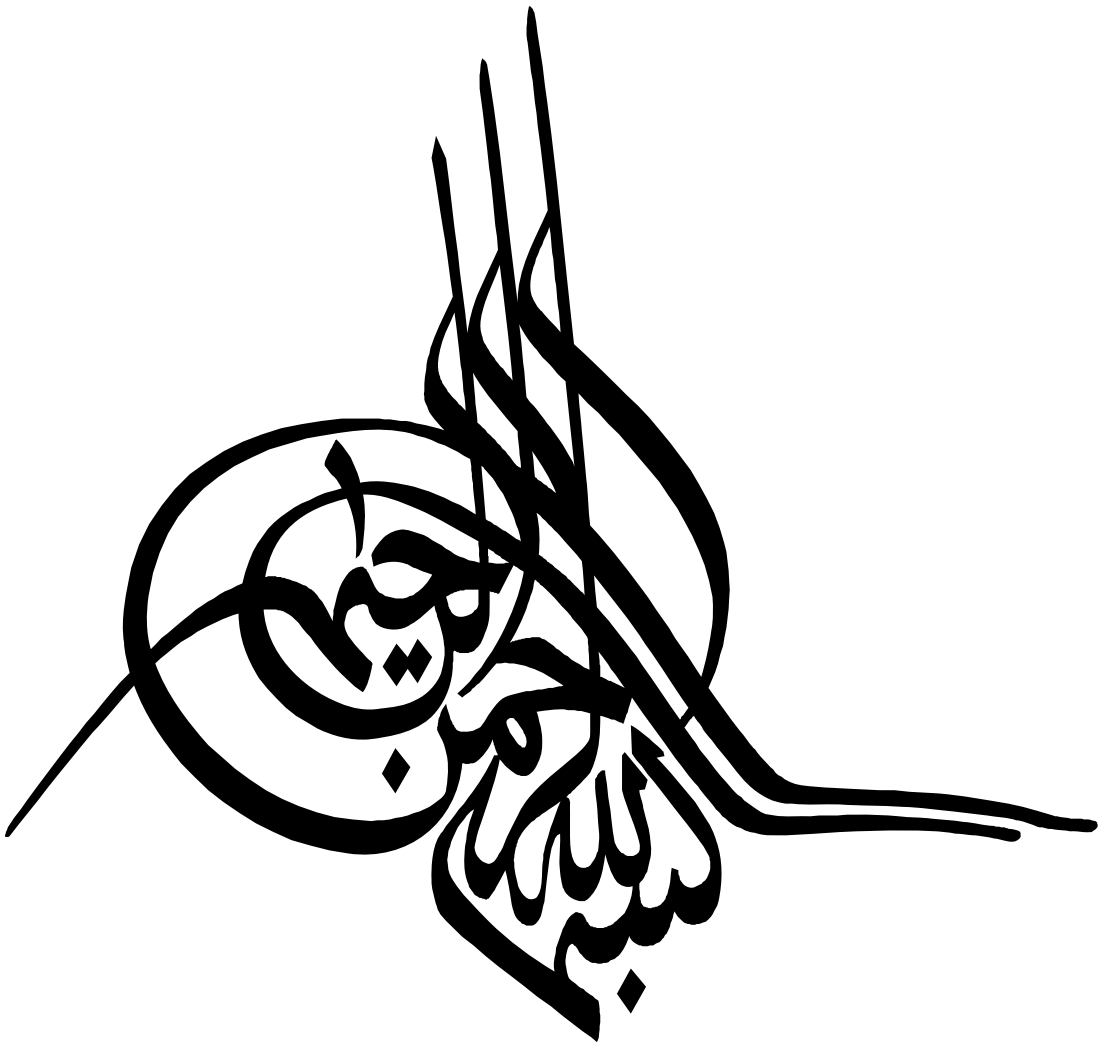
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی
گروه برق

پایان‌نامه
جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق
گرایش قدرت

جایابی بهینه ادوات FACTS در سیستم‌های قدرت

استاد راهنما:
دکتر دیهیمی

پژوهشگر:
حسن جواهری

مهر ۸۸

تمامی امتیازات این پایان نامه به دانشگاه بو علی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس ها و یا سخنرانی ها، باید نام دانشگاه بو علی سینا (یا استاد راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر اینصورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تقدیم به

آنانکه آفتاب مهرشان در آستانه قلبم

همچنان پابرجاست و

هرگز غروب نخواهد کرد.

پدر، مادر و خواهر عزیزم...

تقدیر و تشکر

سر بر آستان پروردگار بی‌همتا می‌سایم که توانم بخشید تا چند قدمی هرچند اندک در راه رسیدن به سرچشمه زلال دانستن بردارم و بتوانم این مجموعه را به پایان برسانم. اینک که در آستانه پشت سر گذاشتن مرحله دیگری از زندگی‌ام هستم، بر خود لازم می‌دانم از خانواده عزیزم که در تمام مراحل زندگی، یار و یاور و غمخوارم بودند، تشکر نمایم. از تکیه‌گاه‌های عاطفی‌ام، پدر، مادر و خواهرم.

همچنین از زحمات و راهنمایی‌های جناب آقای دکتر علی دیهیمی که در نقش استاد راهنما، پیوسته مرا از حمایت‌های علمی و غیرعلمی خویش بهره‌مند فرموده‌اند، کمال سپاس را دارم.

عرض تشکر از اساتید محترم و بزرگواری که در طول دوران تحصیل، سعادت شاگردی در محضرشان را داشته ام، می‌نمایم. نیز از اساتید عالیقدر هیئت داوری، آقایان دکتر مرادی و دکتر رضایی که افتخار حضور در جلسه دفاعیه را نصیب اینجانب نمودند، سپاسگذاری می‌کنم.

و در پایان از تمامی دوستانم که در طول این پایان‌نامه از همکاری‌ها و حمایت‌هایشان بهره برده‌ام، از صمیم قلب قدردانی نموده و آینده‌ای سبز را برایشان آرزومندم.

نام خانوادگی: جواهری	**نام:** حسن
عنوان پایان نامه: جایابی بهینه ادوات FACTS در سیستم های قدرت	
استاد راهنما: دکتر علی دیهیمی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** برق **گرایش:** قدرت **دانشگاه:** بو علی سینا **دانشکده:** مهندسی **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** ۸۸/۷/۱۳ **تعداد صفحات:** ۱۰۹	
کلید واژه: ادوات FACTS – رتبه بندی پیشامدهای تصادفی- الگوریتم ژنتیک- تصمیم گیری فازی- جایابی بهینه	

چکیده: دراین پایان نامه تخصیص بهینه ادوات FACTS با در نظر گرفتن قیود امنیتی سیستم قدرت، پیاده‌سازی و اجرا شده است. قیود امنیتی شامل میزان انحراف ولتاژ باس‌های شبکه از مقدار تعیین شده[1] و میزان بارگیری خطوط انتقال شبکه می‌باشد. به دلیل پارامترهای زیاد، پیچیدگی مسئله و وابستگی قیود به متغیرهای وابسته جهت بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. برای شبیه سازی ها علاوه بر شرایط پایه شبکه، خروج چند خط پراهمیت نیز در نظر گرفته می‌شود تا امنیت شبکه پس از پیشامدهای تصادفی نیز حفظ گردد. بدلیل اثر پنهان‌سازی[2] در تعیین وخامت پیشامدهای تصادفی به خصوص در مورد تراکم خطوط انتقال، تابع هدف های معمول چندان به قیود مسئله حساس نیستند. با استفاده از تصمیم گیری فازی، قیود مسئله با اهمیت بیشتر تابع برازندگی[3] الگوریتم ژنتیک قرار داده می شوند. مقایسه روش پیشنهادی با روش معمول و نتایج حاصله بهبود پاسخ‌ها و کاهش اثر پنهان سازی را نشان می دهد. در نظر گرفتن قیود مسئله به صورت فازی، این مزیت را نیز دارد که در صورت عدم وجود جوابی صریح[4] با تعداد ادوات FACTS در نظر گرفته شده برای شبکه، الگوریتم ژنتیک بهترین پاسخ ممکنه، با کمترین نقض قیود شبکه را ارائه می‌دهد.

[1] Specified
[2] Masking Effect
[3] Fitness Function
[4] Crisp

فهرست مطالب

عنوان _____ صفحه

فصل اول مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ پیشینه تحقیق ۷

۱-۳ معرفی تحقیق ۹

فصل دوم تحلیل امنیت حالت ماندگار سیستم قدرت ۱۲

۲-۱ مقدمه ۱۳

۲-۲ تقسیم بندی حالات شبکه از نظر امنیت ۱۳

۲-۳ طرحهای کنترل امنیت شبکه ۱۵

۲-۴ پیشامدهای تصادفی ۱۶

۲-۵ غربال کردن و رتبه بندی پیشامدهای تصادفی ۱۷

۲-۶ فرآیندهای خروج ۱۸

۲-۶-۱ افت شدید فرکانس ۱۹

۲-۶-۲ اضافه بارهای حرارتی متوالی خطوط ۲۰

۲-۶-۳ ناپایداری گذرا ۲۱

۲-۶-۴ ناپایداری ولتاژ ۲۱

۲-۶-۵ عیوب پنهان ۲۲

۲-۷ تحلیل پیشامدهای تصادفی ۲۲

۲-۷-۱ روش های کلاسیک پخش بار در تحلیل پیشامدهای تصادفی ۲۴

۲-۸ اثر پنهان سازی ۲۵

۲-۹ رتبه بندی شرایط اضطراری شبکه ۳۰ باس IEEE ۲۶

۲-۱۰ خلاصه ۳۱

فصل سوم مدلسازی ادوات FACTS ۳۲

۳-۱ مقدمه ۳۳

۳-۲ تکنولوژی FACTS ۳۳

۳-۳ SVC ۳۴

۳-۴ TCSC ۳۶

۳-۵ TCPAR ۳۷

۳-۶ TCVR ۳۸

۳-۷ STATCOM ۳۹

۳-۸ خلاصه ۴۰

فصل چهارم پیکربندی مسئله ۴۲
۴-۱ مقدمه ۴۳
۴-۲ بهینه سازی چندهدفه ۴۳
۴-۲-۱ روش های حل ۴۴
۴-۲-۲ بهینه سازی فازی ۴۵
۴-۳ طرح مسئله ۴۷
۴-۴ الگوریتم ژنتیک ۴۹
۴-۴-۱ ساختار کروموزوم ۵۱
۴-۴-۲ تصمیم گیری فازی ۵۴
۴-۴-۳ تعریف تابع fitness ۵۶
۴-۴-۴ ارزیابی fitness ۵۷
۴-۵ خلاصه ۵۸
فصل پنجم شبیه سازی‌ها و ارائه نتایج ۵۹
۵-۱ مقدمه ۶۰
۵-۲ شبکه ۳۰ باس IEEE ۶۰
۵-۲-۱ خروج خط یک ۶۳
۵-۲-۱-۱ شرایط پایه شبکه ۶۳
۵-۲-۱-۲ پس از پیشامد اضطراری ۶۶
۵-۲-۲ خروج خطوط دو و چهار ۶۸
۵-۲-۳ خروج خط ۳۶ ..... ۷۱
۵-۲-۴ تحلیل پاسخها ۷۴
۵-۲-۴-۱ باس هفت ۷۴
۵-۲-۴-۲ باس ۳۰ ..... ۷۵
۵-۲-۴-۳ خط ۲۸ ..... ۷۶
۵-۳ بهبود اندیس عملکرد امنیتی ۷۶
۵-۴ مقایسه روش ارائه شده با روش های معمول ۷۸
۵-۵ تحلیل حساسیت پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۸۱
۵-۵-۱ تعداد اعضای جمعیت ۸۱
۵-۵-۲ تعداد نسل های تولید شده ۸۱
۵-۵-۳ طول کروموزوم ۸۲
۵-۵-۴ نرخ بازترکیبی ۸۳
۵-۵-۵ نرخ جهش ۸۴
۵-۶ جلوگیری از بهینه های محلی ۸۴
۵-۷ روند تابع fitness ۸۶

۵-۸ شبکه ۵۷ باس IEEE ۸۶
۵-۸-۱ جایابی بهینه ادوات FACTS ۸۸
۵-۸-۲ شرایط پایه شبکه ۸۹
۵-۸-۳ خروج خط هشت ۹۰
۵-۸-۴ خروج خط ۴۱ ..... ۹۲
۵-۹ خلاصه ۹۴
فصل ششم نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۵
۶-۱ نتیجه‌گیری ۹۶
۶-۲ پیشنهادات آینده ۹۷
مراجع ۹۸
پیوست ۱۰۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

با رشد صنایع و افزایش شمار مصرف کنندگان انرژی الکتریکی، توسعه شبکه قدرت امری ضروری است . بایستی ضمن فراهم آوردن ایمنی در تأمین بار مصرف کنندگان، سیستم را به لحاظ اقتصادی نیز در وضعیت بهینه قرار داد. غلبه بر محدودیت های سنتی انتقال انرژی و مدیریت موثر در استفاده از سیستم های قدرت نیازمند فن آوری های جدید در تولید و انتقال انرژی الکتریکی می باشد. نیروگاه های سیکل ترکیبی و اتمی و تولید پراکنده[1] در عرصه تولید و سیستم های انتقال انعطاف پذیر جریان متناوب و تکنولوژی خطوط انتقال فشار قوی DC در عرصه انتقال، از جمله این فناوری های نوین می باشند. در میان فن آوری های مربوط به سیستم انتقال استفاده از جبرانسازهای FACTS[2] نسبت به HVDC[3] بنا به دلایل زیر ترجیح داده می شود: [۱]

- مقرون به صرفه تر بودن از لحاظ اقتصادی
- کنترل توان در مسیرهای موردنظر

این مسئله که بتوان تا حد امکان توان بیشتری را از خطوط انتقال عبور داد، به طوری که ضمن انتقال مقدار عظیم توان الکتریکی AC، پایداری و امنیت سیستم نیز حفظ شود، همواره مطلوب بوده است. انتقال توان عمدتا با محدودیتهای حرارتی در کابلها، خطوط انتقال کوتاه و ترانسفورمرها مواجه است. در حالیکه در خطوط انتقال بلند تغییرات ولتاژ و حفظ پایداری برای انتقال توان محدودیت های اصلی به حساب می آیند. با استفاده از جبران سازی توان راکتیو می توان پایداری سیستم و پروفیل ولتاژ را بهبود بخشید.

در یک سیستم قدرت ژنراتورها و کندانسورهای بزرگ فقط وقتی به طور مفید کار می کنند که با ماشینهای دیگر سنکرون باشند. مفهوم اصلی در حفظ سنکرونیزم پایداری است. پایداری بیانگر توانایی ذاتی سیستم است که خود را از اغتشاشات بزرگ (مانند اتصال کوتاه و تغییر بار) و نیز اغتشاشات پیش بینی شده در طراحی باز یابد. ماشینهای سنکرون شبکه از طریق خطوط انتقال به

[1] Distributed Generation
[2] Flexible AC Transmission System
[3] High Voltage DC

هم متصل شده اند. ولتاژ و فرکانس حتی قبل از اینکه هیچ باری به شبکه وصل شده باشد، مشخص می شود. تمام ماشینهای سنکرون باید به طور دائمی در حالت سنکرون باقی بمانند یعنی همه آنها باید در یک سرعت بچرخند. حتی زاویه فاز بین آنها نیز نباید به طور محسوسی تغییر کند. در این حالت پایداری سیستم به معنی تمایل سیستم به بازگشت به حالت عادی پس از وقوع اغتشاشاتی نظیر وقوع خطا و تغییر بار می باشد.

یکی از محدودیتهای بهره برداری از خطوط انتقال این است که در یک خط با طول معین با افزایش توان انتقالی، حاشیه پایداری آن کاهش می یابد. در یک سیستم نمونه با دو باس سنکرون، اگر توان انتقالی به تدریج افزایش یابد (بدون بروز اغتشاشات بزرگ) در سطح معینی از توان انتقالی، ناگهان سیستم ناپایدار می شود زیرا ماشینهای سنکرون در دو انتهای خط از سنکرونیزم خارج می شوند. توان انتقالی بین دو ماشین سنکرون می تواند به آرامی تا یک سطح خاص افزایش یابد که محدوده پایداری حالت دایم گفته می شود زیرا ماکزیمم توانی است که می توان در حالت ماندگار (از نظر تئوری) انتقال داد. محدوده پایداری ماندگار یک مقدار ثابت نیست و به طور قابل ملاحظه ای با عوامل مختلف تغییر می کند که مهمترین آنها تحریک ماشینهای سنکرون، تعداد خطوط انتقال متصل شده به شبکه، تعداد و انواع ماشینهای سنکرون متصل شده، الگوی سیلان توانهای اکتیو و راکتیو در سیستم قدرت ودر نهایت اتصال و مشخصه ادوات جبران کننده می باشد. عملا سیستم انتقال نمی تواند خیلی نزدیک به حد پایداری ماندگار خود کار کند. چرا که بایستی برای اغتشاشاتی نظیر تغییر بار، قطع ژنراتور و قطع خطوط شبکه یک حاشیه اطمینان کافی برای توان انتقالی در نظر گرفته شود. سطح ولتاژ نیز بایستی در تمام شبکه نزدیک به مقادیر نامی خود نگه داشته شود. کاهش ولتاژکه معمولا در اثر بار زیاد و یا قطع تولید اتفاق می افتد، منجر به رفتار و عملکرد نامطلوب بار خصوصا موتورهای القایی می شود. در سیستم هایی که زیر بارهای سنگین کار می کنند کاهش ولتاژ ممکن است نشانه این باشد که بار به حد پایداری ماندگار نزدیک شده است. نیز اضافه ولتاژها به دلیل خطر تخلیه الکتریکی و شکست عایقی و اشباع ترانسفورمرها خطرناک می باشند.

بسیاری از تغییرات ولتاژ از تغییرات بار حاصل مـی شـوند و عمـدتا بوسـیله مؤلفـه هـای راکتیـو جریانی که از مؤلفه راکتیو امپدانس شبکه می گذرند بوجود می آیند. اگـر ژنراتورهـا نزدیـک بـه هـم باشند، می توان از سطح تحریک آنها برای حفظ ولتاژ ثابت استفاده کرد اما در جاهایی کـه بـین آنهـا مسافتهای طولانی وجود دارد کنترل تغییرات ولتاژ مشکل تر می باشد و ممکن است نیـاز بـه جبـران سازی توان راکتیو باشد.

جبران سازی توان راکتیو به معنی بکارگیری تجهیزات توان راکتیو برای نیل به اهداف زیر است:

- ایجاد یک پروفیل ولتاژ مسطح و محکم در تمام سطوح انتقال توان.
- بهبود پایداری با افزایش ماکزیمم توان انتقالی.
- تغذیه توان راکتیو مورد نیاز شبکه با استفاده از اقتصادی ترین روش.

بحث تجدید ساختار سیستم های قدرت و بازار برق که در آن مکان تولید و مراکز بار با سرعت بیشتری تغییر می کند نیز به اهمیت FACTS در شبکه های نوین قدرت افزوده است. زیرا شبکه های نوین قدرت عمدتا در زیر بارگذاری شدید متغیر کار می کنند. از این رو سیستم انتقال باید دارای قابلیت انعطاف پذیری بالایی باشد تا بتواند به الگو های مختلف بار و تولید متغیر توان پاسخ دهد.

تولیدکنندگان برق تمایل دارند با کنترل سیلان توان در شبکه قدرت به خصوص خطوط انتقال نیرو بهترین استفاده را از شبکه موجود، داشته باشند. تا چند سال قبل تنها وسایل ممکن برای نیل به این اهداف ادوات الکترومکانیکی مانند راکتورها و بانکهای خازنی سوئیچ شونده و ترانسفورمرهای تغییردهنده فاز بودند. با وجود این، مسائل خاص مربوط به این ادوات مانند سرعت نسبتا پایین و محدودیت در تعداد کلیدزنی به دلیل ساختار مکانیکی و استهلاک سریع، باعث شده است که این ادوات زیاد موثر واقع نشوند. ظهور عناصر FACTS این امکان را فراهم کرده که به محدودیت های اشاره شده غلبه شود و با کنترل توان و افزایش قابلیت استفاده از خطوط انتقال موجود عملکرد سیستم بهبود یابد.

افزایش اهمیت ادوات FACTS بحث جایابی بهینه این ادوات در شبکه قدرت را مستقیما پراهمیت جلوه می دهد. جبرانسازی میانه خط در یک سیستم تک خطی و جبرانسازی انتهای خط در یک سیستم شعاعی، نمونه های ابتدایی این جایابی بودند. با وقوع هر پیشامد، ادوات FACTS با قابلیت انعطاف پذیری خود، برخی پارامترهای شبکه قدرت را کنترل کرده و سعی در بهبود وضعیت شبکه پس از وقوع شرایط اضطراری دارند. برای نصب یک عنصر FACTS مطالعات سیستم بسیار مهم و اساسی است. برای این منظور نیاز به مهندسین متخصص در این زمینه می باشد که با تکنولوژی مربوط به این ادوات آشنا بوده و در مواقع لزوم بتوانند تصمیمات درست و متناسب با شرایط موجود اتخاذ کنند. در مسئله جایابی بهینه ادوات FACTS بایستی موارد زیر مورد توجه واقع گردد:

- نخستین قدم در انتخاب عنصر FACTS مطالعات گسترده سیستم است تا بدین وسیله شرایط بحرانی و خاص از قبیل مسایل مربوط به ولتاژ سیستم و احتمال فروپاشی آن، تراکم های خطوط انتقال، سیلان نامطلوب توان در سیستم مشخص شود.
- با توجه به موارد بالا در صورت وجود پتانسیل موردنظر جهت بهبود عملکرد سیستم عنصر مناسب انتخاب شود.
- بر اساس اطلاعات به دست آمده از مطالعات فوق و مطالعات اقتصادی هزینه های مربوط به عنصر جدید با راه حل های مربوط به ادوات عمومی مقایسه شده و در نهایت عنصر مناسب انتخاب شود.

موارد بالا را می توان به صورت زیر طبقه بندی کرد: [۲]

الف) عنصر مناسب:

نوع عنصر انتخاب شده بستگی به انتظار از عنصر انتخابی دارد. به عنوان مثال اگر هدف کنترل سیلان توان اکتیو در خطوط انتقال است، ادوات سری می توانند انتخاب مناسبی باشند و یا اگر هدف از انتخاب عنصر مورد نظر حفظ ولتاژ و کنترل توان راکتیو می باشد، عناصر موازی می توانند گزینه

خوبی باشند. در صورت نیاز به کنترل یکپارچه و همزمان سیلان توان و ولتاژ می توان از ترکیب آنها یعنی ادوات سری- موازی استفاده کرد.

ب) اندازه مناسب:

انتخاب اندازه مناسب برای عنصر مورد نظر دارای دو جنبه می باشد: یکی هزینه سرمایه‌گذاری و نگهداری و دیگری مربوط به محدودیت های فن آوری می باشد. به عنوان مثال مقادیر نامی کلیدهای الکترونیک قدرت در STATCOM[1] به عنوان یک محدودیت در توان راکتیو خروجی آن مطرح بود که اخیرا با استفاده از مبدل های چند سطحی مرتفع گردیده است.

ج) مکان مناسب:

تعیین مکان مناسب برای عنصر موردنظر به طور مستقیم بستگی به نقش عنصر انتخاب شده در سیستم قدرت دارد. اینکه عنصر موردنظر در کجای سیستم نصب شود به خصوصیات الکتریکی شبکه مورد مطالعه بستگی دارد. این پارامترهای مربوط به سیستم قدرت است که تعیین کننده مکان مناسب برای نصب عنصر موردنظر می باشد. به عنوان مثال اگر هدف از نصب عنصر جدید افزایش پایداری ولتاژ باشد، تعیین محل مناسب و بهینه باید از این دیدگاه انجام شود. اگر هدف از نصب عنصر، افزایش بارپذیری سیستم قدرت (ATC) و یا افزایش ماکزیمم توان انتقالی است، تعیین مکان مناسب عنصر باید از این دید بررسی شود.

د) هزینه مناسب:

آخرین عامل در انتخاب عنصر مورد نظر هزینه های مربوط به سرمایه گذاری و نگهداری از تجهیزات مورد نظر می باشد. این هزینه باید با هزینه های مربوط به ادوات عمومی و قدیمی تر مقایسه شده و از میان این مطالعات بر روی نصب یا عدم نصب عنصر تصمیم گرفته شود.

[1] Static Compensator

۱-۲ پیشینه تحقیق

تاکنون روشهای مختلفی برای جایابی بهینه ادوات FACTS ارائه شده است که هر یک مزایا و معایب خاص خود را دارند. یکی از مهمترین این روشها، تحلیل حساسیت می باشد.[۶]-[۴] در این شیوه، ابتدا شاخصی برای امنیت سیستم تعریف می شود و سپس مقدار تغییرات حساسیت این شاخص نسبت به تغییر هر یک از پارامترهای کنترلی عناصر FACTS موجود در شبکه محاسبه می شود. بسته به نوع تعریف پارامترها، ترکیبی از عناصر FACTS که مقدار فاکتور حساسیت را بیشینه یا کمینه می کنند، پاسخ مسئله خواهند بود. در واقع این روش یکی از روشهای کاربردی تحلیل امنیت شبکه و یافتن کارآمدترین کنترلها برای افزایش آن در شبکه می باشد. یکی از مشکلات این روش آن است که برای برخی عناصر FACTS، محاسبه فرمول حساسیت نیاز به صرف زمان زیادی دارد و این زمان با افزایش اندازه شبکه به شدت افزایش می یابد.

در[۴] جایابی بهینه ادوات FACTS شامل دو عنصر سری TCSC[۱] و TCPAR[۲] با لحاظ کردن شاخص تراکم خطوط برای یک شبکه پنج باس انجام گرفته است. در این مرجع علاوه بر شرایط پایه شبکه، خروج تمامی خطوط نیز بصورت تک پیشامد اتفاقی درنظر گرفته شده و در نهایت مصالحه‌ای جهت یافتن مکان مناسب TCSC و TCPAR انجام شده است.

در [۵] جایابی بهینه ادوات FACTS به روش ضریب حساسیت[۳] و با استفاده از الگوریتم بهینه سازی مارکوارد[۴] [۷] که شیوه اصلاح شده روش نیوتون با تعریف پارامتر جهت جستجو[۵] می باشد، انجام گرفته است. در این مرجع دو تابع هدف تراکم خطوط و ولتاژ باسها لحاظ شده اند و سعی مسئله بهینه سازی هر دو تابع هدف می باشد.

در [۶] از شیوه تکامل تدریجی [۴] استفاده گردیده، که با درنظر گرفتن قیمتهای فروش ژنراتورها و در محیط بازار آزاد، مسئله جایابی ادوات FACTS بهینه سازی شده است.

---

[1] Thyristor Controlled Series Capacitor
[2] Thyristor Controlled Phase Angle Regulator
[3] Sensitivity Factor
[4] Marquardt
[5] Search Direction

در [۸] با استفاده از تحلیل مدال[۱] و محاسبه مقدار منفرد[۲] مینیمم ماتریس الحاقی، از طریق اندیسهای کنترل پذیری و رویت پذیری به حل مسئله جایابی بهینه ادوات FACTS پرداخته شده است.

استفاده از روشهای تکاملی[۳] مانند GA[۴] و PSO[۵] روش دیگری برای حل مسئله جایابی بهینه ادوات FACTS می باشند. در [۱۱]-[۹] برخی از این روشها جهت حل مسئله به کار گرفته شده اند. مکانیزم حل مسئله به وسیله این روش ها تعریف یک تابع هدف شامل برخی شاخص‌های امنیت شبکه و یافتن مقدار بهینه آن می باشد. ابتدا چند نامزد به عنوان پاسخ مسئله پیشنهاد می شود و سپس این نامزدها برای رسیدن به نقطه بهینه مسئله، به تدریج تکامل می یابند. در [۹] مسئله تخصیص بهینه ادوات FACTS با درنظر گرفتن ولتاژ باسها، تراکم خطوط و قیمت عناصر، توسط PSO حل شده است. عیب وارده به این تحقیق را می توان نحوه تعریف تابع هدف آن دانست که تنها سعی در برآورده کردن قیود شبکه با کمترین هزینه می کند. تعریف چنین تابع هدفی می تواند پاسخ های مسئله را در حل های مختلف الگوریتم تکاملی کاملا متمایز از یکدیگر نماید.

در [۱۰] مقایسه ای بین روش های تکاملی در حل مسئله جایابی بهینه ادوات FACTS جهت افزایش حاشیه امنیت شبکه صورت گرفته است. نتایج این تحقیق نشان می دهد الگوریتم ژنتیک و جستجوی تابو[۶] نسبت به الگوریتم مورچه[۷] همگرایی سریعتری را حاصل می کنند.

در [۱۱] روشی جدید برای درنظر گرفتن هزینه ادوات FACTS در بحث جایابی بهینه در سیستم های قدرت تجدید ساختار یافته ارائه شده است. در محاسبات پخش بار بهینه، هزینه تولید شبکه با واحد $/hr بیان می شود. هزینه ادوات FACTS نیز با توجه به هزینه های ثابت نصب و ظرفیت نامی عنصر، با یک تابع درجه دو بر حسب ظرفیت MVar تولیدی آن نشان داده می شود.

[1] Modal analysis
[2] Singular value
[3] Evolutionary Method
[4] Genetic Algorithm
[5] Particle Swarm Optimization
[6] Tabu Search
[7] Ant Colony

واحد این تابع هزینه $/KVar می باشد.[۱۲] یک عنصر FACTS می تواند برای سالهای طولانی در مدار قرار داشته باشد اما در عمل تنها بخشی از عمر آن جهت تنظیم پخش بار استفاده می شود. در [۱۱] این زمان پنج سال درنظر گرفته شده است. با استفاده از این عمر مفید، تابع هزینه ادوات FACTS مشابه تابع هزینه ژنراتورهای شبکه به صورت $/hr بیان گردیده است. تحت این شرایط با درنظر گرفتن هزینه ادوات FACTS در محاسبات پخش بار بهینه، می توان اقتصادی ترین شرایط شبکه را تعیین کرد.

اما شاید جدیدترین مفهوم وارد شده به محاسبات جایابی بهینه ادوات FACTS، بحث بهینه پارتو[1] باشد. در [۱۳] از یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه[2] با تاکید بر اصل بهینه پارتو، جهت جایابی بهینه ادوات FACTS ارائه شده است. بر طبق این اصل، در یک بهینه سازی چند هدفه، مجموعه پاسخهای بهینه پاسخهایی هستند که هر گونه بهبود در یکی از توابع هدف، باعث تضعیف حداقل یک تابع هدف دیگر می شود. این بهینه سازی دسته ای از پاسخ‌های بهینه را ارائه می دهد و کاربر با توجه به ملاحظات تجربی از مسئله پاسخ مورد نظر را انتخاب می کند.

۱-۳ معرفی تحقیق

جهت بهبود امنیت شبکه بایستی پیشامدهای تصادفی وخیم شناسایی شوند و جهت کاهش وخامت این پیشامدها، اقدامات کنترلی لازمه پیاده سازی شود. کنترل بازدارنده در مرحله طراحی و برنامه ریزی شبکه درنظر گرفته می شود و شامل نصب عناصر و منابعی برای بهبود امنیت شبکه در شرایط کار عادی و نیز وقوع پیشامدهاست. در این مرحله همچنین برای شرایط پایه شبکه، عناصر و منابع کنترلی به طور صحیح تنظیم می گردند. اعمال کنترلی بازدارنده قبل از وقوع پیشامدها اجرا می شوند اما نوع دیگری از اعمال کنترلی به صورت زمان واقعی[3] انجام می شوند و هدف اصلی آنها بهبود امنیت

[1] Pareto Optimum
[2] Multi Objective Genetic Algorithm (MOGA)
[3] Real Time

امنیت با استفاده از تنظیم مجدد پارامترهای قابل کنترل عناصر و منابع شبکه است. این اقدامات تحت عنوان کنترل تصحیحی شناخته می شوند.

همان طور که بیان گردید تاکنون شیوه های متفاوت و گوناگونی برای حل مسئله جایابی بهینه ادوات FACTS برای بهبود امنیت شبکه ارائه شده است. تحقیق حاضر سعی در جایابی ادوات FACTS برای پیاده سازی کنترل بازدارنده و کنترل تصحیحی دارد. جهت انجام این مهم، در ابتدا پیشامدهای تصادفی از دید وخامت بر حسب یک شاخص امنیتی رتبه بندی شده اند. از میان پیشامدهای وخیم، یک یا چند پیشامد جهت اعمال کنترل های لازم بوسیله ادوات FACTS انتخاب می شوند و به همراه شرایط پایه شبکه مورد تحلیل قرار می گیرند. برای هر عنصر FACTS سه پارامتر نوع، موقعیت و setting تعیین می شوند. setting بیانگر پارامتر کنترلی عنصر FACTS است و برای شرایط پایه شبکه و هر یک از پیشامدها به صورت مجزا تعیین می شود. ظرفیت نامی عنصر FACTS نیز بسته به موقعیت عنصر و پارامتر کنترلی آن محاسبه می گردد. در این تحقیق ابزار بهینه سازی مسئله، الگوریتم ژنتیک است که برای تعریف تابع برازندگی در آن مفاهیم فازی به کار برده شده اند. در واقع جهت اجرای یک بهینه سازی مقید در الگوریتم ژنتیک از توابع عضویت فازی برای تعریف اهداف و قیود مسئله استفاده شده است. جهت رفع عیب عنوان شده برای [۹]، در این تحقیق سعی شده علاوه بر قیود شبکه، مسئله تا حد امکان به بهینه کردن انحراف ولتاژهای باس های شبکه از مقادیرمجاز، تلفات شبکه و تراکم خطوط انتقال به صورت چند هدفه اقدام نماید.

تحقیق حاضر مشتمل بر شش فصل است. در فصل دوم به تحلیل امنیت حالت ماندگار با بررسی پیشامدهای تصادفی و رتبه بندی این پیشامدها پرداخته شده است و با پیاده سازی شیوه هایی ساده، حوادث اتفاقی منجر به شرایط وخیم شبکه شناسایی شده اند. در فصل سوم مدلسازی ادوات FACTS بیان شده است. از آنجا که بحث انجام گرفته در این تحقیق در مورد امنیت حالت ماندگار شبکه است، مدلسازی این عناصر در حالت مانا قابل قبول می باشد. در فصل چهارم پیکربندی مسئله به صورت یک مسئله بهینه سازی چندهدفه ارائه شده است و پارامترهای کنترلی مسئله و اهداف و قیود آن به

طور مفصل مورد بحث قرار گرفته اند. در فصل پنجم نتایج شبیه سازی های انجام شده و تحلیل پاسخهای بدست آمده از جنبه های گوناگون بیان شده است. در انتها و در فصل ششم نیز نتیجه‌گیری انجام شده از تحقیق و پیشنهاداتی برای ادامه کار در مورد نتایج این بحث در آینده ارائه شده است.