



دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک گروه قدرت

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته برق گرایش قدرت و سیستمهای انرژی

عنوان پایان نامه

**برنامه ریزی چند هدفه توسعه شبکه انتقال با در نظر گرفتن اثر ادوات
فکتس (FACTS) به منظور حذف گرفتگی خطوط و بهبود بهره برداری
در سیستمهای تجدید ساختار یافته**

بوسیله :

محمد داود مجیدپور

استاد راهنما:

دکتر محسن گیتی زاده

تیر ۱۳۹۱

صلى الله عليه وسلم

بسمه تعالی

برنامه ریزی چند هدفه توسعه شبکه انتقال با در نظر گرفتن اثر ادوات فکتس (FACTS) به منظور حذف گرفتگی خطوط و بهبود بهره برداری در سیستمهای تجدید ساختار یافته

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

توسط :

محمد داود مجیدپور

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه قدرت دانشکده برق و الکترونیک

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه

دکتر محسن گیتی زاده - استادیار - گروه قدرت (استاد راهنما)

دکتر جمشید آقایی - استادیار - گروه قدرت (داور)

دکتر محمد مردانه - استادیار - گروه قدرت (داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

تقدیم به

پدر دلسوز و مادر مهربانم

که هر چه دارم از دعای خیر آنهاست

همسر فداکارم

که با ایثار و از خودگذشتگی خود، تحمل سختیها را بر من آسان کرد و همیشه یار و همراه من بود

نازنین دخترم

که حضورش زندگیمان را عطر و طراوتی دوچندان بخشید

و

همه آنهایی که در راه اعتلای ایران اسلامی از جان خود گذشتند

سپاسگزاری

خداوند قادر و مهربان را شاکرم که مرا در همه احوالات زندگی یاری کرد و در تلاطم دریای امتحانات و ابتلائات ، هرگاه دست نیاز به سوی حضرتش بلند کردم از بنده خوار و ناسپاسش دستگیری کرد .

و از مولا و امامم حضرت صاحب الامر و العصر و الزمان که واسطه فیض بین خالق و مخلوق است ، تشکر می کنم که در چالشها و گره های کور زندگی هرگاه به دامان پرمهر ایشان چنگ زدم با دعای خیر خود مرا به صلاح و رضا رهنمون گردیدند.

و ابراز ارادت و نهایت تقدیر را تقدیم می کنم به همه اساتید معظم و فرهیخته دانشگاه صنعتی شیراز که برای این حقیر زحمات بسیاری کشیدند خصوصا استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر محسن گیتی زاده که راهنمایی ها و مشاوره های کافی و وافی ایشان ، به بنده این فرصت را داد که از محضر ایشان بهره های فراوانی ببرم.

چکیده:

عنوان پایان نامه

برنامه ریزی چند هدفه توسعه شبکه انتقال با در نظر گرفتن اثر ادوات فکتس (FACTS) به منظور حذف گرفتگی خطوط و بهبود بهره برداری در سیستمهای تجدید ساختار یافته

به وسیله:

محمد داود مجیدپور

همزمان با پیشرفت تکنولوژی نقش اساسی یک سیستم قدرت در جوامع مدرن به جهت تامین برق مطمئن و با کیفیت لحظه به لحظه پر رنگ تر و موثرتر میشود. از طرفی رشد بارهای مصرفی و ظهور بارهای جدید با مدل‌های رفتار مصرفی متفاوت و اثرات هارمونیکی و ولتاژی ناشی از آنها، شرکتهای برق را بر آن می دارد که از یک سو شبکه موجود را توسعه دهند و از سوی دیگر قابلیت اطمینان و کیفیت برق را برای مشترکین تضمین نمایند. با توجه به حضور عواملی چون عوارض محیطی و توپولوژی خاص شبکه از جهت حبس تولید و غالب بودن زاویه بار در یک منطقه، احداث خطوط جدید ممکن است اصلا امکان پذیر نبوده و یا توجیه فنی و اقتصادی نداشته باشد. با توجه به این موضوع در این طرح، توسعه شبکه را در حضور ادوات فکتس بررسی می کنیم. به این معنی که در مکانهایی که عوارض طبیعی مانند جنگلها و مناطق صعب العبور کوهستانی که نصب خطوط جدید مقرون به صرفه نیست، نصب ادوات فکتس جدید در نقاط مناسب به آزادسازی ظرفیت خطوط و یا تغییر زاویه بار منجر شده و از تراکم خطوط و افت ولتاژهای ناشی از اضافه بار جلوگیری شود. بدیهی است حداقل هزینه ممکن در فرآیند تجدید ساختار سیستمهای برق کاملا مطلوب شرکتهای برق می باشد و باید به عنوان یکی از توابع هدف مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست مطالب

۱. مقدمه	۱
۲. کلیات مطالعات برنامه‌ریزی توسعه شبکه	۵
۲-۱- مقدمه	۶
۲-۲- تقسیم بندی برنامه‌ریزی توسعه شبکه	۶
۲-۲-۱- برنامه‌ریزی توسعه نیروگاه‌ها	۷
۲-۲-۲- برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال	۸
۲-۲-۳- برنامه‌ریزی توسعه پست‌ها	۹
۲-۳- برنامه‌ریزی توسعه شبکه از دیدگاه روش‌های حل مساله	۹
۲-۳-۱- روش‌های بهینه‌سازی ریاضی	۱۰
۲-۳-۲- روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری	۱۰
۲-۳-۳- روش‌های بهینه‌سازی ترکیبی	۱۰
۲-۳-۴- برنامه‌ریزی توسعه انتقال در محیط‌های سنتی	۱۱
۲-۳-۵- روش‌های استاتیک	۱۲
۲-۳-۶- روش‌های دینامیک	۲۰
۲-۳-۷- برنامه‌ریزی توسعه انتقال در محیط‌های رقابتی	۲۱
۲-۳-۷-۱- خصوصیات TEP در محیط‌های رقابتی	۲۲
۲-۳-۷-۲- روش‌های پیشنهادی TEP در محیط‌های رقابتی	۲۲
۲-۴- برنامه‌ریزی توسعه انتقال از دیدگاه افق طراحی	۲۴
۲-۴-۲- برنامه‌ریزی دینامیک توسعه انتقال	۲۶
۲-۵- برنامه‌ریزی توسعه انتقال از دیدگاه ساختار صنعت برق	۲۷
۲-۶- برنامه‌ریزی توسعه انتقال از دیدگاه افق زمانی	۲۹
۲-۷- الگوریتم گام به گام برنامه‌ریزی توسعه شبکه	۳۰
۳-۱- آمریکا	۳۵
۳-۱-۱- ERCOT	۳۶

۳۶	CAISO (California ISO) ۲-۱-۳
۳۶	کانادا ۲-۳
۳۶	آنتاریو ۱-۲-۳
۳۸	BC Hydro ۲-۲-۳
۳۸	استرالیا ۳-۳
۳۸	Victoria – VENCORP ۱-۳-۳
۳۹	New South Wales – TransGrid ۲-۳-۳
۳۹	اروپا (EUROPE) ۴-۳
۴۰	United Kingdom (National Grid PLC) and (EDF) بریتانیا ۱-۴-۳
۴۰	آسیا (ASIA) ۵-۳
۴۰	Hong Kong ۱-۵-۳
۴۰	Singapore – Energy Market Authority (EMA) ۲-۵-۳
۴۰	نیوزلند NEW ZEALAND ۳-۵-۳
۴۳	مروری بر ادوات FACTS ۰۴
۴۵	عملکرد FACTS ۱-۴
۴۵	جبران‌ساز Var استاتیک (SVC) ۱-۱-۴
۴۷	خازن سری کنترل تریستوری (TCSC) ۲-۱-۴
۴۸	جبران‌ساز استاتیک (STATCOM) ۱-۱-۳
۴۹	ترانسفورماتور شیف‌دهنده فاز (PST/PAR) ۴-۱-۴
۵۰	جبران‌ساز سری سنکرون استاتیک (SSSC) ۵-۱-۴
۵۱	کنترل کننده یکپارچه توان (UPFC) ۶-۱-۴
۴۵	توابع هدف، فرمول بندی ریاضی و شبیه سازی برنامه ریزی توسعه ۵
۵۴	توابع هدف در مسئله TEP ۱-۵
۵۴	۱- هزینه احداث خطوط (Investment Cost)
۵۴	۲- هزینه احداث ادوات فکتس

۵۵	۳- تابع هزینه رفع گرفتگی خطوط
۵۵	۴- تابع هزینه تلفات
۵۶	۵- تابع انحراف ولتاژ
۵۶	۵-۲ شبکه مورد بررسی
۵۹	۵-۲-۱ جایابی ادوات فکتس
۶۴	۵-۲-۲ جایابی ادوات فکتس و خط به صورت توام
۶۹	جمع بندی و نتیجه گیری
۷۰	پیشنهاد برای کارهای آینده
۷۱	منابع و مراجع

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۵- ۱۱-اطلاعات ژنراتورهای شبکه ۱۴ باسه	۵۷
جدول ۵-۲-اطلاعات خطوط شبکه ۱۴ باسه	۵۸
جدول ۵-۳-اطلاعات شینه‌های شبکه ۱۴ باسه	۵۹
جدول ۵-۴-نتایج جایابی ادوات FACTS	۶۰
جدول ۵-۵-اثر ادوات فکتس نصب شده بر توان عبوری و تلفات خطوط	۶۴
جدول ۵-۷-اثر ترکیب خط و فکتس بر توان عبوری از خطوط و تلفات سیستم	۶۵

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲ مدل برنامه ریزی یکپارچه سیستم قدرت.....	۷
شکل ۲-۲ شمای فرضی شبکه در برنامه ریزی توسعه نیروگاه در شبکه تک شینه.....	۸
شکل ۳-۲ مفهوم برنامه ریزی توسعه انتقال در حالت استاتیک.....	۲۵
شکل ۴-۲ مفهوم پروندهای توسعه در حالت دینامیک.....	۲۷
شکل ۱-۴ مشخصه V-I SVC و ساختمان آن.....	۴۶
شکل ۲-۴ انواع SVC.....	۴۷
شکل ۳-۴ TCSC و نمودار P-V.....	۴۸
شکل ۴-۴ STATCOM و مشخصه V-I.....	۴۹
شکل ۵-۴ PST کنترل تریستوری و نمودار فازوری ولتاژها.....	۵۰
شکل ۶-۴ ساختار SSSC.....	۵۱
شکل ۷-۴ UPFC و ناحیه کاری چند نوع FACTS در صفحه P- Q.....	۵۲
شکل ۵ - ۱: طرح تک خط شبکه ۱۴ شینه IEEE.....	۵۷
شکل ۲-۵ نمودار شایستگی هزینه نصب ادوات فکتس در یک سال.....	۶۱
شکل ۳-۵ نمودار شایستگی هزینه نصب ادوات فکتس در چهار سال.....	۶۱
شکل ۴-۵ طرح تک خط شبکه ۱۴ شینه یا ادوات نصب شده.....	۶۲
شکل ۵-۵ پروفیل ولتاژ قبل وبعد از نصب فکتس.....	۶۳
شکل ۶-۵ طرح شبکه ۱۴ شینه تحت فشار.....	۶۶
شکل ۷-۵ پروفیل ولتاژ قبل و بعد از توسعه شبکه.....	۶۸

١. مقدمه

امروزه سیستم‌های قدرت نقشی اساسی در جوامع مدرن ایفا می‌کنند مشروط بر اینکه توانایی لازم برای تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را داشته باشند [۱]. هدف اصلی یک شرکت برق مینیمم کردن سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری مورد نیاز است بگونه‌ای که یک سطح مناسب از قابلیت اطمینان، بسبب ملاحظات محیطی و دیگر موضوعات مرتبط را فراهم کند.

ساختار فیزیکی سیستم قدرت بواسطه رشد بار تغییر می‌کند. تولیدات جدید به منظور جبران نیاز بار جدید لازم است به سیستم اضافه گردد. یک جزء اصلی شبکه قدرت، سیستم انتقال است که نقش مهمی را در بهره‌برداری و برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت الکتریکی بازی می‌کند. هدف از برنامه‌ریزی سیستم انتقال تعیین برنامه زمانبندی و نوع تجهیزات جدید انتقال است. تجهیزات به منظور تامین ظرفیت کافی انتقال برای تولید اضافی و ملزومات توزیع بار مورد نیازند. نقطه شروع پروسه برنامه‌ریزی، پیش‌بینی بار برحسب بار پیک سالیانه برای کل سیستم قدرت است. طرح‌های توسعه تولید با پیش‌بینی بار مطابقت می‌کند که گام بعدی در برنامه‌ریزی سیستم است.

رشد مقدار انرژی مورد نیاز مصرف‌کنندگان، تغییرات و عدم ثبات توان مصرفی نسبت به زمان، محدودیت‌های تامین سوخت نیروگاه‌ها، محدودیت‌های تولید توان نیروگاه‌ها، محدودیت‌های عبور توان از خطوط، محدودیت‌های بارگذاری پست‌ها و ... لزوم انجام مطالعه دقیق در شبکه برق جهت تامین انرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان بصورت مطمئن و مطلوب با کمترین هزینه را آشکار می‌سازد.

این مطالعات را می‌توان به دو حوزه مطالعات بهره‌برداری و مطالعات برنامه‌ریزی تقسیم نمود.

در مطالعات بهره‌برداری شبکه^۱، هدف تامین نیاز مصرف‌کنندگان با توجه به محدودیت‌ها و قیود مختلف با حداقل هزینه و اطمینان کافی است. مطالعاتی نظیر توزیع اقتصادی بار^۲، برنامه‌ریزی تولید^۳، پخش بار بهینه^۴ و ... را می‌توان در زمره مطالعات بهره‌برداری شبکه به حساب آورد.

¹ operation

² Economic Dispatch

³ Unit Commitment

⁴ Optimal Power Flow

یکی از اهداف مطالعات برنامه‌ریزی^۱، مطالعات توسعه شبکه^۲ است که در آن، هدف، تعیین تجهیزات مورد نیاز از نظر ویژگی و زمان بهره‌برداری است تا با رعایت محدودیت‌ها و قیود شبکه با در نظر داشتن افزایش بار مصرفی، بار مصرف کنندگان با کمترین هزینه توسعه تامین گردد.

با توجه به رشد بار در خواستی مصرف‌کنندگان، طرح‌های انتقال ممکن است به احداث سطوح بالاتر و لتاژ، نصب المانهای جدید انتقال و پست‌های جدید نیاز داشته باشد. اطلاعات مربوط به رشد بار و ساختار موجود انتقال در دسترس طراح می‌باشد. طراح باید مشکلات توانایی شبکه را بر حسب شرایط و لتاژ غیرقابل قبول، اضافه بار تجهیزات یا کاهش قابلیت اطمینان شناسایی کند [۲-۳].

بنابراین طراح باید طرح‌ها یا سناریوهای آلترناتیو را تهیه کرده تا از مشکلات پیش بینی نشده جلوگیری و اهداف بلند مدت اقتصادی و قابلیت اطمینان را برآورده کند. بعلاوه طراح باید رفتار سیستم تحت شرایط خطا یا اتصال کوتاه را مطالعه و همچنین یک مطالعه پایداری را باید برای تست عملکرد سیستم انجام دهد. برای مثال، هنگامیکه بار افزایش می‌یابد یا مراکز بار گسترش می‌یابند، و یا هنگامی که تولیدات جدید اضافه می‌شوند در اثر کمبود ظرفیت انتقال در شبکه اولیه موجود، اضافه باری در شبکه بوجود می‌آید که طراح باید بوسیله اضافه کردن خطوط جدید با ظرفیت مناسب و اتصال به المانهای جدید یا تقویت سیستم موجود این مشکل را حل کند.

بنابراین تنظیمات ضوابط و معیارهای برنامه‌ریزی یا استانداردهای عملکرد سیستم ضروری است، برای اینکه هرگاه شرایط سیستم موجود نامناسب بود، تصمیم‌گیری کرده و همچنین تضمین نماید که طرح‌های توسعه پیشنهاد شده رضایتبخش می‌باشند [۱-۳]. بنابراین یک طراح سیستم انتقال باید استانداردهای شرکت را در حین مطالعه و طراحی توسعه شبکه مد نظر قرار دهد.

استانداردها شامل موارد زیر می‌باشند:

- محدودیت حرارتی نامی هر المان سیستم، که نباید تحت شرایط نرمال و بهره‌برداری اضطراری مشخص شده فراتر رود.

¹ Planning

² Expansion Planning

- سطح ولتاژ، که باید بین محدودیت‌های بهره‌برداری مشخص شده در بار کم و بار پیک باقی بماند.
 - محدودیت‌های پذیرفته شده ظرفیت منابع راکتیو، که نباید از محدوده مجاز تخطی کند برای مثال محدودیت‌های وار زیرتحریک ژنراتورها تحت شرایط بهره‌برداری مشخص شده و با حاشیه‌های امنیتی تعریف شده.
 - سطوح استاندارد جریان اتصال کوتاه، که نباید از شرایط بهره‌برداری تعریف شده فراتر رود.
 - یک سیستم باید قادر باشد در برابر یک خطای مشخص سیستم مقاومت کند (بدون ناپایداری بدنال یک پی‌آمد).
 - مشخصه‌های میرایی سیستم، که باید با معیارهای مشخص شده مطابقت کند.
 - مطابقت محدودیت‌های تعیین شده برای دامنه نوسانات ولتاژ بواسطه مثلا کوره‌های قوسی، بارهای پتروشیمی و غیره.
 - محدودیت‌های فرکانس، که باید در محدوده‌های تعیین شده باشند.
 - نامتعادلی فاز در سطوح ولتاژ مختلف، که نباید از محدوده‌های تعیین شده فراتر رود.
 - ولتاژهای هارمونیکی، که باید بطور مناسب محدود شوند.
- به همین خاطر برنامه‌ریزی این سیستم‌ها باید به نحوی باشد که بهره‌برداری مطمئن در محدوده مجاز حرارتی، ولتاژی و پایداری را میسر سازد تا سیستم‌های انتقال نقش‌های اساسی خود را در شبکه ایفا کنند.
- برای نیل به این هدف لازم است برنامه‌ریزی شبکه منطبق بر استانداردهای لازم اجرایی باشد که حاوی اصول پایه و رویه‌های اساسی برای برنامه‌ریزی درست و قابل اطمینان در سیستم هستند. در زمان حاضر و مخصوصا همگام با پدیده تجدید ساختار در صنعت برق، ضرورت وجود یک استاندارد مدون و یکپارچه و لازم الاجرا همانند آنچه در مورد کشورهای پیشرفته وجود دارد برای هر شبکه انتقال کاملا محسوس است.

۲. کلیات مطالعات

برنامهریزی توسعه شبکه

۲-۱- مقدمه

با توجه به مطالب گفته شده، رشد بار در خواستی مصرف‌کنندگان به‌مراه دیگر دلایل فنی و اقتصادی ممکن است باعث عدم کفایت شبکه موجود برق گردد. هدف از مطالعات برنامه‌ریزی توسعه شبکه تعیین ویژگی‌ها و زمان نیاز به تجهیزات جدید است به گونه‌ای که با حفظ کفایت و قیود، حداقل هزینه تهیه و نصب به شبکه تحمیل شود.

واضح است که حل این مساله در یک شبکه بزرگ و گسترده بسیار پیچیده خواهد بود. رایج است که مطالعه را به نحوی بخش‌بندی و از هم مستقل انجام داد تا ضمن کسب نتیجه مطلوب، انجام مطالعات میسر گردد. از این رو برای ساده‌سازی و حل آسانتر این مساله می‌توان با توجه به ماهیت اصلی آن و با وارد کردن کمترین خدشه به کل مساله، آنرا به حوزه‌های مستقل از یکدیگر تقسیم نمود. در ادامه این فصل برخی از تقسیم‌بندی‌ها آورده شده است.

۲-۲- تقسیم‌بندی برنامه‌ریزی توسعه شبکه

عدم کفایت یک شبکه برق در تامین بار مصرف‌کنندگان ممکن است از عدم کفایت نیروگاه‌ها در تولید توان مورد نیاز، عدم کفایت خطوط انتقال شبکه در انتقال توان تولیدی، عدم کفایت پست‌های شبکه در تغذیه بارها و یا عدم کفایت توام همه موارد فوق، ناشی شده باشد. به عبارت دیگر، تعیین ویژگی‌ها و زمان نیاز به "نیروگاه‌های جدید"، "خطوط جدید"، و "پست‌های جدید" برای تامین "با کفایت" نیاز مصرف‌کنندگان، هدف مساله برنامه‌ریزی خواهد بود.

با توجه به نکات گفته شده، می‌توان برنامه‌ریزی توسعه شبکه را به سه مساله زیر تفکیک نمود:

۱- برنامه‌ریزی توسعه شبکه انتقال

۲- برنامه‌ریزی توسعه نیروگاه‌ها

۳- برنامه‌ریزی توسعه پست‌ها

بدیهی است که بدلیل تاثیرات متقابل، حل منفرد این سه مساله، جواب بهینه مطلق را نسبت به حل توام هر سه، نخواهد داد.