دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی (B.Sc)

مهندسی برق- قدرت

بررسی تأثیرات ادوات فکتس توزیع شده (D-FACTS) در مسأله مشارکت واحدها (UC)

تحقیق و نگارش

بهرام کمالی‌نژاد

استاد راهنما

جناب دکتر عباس ربیعی

تیرماه ۹۸

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره‌ای از دریای بیکران مهربانی‌تان را سپاس نتوانم بگویم

امروز هستی‌ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس خداوند علیم و حکیم

از استاد راهنمای فرهیخته و فرزانه‌ام؛ جناب دکتر عباس ربیعی که با راهنمایی های ارزشمند خود و با صفای وجود و خوشرویی مرا در انجام این پایان نامه یاری فرمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

یارب دل ما را تو به رحمت جان ده درد — همه را به صابری درمان ده

این بنده چه داند که چه می باید جست — داننده تویی هر آنچه دانی آن ده

چکیده

مساله مشارکت واحدها برای برنامه ریزی تولید در زمان پیش‌رو استفاده می‌شود. مسأله به مدار آوردن واحدها یکی از مهم‌ترین برنامه‌های اقتصادی در سیستم قدرت به شمار می‌رود. برنامه‌ریزی اقتصادی برای به مدار آمدن و تولید توان واحدها در حالی که همه‌ی قیود مربوط به واحدهای تولیدی ارضا می‌شوند، انجام می‌پذیرد. از آنجایی که توان الکتریکی را نمی‌توان در مقادیر عظیم ذخیره نمود، سیستم به وسیله‌ی واحدهای تولید توان که در مدار هستند و توسط ابزار پخش بار بهینه این انرژی مورد نیاز را به صورت آنی و برنامه‌ریزی شده تأمین می‌کند. برای تأمین این درخواست با کم‌ترین هزینه، واحدهای تولید باید با یک راه‌حل مطمئن برنامه‌ریزی شوند.

تغییر بار در طول روز و افزایش آن در ساعات پیک موجب استفاده از واحدهای گران‌قیمت برای تأمین بار و در نتیجه افزایش هزینه تولید واحدها می‌شود. از طرف دیگر بارگذاری خطوط شبکه در ساعات پیک به حد مجاز خود نزدیک شده و موجب تحمیل هزینه‌های پرشدگی به سیستم می‌شود.

در سال‌های اخیر ادوات جدیدی تحت عنوان ادوات D-FACTS مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند که مبتنی بر ادوات الکترونیک قدرت می‌باشند. ادوات D-FACTS مانند راکتور سری توزیع شده (DSR) و جبران‌کننده استاتیک سری توزیع شده (DSSC)، می‌توانند به منظور تصحیح پخش توان و برطرف کردن پرشدگی در خطوط انتقال به وسیله تغییر امپدانس خطوط به کار گرفته شوند. توانایی ماژول‌های DSR در کنترل پخش بار می‌تواند در خطوط انتقال موازی و یا در آرایش‌های حلقوی برای هدایت بعضی از قسمت‌های توان از یک خط به خط یا خط‌های دیگر به کار گرفته شود.

در این پایانامه می‌خواهیم در گام اول به حل مسأله مشارکت واحدها به همراه قیود مختلف واحدهای تولیدی بپردازیم. سپس در گام بعد با بکارگیری ابزار قدرتمند پخش بار بهینه DC به بررسی تأثیرات ادوات D-FACTS در کاهش هزینه‌های تولید واحدها در بازه برنامه‌ریزی شده ۲۴ ساعته برای مشارکت واحدها می‌پردازیم. همچنین به کارگیری بهینه این ادوات در کنترل پخش توان و افزایش ظرفیت انتقال توان سیستم را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

کلمات کلیدی: مشارکت واحدها، برنامه‌ریزی اقتصادی، ادوات D-FACTS، پخش بار بهینه، پرشدگی خطوط

فهرست مطالب

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱-۱- مشارکت واحدها ۲

۱-۲- پخش بار ۳

۱-۳- پیش‌بینی بار ٤

۱-٤- ادوات فکتس (FACTS) ٥

۱-٥- خلاصه‌ای از راه‌کار حل مسأله و اهداف ٦

۱-٦- ساختار پایان‌نامه ۷

فصل دوم ۸

مدل سازی مسأله ۸

۲-۱- در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها ۹

۲-۲- توزیع اقتصادی بار و در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها ۹

۲-۳- تعریف مسأله ۱۲

۲-٤- قیود موجود در مسأله در مدار قرار گرفتن نیروگاه‌ها ۱۳

۲-٤-۱- قیود واحدهای حرارتی ۱۳

۲-٥- مشخصات واحدهای بخاری ۱٥

۲-٥-۱- منحنی ورودی-خروجی ۱٦

۲-٥-۲- مشخصه‌ی نرخ خالص حرارتی ۱٦

۲-٥-۳- مشخصه نرخ افزایش حرارتی ۱۷

۲-٦- منحنی بار ۱۷

۲-٦-۱- بار پایه، بار متوسط و بار ماکزیمم(پیک) ۱۸

۲-۷- مدل سازی و فرمولاسیون مسأله ۱۹
۲-۷-۱- مرحله اول _ مدل‌سازی مسأله UC ۱۹
۲-۷-۲- حل مسأله UC با در نظر گرفتن قیود پخش بار بهینه DC ۲۵
۲-۸- مرحله دوم- بررسی تأثیر ادوات FACTS در مسأله UC ۲۸
۲-۸-۱- ادوات D-FACTS ۲۹
۲-۸-۲- هزینه‌های پرشدگی (Congestion Cost) ۳۳
۲-۸-۳- وارد کردن روابط مربوط به D-FACTS به مسأله ۳٤
۲-۸-٤- ضریب رهایی پرشدگی ۳٦
۲-۹- تعیین تعداد بهینه خطوط مجهز به(DSR) ۳۷
۲-۹-۱- تعیین تعداد بهینه خطوط با رویکرد هزینه کل ۳۷
۲-۹-۲- تعیین تعداد بهینه خطوط با رویکرد بارگذاری کل سیستم ۳۹
فصل سوم ٤۱
شبیه سازی شبکه مورد مطالعه و تحلیل نتایج ٤۱
۳-۱-مقدمه ٤۲
۳-۲-ساختار شبکه مورد مطالعه ٤۳
۳-۳-نتایج حاصل از شبیه سازی و بررسی مسأله در حضور ادوات (D-FACTS) ٤٦
۳-۳-۱- تعیین $NDSRmax$ بهینه ٤٦
۳-۳-۲- بررسی تأثیر تغییرات $NDSRmax$ در تولیدات واحدهای گران ٤۹
۳-۳-۳- بررسی توزیع فراوانی نصب DSR در خطوط ۵۰
۳-٤-نتایج حل مسأله مشارکت واحدها با در نظر گرفتن قیود پخش بار بهینه ۵۲
۳-٤-۱-مرحله اول- بدون حضور (DSR) ۵۲
۳-٤-۲-مرحله دوم-در حضور (DSR) ۵٤
فصل چهارم ۵۷

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۵۷

۴-۲-پیشنهادات ۶۰

فهرست منابع و مراجع ۶۱

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱- منحنی ورودی-خروجی واحد بخار ۱۶

شکل ۲-۲- نمودار تغییرات بار در ۲٤ ساعت ۱۹

شکل۲-۳- شماتیک مدار داخلی یک ماژول DSSC ۳۱

شکل ۲-٤- شماتیک نحوه نصب DSR ها ۳۲

شکل ۲-۵- مکان نصب ماژول‌های DSR روی خطوط انتقال ۳۲

شکل ۲-٦- آلگوریتم تعیین NDSRmax بهینه رویکرد هزینه کل ۳۸

شکل ۲-۷- الگوریتم تعیین NDSRmax بهینه با رویکرد CRF کل ٤۰

شکل ۳-۱- شبکه ۲٤ باسه IEEE RTS ٤۳

شکل ۳-۲- نمودار تغییرات هزینه کل نسبت به NDSRmax ٤۷

شکل ۳-۳- نمودار تغییرات CRF کل نسبت به NDSRmax ٤۸

شکل۳-٤-نمودار تغییرات تولید ۲٤ ساعت چند واحد گران نسبت به $NDSRmax$ ۵۰

شکل۳-۵- نمودار میله‌ای توزیع فراوانی نصب DSR روی خطوط ۵۱

فهرست جداول

جدول۳-۱-اطلاعات خطوط برای شبکه ۲٤ باسه IEEE RTS ٤٤

جدول ۳-۲- اطلاعات واحدهای تولیدی در شبکه ۲٤ باسه IEEE RTS ٤٥

جدول ۳-۳- مشخصات ورود و خروج بهینه واحدها در بازه زمانی برنامه‌ریزی ٥٣

جدول ۳-٤- مشخصات ورود و خروج بهینه واحدها در بازه زمانی برنامه‌ریزی در حضور DSR رویکرد هزینه ٥٥

جدول ۳-٥- مشخصات ورود و خروج بهینه واحدها در بازه زمانی برنامه‌ریزی در حضور DSR رویکرد CRF ٥٦

فهرست علائم و اختصارات

توضیح	علائم و اختصارات
اندیس‌ها و مجموعه‌ها	
نماد باس‌های شبکه	n
نماد خطوط شبکه	ℓ
نماد بازه‌های زمانی	t
نماد واحدهای تولیدی	i
مجموعه کل باس‌های شبکه	Ω_B
مجموعه مشخص کننده اتصال واحدهای تولیدی به باس b	Ω_{Gb}
مجموعه خطوط در شبکه انتقال	Ω_L
مجموعه بازه‌های زمانی	Ω_T
پارامترها	
بار باس b در زمان t	$P_{b.t}^{L}(MW)$
ضریب هزینه سوخت واحد i	b_i (\$/MW)
حد بالای توان تولیدی واحد i	P_i^{max}
حد پایین توان تولیدی واحد i	P_i^{min}
هزینه راه اندازی واحد i	$Cs_i(\$)$
هزینه خاموش شدن واحد i	$Cd_i(\$)$
نرخ افزایش توان تولیدی واحد گرمایی i	$RU_i(MW/h)$
نرخ کاهش توان تولیدی واحد گرمایی i	$RD_i(MW/h)$
نرخ روشن شدن واحد گرمایی i	$SU_i(MW/h)$
نرخ خاموش شدن واحد گرمایی i	$SD_i(MW/h)$

کمینه زمان خاموش بودن واحد i	$\mathrm{UT}_i(h)$
کمینه زمان روشن بودن واحد i	$\mathrm{DT}_i(h)$
وضعیت اولیه واحد i	$\mathrm{u}_{i.t=0}$
بازه زمانی که واحد i در ابتدای برنامه‌ریزی روشن بوده‌است	$U_i^0(h)$
بازه زمانی که واحد i در ابتدای برنامه‌ریزی خاموش بوده‌است	$S_i^0(h)$
حد حرارتی توان عبوری از خط ℓ	$\bar{P}_{bn}^{\ell}(MW)$
سوسپتانس اولیه خط ℓ	$B_{bn}^0(\Omega)$
مینیمم انحراف ممکن از سوسپتانس اولیه خط ℓ	Δ_{bn}^{min}
ماکزیمم تعداد خطوطی است که اجازه دارند مجهز به DSR شوند	N_{DSR}^{max}
متغیرها	
توان تولیدی واحد i در زمان t	$P_{i.t}(\mathrm{MW})$
حداقل/حداکثر حدود بهره برداری وابسته به زمان	$\underline{P}_{i.t}.\overline{P}_{i.t}$
تابع هدف مسأله	OF
توان جاری در خط ℓ در ساعت t	$P_{bn.t}^{\ell}(MW)$
هزینه سوخت واحد i در زمان t	$FC_{i.t}(\$)$
هزینه راه‌اندازی/توقف واحد i در زمان t	$STC_{i.t}\ .SDC_{i.t}\ (\$)$
زاویه ولتاژ باس b در زمان t	$\delta_{b.t}$
سوسپتانس خط ℓ در زمان t	$B_{bn.t}$
متغیر باینری نشان‌دهنده وجود DSR (۱) یا عدم وجود DSR (۰) در خط ℓ	I_{bn}

وضعیت واحد i در زمان t به طوری که ۱ یعنی روشن و ۰ یعنی خاموش	$u_{i.t}$
متغیری باینری است در صورتیکه واحد iام در شروع زمان tام روشن شود برابر ۱ در غیر این صورت ۰	$y_{i.t}$
متغیری باینری است در صورتیکه واحد iام در شروع زمان tام خاموش شود برابر ۱ در غیر این صورت ۰	$z_{i.t}$
بارگذاری نرمالیزه شده سیستم در زمان t	SL_t
ضریب رهایی پرشدگی در زمان t	CRF_t
هزینه پرشدگی	C_{cg}
هزینه کل	TC

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مشارکت واحدها

مشارکت واحدها (UC)[1] به معنی تعیین وضعیت روشن یا خاموش بودن واحدهای تولید انرژی الکتریکی در یک بازه زمانی مشخص در یک شبکه قدرت می باشد. مسأله به مدار آوردن واحدها یکی از مهمترین برنامه‌های اقتصادی در سیستم قدرت به شمار می‌رود.

یکی از معیارهای مطرح در حل مسأله مشارکت واحدها به حداقل رساندن هزینه‌های پروسه تأمین انرژی الکتریکی برای سیستم قدرت در یک افق زمانی مشخص می باشد. با حل این مسأله مقدار توان تولیدی واحدهای روشن به صورت اقتصادی یا زیست محیطی، با توجه به قیود موجود تعیین می‌شوند.

در سیستم‌های قدرت مدرن و سنتی، علاوه بر اقتصادی بودن این برنامه‌ریزی، مسأله امنیت در بهره برداری از واحدها نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است، زیرا ایجاد مصالحه بین اقتصاد و امنیت در این مسأله می‌تواند با رسیدگی به تمام پتانسیل‌ها و قیود، هزینه‌های تولید را کاهش دهد. مسأله SCUC[2] یکی از پیچیده‌ترین مسائل بهینه سازی در سیستم‌های قدرت است، که باید در آن قیود تولید، انتقال و امنیت شبکه در نظر گرفته شوند. برای حل این مسأله بهینه سازی روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به روش لاگرانژین تقویت شده و برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته (MIP)[3] اشاره کرد. در این نوع مسأله سه ویژگی تأمین بار، حداکثرسازی امنیت و حداقل‌سازی هزینه با مشارکت واحدهای ارزان‌تر و توزیع اقتصادی بار در میان واحد های شرکت کننده، تأمین می‌شود [٦].

---

[1] Unit Commitment
[2] Security constrained unit commitment
[3] Mixed Integer Programming

در بازارهای برق day-ahead تأمین کننده‌ها با توجه به ساختار بازار می‌توانند پیشنهادهای خود را به صورت مناقصه یک قسمتی یا چند قسمتی ارائه کنند. مناقصه یک قسمتی فقط شامل قیمت و مقدار است و مناقصه چند قسمتی شامل هزینه‌های راه‌اندازی و بی باری ژنراتور و نرخ تغییرات توان[1] آن‌ها می‌باشد [۵].

۱-۲- پخش بار

هماهنگی و تطابق بین بار مصرفی و تولید، یکی از خصوصیات مهم شبکه‌های قدرت پیشرفته است. برای اقتصادی بودن عملکرد سیستم وکنترل موثر بر آن لازم است که در یک طیف زمانی، میزان تولید با میزان مصرف هماهنگی داشته باشد.

یکی از مهم‌ترین اهداف شرکت‌های برق تولید انرژی الکتریکی انتقال و توزیع آن بین مصرف‌کنندگان با قابلیت اطمینان بالا و کمترین هزینه بهره برداری می‌باشد. قبل از معرفی مفهوم امنیت سیستم قدرت، مسأله پخش بار به طور معمول بر مسائل اقتصادی بهره برداری متمرکز بود تا بر امنیت سیستم. امروزه با گستردگی شبکه‌های قدرت و افزایش بار سیستم‌ها ترکیب قیود امنیت با مفهوم پخش بهینه توان (OPF)[2] یک مسأله مهم شده است.

در توزیع بهینه بار می توان به ملاک‌های مختلفی توجه نمود. معمولا کمینه شدن هزینه سوخت به عنوان عمده‌ترین هزینه قابل کنترل تولید، یکی از اهداف اصلی مورد نظر است. همچنین تأمین انرژی الکتریکی مورد تقاضا با قابلیت اطمینان بالا که با شاخص‌های گوناگونی مانند ظرفیت ذخیره گردان و غیره سنجیده می‌شود، می تواند به شکل یک تابع هدف دیگر و یا به شکل قیود دیگری به مسأله اضافه گردد. بنابراین به طور اختصار مسأله توزیع بهینه بار را می‌توان به صورت یک مسأله کمینه سازی هزینه تولید که تحت شرایط برقراری قیود مختلف، در نظر گرفت. در این نوع مسأله فرض براین است که بار مصرفی کل سیستم معلوم است و هدف تعیین سهم بهینه تولید واحد های روشن برای تأمین این بار است.با توجه به اینکه واحدهای حرارتی بسته به

[1] Ramp up/down Rate
[2] Optimal Power flow

نوع سوخت و ساختمان فیزیکی به زمان قابل توجهی برای راه‌اندازی و اتصال به شبکه نیاز دارد و این زمان برای بعضی از نیروگاه‌ها به یک ساعت و یا بیشتر می‌رسد، لازم است از یک تا چند شبانه روز قبل برنامه‌ریزی و پیش‌بینی لازم برای روشن بودن واحدهای مناسب و راه‌اندازی آن‌ها قبل از زمان تولید مورد نظر صورت پذیرد.

۱-۳- پیش‌بینی بار

نظر به اینکه بار روزانه دو روز پی‌درپی باهم متفاوت است لذا برای پیش‌بینی مصرف برق روز بعد از منحنی بار روز قبل استفاده نمی‌شود بلکه با در نظر گرفتن ترقی سالیانه برق از منحنی بار همین روز در سال گذشته استفاده می‌شود. از این جهت باید برنامه‌ی بارگیری هر واحد به طور جداگانه و روزانه از طرف هر واحد برنامه ریزی به مسئولین نیروگاه‌ها در اتاق فرمان مخابره شود. فقط برنامه بارگیری از نیروگاه های آبی به علت اینکه بار این نیروگاه‌ها ارتباط مستقیم با مقدار آب موجود دارد، نمیتوان روزانه صادر کرد بلکه برای مدت طویل‌تری صادر می‌شود. با داشتن منحنی بار روزانه سال قبل تغییرات بار را می‌توان قبلا تا حدودی پیش‌بینی کرد. این پیش‌بینی برای یک هفته یا یک ماه بعد به طورتقریبی و برای یک روز بعد تقریبا دقیق صورت می‌گیرد و تغییرات احتمالی در این پیش‌بینی ها را می‌توان به کمک تصحیح بارها با کمک یک واحد رزرو آماده‌ی بارگیری جبران نمود. منحنی بار به طور روزانه و مرتب برداشته می‌شود زیر بار روزانه بستگی به نوع روز(روز کاری یا تعطیل) و نوع بار(صنعتی یا روشنایی) و بستگی به فصول مختلف سال دارد. مثلا در زمستان که هوا زود تاریک می‌شود قسمتی از برق روشنایی همزمان با برق صنعتی مصرف می‌شود و باعث بالا رفتن پیک برق در اوایل شب می‌گردد. در صورتی که در تابستان برق روشنایی و برق صنعتی باهم اختلاف زمانی پیدا می‌کنند و در نتیجه پیک منحنی بار روزانه کوچکتر از پیک برق در زمستان است [۱].

۱-٤- ادوات فکتس (FACTS)

با پیشرفت فناوری در الکترونیک قدرت، محققین ساختن یک شبکه هوشمند و بدست آوردن کنترل پخش بار را در رأس امور خود قرار دادند که این امر باعث به وجود آمدن سیستم های انتقال توان AC انعطاف‌پذیر، یا FACTS [۱] گردید. ادوات FACTS مانند STATCOM[۲]، SVC[۳]، SSSC[٤] و UPFC[٥]، را می‌توان به صورت سری، موازی یا ترکیبی از سری و موازی با خط قرار داد تا بتوان چندین عملیات کنترلی شامل تنظیم ولتاژ، میراسازی سیستم و کنترل پخش بار و ... را بدست آورد.

افزایش کارایی و کاهش قیمت تجهیزات الکترونیک قدرت و تکنولوژی‌های مخابراتی، صنعت برق را دچار دگرگونی بسیار زیادی ساخته است. از این رو محققین تصمیم گرفتند یک تکنیک مشابه ادوات FACTS توان بالا، ولی با عملکرد بهتر و هزینه‌ای کمتربرای بهبود قابلیت اطمینان وکنترل پذیری سیستم‌های انتقال وتوزیع توان الکتریکی ارایه نمایند تا بتوانند ظرفیت مجاز خطوط را افزایش داده و کیفیت انتقال توان الکتریکی را بهبود بخشند، همچنین هزینه‌های نگهداری سیستم و اثرات زیست‌محیطی را کمینه نمایند.

با توجه به توضیحات فوق وبرتری‌های فنی و اقتصادی راهکارهای پراکنده کنترل خطوط توان الکتریکی AC، سیستم‌های D-FACTS که بر پایه تکنولوژی ادوات FACTS طراحی گردیده‌اند، معرفی شدند که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان از DSSC[٦] ها نام برد. این تجهیزات امپدانس موثر خطوط انتقال را از طریق تزریق امپدانس فعال، با کمک منبع ولتاژ سنکرون(SVS)[۷] تغییر می‌دهند [۷].

---

[1] Flexible AC Transmission Systems
[2] Static Synchronous Compensator
[3] Static Var Compensator
[4] Static Synchronous Series Compensator
[5] Unifield Power Flow Controller
[6] Distributed Static Series Compensator
[7] Synchronous voltage source

انتقال توان‌های تولیدی جدید به مراکز بار نیازمند توسعه زیر ساخت‌های انتقال می‌باشد. با این‌حال ساختن خطوط انتقال جدید یک پروسه طولانی و چالش برانگیز است. بنابراین، استفاده بهینه از خطوط انتقال و افزایش ظرفیت انتقال آن‌ها مورد توجه اپراتورهای سیستم می‌باشد. بسیاری از محققان به دنبال راهی برای کنترل پخش بار هستند که هزینه های کمتری نسبت با ساختن خطوط جدید داشته باشد. پرشدگی خطوط می‌تواند ظرفیت انتقال خطوط انتقال را تحت تاثیر قرار دهد و هزینه‌های پرشدگی را به سیستم انتقال تحمیل کند.

در این پایان نامه با به کار گیری ادوات فکتس توزیع شده D-FACTS در سیستم مورد مطالعه و بررسی تاثیرات آن در کاستن یا زدودن پرشدگی خطوط و طبعا هزینه های پرشدگی مورد تحقیق قرار گرفته است. علاوه بر آن با بکار گیری این ادوات در شبکه مورد مطالعه به بررسی تاثیرات آن در مسأله مشارکت واحدها و هزینه های تولید توان پرداخته شده است.

۱-۵- خلاصه‌ای از راه‌کار حل مسأله و اهداف

با توجه به این تعاریف، مسأله‌ی مورد نظر ما در چند مرحله حل خواهد شد. در مرحله اول مدل سازی ریاضی تابع هدف و قیود مربوط به مسأله مشارکت واحدها در گام‌های مختلف انجام می‌شود. قیود حداقل و حداکثر تولید توان واحدها، نرخ تغییرات توان و نرخ روشن و خاموش شدن هر واحد نیز گام به گام در نظر گرفته می‌شود. همین طور حداقل زمان کار و حداقل زمان توقف واحدها از جمله قیود مهم تعریف شده در حل مسأله می‌باشد.

حداکثر سازی امنیت، اغلب با حفظ محدوده‌ی شارش توان خطوط تأمین می‌شود. در نتیجه با اعمال قیود پخش‌بار مستقیم DC در گام بعد این قید نیز در مجموعه‌ی معادلات نوشته شده جای می‌گیرد. ادمیتانس خطوط و ارتباط باس‌ها شبکه مورد مطالعه با یکدیگر در این گام در قالب یک جدول به مسأله اضافه می‌شود.

داشتن ادمیتانس خطوط برای محاسبه‌ی می‌زان توان عبوری از هر خط الزامی می‌باشد. همچنین محل نصب واحدهای نیروگاهی نیز می‌بایست در مسأله معین شود.

در مرحله دوم این تحقیق اقدام به بررسی ویژگی‌های ذاتی ادوات فکتس نموده و به معرفی مختصر ادوات D-FACTS و نحوه به کارگیری آن‌ها می‌پردازیم. در گام بعد معادلات مربوط به مدل سازی ریاضی این ادوات برای وارد کردن این تجهیزات به مدل شبکه مورد مطالعه را انجام می‌دهیم.

در مرحله سوم اقدام به بررسی حالت‌های مختلف به کارگیری ادوات D-FACTS می‌کنیم. که این مورد را با به کارگیری یک حلقه تکرار در برنامه نوشته شده محقق می‌کنیم و در هر تکرار تعداد خطوطی که می‌توانند مجهز به ادوات DSR شوند را تغییر می‌دهیم و اقدام به حل مسأله می‌کنیم. این مرحله به منظور تعیین تعداد بهینه خطوطی که باید به ادوات DSR مجهز شوند می‌باشد.

در هر یک از مراحل فوق اقدام به حل مسأله در شبکه مورد مطالعه میکنیم. ودر هر مرحله به تحقیق و بررسی تأثیر مراحل انجام شده در مسأله مشارکت واحدها می پردازیم.

۱-۶- ساختار پایان‌نامه

این پایان نامه در چهار فصل تدوین شده‌است. در فصل اول مقدمه‌ای از مفاهیم اصلی و کلیدی و همچنین مراحل انجام تحقیق بیان شد. در فصل دوم اقدام به مدل سازی ریاضی مفاهیم اصلی به کار رفته به همراه مسأله به مدار آوردن واحدها در گام‌ها و مراحل مختلف می‌شود. در فصل سوم مدل سازی صورت گرفته در این پژوهش بر روی شبکه قدرت مورد مطالعه شبیه سازی می‌گردد؛ و به تحلیل نتایج مربوط به هر مرحله از تحقیق می پردازم.

فصل چهارم متعلق به بیان نتیجه‌گیری و پیشنهادات موثر می‌باشد. و در پایان مراجع مورد استفاده در این پژوهش معرفی می‌شوند.

٤-٢-پیشنهادات

در این بخش پیشنهاداتی ارائه می‌گردد که می‌توان از آن‌ها برای بهبود پژوهش‌های آینده استفاده کرد.

- ✓ به کارگیری منابع تولید پراکنده از جمله منابع تجدید پذیر بادی، خورشیدی وجایابی بهینه آن‌ها با در نظر گرفتن مناسب عدم قطعیت آن‌ها.
- ✓ پیاده سازی مدیریت سمت مصرف و برنامه‌های پاسخگویی بار.
- ✓ به کارگیری ذخیره سازهای انرژی در شبکه قدرت.

فهرست منابع و مراجع

[۱] م.سلطانی، تولید الکتریسته و بهره برداری، ۱۳۷۸.

[۲] W .A.J و W. B.F، تولید، بهره‌برداری و کنترل در سیستم‌های قدرت، ح. سیفی، تدوین، ۱۳۷۱.

[۳] ع. ربیعی، مفاهیم اساسی در سیستم‌های قدرت، ۱۳۹۱.

[٤] س. نیکخواه، " آموزش کاربردی GAMS"، ۱۳۹۲.

[۵] ح.ر. شهروی، "عملکرد بهینه رزرو چرخان منطقه‌ای در بازار رقابتی"، ششامین همایش ملی انرژی، ۲۰۰۷.

[٦] غ. قاسمخانی، ا. سالاری، ا. عبداللهی و م. رشیدی نژاد، " برنامه‌ریزی امنیت مقید واحدهای تولیدی در حضور همزمان منابع پاسخگویی بار و خودروهای برقی"، بیست و سومین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹٤.

[۷] م.ص. افتخاری، س.ح. حسینیان و م. عابدی "مروری بر بهینه سازی پارامترهای خطوط انتقال توان AC و مکان‌یابی محل‌های مناسب نصب ادوات D-FACTS.

[8] Soroudi, A., Maghouli, P., & Keane, A. (2017). Resiliency oriented integration of DSRs in transmission networks. IET Generation, Transmission & Distribution, 11(8), 2013-2022.

[9] Soroudi, A. Power system optimization modeling in GAMS. Switzerland: Springer, 2017.

[10] Rahimi, K., Jain, H., & Broadwater, R. (2016, May). Application of Distributed Series Reactors in relieving congestion costs. In 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D) (pp. 1-5). IEEE.

[11] Onen, A. (2017). Investigation of distributed series reactors in power system applications and its economic implementation. International Transactions on Electrical Energy Systems, 27(3), e2259.

[12] J. Zhu, *Optimization of power system operation* vol. 47: John Wiley & Sons, 2015.

[13] J.M. Arroyo, A.J. Conejo, Optimal response of a thermal unit to an electricity spot market. IEEE Trans. Power Syst. *15*(3), 1098–1104 (2000)

Abstract

Unit Commitment problem has been used to plan power generation over a given time horizon is the most important economical schedule in the power systems. Economical schedule of committing and dispatching generation units while all constraints are met for generation units.

Since electricity cannot be stored in large scale, system is providing power for demands by using the power generating units that are in the circuit and optimal power flow tool in the instantaneous and scheduled way. To meet this electricity demand at lowest cost, power generation units have to be scheduled in a certain way.

Alteration in the load during the day and increasing it at peak hours will lead to use of expensive units to supply the load and thus increase the costs of power generation. On the other hand, the loading of network lines at peak times is close to its limit and imposes congestion cost to the system.

In recent years, D-FACTS devices have been deployed based on power electronic devices. D-FACTS devices such as Distributed Series Reactor (DSR) and Distributed Static Series Compensator (DSSC) can be used to modify power dispatching and eliminate congestion in transmission lines by changing the impedance of lines. The ability of DSR modules to control the flow of power can be employed in parallel transmission lines or in loop configurations to direct some portions of the flow from one line to another line(s).

In this thesis, we solve unit commitment problem along with the various constraints of the generating units in the first step. Then in the next step, by using DC optimal power flow tool, to investigate the effects of D-FACTS devices on reducing unit generation costs in a 24-hour scheduled period for unit commitment. Also investigate the optimal use of these devices in controlling power flow and increasing the system power transfer capacity.

Keywords: Unit Commitment, Economic Dispatch, D-FACTS Devices, Optimal Power Flow, Congestion Cost.