دانشگاه سیستان و بلوچستان
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته برق- قدرت

عنوان:

جایابی ادوات FACTS به منظور مدیریت تراکم در سیستمهای قدرت

اساتید راهنما:

دکتر سید مسعود برکاتی

دکتر سید سعید توکلی افشاری

استاد مشاور:

دکتر علی اکبر قره ویسی

تحقیق و نگارش:

ابراهیم حجتی نجف آبادی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

تابستان ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان .....
قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد ..... توسط دانشجو ..... با راهنمایی استاد پایان نامه ..... تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

(نام و امضاء دانشجو)

این پایان نامه ..... واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ..... توسط هیئت داوران بررسی و درجه ..... به آن تعلق گرفت.

نام و نام خانوادگی **امضاء** **تاریخ**

استاد راهنما:

استاد راهنما:

استاد مشاور:

داور ۱:

داور ۲:

نماینده تحصیلات تکمیلی:

دانشگاه سیستان و بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب ..... تعهد می کنم که مطالب مندرج در ایـن پایـان نامـه حاصـل کـار پژوهشـی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یـا بـالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو:

امضاء

تقدیم به:

روح آسمانی مادر فداکارم

که یگانه فرشته زندگیم بود؛

پدر بزرگوارم

که در فراز و نشیب ها راهنمایم بود؛

خواهر مهربان و برادر عزیزم

که همدم بودند و یاریم نمودند؛

و اینک سپاس...

سپاسگزاری

حمد و سپاس خداوند متعال را که عنصر اندیشه در وجودم نهاد و نعمت آموختن را به من ارزانی داشت.
بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی دریغ اساتید خود جناب آقای دکتر سید مسعود برکاتی و جناب آقای دکتر سید سعید توکلی که همواره در طول مدت تحصیل و طی مراحل مختلف پروژه از راهنمایی‌هایشان به عنوان اساتید راهنما بهره برده‌ام، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.
همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر علی اکبر قره ویسی به خاطر راهنمایی‌هایشان در طی مراحل مختلف پروژه به عنوان استاد مشاور تشکر و قدردانی می‌نمایم.
از جناب آقای دکتر مجید علومی و جناب آقای دکتر محمود اوکاتی که داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند و دلسوزانه مرا راهنمایی نمودند، سپاسگزارم.

چکیده:

عبور توان در مسیرهای ناخواسته و عدم بهره‌برداری کامل از ظرفیت واقعی خطوط انتقال، از مشکلات عمده در بهره‌برداری از سیستم قدرت می‌باشند. با پیشرفت صنعت نیمه‌هادی‌ها و ظهور سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر جریان متناوب (FACTS)، امکان استفاده بهتر از ظرفیت خطوط انتقال فراهم شده است. به این ترتیب نیاز به احداث خطوط جدید که تحمیل کننده هزینه‌های زیادی است، کاهش می‌یابد. اما در بهره‌برداری از این ادوات یافتن مکان و اندازه بهینه آن‌ها بسیار مهم است. روش‌های مختلفی از جمله ضرایب حساسیت و الگوریتم‌های تکاملی برای تعیین مکان و اندازه بهینه این ادوات استفاده می‌شوند. در این پایان‌نامه، مدیریت تراکم با استفاده از ادوات FACTS بررسی می‌شود. پس از بررسی مساله تراکم در خطوط شبکه قدرت، روش‌های مدیریت تراکم به اختصار بیان می‌گردد. سپس به معرفی ادوات FACTS و مدلسازی این ادوات به منظور الحاق به برنامه‌های پخش بار حالت دائمی پرداخته می‌شود. الگوریتم‌های تکامل تفاضلی، ترکیب ژنتیک و ازدحام ذرات، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات چند هدفه به عنوان ابزارهایی برای تعیین مکان و اندازه این ادوات استفاده می‌شوند.

کلمات کلیدی: مدیریت تراکم - ادوات FACTS - الگوریتم‌های تکاملی – جواب بهینه پرتو

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- مطالب فصل‌های دیگر ۴
فصل دوم: تراکم انتقال و مدیریت آن ۶
۲-۱- مقدمه..... ۷
۲-۲- تراکم در شبکه قدرت ۷
۲-۳- مدیریت تراکم و روش‌های آن ۱۰
۲-۳-۱- روش‌های فنی..... ۱۰
۲-۳-۲- روش‌های غیر فنی ۱۰
۲-۴- مروری بر کارهای انجام شده در مدیریت تراکم..... ۱۶
۲- ۴- ۱- تاثیر تولید پراکنده در مدیریت تراکم..... ۱۶
۲-۴-۲- مدیریت تراکم در بازار برق..... ۱۷
۲- ۴- ۳- ادوات FACTS و مدیریت تراکم..... ۲۰
فصل سوم: سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS) ۲۳
۳-۱- مقدمه ۲۴
۳-۲- انواع ادوات FACTS ۲۵
۳-۲-۱- جبرانساز استاتیک توان راکتیو (SVC) ۲۶
۳-۲-۲- خازن سری کنترل شده با تایرستور (TCSC) ۲۸
۳-۲-۳- ترانسفورماتور شیفت دهنده فاز (PST/PAR) ۳۰
۳-۲-۴- جبرانساز سنکرون استاتیک (STATCOM) ۳۱
۳-۲-۵- جبرانساز سری سنکرون استاتیک (SSSC) ۳۳
۳-۲- ۶- کنترل‌کننده عبور توان بین خطوط (IPFC) ۳۴
۳-۲-۷- کنترل‌کننده یکپارچه توان (UPFC) ۳۵
۳-۲- ۸- جبرانساز استاتیک تغییرپذیر(CSC) ۳۷
۳-۳- مدلسازی ادوات FACTS ۳۹
۳- ۳- ۱- مدل حالت ماندگار SVC ۳۹
۳-۳-۲- مدل حالت ماندگار TCSC ۴۰
۳-۳-۳- مدل حالت ماندگار STATCOM ۴۲
۳-۳-۴- مدل حالت ماندگار UPFC ۴۳
۳-۴- مزایای ادوات FACTS ۴۶

۳-۵- هزینه‌های سرمایه گذاری ادوات FACTS ۴۷
۳- ۵- ۱- هزینه‌های تجهیزات ادوات FACTS ۴۷
۳- ۵- ۲- هزینه‌های زیربنایی ادوات FACTS ۴۸
فصل چهارم: بهینه سازی با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی ۵۱
۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- بهینه سازی تک هدفه ۵۳
۴-۳- بهینه سازی چند هدفه ۵۴
۳- ۴- ۱- مجموعه جواب بهینه پرتو ۵۵
۴- ۳- ۲- انتخاب یک جواب از مجموعه پرتو ۵۶
۴-۴- تبدیل مساله چند هدفه به مساله تک هدفه..... ۵۷
۴- ۴- ۱- روش تحلیل سلسله مراتبی ۵۸
۴-۵- مروری بر چند روش بهینه سازی ۵۹
۴- ۵- ۱- بهینه سازی تک هدفه با الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) ۵۹
۴- ۵- ۲- بهینه سازی تک هدفه با ترکیب ژنتیک و ازدحام ذرات (HGAPSO) ... ۶۱
۴- ۵- ۳- بهینه سازی چند هدفه با الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب ۶۳
۴- ۵- ۴- الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ازدحام ذرات (MOPSO) ۶۵
۴-۶- نتیجه‌گیری ۶۶
فصل پنجم: شبیه‌سازی‌ها و نتایج ۶۸
۵-۱- مقدمه ۶۹
۵-۲- مدیریت تراکم با تغییر در آرایش تولید و مکان یابی SVC..... ۶۹
۵-۳- مدیریت تراکم با تعیین مکان و اندازه بهینه SVC و TCSC..... ۷۶
۵-۳-۱- سیستم نمونه ۱۴ باسه ۷۶
۵-۳-۲- سیستم نمونه ۳۰ باسه IEEE ۸۳
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۸۹
۶-۱- مقدمه ۹۰
۶-۲- نتیجه‌گیری ۹۰
۶-۳- پیشنهادات ۹۱
مراجع ۹۳
پیوست‌ها ۱۰۲
پیوست (الف) - **اطلاعات سیستم نمونه ۱۴ باسه IEEE**..... ۱۰۲
پیوست (ب) - **اطلاعات سیستم نمونه ۳۰ باسه IEEE**..... ۱۰۵

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۳- ۱. مهمترین تفاوت‌های SVC و STATCOM ۳۳

جدول ۳- ۲. کارکردهای مختلف CSC بر اساس نحوه اتصال ۳۸

جدول ۴- ۱ : درجه اهمیت عبارات زبانی ۵۸

جدول ۵- ۱: پارامترهای الگوریتم تکامل تفاضلی ۷۲

جدول ۵- ۲: پارامترهای الگوریتم ترکیب ژنتیک و ازدحام ذرات ۷۲

جدول ۵- ۳: ساختار هر رشته تولید شده توسط الگوریتم‌های بهینه سازی ۷۲

جدول ۵- ۴: نتایج حاصل از بهینه سازی ۷۳

جدول ۵- ۵: تاثیر بهینه سازی در بهبود دامنه ولتاژ باس‌ها ۷۳

جدول ۵- ۶: نسبت تراکم و تلفات خطوط قبل و بعد از بهینه سازی ۷۴

جدول ۵- ۷: هزینه تولید ژنراتورها و هزینه SVC ۷۵

جدول ۵- ۸: پارامترهای الگوریتم بهینه سازی ۷۹

جدول ۵- ۹: ساختار رشته‌های تولید شده توسط الگوریتم بهینه‌سازی ۷۹

جدول ۵-۱۰: بهترین جواب‌ها ۸۱

جدول ۵-۱۱: میزان تولید ژنراتورها ۸۱

جدول ۵-۱۲: هزینه‌ها به ازای بهترین جواب‌ها ۸۲

جدول ۵-۱۳: بهترین جواب مصالحه ای هر الگوریتم برای سیستم نمونه ۳۰ باسه ۸۵

جدول ۵-۱۴: مقایسه بهترین جواب‌ها از لحاظ هزینه ۸۶

جدول ۵-۱۵: بررسی تنوع جواب‌های بهینه پرتو هر الگوریتم برای سیستم ۳۰ باسه ۸۷

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲- ۱. روش تقدم بر اساس نوبت ۱۲

شکل ۲- ۲. روش‌های مدیریت تراکم ۱۵

شکل ۳- ۱. ساختمان SVC و مشخصه V-I آن ۲۷

شکل ۳- ۲. انواع SVC ۲۸

شکل ۳- ۳. ساختار TCSC و نمودار P-V سیستم انتقال مجهز به TCSC ۲۹

شکل ۳- ۴. PST و نمودار فازوری ولتاژ جبران شده توسط PST ۳۰

شکل ۳- ۵. اتصال STATCOM به شبکه و مشخصه V-I آن ۳۱

شکل ۳- ۶. مقایسه مشخصه‌های ولتاژ- جریان SVC و STATCOM ۳۳

شکل ۳- ۷. ساختار SSSC و اتصال آن به شبکه ۳۴

شکل ۳- ۸. ساختار IPFC ۳۵

شکل ۳- ۹. ساختار UPFC و اتصال آن به شبکه ۳۶

شکل ۳- ۱۰. مدار معادل UPFC ۳۶

شکل ۳- ۱۱. دیاگرام تک خطی CSC ۳۷

شکل ۳- ۱۲. مدل سوسپتانس متغیر SVC ۳۹

شکل ۳- ۱۳. مدل راکتانس متغیر TCSC ۴۰

شکل ۳- ۱۴. مدار معادل STATCOM ۴۲

شکل ۳- ۱۵. هزینه‌های سرمایه گذاری نمونه برای SVC و STATCOM ۴۹

شکل ۳- ۱۶. هزینه‌های سرمایه گذاری نمونه برای TCSC و UPFC ۵۰

شکل ۳- ۱۷. منحنی‌های توابع هزینه ادوات FACTS ۵۰

شکل ۴- ۱ : حالت‌های مختلف خرید یک محصول نمونه ۵۴

شکل ۴- ۲ : محاسبه فاصله ازدحام در الگوریتم ژنتیک نامغلوب ۶۳
شکل ۵- ۱: دیاگرام تک خطی سیستم نمونه ۱۴ باسه IEEE ۷۱
شکل ۵- ۲: بهترین مقادیر تابع هدف در ۱۵ بار تکرار الگوریتم تکامل تفاضلی (DE) ۷۵
شکل ۵- ۳: بهترین مقادیر تابع هدف در ۱۵ بار تکرار الگوریتم ترکیب ژنتیک و ازدحام ذرات ۷۶
شکل ۵- ۴: دیاگرام تک خطی سیستم نمونه ۱۴ باسه تغییر یافته ۷۷
شکل ۵- ۵: مجموعه جواب‌های بهینه پرتو حاصل از الگوریتم NSGA-II ۸۰
شکل ۵-۶: دامنه ولتاژ باس‌ها به ازای بهترین جواب‌ها ۸۲
شکل ۵-۷: نسبت تراکم خطوط ۸۳
شکل ۵-۸: دیاگرام تک خطی سیستم ۳۰ باسه IEEE ۸۴
شکل ۵-۹: مجموعه‌های بهینه پرتو حاصل از شبیه سازی روی سیستم ۳۰ باسه ۸۴
شکل ۵-۱۰: دامنه ولتاژ باس‌ها برای سیستم ۳۰ باسه قبل و بعد از بهینه سازی ۸۶
شکل ۵-۱۱: نسبت تراکم خطوط قبل و بعد از بهینه سازی ۸۷

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

انرژی الکتریکی رایج ترین شکل انرژی است، زیرا به آسانی و با بازده بالا قابل انتقال است. همچنین به راحتی می‌توان آنرا به دیگر صورت‌های انرژی تبدیل کرد و مورد استفاده قرار داد. نزدیک به ۳۰٪ از منابع انرژی اولیه در جهان برای تولید انرژی الکتریکی به مصرف می‌رسد و قسمت عمده این انرژی بوسیله جریان متناوب در فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز انتقال یافته و توزیع می‌گردد. توان عبوری در یک خط انتقال، تابعی از امپدانس خط، اندازه ولتاژ پایانه‌های ارسال و دریافت و اختلاف زاویه بین این دو ولتاژ می‌باشد. سیستم‌های قدرت قدیمی که با توجه به توان مورد نیاز طراحی شده بودند، دارای ساختاری ساده بوده و میزان توان انتقالی در خطوط آنها نیز کم بود. همچنین سیستم‌های قدرت به منظور بازیابی از وضعیت‌های اضطراری نظیر قطع یا خروج ژنراتورها، خطوط انتقال و تجهیزات دیگر با حاشیه امنیت بالاتری طراحی می‌شدند. در نتیجه نیاز چندانی به استفاده بهینه از ظرفیت واقعی خطوط انتقال، که همان حد مجاز حرارتی آنها می‌باشد، احساس نمی‌شد و از این رو بهره وری کل سیستم قدرت نسبتا پایین بود.

با توسعه سیستم‌های قدرت و افزایش تقاضای برق، نیاز به تولید و انتقال انرژی الکتریکی افزایش یافت. از طرفی با اجرای تجدید ساختار و مقررات زدایی در صنعت برق، بهره برداری بهینه و اقتصادی از سیستم قدرت اهمیت چشمگیری یافت. سیستم‌های با دسترسی آزاد که منجر به ایجاد رقابت در تولید می‌شوند و به مصرف کنندگان حق انتخاب در مورد منبع خرید انرژی را می‌دهند، استفاده از حداکثر ظرفیت خطوط انتقال را بیش از پیش ضروری می‌نمایند.

به طور سنتی برای پاسخگویی به رشد تقاضای برق، پست‌ها و خطوط انتقال جدید طراحی شده و مورد بهره برداری قرار می‌گرفتند. این مساله موجب نیاز به تولید بیشتر به دلیل افزایش تلفات انتقال و همچنین هزینه‌های بیشتری برای خطوط و تجهیزات است. در دهه‌های اخیر با افزایش قیمت نفت و سایر سوخت‌های فسیلی که برای تولید برق در نیروگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیاز به بهره برداری اقتصادی و بهینه از سیستم‌های قدرت افزایش یافته است. با توجه به مشکلات مربوط به حریم خطوط انتقال و مسائل زیست محیطی و حقوقی، از توسعه و احداث شبکه‌های انتقال جدید تا حد امکان اجتناب می‌شود و سعی بر این است که از حداکثر ظرفیت انتقال استفاده شود و بخشی از انرژی مورد نیاز نیز از طریق تولیدات پراکنده تامین گردد، زیرا تولیدات پراکنده در نزدیکی بارها قرار می‌گیرند و توان تولیدی آنها عموما به طور مستقیم به بار می‌رسد و از خط انتقال عبور نمی‌کند.

به دلیل استفاده از حداکثر ظرفیت خط، بسیار اتفاق می‌افتد که توان عبوری از خطوط انتقال بیش از ظرفیت مجاز خط باشد. در شرایط رقابتی بازار برق به دلیل رقابت بین تولید کنندگان انرژی و مسائل قراردادی، اضافه بار در خطوط به صورت جدی تری رخ می‌دهد و باید به سرعت رفع گردد. به طور کلی وجود اضافه بار در خطوط به عنوان تراکم نامیده می‌شود. تراکم چه در یک خط باشد یا چندین خط، نباید بیش از چند لحظه کوتاه به طول بیانجامد، زیرا با ادامه این وضعیت احتمال قطع خط و حتی خاموشی‌های پشت سر هم نیز وجود دارد [۱]. تراکم در شبکه قدرت موجب بروز مشکلاتی می‌شود که از آن جمله می‌توان به کاهش امنیت و قابلیت اطمینان سیستم اشاره کرد.

به منظور رفع تراکم در خطوط انتقال، راه‌هایی وجود دارد که یکی از آنها ایجاد خطوط جدید است. این آخرین راه حل است و در صورتی که با روش‌های دیگر نتوان تراکم را رفع نمود، از این روش استفاده می‌شود. البته همانگونه که قبلا نیز ذکر شد، در برخی موارد به دلیل مشکلات حقوقی و زیست محیطی، امکان ایجاد خطوط جدید وجود ندارد.

روش دیگر برای حذف تراکم به کارگیری تولیدات پراکنده در نزدیکی بار است [۲]. به این ترتیب بخشی از توان مصرفی بار از طریق تولید پراکنده تامین شده و از بار خطوط انتقال کاسته می‌شود. از مهمترین منابع تولید پراکنده می‌توان به توربین‌های بادی، توربین‌های گازی کوچک و سلول‌های خورشیدی اشاره کرد.

روشهایی که بهره بردار سیستم در محیط‌های مبتنی بر بازار برق برای جلوگیری ازتراکم خطوط انتقال به کار می‌بندد، نباید تنها دید فنی داشته باشد، بلکه باید در برگیرنده دیدگاه تجاری منصفانه ای نسبت به استفاده‌کنندگان از سیستم نیز باشد. از مهمترین روش‌ها برای جلوگیری از تراکم در محیط بازار برق میتوان به روش‌های مبتنی بر قیمت گذاری و روش‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی مجدد و تمایل به پرداخت اشاره کرد.

با پیشرفت روز افزون صنعت نیمه‌هادی‌ها و استفاده از آنها در سیستم‌های قدرت، مفهوم سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)[1] ارائه شد. این طرح که شامل استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در سطح توان بالا، مراکز کنترل پیشرفته و نیز لینک‌های مخابراتی در سیستم‌های قدرت می‌باشد، که در سال ۱۹۹۰ در کمیته EPRI[2] مطرح گردید. ایده ای که در طرح سیستم‌های انتقال انرژی جریان متناوب انعطاف پذیر وجود داشت، کنترل پارامترهای سیستم انتقال در زمان حقیقی و در نتیجه تغییر سریع و تقریبا آنی سیلان توان، مطابق با وضعیت‌های ایجاد شده در سیستم بود. به این ترتیب ادوات FACTS به عنوان ابزاری

1- Flexible Alternative Current Transmission System
2- Electric Power Research Institute

برای مدیریت تراکم می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. این ادوات با تغییر در پارامترهای شبکه (امپدانس خط، دامنه ولتاژ و زاویه ولتاژ) به کنترل پخش توان در شبکه و کاهش توان عبوری از خطوط متراکم کمک می‌کنند. توسط این ادوات می‌توان بدون برنامه ریزی مجدد تولید، پخش توان را به طوری کنترل کرد که محدودیت‌های حرارتی از حد مجاز خود فراتر نروند، بارگذاری سیستم افزایش یابد و تلفات سیستم و هزینه تولید کاهش یابد. از پر کاربرد ترین ادوات FACTS که به منظور کنترل پخش توان به کار گرفته می‌شوند می‌توان به جبرانساز سری کنترل شونده با تایرستوری [1](TCSC)، کنترل کننده یکپارچه عبور توان [2](UPFC) و کنترل کننده عبور توان بین خطوط [3](IPFC) اشاره کرد.

برای اینکه ادوات FACTS اهداف مورد نیاز را به خوبی برآورده سازند باید مکان و اندازه بهینه آنها تعیین شود. در مقالات روش‌هایی برای یافتن مکان و اندازه بهینه این ادوات معرفی شده است. یکی از این روش‌ها مکان یابی بر اساس آنالیز حساسیت است. در این روش، مطایق با هدف مورد نظر، آنالیز حساسیت انجام می‌شود و مکان مناسب برای نصب بدست می‌آید. سپس با توجه به هزینه این ادوات بهینه ترین اندازه تعیین می‌گردد.

روش دیگر استفاده از الگوریتم‌های تکاملی و ابتکاری است که از جمله مهمترین آنها می‌توان از الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات، تکامل تفاضلی و ... نام برد. توسط این الگوریتم‌ها می‌توان مکان و اندازه بهینه ادوات FACTS را به صورتی که قیود بهره برداری رعایت شود و تابع هزینه کمینه گردد، تعیین کرد.

در این پایان نامه به تعیین مکان و اندازه بهینه ادوات FACTS به منظور رفع تراکم در شبکه با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی پرداخته شده است.

۱-۲-مطالب فصل‌های دیگر

در فصل دوم ابتدا مساله تراکم تعریف می‌شود. سپس روش‌های مدیریت تراکم مورد بررسی قرار خواهند گرفت. بخش آخر این فصل به مرور کارهای انجام شده در مدیریت تراکم اختصاص دارد. در فصل سوم انواع ادوات FACTS و متداول‌ترین ساختارهای این ادوات معرفی می‌شوند. سپس مدلسازی، هزینه‌ها و مزایای این ادوات مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل چهارم به مباحث بهینه‌سازی و الگوریتم‌های تکاملی اختصاص دارد. در این

1- Thyristor Controlled Series Compensator
2 - Unified Power Flow Controller
3 - Inter-line Power Flow Controller

فصل، ابتدا کلیاتی از بهینه‌سازی مطرح می‌شود. سپس الگوریتم‌های تکاملی مورد استفاده در این پایان‌نامه به اختصار توضیح داده می‌شود. در فصل ششم شبیه‌سازی‌ها و نتایج آورده می‌شود. فصل هفتم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات اختصاص دارد.

فصل دوم

تراکم انتقال و مدیریت آن

۲-۱- مقدمه

محدودیت انتقال توان در خطوط همواره گریبان گیر بهره برداران سیستم‌های قدرت بوده است. از آنجا که محل رخداد این تنگناها در سیستم‌های قدرت سنتی مشخص بود و مقدار حدی آن در دوره معینی بسته به میزان بار ثابت می‌ماند، راه حل این تنگناها در سیستم‌های سنتی افزایش خطوط انتقال یا اضافه کردن ظرفیت نصب شده در شبکه بود [۳].

در محیط رقابتی بازار برق، بهره برداری بهینه در جهتی که هزینه‌ها را کاهش داده و از حداکثر ظرفیت خطوط استفاده کند، بسیار مهم است. شرکت کنندگان در بازار برق تلاش می‌کنند برای بدست آوردن سود بیشتر، توان الکتریکی بالاتری را به صورت بهینه از طریق خطوط انتقال دهند. بنابراین سیستم‌های قدرت اغلب نزدیک شرایط مرزی خود کار می‌کنند و برخی خطوط ممکن است دچار اضافه بار شوند. این اضافه بار در خطوط با عنوان تراکم معرفی می‌شود.

اعمال راهکارهای مناسب برای برطرف کردن تراکم (که مدیریت تراکم نامیده می‌شود) از وظایف اصلی اپراتور سیستم است. این مساله یکی از چالش برانگیزترین مسائل در بازار برق است. زیرا نخست وجود شرکت کنندگان متعدد در بازار (که در برخی موارد منافع متضاد دارند) منجر به پیچیدگی عملکرد بازار می‌شود. دلیل دوم فیزیک الکتریسیته است. توان الکتریکی مطابق قوانین کیرشهف جریان می‌یابد، لذا نمی‌توان انرژی تولیدی تولید کننده ای را به جریان یافتن در خط انتقال خاص محدود کرد. اگرچه ادواتی نظیر FACTS، کنترل پذیری شارش توان را بهتر می‌کنند، اما در واقع پدیده پخش بار خارج از کنترل پذیری کامل است.

در این فصل ابتدا به بررسی تراکم در شبکه و علل ایجاد آن پرداخته می‌شود، سپس به مرور روش‌های مدیریت تراکم می‌پردازیم. در نهایت کارهای انجام شده در ارتباط با مدیریت تراکم بررسی خواهند شد.

۲-۲-تراکم در شبکه قدرت

تراکم انتقال را می‌توان به صورت شرایطی تعریف کرد که شارش توان جاری یا طراحی شده در خط انتقال از حدود مجاز برای حفظ قابلیت اطمینان تجاوز نماید [۴]. تجدید ساختار در صنعت برق کشورهای مختلف انجام شده یا در حال انجام می‌باشد. هدف از تجدید ساختار، ایجاد حق انتخاب برای مصرف‌کنندگان، بهره‌برداری بهینه و مدیریت بهتر است. تجدید ساختار یک فرایند چهار مرحله‌ای به شرح زیر است [۵]:

- ✓ مجزا سازی

- ✓ بازنگری در مقررات
- ✓ ایجاد رقابت
- ✓ خصوصی سازی

در بازار برق تجدید ساختار شده، بهره بردار مستقل سیستم (ISO)[1] باید دسترسی آزاد را برای تمام شرکت کنندگان در بازار ایجاد نماید. با این وجود به دلیل محدودیت ظرفیت انتقال، هر تولید کننده نمی‌تواند توان تولیدی خود را افزایش داده و به مصرف کننده تحویل دهد. این شرایط را می‌توان به عنوان تراکم معرفی کرد [۶]. در چنین شرایطی اگر تولید کنندگانی که هزینه تولید آنها پایین است نتوانند توان تولیدی خود را به مصرف کننده تحویل دهند، توان مورد نیاز مصرف کنندگان از تولید کنندگان با هزینه بیشتر تامین می‌شود که باعث افزایش هزینه مصرف کننده است.

محدودیت‌های انتقال دلایل اصلی تراکم هستند و عبارتند از [۷]:

۱- محدودیت‌های حرارتی: برخورد الکترون‌ها در خط AC سبب مقاومت الکتریکی می‌شود و در نتیجه با عبور جریان، حرارت بوجود می‌آید. چون خطوط انتقال سنگین هستند، با افزایش حرارت دچار فرونشستن (شکم دادن) می‌شوند. با افزایش حرارت، شرایط بدتر می‌شود تا این که در یک دمای مشخص، خط انتقال به طور کامل آسیب می‌بیند و فرو می‌ریزد. این مساله فقط در اثر عبور توان حقیقی نیست و توان راکتیو هم در بروز آن موثر است.

۲- محدودیت‌های دامنه ولتاژ: قیود ولتاژ مرزهای بهره برداری را تعریف می‌کنند که می‌توانند مقدار توان عبوری از خطوط را محدود نمایند. به ناچار باید محدودیت‌های ولتاژ را در یک سیستم انتقال AC، برای بارها و توان‌های عبوری اکتیو و راکتیو در نظر بگیریم. مصرف توان راکتیو، منجر به کاهش ولتاژ[2] می‌شود. در صورت نیاز می‌توان با تزریق توان راکتیو از این مساله جلوگیری کرد.

۳- محدودیت‌های پایداری روی خطوط قدرت: توان حقیقی بر اساس اختلاف زاویه بین ولتاژ دو انتهای یک خط از آن عبور می‌کند. مقداری که ولتاژ سمت ارسال جلوتر است، زاویه فاز نامیده می‌شود. زمانی که این زاویه به ۹۰ درجه برسد، پخش بار کاملا ناپایدار می‌شود. این مقدار حد پایداری فیزیکی خط است. البته مقدار واقعی و عملی این حد پایداری، ۴۵ درجه است. پایداری زاویه را می‌توان در دو گروه دسته بندی کرد:

الف) پایداری سیگنال کوچک: توانایی سیستم در حفظ سنکرونیسم تحت اغتشاش کوچک

[1] - Independent System Operator
[2] -Sag

ب) پایداری گذرا: توانایی سیستم در حفظ سنکرونیسم زمانی که در معرض یک اغتشاش سخت گذرا قرار می‌گیرد.

۴- محدودیت‌های پایداری ولتاژ: پایداری ولتاژ عبارت است از توانایی سیستم در حفظ ولتاژهای حالت ماندگار تمام باس‌ها در مقادیر قابل قبول، تحت شرایط معمولی یا بعد از قرار گرفتن در معرض یک اغتشاش. اصلی ترین عاملی که موجب ناپایداری ولتاژ می‌شود، ناتوانی سیستم در برآورده کردن نیاز توان راکتیو است.

۵- قیود (محدودیت‌های) ناشی از حوادث: بهره برداران سیستم انتقال بخشی از ظرفیت خطوط را آزاد می‌گذارند تا در هنگام وقوع حوادث از آن استفاده کنند. به عنوان مثال، اگر یک خط انتقال در اثر حادثه ای از مدار خارج شود، بار آن روی خطوط دیگر می‌افتد. حال اگر خطوط دیگر ظرفیت آزاد نداشته باشند، خود دچار اضافه بار شده و یکی پس از دیگری از مدار خارج گردیده و سیستم ناپایدار می‌شود.

علاوه بر دلایلی که مرتبط با خصوصیات شبکه هستند، عوامل دیگری نیز می‌توانند باعث بروز تراکم شوند که عبارتند از [۸]:

- ساختار بازار
- اختلاف در قیمت‌ها
- دسترسی به سوخت

تراکم در شبکه نباید بیش از چند لحظه ادامه یابد، زیرا تداوم آن منجر به قطع خط یا عملکرد رله‌های حفاظتی ترانسفورماتور می‌شود که هر کدام از این‌ها می‌تواند باعث بدتر شدن شرایط و حتی خاموشی سراسری گردد.

مشکلاتی که در اثر تراکم در شبکه با آنها مواجه می‌شویم عبارتند از [۱۰، ۹]:

- جلوگیری از عقد قراردادهای جدید؛
- عدم امکان انجام قراردادهای موجود؛
- افزایش قیمت برق در برخی از مناطق بازار؛
- کاهش امنیت و قابلیت اطمینان سیستم؛
- آسیب تجهیزات الکتریکی؛
- کاهش رفاه اجتماعی.