۸۹۴۰۲۰۷۷

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

گروه برق

رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد« M.Sc»

مهندسی برق- قدرت

عنوان

مدیریت تراکم به‌وسیله جایابی بهینه ادوات FACTS در بازار برق تجدید ساختار شده

نگارش

حامد سپهوند

اساتید راهنما

دکتر محمود جورابیان

دکتر محسن صنیعی

استاد مشاور

دکتر علی سعیدیان

بهمن ۱۳۸۹

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

گروه برق

رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد« M.Sc»

مهندسی برق- قدرت

عنوان

مدیریت تراکم به‌وسیله جایابی بهینه ادوات FACTS در بازار برق تجدید ساختار شده

نگارش

حامد سپهوند

اساتید راهنما

دکتر محمود جورابیان

دکتر محسن صنیعی

استاد مشاور

دکتر علی سعیدیان

بهمن ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

مدیریت تحصیلات تکمیلی تاریخ .....

پیوست .....

بسمه تعالی

(نتیجه ی ارزشیابی پایان نامه ی دوره ی کارشناسی ارشد)

بدینوسیله گواهی می گردد پایان نامه ی آقای **حامد سپهوند** دانشجوی رشته ی **مهندسی برق- قدرت** از دانشکده ی **مهندسی** به شماره دانشجویی **۸۷۴۰۲۱۳** تحت عنوان :

مدیریت تراکم به‌وسیله جایابی بهینه ادوات FACTS
در بازار برق تجدید ساختار شده

جهت اخذ درجه ی کارشناسی ارشد در تاریخ **۱۳۸۹/۱۱/۱۲** توسط هیئت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه ی **عالی** تصویب گردید.

۱- اعضای هیئت داوران:	مرتبه ی علمی	امضاء
الف: استاد راهنمای اول: **دکتر محمود جورابیان**	استاد	
ب: استاد راهنمای دوم: **دکتر محسن صنیعی**	استادیار	
پ: استاد مشاور: **دکتر علی سعیدیان**	استادیار	
ج: داور ۱: **دکتر سید سعیداله مرتضوی**	استادیار	
د: داور ۲: **دکتر مرتضی رزاز**	استادیار	
ه: نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه(استاد ناظر): **دکتر سید قدرت‌اله سیف‌السادات**	استادیار	
۲- مدیرگروه: **دکتر رضا کیانی نژاد**	استادیار	
۳- معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: **دکتر سید رضا علوی زارع**	استادیار	
۴- مدیرکل تحصیلات تکمیلی: **دکتر رحیم پیغان**	استاد	

تقدیم به

پدر و مادر عزیزتر از جانم

که روشنی‌بخش زندگی و گرمابخش وجود من هستند و

هرآنچه دارم بعد از خدا از برکت وجود پرمهرآنان است.

پدر و مادری که تا ابد مدیون زحمات‌شان هستم.

و

برادران و خواهر عزیزم

که با تمام وجود دوست‌شان دارم

تقدیر و تشکر:

اکنون که با لطف و عنایت الهی موفق به اتمام پایان‌نامه خود شده‌ام، بر خود لازم می دانم تا از اساتید راهنمای خود آقایان دکتر جورابیان و دکتر صنیعی و استاد مشاور آقای دکتر سعیدیان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم که با راهنمایی‌های روشنفکرانه و زحمات بی‌شائبه و دلسوزانه‌شان اینجانب را در پیش‌برد پایان‌نامه یاری نمودند و از هیچ کوششی دریغ نفرمودند. از خدای سبحان توفیق و سربلندی روز افزون ایشان را خواهانم.

فهرست مطالب

فصل۱: مقدمه ۱

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۲. مرور مقالات ۶

۱-۳. اهداف ۱۰

فصل۲: بازار برق و تراکم ۱۲

۲-۱. مقدمه ۱۳

۲-۲. تعاریف و مفاهیم اولیه بازار برق ۱۴

۲ -۲-۱. شرکت‌های برق یکپارچه عمودی ۱۴

۲-۲-۲. اپراتور مستقل سیستم (ISO) ۱۵

۲-۲-۳. شرکت‌های تولید برق ۱۶

۲-۲-۴. شرکت‌های توزیع برق ۱۶

۲-۲-۵. خرده‌فروشان انرژی ۱۶

۲-۲-۶. شرکت‌های انتقال برق ۱۷

۲-۲-۷. قانون‌گذار سیستم ۱۷

۲-۲-۸. مصرف‌کنندگان بزرگ ۱۷

۲-۳. تجدید ساختار و مدیریت تراکم ۱۷

۲-۳-۱. روش‌های تخصیص توان در سیستم‌های تجدید ساختار شده ۱۸

۲-۳-۱-۱. روش‌های تخصیص توان از دید طرفین بازار ۱۹

۲-۳-۲. زمان‌بندی در بازار برق ۱۹

۲-۳-۲-۱. بازارهای برق ترتیبی و همزمان ۲۰

۲-۳-۳. مدل‌های بازار ۲۱

۲-۳-۳-۱. مدل متمرکز ۲۲

۲-۳-۳-۲. مدل غیرمتمرکز ۲۳

۲-۳-۴. مدیریت شبکه انتقال قدرت و مسئله تراکم آن ۲۴

۲-۳-۴-۱. تعریف تراکم ۲۵

۲-۳-۴-۲. آثار تراکم ۲۵
۲-۳-۵. روش‌های مدیریت تراکم ۲۷
فصل ۳: ادوات FACTS در مدیریت تراکم ۳۸
۳-۱. مقدمه ۴۰
۳-۲. معرفی ادوات FACTS ۳۸
۳-۳. انواع کنترل‌کننده‌های FACTS ۴۱
۳-۴. مقایسه انواع مختلف کنترل‌کننده های FACTS ۴۳
۳-۵. روش‌های بهینه جایابی ادوات FACTS ۴۷
فصل ۴: مروری بر روش‌های مبتنی بر حساسیت و معرفی الگوریتم پیشنهادی ۴۹
۴-۱. مقدمه ۵۰
۴-۲. روش تزریق توان در محاسبات پخش بار ۵۰
۴-۳. مدل‌سازی استاتیکی TCSC و تابع هزینه آن ۵۱
۴ -۳-۱. مدل استاتیکی TCSC ۵۱
۴-۳-۲. تابع هزینه TCSC ۵۳
۴-۴. روش‌های مبتنی بر آنالیز حساسیت ۵۴
۴-۵. پخش بار بهینه در حضور TCSC ۵۹
۴-۵-۱. فرمول‌بندی مسئله ۵۹
۴-۵-۱-۱. قیود مساوی ۵۹
۴-۵-۱-۲. قیود نامساوی ۶۰
۴-۵-۲. روش اجرای بهینه‌سازی ۶۱
۴-۵-۳. قیمت حدی محلی و هزینه تراکم ۶۲
۴-۶. روش پیشنهادی ۶۳
فصل ۵: شبیه‌سازی و نتایج عددی ۶۶
۵-۱. مقدمه ۶۷
۵-۲. سیستم ۱۴ باسه IEEE ۶۷
۵-۳. سیستم ۳۰ باسه IEEE ۷۷

فصل ۶ :نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۷
۶-۱. نتیجه‌گیری ۸۸
۶-۲. پیشنهادات ۹۰
فهرست منابع ۹۱
پیوست‌ها ۱۰۱
پیوست ۱: شبکه ۱۴ باسه IEEE ۱۰۲
پیوست ۲: شبکه ۳۰ باسه IEEE ۱۰۴

فهرست شکل‌ها

شکل (۳-۱). ساختار SVC ۴۴

شکل (۳-۲). ساختار STATCOM ۴۵

شکل (۳-۳). ساختار SSSC ۴۶

شکل (۳-۴). ساختار TCSC ۴۶

شکل (۳-۵). ساختار TCPST ۴۷

شکل (۳-۶). ساختار UPFC ۴۷

شکل (۴-۱). مدل خط انتقال بدون TCSC ۵۱

شکل (۴-۲). مدار معادل TCSC ۵۲

شکل (۴-۳). مدل خط انتقال با TCSC ۵۲

شکل (۴-۴). مدل تزریقی TCSC ۵۳

شکل (۴-۵). الگوریتم پیشنهادی (مبتنی بر روش برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)) ۶۵

شکل (۵-۱). شبکه ۱۴ شینه IEEE ۶۷

شکل (۵-۲). هزینه کلی تولید، برای سیستم ۱۴ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۷۲

شکل (۵-۳). هزینه کلی تراکم، برای سیستم ۱۴ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۷۲

شکل (۵-۴). هزینه کل، برای سیستم ۱۴ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۷۳

شکل (۵-۵). صرفه‌جویی در هزینه، برای سیستم ۱۴ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۷۳

شکل (۵-۶). مقادیر LMP در باس‌ها، برای سیستم ۱۴ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC ۷۴

شکل (۵-۷). دامنه ولتاژ باس‌ها، برای سیستم ۱۴ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC ۷۴

شکل (۵-۸). مقادیر توان حقیقی عبوری از خطوط برای سیستم ۱۴ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC... ۷۵

شکل (۵-۹). مقادیر توان تولیدی ژنراتورها برای سیستم ۱۴ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC ۷۶

شکل(۵-۱۰). شبکه ۳۰ باسه IEEE ۷۷

شکل (۵-۱۱). هزینه کلی تولید، برای سیستم ۳۰ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۸۲

شکل (۵-۱۲). هزینه کلی تراکم، برای سیستم ۳۰ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۸۲

شکل (۵-۱۳). هزینه کل، برای سیستم ۳۰ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۸۳
شکل (۵-۱۴). صرفه‌جویی در هزینه، برای سیستم ۳۰ باسه با در نظرگرفتن TCSC در خطوط مختلف ۸۳
شکل (۵-۱۵). مقادیر LMP در باس ها، برای سیستم ۳۰ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC ۸۴
شکل (۵-۱۶). دامنه ولتاژ باس‌ها، برای سیستم ۳۰ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC ۸۴
شکل (۵-۱۷). مقادیر توان حقیقی عبوری از خطوط برای سیستم ۳۰ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC ۸۵
شکل (۵-۱۸). مقادیر توان تولیدی ژنراتورها برای سیستم ۳۰ باسه قبل و بعد از جای‌گذاری بهینه TCSC ۸۵

فهرست جداول

جدول ۵-۱. نتایج حاصل از OPF بدون حضور TCSC برای سیستم ۱۴ باسه IEEE ۶۸

جدول ۵-۲. قیمت حاشیه‌ای محلی(LMP) و ولتاژ باس‌ها برای سیستم۱۴باسه IEEE(نتایج OPF بدونTCSC) ۶۸

جدول ۵-۳. توان عبوری از خطوط برای سیستم ۱۴ باسه IEEE (نتایج OPF بدون TCSC) ۶۹

جدول ۵-۴. مقادیر CCC برای سیستم ۱۴ باسه IEEE ۷۰

جدول ۵-۵. نتایج حاصل از OPF بر اساس تابع هدف کل هزینه با حضور TCSC برای سیستم ۱۴ باسه IEEE ۷۱

جدول ۵-۶. نتایج حاصل از OPF بدون حضور TCSC برای سیستم ۳۰ باسه IEEE ۷۷

جدول ۵-۷. قیمت حاشیه‌ای محلی(LMP) و ولتاژ باس‌ها برای سیستم۳۰ باسه IEEE(نتایج OPF بدونTCSC) ۷۸

جدول ۵-۸. توان عبوری از خطوط برای سیستم ۳۰ باسه IEEE (نتایج OPF بدون TCSC) ۷۹

جدول ۵-۹. مقادیر CCC برای سیستم ۳۰ باسه IEEE ۸۰

جدول ۵-۱۰. نتایج حاصل از OPF بر اساس تابع هدف کل هزینه با حضور TCSC برای سیستم ۳۰ باسه IEEE .. ۸۱

نام خانوادگی: سپهوند	**نام:** حامد
عنوان پایان نامه: مدیریت تراکم به‌وسیله جایابی بهینه ادوات FACTS در بازار برق تجدید ساختار شده	
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** برق **گرایش:** قدرت
محل تحصیل: دانشگاه شهید چمران اهواز	
تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۹/۱۱/۱۲	**تعداد صفحات:** ۱۰۶
کلید واژه ها: ادوات FACTS ، TCSC ، مدیریت تراکم، قیمت حدی محلی (LMP) ، پخش بار بهینه (OPF)	

چکیده: تراکم و اضافه‌بار در خطوط همواره یکی از مشکلات اساسی بهره برداری شبکه قدرت می‌باشد. از پیآمدهای این مسئله در سیستم‌های تجدید ساختار یافته می‌توان به جهش‌های ناگهانی قیمت در برخی نواحی، افزایش قدرت بازار و کاهش رقابت در بازار اشاره کرد. ادوات FACTS به عنوان ابزاری کارا، قدرتمند و اقتصادی در کنترل توان عبوری از خطوط انتقال، نقشی اساسی در مدیریت تراکم ایفا می‌کنند. جایابی و تنظیم پارامترهای ادوات FACTS جهت دستیابی به اهداف مورد نظر حائز اهمیت است. در این رساله به منظور کاربرد ادوات FACTS در مدیریت تراکم، قابلیت‌های TCSC بررسی شده است. برای تنظیم بهینه TCSC و تعیین مکان مناسب آن برای مدیریت و کاهش تراکم انتقال در محیط تجدید ساختاریافته، یک روش بر مبنای قیمت حاشیه‌ای محلی (LMP) و استفاده از پخش بار بهینه (OPF) در ترکیب با TCSC استفاده شده است. این روش بر روی سیستم های ۱۴ باسه و ۳۰ باسه IEEE پیاده شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی تأثیر مکان مناسب TCSC را در کاهش هزینه کل در محیط های تجدید ساختار یافته به خوبی نشان می‌دهد.

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱. مقدمه

شبکه انتقال یک معضل اساسی بر سر راه تجدید ساختار بوده و هست و این موضوع از دو جهت قابل توجه است. اول این‌که به‌دلیل مسایل فنی نمی‌توان شبکه انتقال را همانند تولید و یا توزیع از یکدیگر تفکیک کرده و رقابتی ساخت، و دوم این‌که لازمه ایجاد رقابت مناسب بین تولیدکنندگان در فروش انرژی الکتریکی و عرضه مطلوب آن، ارتباطات آزاد، عادلانه و بدون مشکل در هر نقطه شبکه قدرت، از طریق خطوط انتقال است. چنین ارتباطی، متضمن افزایش راندمان اقتصادی شبکه قدرت، یعنی هدف نهایی تجدید ساختار است. ترکیب بخش رقابتی تولید و انحصاری انتقال، مدیریت تراکم را مشکل ساخته است. این دشواری با افزایش روزافزون تراکم در اثر افزایش مبادلات تجاری برق و افزایش کند ظرفیت انتقال، بیشتر نیز خواهد شد [۱].

به‌دلایل مختلفی چون خروج خطوط، خروج ژنراتورها و تغییر در میزان قراردادهای تبادل توان، ممکن است بخش‌هایی از شبکه انتقال با اضافه‌بار روبه‌رو شوند. به‌عنوان مثال با خروج یکی از خطوط شبکه، تعدادی از مسیرهای انتقال توان از محل‌های تولید به محل‌های مصرف که در حالت نرمال شبکه و بر اساس قانون کمترین امپدانس مسیر برقرار شده‌اند، باز شده و توان انتقالی ناگزیر مسیر خود را از طریق تجهیزات انتقال دیگر که مسیر طولانی‌تر و تلفات بیشتر انتقال را در پی دارد می‌بندند. خروج ژنراتورها نیز سبب بروز حالتی مشابه در سیستم می‌گردند. عامل اساسی دیگر در بروز تراکم انتقال، نحوه شکل‌گیری و انعقاد قراردادهای بین اجزای بازار می‌باشد. از آن‌جا که در یک بازار رقابتی مصرف-کنندگان همواره مایل به خرید توان مورد نیاز خود از واحدهای تولیدی ارزان‌تر می‌باشند، تمرکز واحدهای پربازده و ارزان‌تر در یک ناحیه خاص از شبکه منجر به افزایش چگالی توان انتقالی در خطوط و تجهیزات انتقالی آن ناحیه شده و تراکم انتقال را در آن ناحیه تشدید می‌نماید. از نقطه نظر انتقال، هر گونه اضافه‌بار در خطوط شبکه که در هنگام بهره‌برداری از سیستم قدرت در شرایطی چون بار پیک یا شرایط اضطراری دیگر مانند خروج خطوط و ژنراتورها حادث می‌گردد، پرشدگی یا تراکم اطلاق می‌شود [۳,۲]. اثرات تراکم در شبکه انتقال عبارتند از: جلوگیری از انعقاد قراردادهای جدید، عدم امکان انجام قراردادهای موجود و قراردادهای جدید، خروج‌های اضافی، انحصار قیمت در برخی نواحی، آسیب تجهیزات الکتریکی در سیستم، افزایش قیمت انرژی الکتریکی در برخی نواحی [۱].

هر گونه فعالیتی که برای رفع مشکل تراکم انجام شود تحت عنوان مدیریت تراکم مطرح می‌گردد. مدیریت تراکم خطوط انتقال به‌عنوان یکی از وظایف کلیدی اپراتور سیستم (ISO)[1] ، فرآیندی است که استفاده از شبکه انتقال را در محدوده‌های مجاز بهره‌برداری تضمین می‌کند.

در سیستم‌های تجدید ساختار شده، هدف اصلی مدیریت تراکم، تدوین مجموعه قوانینی است که تضمین کننده کنترل کافی بر روی تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، برای حفظ سطح قابل قبولی از ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم قدرت به همراه بیشترین بازده اقتصادی بازار، در زمان محدودیت انتقال شبکه باشد. این قوانین باید دارای سه مشخصه باشند که عبارتند از: قاطع بودن، عادلانه بودن و شفاف بودن. قاطعیت قوانین باعث می‌شود تا فرصت‌های بهره‌برداری منفعت‌طلبانه در هنگام تراکم شبکه از برخی نهادهای سودجو گرفته شده و بازده بازار حفظ شود. عادلانه و شفاف بودن قوانین نیز برای جلب رضایت عمومی استفاده‌کنندگان از شبکه انتقال، از جمله شروط اساسی است [۵].

اهمیت تراکم خطوط انتقال به‌حدی است که در اروپا نهادی تحت عنوان ETSO[2] و در آمریکا نهادهایی تحت عنوان RTO[3] ، برای رسیدگی به مسائل مربوط به تراکم شبکه انتقال تأسیس گردیده‌اند.

به‌طور کلی سه روش برای مدیریت تراکم بسته به فرم تجدید ساختار در کشورهای مختلف استفاده شده است:

۱. استفاده از برنامه‌های پخش بار بهینه به شیوه مرکزی و کنترل تراکم توسط بهره‌بردار شبکه
۲. استفاده از سیگنال‌های قیمت بر اساس بازارهای از پیش تشکیل شده برای جلوگیری از تراکم که ممکن است با اصلاحات و کنترل تراکم به شیوه مرکزی نیز همراه باشد
۳. استفاده از قبول یا رد مبادلات توان در رفع تراکم [۱-۵].

عموماً از دو مکانیزم برای مقابله با تراکم شبکه انتقال استفاده می‌شود که عبارتند از:

- روش‌های پیشگیرانه
- روش‌های اصلاحی

[1] . Independent System Operator
[2] . European Transmission System organization
[3] . Regional Transmission Organization

در روش‌های پیشگیرانه با استفاده از راه حل رزرو کردن، گرفتن حق مالکیت و قیمت‌گذاری تراکم، می‌توان از وقوع تراکم جلوگیری کرد.

در روش‌های اصلاحی با اعمال کنترل‌هایی شبیه شیفت‌دهنده‌های فاز، تپ ترانسفورماتورها، کنترل توان راکتیو، پخش بار مجدد بر روی قراردادها، نقض برخی قراردادها و لغو بعضی از بارها می‌توان به اصلاح و بهبود وضعیت تراکم پرداخت.

روش‌های مقابله با تراکم شبکه انتقال از دیدگاه هزینه عبارتند از:

- روش‌های بدون هزینه (خروج خط پرشده، استفاده از ادوات FACTS و ...)
- روش‌های با هزینه (پخش بار مجدد ژنراتورها مغایر با توافق بازار، قطع بارهای مجاز و ...)

از لحاظ زمانی نیز می‌توان روش‌های مدیریت تراکم را تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از:

- مدیریت تراکم در کوتاه‌مدت
- مدیریت تراکم در میان‌مدت
- مدیریت تراکم در درازمدت

روش‌های کوتاه‌مدت عموماً در بازارهای مبادلات کوتاه‌مدت استفاده شده و اساساً همان روش‌های اصلاحی پس از وقوع تراکم در شبکه هستند.

روش‌های میان‌مدت عمدتاً همان روش‌های پیشگیرانه هستند که از مشهورترین آن‌ها بازارهای ماهیانه فروش حق انتقال در انواع متفاوت هستند.

روش‌های بلندمدت نیز بر پایه توسعه انتقال و تولید، طرح‌ریزی شده و دارای افق چند ساله هستند.

در یک دسته‌بندی دیگر، روش‌های مدیریت تراکم را می‌توان به دو بخش تقسیم‌بندی کرد:

- روش‌های مدیریت تراکم بر پایه بازار (پخش بار مجدد، مبادلات متقابل و ...)
- روش‌های مدیریت تراکم مستقل از بازار (بر اساس نوع قرارداد و روش حق تقدم و ...) [۱-۵].

روش‌های مختلف مدیریت تراکم از طریق دستورالعمل‌هایی از طرف اپراتور سیستم به طرف‌های مختلف بازار برق برای تنظیم مجدد قراردادها، جابه‌جایی تولید، و حتی بارزدایی در حالات بحرانی، اجرا می‌شوند. این اعمال هزینه‌بر بوده، و ضمن بر هم زدن شرایط بازار، باعث افزایش قیمت برق می‌گردند.

در پاره‌ای موارد روش‌هایی مجانی و کم‌هزینه نیز برای رفع تراکم موجودند. برای مثال عملکرد ادوات کنترلی مختلف نظیر ترانسفورماتورهای دارای تغییر دهنده تپ، جابجاگرهای فاز و سایر ادوات FACTS می‌تواند نقش مهمی را در کاهش تراکم داشته باشند [۴].

محدودیت‌های شبکهٔ انتقال قدرت ناشی از مسائل محیطی، حق عبور از املاک، و هزینه، از مشکلات اساسی سیستم‌های قدرت هستند. از طرفی الگوهایی از تولید وجود دارد که با عبور جریان‌های زیاد، تلفات زیادی را تحمیل کرده، پایداری و قابلیت اطمینان سیستم را تهدید نموده، و بدین ترتیب الگوهایی مشخص از تولید را از فضای رقابت اقتصادی خارج می‌نمایند. از این‌رو انگیزهٔ لازم برای به‌کارگیری ابزاری چون ادوات FACTS، برای استفادهٔ بهتر از ظرفیت‌های سیستم انتقال به‌وجود می‌آید. به‌منظور دست‌یابی به اهداف مختلف، می‌توان با تغییر پارامترهای کنترلی این ادوات، توزیع توان در خطوط انتقال را کنترل کرد [۷].

ادوات FACTS ابزار کنترلی مناسبی را چه برای کنترل پخش بار حالت ماندگار و چه برای کنترل پایداری‌های دینامیکی و گذرا فراهم می‌کنند. امکان کنترل پخش بار در یک سیستم قدرت بدون نیاز به تنظیم مجدد تولید، یا تغییر توپولوژی شبکه، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کارایی را افزایش می‌دهد. با استفاده از این ادوات، توان‌های عبوری از خطوط می‌توانند به‌گونه‌ای تغییر داده شوند که بدون نیاز به تغییر در یک الگوی تولید و مصرف مشخص، حدود حرارتی خطوط نقض نشود، تلفات حداقل شده، حاشیه‌های پایداری افزایش یافته، مایحتاج قراردادها برآورده شود، و یا به‌عبارت دیگر تراکم رفع شده و یا حداقل کاهش پیدا کند [۸].

دلایل رویکرد روزافزون به این ادوات، از دو جهت کلی می‌باشد [۷]. اول این‌که، پیشرفت‌های اخیر در ساخت ادوات الکترونیکی توان بالا، این ادوات را از لحاظ هزینه، به‌صرفه می‌سازد. و دوم، افزایش بارگذاری سیستم‌های قدرت، به‌علاوهٔ قانون‌زدایی در صنعت برق، انگیزهٔ کافی را برای استفاده از کنترل‌کننده‌های پخش بار به‌عنوان وسایلی بسیار به‌صرفه برای برقراری معاملات توان ایجاد کرده است.

بنابر آن‌چه گفته شد، تراکم در سیستم انتقال، با محدود کردن انتقال توان، باعث ناحیه‌بندی سیستم قدرت و ایجاد بازارهای برق محلی می‌شود. با محلی شدن بازارهای برق و کاهش تعداد رقیبان، بازار از حالت رقابتی کامل خارج شده، و به‌صورتی نیمه انحصاری درمی‌آید، و این با اهداف اصلی تجدید

ساختار و قانون‌زدایی در صنعت برق منافات دارد. از این‌رو نصب بجای ادوات FACTS و کنترل مناسب آن‌ها به‌منظور رفع تراکم از اهمیت بالایی برخوردار است.

از آن‌جا که محدودیت انتقال توان شبکه اساساً با کنترل فلوی توان قابل رفع یا کاهش است، استفاده از ادوات FACTS برای مدیریت تراکم بسیار مفید به نظر می‌رسد. از مزایای استفاده از این عناصر، نصب سریع آن‌ها در مقایسه با احداث خطوط انتقال جدید است. بنابراین استفاده از این ادوات برای رفع یا کاهش تراکم درکوتاه‌مدت توجیه‌پذیر است.

مروری بر مقالات در زمینه جایابی ادوات FACTS برای کمک به مسأله مدیریت تراکم را در ادامه مشاهده خواهید کرد.

۱-۲. مرور مقالات

Verma و Singh و Gupta در سال ۲۰۰۱ از دو روش مبتنی بر حساسیت برای جایابی UPFC برای مدیریت تراکم استفاده کردند. دو تابع هدف استفاده شده در این مقاله عبارتند از: ۱- کاهش تلفات حقیقی کل سیستم ۲- کاهش شاخص عملکرد فلوی توان حقیقی (شاخص PI). طبق این دو روش، UPFC می‌بایست در خطی نصب شود که منفی‌ترین ضریب حساسیت را دارد. در این مقاله، مباحث اقتصادی در نظر گرفته نشده است [۷].

Singh و David در سال ۲۰۰۱ از آنالیز حساسیت شاخص عملکرد فلوی توان حقیقی (شاخص PI) برای جایابی TCSC و TCPAR استفاده کردند. طبق این روش، TCSC می‌بایست در خطی نصب شود که منفی‌ترین ضریب حساسیت را دارد و TCPAR می‌بایست در خطی نصب شود که بزرگترین ضریب حساسیت (از لحاظ اندازه) را دارد، با در نظر گرفتن این نکته که نصب ادوات FACTS در آن خط، ضمن رفع تراکم، کمترین هزینه را به‌دنبال داشته باشد [۸].

در سال ۲۰۰۲ Kwang-Ho Lee ، جایابی بهینه TCSC برای کاهش هزینه تراکم (CC)[1] در بازار برق رقابتی را با استفاده از قیمت‌های سایه[1] بررسی کردند. در این مقاله، شاخص عملکرد برای جایابی TCSC، ترکیبی از حساسیت توان خطوط و قیمت‌های سایه است [۹].

[1] . Congestion Cost

Huang و Yan در سال ۲۰۰۲ از TCSC و SVC به‌عنوان ابزاری برای مدیریت تراکم و بهبود قابلیت انتقال کل[۲] (TTC) استفاده کردند [۱۰].

همین آقایان در سال ۲۰۰۳ ، یک طرح قیمت‌گذاری برای ادوات FACTS (TCSC-SVC-TCPAR-UPFC) در مدیریت تراکم ارائه نمودند [۱۱]. در همان سال، Brosda و Handschin بر مبنای آنالیز حساسیت، از UPFC برای مدیریت تراکم در بازار برق استفاده نمودند [۱۲].

Alomoush در سال ۲۰۰۴ نقش SSSC در رفع تراکم در بازار برق را بررسی کرد [۱۳]. در سال ۲۰۰۵ ، Yao و همکارانش اثر SSSC را بر مدیریت تراکم سیستم انتقال بررسی کردند [۱۴]. در همان سال Glanzmann و Andersson از SVC و TCSC برای رفع تراکم انتقال بهره بردند [۱۵].

مجددا در همان سال Yap و Al-Dabbagh نقش UPFC را در حذف تراکم خطوط انتقال بررسی کردند [۱۶].

در سال ۲۰۰۶ ، فراهانی و احد کاظمی، از دو روش قطع بار و استفاده از TCSC برای مدیریت تراکم در بازار برق دو جانبه استفاده کردند [۱۷].

Reddy و Padhy در همین سال، به‌کمک الگوریتم ژنتیک جایابی بهینه TCSC و UPFC برای مدیریت تراکم در سیستم قدرت تجدید ساختار یافته را انجام دادند [۱۸].

در همین سال Kumar و Singh با استفاده از روش MINLP[۳] ، نقش TCPAR را در مدیریت تراکم بررسی کردند [۱۹].

حسن براتی و مهدی احسان و محمود فتوحی، در سال ۲۰۰۶ ، نقش UPFC جهت مدیریت تراکم خطوط انتقال و بهبود پروفیل ولتاژ در سیستم‌های قدرت تجدید ساختار شده با مدل بازار اشتراکی را ارزیابی نمودند [۲۰].

مجددا در سال ۲۰۰۶ احد کاظمی و رضا شریفی جایابی بهینه TCPS را برای مدیریت تراکم سیستم تجدید ساختار یافته انجام دادند [۲۱].

در سال ۲۰۰۷ Acharya و Mithulananthan تأثیر TCSC بر تراکم و قیمت گره‌ای را در بازار برق

---

[1] . Shadow Prices
[2] . Total Transfer Capability
[3] . mixed integer nonlinear programming