاریخ ۸۸/۱۰/۲۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☐ قبول (بادرجه عالی ۱۸/۷۵) ☐ امتیاز .....) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـ عالی (۲۰ – ۱۸) همه داوران رضایت دادند

۲ ـ بسیار خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۳ ـ خوب (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۴ ـ قابل قبول (۱۳/۹۹ – ۱۲)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر علی‌اکبر مطیع‌بیرجندی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر محمد توکلی بینا	دانشیار	
استاد داور داخلی	دکتر رضا قندهاری	مربی	
استاد داور خارجی	دکتر سعید افشارنیا	دانشیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر جلال ولی الهی	استادیار	

دکتر علی‌اکبر مطیع بیرجندی
رئیس دانشکده مهندسی برق

تهران، لویزان، کد پستی: ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳-۱۶۷۸۵
تلفن: ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۳۳
Email: sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تشکروقدردانی

با نام و یاد پروردگار مهربان که همهٔ موجودات از ازل تا ابد به او نیازمندند. حق این است که در تمامی مراحل زندگی هر موفقیتی که داشته‌ام از آن اوست و با صلوات بر محمد(ص) و آل پاکش(ع) که در لحظه لحظهٔ زندگی، دعای خیر آن بزرگواران را در حق خویش بارها و بارها لمس کرده‌ام.

پیش از همه، از پدر و مادرم، دو فرشتهٔ مهربانِ آسمانی که خداوند برایم فرستاد تا مرا از کودکی با عشق بپرورند و به مسیر کمال رهنمون سازند با تمام وجود سپاسگزارم، الحق نمی‌توانم محبت‌هایشان را جبران کنم. از **همسرم و پسرم** که با صبر و شکیبایی در تمام طول دورهٔ کارشناسی ارشد همراهم بوده و هستند و قطعا بدون کمک‌های آنها طی این دوره برایم غیرممکن می‌نمود، صمیمانه سپاسگزارم. از استاد گرانقدر **جناب آقای دکتر علی اکبر مطیع بیرجندی** (استا راهنما) و **جناب آقای دکتر محمد توکلی بینا** (استاد مشاور)و گروه محترم قدرت دانشکده برق دانشگاه شهید رجائی که صمیمانه مرا راهنمایی کردند و قدم به قدم به سوی هدف پیش بردند، کمال تشکر وامتنان را دارم که فی‌الواقع هرچه دراین دوره آموختم از زحمات این بزرگواران بوده است.

بر خود لازم می‌دانم از همهٔ دوستانی که در مراحل مختلف تحصیل داشته‌ام و در پیشرفتم سهیم می‌باشند، تشکر نمایم.

چکیده

اخیرا سیستم‌های FACTS در خطوط و سیستم‌های انتقال نقش قابل‌توجهی پیدا کرده‌اند به نحوی که از آنها می‌توان در تغییر پارامترهای سیستم قدرت به‌منظور کنترل توان جاری و پایداری سیستم استفاده نمود. علاوه براین فناوری FACTS توانایی افزایش توان جاری در خطوط تا سطوح مشخص و قابل انتقال را دارد. UPFC بعنوان یکی از بهترین صورت‌های فناوری FACTS مطرح و شناخته شده است که ترکیبی از جبران‌سازی سریع سری و موازی است و لذا می‌تواند کنترل توان اکتیو و راکتیو را دررسیدن به حداکثر توان قابل انتقال انجام دهد و پایداری سیستم، بهبود کیفیت توان و قابلیت اطمینان را فراهم نماید. بنابراین ارایه مدل مناسبی از UPFC جهت مطالعه شبکه و پخش بار در خطوط انتقال انرژی مورد توجه متخصصین بوده است. در این راستا مدل‌هایی از UPFC در حالت پایدار ارایه شده است که در این پایان‌نامه علاوه بر معرفی مدل‌های موجود و بررسی نقاط ضعف آنها به ارایه مدل جدیدی از UPFC در حالت ماندگار پرداخته می‌شود. در این مدل با دانستن مقدار توان اکتیو و راکتیوی که مبدل‌سری باید به شبکه تزریق نماید، مبدل سری کنترل‌کننده توان با یک مقاومت منفی و یک راکتانس سلفی یا خازنی مدل‌سازی می‌شود. مقاومت و راکتانس معادل مبدل سری به صورت تابعی از ولتاژ شین‌ها ، زاویه بار، ولتاژ تزریقی مبدل‌سری و زاویه آتش مبدل سری می‌باشند. روابط این مدل در یک سیستم دو شینه بدست آمده و در یک سیستم چهارده و سی شینه استاندارد شبیه‌سازی شده و نتایج آن با مدل تزریقی کنترل‌کننده جامع توان مقایسه گردیده است.

کلمات کلیدی

کنترل توان اکتیو، کنترل توان راکتیو، کنترل‌کننده جامع توان، جبران‌کننده سری، جبران‌کننده موازی پخش‌بار، پایداری ولتاژ

فهرست

پیشگفتار ۱

فصل اول: کنترل‌کننده جامع توان UPFC

۱- ۱- مقدمه ۴
۱-۲- کنترل‌کننده جامع توان UPFC ۴
۱-۳- عملکرد و قابلیت های کنترلی UPFC ۶
۱-۳-۱- UPFCبعنوان تنظیم کننده ولتاژ ۷
۱-۳-۲- UPFC بعنوان جبران کننده سری ۷
۱-۳-۳-UPFC بعنوان جابجاگر فاز ۸
۱-۳-۴- UPFC بعنوان کنترل کننده جامع توان ۹
۱-۴- قابلیت کنترل توان توسطUPFC ۹
۱- ۵- اصول کنترل توان اکتیو وراکتیو توسط UPFC ۱۳
۱- ۶- مقایسه کنترل‌کننده جامع توان و کنترل‌کننده های سری و تنظیم کنند ه های فاز ۱۶
۱-۶-۱- مقایسه UPFC با جبران کننده های سری ۱۶
۱-۶-۲- مقایسه UPFC با تنظیم کننده های فاز ۱۶
۱-۷- کنترل UPFC ۱۷
۱-۷-۱- کنترل عملکرد مبدل سری ۱۹
۱-۷-۱-۱- ۱- مد تزریق ولتاژ مستقیم ۲۰
۱-۷-۱-۲- مد جبرانسازی امپدانس خط ۲۰
۱-۷-۱-۳- مد تنظیم زاویه فاز ۲۰
۱-۷-۱-۴- مد کنترل اتوماتیک توان جاری شده ۲۰
۱-۷-۲- جبرانسازی سری و موازی تنها ۲۱
۱-۷- ۳- سیستم کنترل پایه برای کنترل P و Q ۲۱
۱- ۸- کاربرد عملی UPFC ۲۴
۱-۹- نتیجه گیری ۲۵

فصل دوم: بررسی مدل‌های کنترل‌کننده جامع توان

۲-۱- مقدمه ۲۷
۲-۲- مدل UPFC بر مبنای منابع ولتاژ ۲۸
۲-۲-۱- مدل مبدل سری ۲۹
۲-۲-۲- مدل مبدل موازی ۳۲
۲-۳- مدل UPFC بر اساس منبع ولتاژ وجریان ۳۳
۲-۳-۱- افزایش حد پایداری ولتاژ توسط UPFC ۳۵
۲-۴- مدل تزریقی UPFCوترکیب آن با مدل π خط ۳۶

فهرست

۲-۵- مدل هیبرید UPFC با در نظر گرفتن تلفات ۳۹
۲ - ۶- نتیجه گیری ۴۴

فصل سوم : مدل سازی کنترل‌کننده جامع توان بر اساس عناصر مدار

۳-۱- مقدمه ۴۶
۳-۲- مدل سازی UPFC براساس عناصر مدار غیر فعال در مدل تقریبی خط ۴۷
۳-۲-۱- مدل سازی UPFC بر اساس مدل p و q ۴۸
۳ -۲- ۲- مدل سازی UPFC بر اساس توان تزریقی مبدل سری ۵۳
۳-۲- ۲- ۱- محاسبه توان اکتیو و راکتیو جذب شده توسط شین R در سیستم قدرت با مدل منبع ولتاژی کنترل‌کننده جامع توان ۵۵
۳-۲- ۲- ۲- محاسبه توان اکتیو و راکتیو جذب شده توسط شین R در سیستم قدرت با مدل جدید بر اساس عناصر مداری ۵۶
۳-۲- ۲- ۳- محاسبه مستقیم مقاومت وراکتانس معادل مبدل سری از طریق دامنه و فاز ولتاژ شین و مبدل سری ۵۸
۳-۳- مدل سازی UPFC براساس عناصر مداردر مدل دقیق خط ۶۰
۳-۴- نتیجه گیری ۶۴

فصل چهارم : شبیه سازی مدل کنترل‌کننده جامع توان بر اساس عناصر مداری

۴-۱- مقدمه ۶۶
۴-۲- شبیه سازی مدل جدید کنترل‌کننده جامع توان بر اساس عناصر مداری مقاومت و راکتانس در سیستم قدرت ۱۴ شینه با مدل تقریبی خط انتقال ۶۷
۴- ۲- ۱- نتایج شبیه سازی روی سیستم قدرت ۱۴ شینه ۶۸
۴-۲-۱- الف - نتایج پخش بار بدون حضور کنترل‌کننده جامع توان ۶۸
۴-۲-۱- ب- نتایج پخش بار با حضور کنترل‌کننده جامع توان ۶۹
۴-۲-۱- ج- شبیه سازی کنترل‌کننده جامع توان بر اساس مدل تزریقی در شبکه ۱۴ شینه با مدل تقریبی خط انتقال ۷۵
۴-۳- شبیه سازی سیستم قدرت ۱۴ شینه با مدل جدیدUPFC بر اساس عناصر مداری در مدل دقیق خط انتقال ۷۹
۴-۳-۱- نتایج محاسبات پخش بار سیستم قدرت در مدل دقیق خط بدون UPFC ۷۹
۴-۳-۲- نتایج محاسبات پخش بار سیستم قدرت ۱۴شینه در مدل دقیق خط با حضور مدل جدید UPFC ۸۱
۴-۴- نتایج محاسبات پخش باردر سیستم قدرت ۳۰شینه ۸۳
۴-۴-۱- نتایج پخش بار بدون حضور کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه با درنظر گرفتن مدل دقیق خط انتقال ۸۴
۴-۴-۲- نتایج پخش بار با حضور مدل جدید کنترل‌کننده جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه با درنظر گرفتن ۸۷
۴-۵- نتیجه گیری ۹۳

فهرست

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۹۵
۵-۲- پیشنهادات ۹۷

فهرست جداول

۱- جدول (۴-۱) دامنه و زاویه ولتاژ باسها در سیستم ۱۴قدرت شینه بدون حضور کنترل کننده جامع توان ۶۸
۲- جدول (۴-۲) توان اکتیو و راکتیو و تلفات توان خطوط انتقال در سیستم قدرت ۱۴ شینه بدون حضور کننده جامع توان..... ۶۹
۳- جدول (۴-۳) دامنه و زاویه ولتاژ باسها در سیستم قدرت ۱۴ با حضورمدل جدید کنترل کننده جامع توان ۷۲
۴- جدول (۴-۴) توان اکتیو و راکتیو و تلفات توان خطوط انتقال در سیستم قدرت ۱۴ شینه با حضور کنترل کننده جامع توان ۷۳
۵- جدول (۴-۵) دامنه و زاویه ولتاژ باسها در سیستم قدرت ۱۴شینه با حضورمدل تزریقی کنترل کننده جامع توان ۷۷
۶- جدول (۴-۶) توان اکتیو و راکتیو و تلفات توان خطوط انتقال در سیستم قدرت ۱۴ شینه با حضور مدل جدید کنترل کننده جامع توان ۷۸
۷- جدول (۴-۷) مقایسه ولتاژ شین ۵ و توان خط ۱-۵ بدون حضور و با حضور مدل جدید و مدل تزریقی کنترل کننده جامع توان ۷۸
۸- جدول (۴-۸) دامنه و زاویه ولتاژ باسها در سیستم قدرت ۱۴ شینه با مدل دقیق خط بدون حضور کنترل کننده جامع توان ۸۰
۹- جدول (۴-۹) توان اکتیو و راکتیو و تلفات توان خطوط انتقال در سیستم قدرت ۱۴ شینه با مدل دقیق خط بدون حضور کنترل کننده جامع توان ۸۰
۱۰- جدول (۴-۱۰) دامنه و زاویه ولتاژ باسها با حضورمدل جدید کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۱۴ شینه با مدل دقیق خط انتقال ۸۱
۱۱- جدول (۴-۱۱) توان اکتیو و راکتیو و تلفات توان خطوط انتقال با حضورمدل جدید کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۱۴ شینه با مدل دقیق خط انتقال ۸۲
۱۲- جدول (۴-۱۲) مقایسه ولتاژ شین ۵ و توان خط ۱-۵ با حضور مدل جدید کنترل کننده جامع توان در مدل تقریبی و دقیق خط انتقال ۸۲
۱۳- جدول (۴-۱۳) دامنه و زاویه ولتاژ باسها بدون حضورمدل جدید کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه با مدل دقیق خط انتقال ۸۵
۱۲- جدول (۴-۱۴) توان اکتیو و راکتیو و تلفات توان خطوط انتقال بدون حضورمدل جدید کنترل جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه با مدل دقیق خط انتقال ۸۶
۱۳- جدول (۴-۱۵) دامنه و زاویه ولتاژ باسها با حضورمدل جدید کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه با مدل دقیق خط انتقال ۹۰
۱۴- جدول (۴-۱۶) مقایسه ولتاژ شین ۵ و توان خط ۲-۵ بدون حضور و با حضور مدل جدید کنترل جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه ۹۰
۱۵- جدول (۴-۱۷) توان اکتیو و راکتیو و تلفات توان خطوط انتقال با حضورمدل جدید کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه با مدل دقیق خط انتقال ۹۱

فهرست نمودارها

۱- شکل (۴-۲)نمودار تغییرات توان اکتیو عبوری از خط ۵-۱ با حضور UPFC و به ازای تغییرات دامنه و فاز ولتاژمبدل سری..... ۷۰

۲- شکل (۴-۳) نمودار تغییرات توان راکتیو عبوری از خط ۵-۱ با حضور UPFC و به ازای تغییرات دامنه و فاز ولتاژ مبدل سری ۷۰

۳- شکل (۴-۴) نمودار تغییرات توان راکتیو عبوری از خط ۵-۱ بر حسب توان اکتیو به ازای تغییرات دامنه و فاز ولتاژ مبدل سری ۷۱

۴- شکل (۴-۵) نمودارمنحنی توان اکتیو عبوری از خط ۱-۵ با و بدون حضور کنترل کننده جامع توان ۷۴

۵- شکل (۴-۶) نمودارمنحنی توان راکتیو عبوری از خط ۱-۵ با و بدون حضور کنترل کننده جامع توان ۷۴

۶- شکل (۴-۹) نمودار مقایسه توان اکتیو عبوری از خط ۱- ۵ بدون حضور و با حضور مدل جدید و تزریقی UPFC ۷۹

۷- شکل (۴-۱۰) نمودار مقایسه توان راکتیو عبوری از خط ۱- ۵ با حضور مدل جدید UPFC در مدل تقریبی و دقیق خط ۸۳

۸- شکل (۴-۱۲)نمودار تغییرات توان اکتیو خط ۲- ۵ با حضور مدل جدید کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه و مدل دقیق خط انتقال ۸۷

۹- شکل (۴-۱۳)نمودار تغییرات توان راکتیو خط ۲- ۵ با حضور مدل جدید کنترل کننده جامع توان سیستم قدرت ۳۰ شینه و مدل دقیق خط انتقال ۸۸

۱۰- شکل (۴-۱۴) نمودارتغییرات توان اکتیو بر حسب توان راکتیو خط ۲- ۵ با حضور مدل جدید کنترل کننده جامع توان در سیستم قدرت ۳۰ شینه و مدل دقیق خط انتقال ۸۸

۱۱- شکل (۴-۱۵)نمودار توان اکتیو عبوری از خط ۲-۵ با و بدون حضور کنترل کننده جامع توان ۹۲

۱۲- شکل (۴-۱۶) نمودارتوان راکتیو عبوری از خط ۲-۵ با و بدون حضور کنترل کننده جامع توان ۹۲

فهرست شکل ها

۱- شکل (۱-۱) نمایش مفهومی UPFC یک سیستم قدرت دو ماشینه ۵
۲- شکل (۱-۲) ساختار UPFC ۵
۳- شکل (۱-۳) سیستم قدرت دو ماشینه ۷
۴- شکل (۱-۴) کنترل کننده به عنوان تنظیم کننده ولتاژ ۷
۵- شکل (۱-۵) کنترل کننده به عنوان جبران کننده سری ۸
۶- شکل (۱-۶) کنترل کننده به عنوان جابجاگر فاز ۸
۷- شکل (۱-۷) کنترل کننده به عنوان کنترل جامع توان ۹
۸- شکل (۱-۸) محدوده توان اکتیو قابل انتقال و تقاضای توان راکتیو طرف دریافت کننده بر حسب زاویه انتقال در خط کنترل شده با UPFC ۱۲
۹- شکل (۱-۹) الف- نمایش دیاگرام فازوری UPFC ب- تغییرات توان اکتیو و راکتیو در طرف دریافت کننده و توان اکتیو وراکتیو تامین شده توسط UPFC ۱۳
۱۰- شکل (۱-۱۰) الف- توان قابل انتقال P_0 و تقاضای توان راکتیو Q_{0r} بر حسب زاویه انتقال یک سیستم دو ماشینه ب- مکان هندسی Q_{0r} برحسب P_0 ..... ۱۴
۱۱- شکل (۱-۱۱) منطقه کنترل قابل حصول توان اکتیو و تقاضای توان راکتیو طرف دریافت کننده در خط انتقال کنترل شده با UPFC در ا لف- $\delta = 0$ ب= $\delta = 30$ ج- $\delta = 60$ د- $\delta = 90$ ۱۵
۱۲- شکل (۱-۱۲) طرح کنترل پایه برای UPFC ۱۸
۱۳- شکل (۱-۱۳) ساختار کامل کنترلی UPFC ۱۹
۱۴- شکل (۱-۱۴) بلوک دیاگرام کاری کنترل مبدل سری ۲۲
۱۵- شکل (۱- ۱۵) بلوک دیا گرام کاری کنترل مبدل موازی برای کار با ولتا ژ اتصال DC ثابت ۲۲
۱۶- شکل (۱-۱۶) بلوک دیاگرام کاری کنترل موازی برای کار با ولتاژ اتصال DC متغیر ۲۴
۱۷- شکل (۲-۱) دیاگرام کنترل کننده جامع توان ۲۸
۱۸- شکل (۲-۲) مدل UPFC بر مبنای منابع ولتاژ ۲۹
۱۹- شکل (۲-۳) مدل مبدل سری بر مبنای منبع جریان و امپدانس موازی ۲۹
۲۰- شکل (۲-۴) مدل مبدل سری بر اساس منابع جریان ۳۰
۲۱- شکل (۲-۵) مدل مبدل سری بر مبنای امپدانس و توانهای مختلط ۳۰
۲۲- شکل (۲-۶) مدل مبدل موازی ۳۲
۲۳- شکل (۲-۷) مدل مبدل موازی بر اساس توان ۳۲
۲۴- شکل (۲-۸) مدل مبدل موازی براساس توان اکتیو و توان راکتیو ۳۲
۲۵- شکل (۲-۹) مدل نهایی UPFC براساس توان مختلط و امپدانس سری ۳۳
۲۶- شکل (۲-۱۰) کنترل کننده جامع توان قرار گرفته در سیستم قدرت دو شینه ۳۳
۲۷- شکل (۲-۱۱) مدل UPFC بر مبنای منابع ولتاژ و جریان ایده ال ۳۴
۲۸- شکل (۲-۱۲) دیاگرام فازوری ولتاژ شین M ۳۴
۲۹- شکل (۲-۱۳) سیستم قدرت دو شینه متصل به شین بی نهایت ۳۵
۳۰- شکل (۲-۱۴) منحنی $P-V$ سیستم برای انواع مختلف ضریب توان ۳۵
۳۱- شکل (۲-۱۵) مدار معادل مدل حالت ماندگار UPFC و مدل π خط ۳۶
۳۲- شکل (۲-۱۶) مدل π تزریقی UPFC قرار داده شده در خط ۳۸

فهرست شکل ها

۳۳- شکل (۲-۱۷) مدل π تزریقی UPFC قرار داده شده در خط بر حسب توانهای مختلط ۳۹
۳۴- شکل (۲-۱۸) مدل UPFCبادر نظر گرفتن تلفات آن ۴۰
۳۵- شکل (۲-۱۹) دیاگرام برداری جریانهای مدل UPFC با تلفات ۴۱
۳۶- شکل (۲-۲۰) مدل UPFC بر مبنای ولتاژ با تلفات (هیبرید) ۴۳
۳۷- شکل (۳-۱) کنترل‌کننده جامع توان در شبکه دوشینه ۴۸
۳۸- شکل (۳-۲) مدل کنترل‌کننده جامع توان بر اساس عناصر مداری ۴۸
۳۹- شکل (۳-۳) دیاگرام برداری جریان و ولتاژ ها درطرف فرستنده ۴۹
۴۰- شکل (۳-۴) دیاگرام برداری جریان و ولتاژ ها در طرف گیرنده ۴۹
۴۱- شکل (۳-۶) مدل سازی مبدل سری با مقاومت و راکتانس موازی ۵۴
۴۲- شکل (۳-۷) مدل کنترل‌کننده جامع توان بر اساس عناصر مداری سری ۵۹
۴۳- شکل (۳-۸) UPFC قرار گرفته در مدل دقیق خط ۶۰
۴۴- شکل (۳-۹) مدل مبدل سری کنترل‌کننده در مدل دقیق خط انتقال سیستم قدرت دو شینه ۶۳
۴۵- شکل (۴-۱) شبکه نمونه ۱۴ شینه استاندارد ۶۷
۴۶- شکل (۴-۷) مدل مبدل سری کنترل‌کننده جامع توان در سیستم قدرت دو شینه ۷۵
۴۷- شکل (۴-۸) مدل تزریقی مبدل سری کنترل‌کننده جامع توان ۷۶
۴۸- شکل (۴-۱۱) شبکه نمونه ۳۰ شینه استاندارد ۸۴

فهرست علائم و اختصارات

سیستم انعطاف پذیر انتقال AC	FACTS
کنترل توان اکتیو	Active Power Control
کنترل زاویه فاز	Control of Phase Angle
کنترل تزریق ولتاژ سری	Control of Series Voltage Injection
کنترل کننده های FACTS	Facts Controllers
کنترل کننده سیلان توان	Power flow Controller
کنترل توان اکتیو	Reactive Power Control
جبران سازی با خازن سری	Series Capacitor Compensation
جبران سازی سری	Series Compensation
تزریق ولتاژ سری	Series Voltage Injection
جبران ساز موازی	Shunt Compensator
جبران ساز استاتیکی	STATCOM
جبران ساز استاتیکی سنکرون سری	Static Synchronous Series Compensator[sssc]
جبران ساز استاتیکی توان راکتیو	Static VAR Compensator [SVC]
سیستم استاتیکی توان	Static VAR System
TCR با خازن ثابت	TCR-Fixed Capacitor [TCA – FC]
خازن سری کنترل شده با تریستور	Thyristor Controlled Series Capacitor [TCSC]
ترانسفورماتور جابجا کننده فاز کنترل شده با تریستور	Thyristor Controlled Phasa Shifting Transformer [TCPST]
راکتور کنترل شده با تریستور	Thyristor Controlled Reactor [TCR]
خازن سوئیچ شده با تریستور	Thyristor Switched Capacitor [TSC]
خازن سری سوئچ شده با تریستور	Thyristor Switched Series Capacitor [TSSC]
کنترل‌کننده یکپارچه سیلان توان	Unified Power Flow Controller [UPFC]

فهرست پیوست ها

پیوست الف ۹۸
۱- پارامترهای شبکه ۱۴ شینه استاندارد ۹۸
۲- پارامترهای شبکه ۳۰ شینه استاندارد ۱۰۱
پیوست ب ۱۰۴
۱- روش نیوتن رافسون ۱۰۴

مراجع ۱۱۰

پیشگفتار

تقاضا برای انرژی الکتریکی مخصوصا در کشورهای درحال توسعه رشد فزاینده‌ای دارد و هم اکنون به دلایل مختلفی، توسعه شبکه‌های قدرت، پاسخگوی نیاز انرژی در صنعت نیستند و همچنین ایجاد خطوط بیشتر برای انتقال توان، هزینه‌های هنگفتی را بر صنعت برق تحمیل می‌کند در چنین شرایطی، استفاده بهینه از شبکه موجود بهترین گزینه برای صنعت برق خواهد بود.

در اولین‌گام، باید پایداری دایمی و گذرای خطوط طولانی را تامین کرد، به این دلیل که انتقال توان در بعضی از خطوط، به علت مسایل پایداری محدود می شود در حالیکه ظرفیت حرارتی خط اجازه عبور توان‌های بیشتر را می دهد.

جنبه دیگر قضیه، انعطاف‌پذیری است که با توجه به تغییر ساختار شبکه‌های قدرت نیاز به یک سیستم قدرت انعطاف‌پذیر که تامین توان از مسیرهای مختلف را به راحتی ممکن سازد، احساس می شود. بنابراین برای از بین بردن محدودیتهای موجود در انتقال توان، تجهیزات جدیدی تحت عنوان ادوات FACTS[1] ساخته شدند که از کلیدهای الکترونیک قدرت برای کلید زنی استفاده می‌کنند و با توجه به طبیعتی که عناصرالکترونیک قدرتی دارند، می توان از خاصیت‌های پاسخ سریع و تغییرات مستمر در خروجی آنها استفاده کرد. یکی از کارآمدترین عناصرFACTS ، کنترل‌کننده جامع توان UPFC[2] می باشد، که از آن در کنترل توان اکتیو وراکتیو خطوط، تثبیت ولتاژ و پایداری سیستم استفاده می شود. برای محاسبات پخش بار در سیستم‌های قدرت با حضور UPFC مدل‌های متفاوتی از کنترل‌کننده جامع توان در حالت ماندگار ارایه شده است که و جه مشترک همه مدل‌ها این است که کنترل‌کننده جامع توان بصورت توان تزریقی به شین شبیه سازی می شود و این موضوع سبب پیچیده شدن محاسبات پخش‌بار، تغییر ساختار برنامه پخش‌بار، تغییر ماتریس ژاکوبین و عدم ارتباط بین توان تزریقی کنترل‌کننده جامع توان و زاویه آتش مبدل‌ها می شود. هدف از این پایان‌نامه ارایه مدل ساده‌ای از کنترل‌کننده جامع توان بر اساس عناصر مداری در حالت ماندگار است. بطوریکه در این مدل‌سازی، مبدل‌سری UPFC را با یک مقاومت و یک راکتانس جایگزین کنیم به این صورت که توان تزریقی مبدل سری با یک مقاومت منفی و توان راکتیو با توجه به نوع آن با یک راکتانس سلفی یا خازنی شبیه سازی شود. یکی از کاربردهای این مدل استفاده از آن برای محاسبات پخش‌بار سیستم قدرت با حضور کنترل‌کننده جامع توان می‌باشد. این مدل به سادگی در برنامه‌های پخش بار شرکت کرده و فقط سبب تغییر در ماتریس‌ادمیتانس می‌شود و همچنین مقاومت و راکتانس معادل مبدل سری کنترل‌کننده جامع توان بر حسب زاویه آتش مبدل ها بیان شوند.

ترتیب مطالب در این پایان‌نامه به این صورت است که در فصل‌اول به معرفی کنترل‌کننده جامع توان می‌پردازیم و مدهای کاری و ساختار کنترلی آن را بررسی می کنیم. در فصل دوم مدل‌های

---

[1] - Flexible AC Transmission System

[2] - Unified Power Flow Controller

حالت ماندگار UPFC را بررسی می‌کنیم. در فصل سوم مدلی از کنترل‌کننده جامع توان بر اساس عناصر مدار در حالت ماندگار ارایه می‌کنیم و در فصل‌چهارم مدل ارایه شده را در سیستم قدرت چهارده و سی شینه شبیه سازی کرده و محاسبات پخش بار را بدست می‌آوریم و ضمن تحلیل نتایج ، محاسبات پخش بار را با مدل تزریقی UPFC که یکی از مدل‌های موجود است ، مقایسه می‌کنیم. و در فصل پنجم نتایج به دست آمده را مطرح و پیشنهاداتی جهت ادامه روند مطالعات ارایه می کنیم.

فصل اول

کنترل کننده جامع توان UPFC

۱ ۱ -مقدمه

در این فصل درراستای آشنایی با مدل‌های کنترل‌کننده جامع توان در حالت ماندگار ، ابتدا ساختمان کنترل‌کننده جامع توان را شرح داده و سپس عملکرد و توانایی آن را در کنترل مستقل توان اکتیو و راکتیو بیان کرده و مدهای کاری UPFC را بیان می‌کنیم و در ادامه ساختار کنترلی کنترل‌کننده جامع توان گفته می شود و آنرا با دیگر جبران‌کننده‌ها مقایسه می کنیم و در پایان فصل یک نمونه از کاربرد عملی کنترل‌کننده جامع توان در سیستم قدرت بیان می شود.

۱-۲-کنترل کننده جامع توان UPFC

مفهوم کنترل‌کننده جامع توان برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ توسط آقای "گایوگی" [1] ارایه شد[۱]. در واقع UPFC برای کنترل توان خط انتقال و جبران‌سازی برای حل بسیاری از مسایل رویاروی صنعت برق ، بنا نهاده شده است. در چهار چوب مفاهیم سنتی انتقال توان، UPFC قادر به کنترل همزمان یا انتخابی تمام پارامترهای موثر برجاری شدن توان در خط انتقال یعنی : ولتاژ، امپدانس و زاویه فاز است . واین قابلیت منحصر به فرد با قید " یکپارچه" در نام آن معنی یافته است علاوه برآن می تواند به صورت مستقل، دو توان اکتیو و راکتیو را در خط کنترل کند. از دیدگاه مفهومی، UPFC یک منبع ولتاژ سنکرون (SVS) تعمیم یافته است که در فرکانس مولفه اصلی، با فازور V_{pq} $(0 \le V_{pq} \le V_{pq\max})$ وزاویه فاز ρ $(0 \le \rho \le 2\pi)$ نمایش داده می‌شود و به صورت سری با خط انتقال قرار می‌گیرد که مقدار دامنه و زاویه ولتاژ قابل کنترل می‌باشد. همانگونه که برای سیستم ساده دو شینه شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

در این ترکیب SVS[2] به طور کلی هم توان حقیقی و هم توان راکتیو با سیستم انتقال مبادله می‌کند. از آنجایی که طبق مباحث مطرح شده در قسمت‌های قبل یک SVS قادر است فقط توان راکتیو مبادله شده را تولید کند، توان اکتیو باید به وسیله یک منبع تامین توان یا مصرف کننده مناسب برای آن تامین یا از آن جذب شود. در آرایش UPFC توان اکتیوی که SVS مبادله می‌کند همان طور که در شکل هم نشان داده شده است به وسیله یکی از شینه‌های ابتدا یا انتهای خط فراهم می‌شود[۱] .

[1] -Gyugyi
[2] -Synchronous Voltage Source