بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی مهندسی
بخش مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق
گرایش قدرت

برنامه ریزی تامین ذخیره‌های بازیابی فرکانس در سیستم قدرت

مولف:
مهدی روح الامینی

استاد راهنما:
دکتر مسعود رشیدی نژاد

استاد مشاور:
دکتر سعید اسماعیلی

بهمن‌ماه ۱۳۹۰

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی برق

دانشکده فنی مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو : مهدی روح الامینی

استاد راهنما : دکتر مسعود رشیدی نژاد

استاد مشاور : دکتر سعید اسماعیلی

داور ۱ : دکتر محسن محمدیان

داور۲ : دکتر روح الله فدائی نژاد

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده : دکتر مریم احتشام زاده

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

مادرم که مهرش در دلم گرامی و مقدس است

پدرم که مهرش بنایی شد برای تلاش پر شورم در کسب دانش و او که سال‌های رشد مرا سرشار از حکمت کرد

تشکر و قدردانی:

مایلم قدردانی عمیق خود را از جناب آقای **دکتر مسعود رشیدی نژاد** بخاطر پند و اندرزها، راهنمایی‌ها و تشویق‌های ایشان در پیشبرد این پایان نامه بجای آورم.

همچنین نهایت قدردانی را از آقای **دکتر سعید اسماعیلی** بعنوان استاد مشاور دارم.

و نیز از تمام افراد خانواده‌ام، که حمایت‌های همه‌جانبه‌ی ایشان در تمامی دوران تحصیل همواره شامل حال اینجانب بوده است.

از آقایان **دکتر محسن محمدیان** و **دکتر روح‌الله فدائی‌نژاد** که زحمت داوری این پایان نامه را پذیرفتند بسیار سپاسگزارم.

در پایان نیز قدردانی خود را از **شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان‌کرمان** بخصوص آقایان **مهندس سید محمود عطاری، مهندس مراد امیری‌مقدم** و **مهندس عبدالوحید مهدوی‌نیا** بخاطر حمایت‌های مادی و معنوی اعلام می‌دارم.

چکیده :

واحدهای نیروگاهی همواره در معرض تغییرات ناگهانی در بار مصرفی و یا حوادث منجر به خروج یک یا دسته ای از واحدها هستند. وقوع چنین رخدادهایی سبب نامتعادلی در عرضه و تقاضای توان مصرفی می شود. این عدم تعادل منجر به انحراف فرکانس سیستم می‌گردد که درصورت تداوم می تواند فروپاشی سیستم را بدنبال داشته باشد. از اینرو پیشبینی بخشی از ظرفیت واحدها بمنظور مقابله با نامتعادلی ضروری است. پس از وقوع رخداد ، گاورنر واحدهای نیروگاهی به انحراف فرکانس پاسخ می‌دهند. از ظرفیتی که توسط گاورنر بکارگرفته می‌شود به ذخیره‌های کنترل فرکانس اولیه یاد می‌شود که سریعترین واکنش به انحراف فرکانس هستند.

ذخیره‌های اولیه صرفا از افت شدید فرکانس ممانعت بعمل می‌آورند به همین سبب در یک سیستم قدرت علاوه برذخیره‌های مزبور، ذخیره‌های ثانویه بمنظور ازبین بردن خطای حالت ماندگار و ذخیره‌های کنترل فرکانس ثالثیه بمنظور ترمیم ذخیره‌های ازدست رفته و احیای سیستم بکارگرفته می‌شوند لیکن ازآنجا که درصورت عدم کفایت ذخیره‌های اولیه بدلیل فروپاشی فرکانس، اساسا مراحل بعدی کنترل فرکانس آغاز نخواهد گردید لذا برنامه ریزی تامین ذخیره اولیه از اهمیت بسزایی برخوردار است. برنامه‌ریزی تامین ذخیره کنترل فرکانس به عنوان بخشی از خدمات جانبی در سیستم قدرت تجدیدساختاریافته به نوبه خود وابستگی تنگاتنگی با برنامه ریزی تامین انرژی در سیستم دارد از همین روی در این پژوهش "برنامه ریزی همزمان انرژی و ذخیره کنترل فرکانس" مورد توجه قرارداشته است.

برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره کنترل فرکانس اولیه شباهت زیادی به مسئله درمدار قرار گرفتن واحدها دارد لذا تمامی محدودیت های حاکم بر آن، بر مسئله مورد مطالعه نیز حاکم است. قابلیت‌های فنی و محدودیت های واقعی واحدهای نیروگاهی مدرن و همچنین محدودیت گرفتگی خطوط، از جمله محدودیت‌هایی هستند که حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان را بغرنج می‌سازند. در این بررسی جهت حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی با ملاحظه‌ی محدودیت‌های فوق الذکر یک روش کاملا ابتکاری ارائه شده‌است.. الگوریتم ژنتیک و بسته نرم افزاری *GAMS* ، مجموعه ابزارهایی هستند که در این پژوهش جهت اجرای روش پیشنهادی بکارگرفته شده‌اند.

در پایان روش پیشنهادی جهت حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره کنترل فرکانس اولیه بر روی شبکه های ۴، ۱۰ ، ۱۷ واحدی و سیستم ۳۹ شینه شبیه‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی : انحراف فرکانس، نرخ بارگیری واحد، ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه، تراکم خطوط، الگوریتم ژنتیک

فهرست مطالب

فرهنگ اختصارات:..... ک
فهرست جداول ..... م
فهرست اشکال ..... ن
فصل اول-مقدمه ۱
ساختار پایان نامه ۴
فصل دوم- ذخیره های کنترل فرکانس در بازار خدمات جانبی ۵
مقدمه ۶
مراحل بازیابی فرکانس به کمک ذخیره های کنترل فرکانسی ۶
کنترل فرکانس اولیه ۹
کنترل فرکانس ثانویه ۱۰
کنترل فرکانس ثالثیه ۱۲
فصل سوم- تدارک خدمات کنترل فرکانس و مروری بر کارهای گذشته ۱۴
مقدمه ۱۵
ساختار بازار خدمات جانبی ذخیره‌های کنترل فرکانس ۱۵
روش سازوکار مقررات اجباری ۱۶
روش قراردادهای دوجانبه ۱۶
معاملات نقدی و برگزاری مناقصه ۱۶
روشهای برگزاری مناقصات تامین خدمات جانبی ۱۷
انواع روش‌های برنامه‌ریزی انرژی وخدمات جانبی کنترل فرکانس ۱۹
شیوه‌ی برنامه‌ریزی متوالی ۲۰
روش برنامه‌ریزی همزمان خدمات جانبی ۲۲
روش برنامه‌ریزی همزمان انرژی و خدمات جانبی کنترل فرکانس ۲۲
مروری بر کارهای گذشته ۲۳
پژوهش‌های انجام یافته در خصوص برنامه‌ریزی خدمات جانبی کنترل فرکانس ۲۴
فصل چهارم- برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس و فرمول‌بندی مسئله ۲۶
مقدمه ۲۷
کلیات مسئله ۲۷

مدلسازی مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس ۲۹
محدودیت‌های مسئله‌ی برنامه‌ریزی انرژی(مسئله‌ی درمدار قرارگرفتن واحدها)..... ۳۰
قید توازن بار ۳۰
قید ذخیره چرخان ۳۰
قیود واحدهای حرارتی ۳۱
الف)شرایط آغازین ۳۲
ب) حداقل و حداکثر توان تولیدی واحدها ۳۲
ج)حداکثر نرخ شیب کاهشی ۳۲
د) حداکثر نرخ شیب افزایشی ۳۲
ه) حداقل زمان روشن و خاموش بودن واحد ۳۳
هزینه راه‌اندازی ۳۳
هزینه خاموش شدن واحدها ۳۳
محدودیت‌های مسئله‌ی برنامه‌ریزی تامین ذخیره‌های کنترل فرکانس..... ۳۴
حد اشباع ظرفیت ذخیره‌ی کنترل فرکانس واحد ۳۴
محدودیت کفایت ذخیره‌های کنترل فرکانس ۳۶
محدودیت حداکثر میزان افت مجاز فرکانس ۳۶
حد بالای تغییر در تولید واحدهای دارای ذخیره‌ی اولیه ۳۶
تابع هدف برنامه‌ریزی همزمان انرژی و خدمات کنترل فرکانس ۳۷
معرفی قابلیت‌ها ومحدودیت های واحدهای نیروگاهی مدرن ۳۷
قابلیت انتخاب مد مشارکت در کنترل فرکانس ۳۷
نرخ بارگیری سریع و قابلیت انتخاب نرخ بارگیری ۳۹
محدوده مجاز عملکرد واحدها برای مشارکت در کنترل فرکانس ۴۰
محدودیت گرفتگی خطوط انتقال ۴۱
فرمول‌بندی محدودیت گرفتگی خطوط انتقال..... ۴۴
فصل پنجم- روش پیشنهادی حل مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره کنترل فرکانس ۴۸
مقدمه..... ۴۹
روش‌های معمول برنامه‌ریزی انرژی ۴۹
معرفی روش پیشنهادی ۵۲

رمزگذاری یا کد بندی متغیرهای باینری ۵۴
ارائه روش ابتکاری در شناسایی و حذف کروموزوم‌های ناشدنی..... ۵۵
فصل ششم- بررسی و تحلیل نتایج حاصل از شبیهسازی مسئلهی برنامهریزی همزمان انرژی و ذخیره کنترل فرکانس ۶۲
مقدمه..... ۶۳
شبیه‌سازی بر روی شبکه‌ی ۴ واحدی ۶۳
شبیه‌سازی مسئله بر روی یک شبکه ۱۷ واحدی..... ۶۵
شبیه‌سازی بر روی شبکه‌ی استاندارد ۳۹ شینه متصل به شبکه ۶۹
شبیه‌سازی مسئله بر روی شبکه استاندارد ۳۹ شینه به کمک نرمافزار *GAMS*..... ۷۲
مقایسه نتایج شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار *GAMS* و الگوریتم ژنتیک..... ۸۲
شبیه‌سازی مسئله بر روی سیستم نمونه با ملاحظه‌ی احتمال فراخوانی ذخیره‌ی چرخان ۸۴
جمع‌بندی..... ۸۶
فصل هفتم-نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۸
نتیجه‌گیری..... ۸۹
پیشنهادات..... ۹۲
مراجع و منابع ۹۴

فرهنگ اختصارات:

g_{it}	**تولید واحد** i ام در ساعت t ام
r_{it}^{pr}	**ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه برای واحد** i ام در ساعت t
$r_{it}^{\sec}$	**ذخیره‌ی کنترل فرکانس ثانویه برای واحد** i ام در ساعت t
r_{it}^{tr}	**ذخیره‌ی کنترل فرکانس ثالثیه برای واحد** i ام در ساعت t
Δf_i^b	**انحراف فرکانس شکست واحد** i ام
Δg_i^j	**تغییر در تولید واحد** i ام در اثر خروج واحد j
u_{it}	**متغیر باینری وضغیت واحد**
v_{it}	**متغیر باینری وضعیت مد مشارکت واحد در کنترل فرکانس**
w_{it}	**متغیر باینری وضعیت نرخ بارگیری**
y_{it}	**متغیر باینری راه‌اندازی واحد**
z_{it}	**متغیر باینری خاموش شدن واحد**
R_i	**دروپ گاورنر واحد** i ام
a_i	**ضریب مولفه درجه اول تابع هزینه سوخت**
b_i	**ضریب مولفه درجه دوم تابع هزینه سوخت**
c_i	**مولفه ثابت تابع هزینه سوخت**
$C^F(g_{it})$	**هزینه‌ی تولید**
$C^{pr}(r_{it}^{pr})$	**هزینه تامین ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه**
d_t	**دیماند مصرفی در ساعت** t ام
E_i	**دامنه ولتاژ باس** i ام
f	**فرکانس نامی سیستم**
$g_i^{\min}$	**حد پایین مجاز بهره‌برداری واحد** i ام
$g_i^{\max}$	**حد بالای مجاز بهره‌برداری واحد** i ام
H	**افق برنامه‌ریزی بر حسب ساعت**
$loss$	**تلفات کل سیستم قدرت**
m	**مرتبه‌ی معیار قابلیت اطمینان**
MD_i^{OFF}	**مدت زمان خاموشی پیوسته‌ی واحد** i ام
MD_i^{ON}	**مدت زمان روشن بودن پیوسته‌ی واحد** i ام
N	**تعداد کل واحدهای نیروگاهی سیستم قدرت**

بردار دیماند در باس‌های مختلف شبکه قدرت	PD
بردار تولید در باس‌های مختلف شبکه قدرت	PG
قیمت ذخیره کنترل فرکانس اولیه برای واحد i ام در ساعت t	q_{it}^{pr}
قیمت ذخیره کنترل فرکانس ثانویه برای واحد i ام در ساعت t	q_{it}^{se}
قیمت ذخیره کنترل فرکانس ثالثیه برای واحد i ام در ساعت t	q_{it}^{tr}
حداکثر شیب افزایشی واحد i ام	RUR_i
حداکثر شیب کاهشی واحد i ام	RDR_i
حد بالای نرخ بارگیری واحد	$r^{pr-\max}$
حد بالای نرخ بارگیری عادی واحد	$r^{pr-fast}$
حد بالای نرخ بارگیری سریع واحد	$r^{pr-Normal}$
هزینه خاموش شدن واحد i ام در ساعت t	SDC_{it}
ظرفیت ذخیره‌ی چرخان سیستم	SRC
ذخیره‌ی چرخان مورد نیاز سیستم	SRR
هزینه‌ی راه‌اندازی واحد i ام در ساعت t	SUC_{it}
مجموعه‌ی واحدهای از دست رفته	S^k
حداقل زمان خاموش بودن واحد i ام	T_i^D
حداقل زمان روشن بودن واحد i ام	T_i^{ON}
افت فرکانس مجاز سیستم	$\Delta f^{\min}$
متغیرافت فرکانس	Δf
درصدبار در قید ذخیره‌ی چرخان	α
زاویه فاز ولتاژ در شین i ام	θ_i
راکتانس خط واصل شین‌های i و j	X_{ij}
توان حقیقی عبوری از خط واصل شین‌های i و j	p_{ij}
ادمیتانس خط واصل شین‌های i و j	Y_{ij}
حد تراکم خط واصل شین‌های i و j	λ_{ij}

فهرست جداول

فصل سوم	
جدول(۳-۱): میزان کفایت ذخیره‌ی مورد نیاز سیستم قدرت کشورهای مختلف	۲۰
فصل پنجم	
جدول(۵-۱) : حالت های ممکن وضعیت واحد	۵۴
فصل ششم	
جدول(٦-۱) : مشخصات سیستم نمونه چهارواحدی	۶۴
جدول(٦-۲) : تعداد آرایش‌های شدنی در روش پیشنهادی	۶۴
جدول(٦-۳) : آرایش تولید و ذخیره اولیه برای سیستم چهارواحدی	۶۵
جدول(٦-٤) : مشخصات واحدهای نیروگاهی سیستم ۱۷ واحدی	۶۶
جدول(٦-٤) : نتایج حاصل از شبیه سازی مسئله‌ی برنامه ریزی همزمان برای سیستم۱۷واحدی	۶۸
جدول(٦-۵): مشخصات واحدهای نیروگاهی در شبکه ۳۹ شینه	۷۰
جدول(٦-٦) : نتایج حاصل از شبیه سازی مسئله برنامه ریزی همزمان بر روی سیستم ۳۹ شینه متصل	۷۱
جدول(٦-۷) : توان عبوری از خطوط در شبکه ۳۹ شینه	۷۲
جدول(٦-۷) : مقادیر تولید وذخیره‌ی اولیه برای شبکه ۳۹ شبنه	۷۴
جدول(٦-۸) : توان عبوری از خطوط در شرایط متناظر جدول(٦-۷)	۷۵
جدول(٦-۹) : مقادیر انحراف فرکانس ناشی از خروج هرواحد(هرتز)	۷۶
جدول(٦-۱۰) : مقادیر تولید، ذخیره اولیه و انحراف فرکانس	۷۶
جدول(٦-۱۱) : دوره ٢٤ ساعته بار مصرفی بر حسب مگا وات	۷۷
جدول(٦-۱۲) : نتایج شبیه‌سازی، مقادیر تولید و ذخیره‌ی تخصیص یافته	۷۸
جدول(٦-۱۳) : مقادیر تولید و ذخیره‌ی تخصیص یافته در دوره ٢٤ ساعته	۷۹
جدول(٦-١٤) : مقادیر توان‌های عبوری از خطوط	۸۰
جدول(٦-۱۵) : مقایسه توانایی حل‌کننده‌های مختلف در نرم‌افزار *GAMS*	۸۱
جدول(٦-١٦) : نتایج حاصل از حل مسئله بر روی سیستم نمونه۳۹شینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار *GAMS* (بدون ملاحظه گرفتگی خطوط)	۸۲
جدول(٦-۱۷) : نتایج حاصل از روش‌های مختلف حل مسئله بر روی سیستم نمونه۳۹شینه با درنظرگرفتن گرفتگی خطوط	۸۳
جدول(٦-۱۸) : مقایسه روش‌های مختلف از دیدگاه هزینه و زمان حل مسئله	۸۴
جدول(٦-۱۹) :مقادیر تولید و ذخیره‌ی اولیه تخصیص یافته برای سیستم نمونه ۱۷ واحدی با ملاحظه‌ی احتمال فراخوانی ذخیره‌ی چرخان	۸۵

فهرست اشکال

فصل دوم	
شکل (۲-۱) : بازیابی فرکانس و نقش ذخیره‌های کنترل فرکانس	۸
شکل(۲-۲) : محدوده فرکانسی عملکرد حفاظت فرکانسی در یک سیستم قدرت بطور نمونه	۱۰
شکل(۲-۳) : جمع بندی وظایف ذخیره‌های کنترل فرکانسی	۱۳
فصل چهارم	
شکل(٤-۱) : مقادیر احتمال فراخوانی ذخیره‌ی چرخان در طول یک دوره ٢٤ ساعته	۳۱
شکل(٤-۲) : رابطه ذخیره اولیه‌ی کنترل فرکانس و میزان انحراف فرکانس	۳۵
شکل(٤-۳) : ذخیره کنترل فرکانس بکار گرفته شده با نرخ‌های بارگیری عادی و سریع	۴۰
شکل(٤-٤) : نمای تک خطی یک شبکه سه شینه	۴۵
فصل پنجم	
شکل(٥-۱) : چرخه روش پیشنهادی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک	۵۳
شکل(٥-۲) : کروموزوم مسئله بهینه سازی	۵۵
شکل(٥-۳) : حد بالای مجاز برای ذخیره کنترل فرکانس اولیه	۵۷
فصل ششم	
شکل (٦-۱) : هزینه‌های بهره‌برداری در حالات (الف) و (و) و منحنی بار ٢٤ ساعته	۸۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

تغییرات ناخواسته‌ی بار مصرفی ویا خروج واحدهای نیرو گاهی از جمله رخدادهایی است که ممکن است دریک سیستم قدرت اتفاق افتد،که منجر به انحراف فرکانس میگردد. بهره بردار سیستم وظیفه دارد، به منظور حفظ فرکانس در محدوده مجاز وجلو گیری از فرو پاشی شبکه، بخشی از ظرفیت نیرو گاهی در مدار را برای پاسخگویی به هرگونه عدم تعادل در توان حقیقی اختصاص دهد.پس از وقوع هراغتشاش،در مرحله اول گاورنر واحد های نیروگاهی به انحراف فرکانس پاسخ میدهند. به ظرفیت آماده ای که به این انحراف فرکانس پاسخ میدهد، ذخیره کنترل فرکانس اولیه اتلاق میگردد. ذخیره کنترل فرکانس اولیه، به میزان تولید ساعتی واحد ها وابستگی جدی دارد.

علاوه بر تغییرات مداوم بار، حوادث غیر منتظره ای نظیر خروج یک واحد نیروگاهی ویاحذف یک بار سنگین یا خروج یک خط انتقال نیز می تواند در سیستم قدرت رخ دهد که نامتعادلی شدید تولید و مصرف را بدنبال دارد. به منظور پاسخ گویی مورد انتظار برای جبران انحراف فرکانس و بازیابی شبکه و بسته به میزان عدم تعادل توان حقیقی لحظه ای، ذخیره های متفاوتی به لحاظ کیفی مورد نیاز می باشند. از اینرو بخشی از ظرفیت واحدهای نیروگاهی به منظور تامین بار مصرفی و بخشی دیگر به منظورتامین ذخیره های مورد نیاز اختصاص می یابد.مسئولیت برنامه ریزی برای تامین کافی بار و ذخیره های مورد نیاز در هرساعت، به بهره بردار مستقل سیستم(ISO)محول گردیده است. خدمات جانبی در بازار های برق از جمله ذخیره های مورد نیاز مشابه سایر کالاها داد و ستد می شوند. اگرچه کالای اساسی در این بازارانرژی است لیکن خدمات جانبی نیز کالای ضروری به منظور حصول اطمینان از انتقال انرژی برق است که جهت تامین آن سازوکارهای متفاوتی بسته به شرایط فنی و اقتصادی کشورهای مختلف طراحی شده است[۴-۱].

در یک سیستم قدرت که دچار حادثه منجر به افت فرکانس شده است، درصورتیکه ذخیره های اولیه و نیز اثر خود تنظیمی بارها کفایت جبران عدم تعادل ایجاد شده در عرضه و تقاضای توان حقیقی را ننماید، شبکه دچار خاموشی ناشی از افت شدید فرکانس می شود.

در مرحله دوم، هدف بازگرداندن فرکانس به مقدار نامی در یک مدت زمان مشخص است.این مرحله از بازیابی به سیستم کنترل ثانویه واگذار گردیده است. این سیستم کنترلی از طریق بکارگیری ذخیره های بهره برداری، بازیابی فرکانس سیستم را به مقدار برنامه ریزی شده در کنار محدودیت حفظ تبادلات بین نواحی کنترلی انجام می دهد.

بدیهی است که با بازگشت فرکانس به مقدار برنامه‌ریزی شده، سهم ذخیره های مشارکت یافته در بازیابی کاهش یافته و لذا کفایت ذخیره های پاسخ فرکانسی برای حوادث بعدی تضمین نمی گردد. بنابراین لازم است در مرحله سوم بازیابی، ذخیره های پاسخ فرکانسی بکارگرفته شده توسط ذخیره های اضطراری جبران گردند از اینرو ، پس از عدم تعادل و پاسخ کنترل فرکانس اولیه ، کنترل فرکانس ثانویه ترمیم خطای حالت ماندگار انحراف فرکانس و همچنین تصحیح خطای میزان تبادل توان حقیقی با نواحی مجاور را به عهده خواهد گرفت. ذخیره های کنترل فرکانس ثالثیه نیز بمنظور ترمیم ذخیره های از دست رفته،مدیریت گرفتگی شبکه و همچنین وظایفی که کنترل فرکانس ثانویه قادر به انجام آنها نبوده است در آخرین مرحله بازیابی بکارگرفته می‌شوند.

روشن است که مقابله با انحراف فرکانس در اثر وقوع حادثه مطابق روند بیان شده در فوق، در گرو در دسترس بودن ذخیره‌های مختلف کنترل فرکانسی است به گونه‌ای که در یک برنامه‌ریزی از پیش‌انجام شده توسط بهره‌بردار مستقل سیستم، در سرتاسر سیستم پیشبینی گردند.

۱-۲ اهداف پایان نامه

برنامه‌ریزی تامین ذخیره های کنترل فرکانس با حداقل هزینه از جمله دغدغه های بهره بردار مستقل می باشد. از سویی قابلیت های جدید واحدهای نیروگاهی پیشرفته در خصوص نرخ بارگیری واحدها و همچنین محدودیت بهره برداری واحدها در هنگام مشارکت در کنترل فرکانس، حل مسئله برنامه ریزی را پیچیده تر می‌سازد. در این مطالعه ویژگی های پنهان ساختار مسئله برنامه ریزی همزمان انرژی و ذخیره کنترل فرکانس با جزئیات بیشتری دنبال شده و براساس آن یک روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک جهت برنامه ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس ارائه گردیده است.

بی‌تردید موجه بودن جواب نهائی در مسئله‌ی برنامه‌ریزی تامین ذخیره‌های بازیابی فرکانس در گرو مدلسازی محدودیت های واقعی شبکه در ساختار مسئله‌ی درمدار قرار گرفتن واحدها است که شروط تامین ذخیره کنترل فرکانس را نیز در بر دارد. این مطالعه به کمک تکنیک پخش بار مستقیم، محدودیت پرشدگی در خطوط انتقال را در مسئله بهینه سازی حراج تامین ذخیره‌های کنترل فرکانس مورد توجه قرار داده و به حل مسئله در قالب یک روش ابتکاری پرداخته است.

علاوه‌براین، در این مطالعه، کارایی نرم‌افزار مدلسازی جبری مسائل بهینه‌سازی(*GAMS*) در حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی تامین ذخیره‌های کنترل فرکانسی مورد بررسی قرار گرفته و شبیه‌سازی مسئله بر روی سیستم های نمونه به کمک این نرم‌افزار انجام یافته است.

لحاظ کردن قابلیت‌ها و محدودیت‌های واقعی واحدهای نیروگاهی پیشرفته در کنترل فرکانس، در کنار محدودیت تراکم خطوط انتقال وهمچنین قید تامین ذخیره‌ی چرخان احتمالاتی از دیگر اهداف این تحقیق می‌باشد.

در پایان نیز روش ارائه شده بر روی سیستم‌های نمونه‌ی ۴، ۱۰ و ۱۷ واحدی بصورت مستقل و بر روی سیستم استاندارد ۳۹ شینه *IEEE* بصورت متصل به شبکه شبیه سازی شده است. نتایج ارائه شده نشان از دقت و کارائی روش پیشنهادی دارد.

۱-۳ ساختار پایان نامه

فصل اول : این فصل، مقدمه‌ای بر برنامه‌ریزی تامین ذخیره‌های کنترل فرکانس و ضرورت آن را را ارائه می‌دهد. اهداف و ساختار پایان نامه نیز در این فصل بیان شده است.

فصل دوم: در این فصل، انواع ذخیره‌های کنترل فرکانس و نقش آنها در بازیابی فرکانس ارائه شده است. مراحل بازیابی فرکانس نیز بیان شده است.

فصل سوم: در این فصل انواع سازوکارهای تامین ذخیره‌های کنترل فرکانس ارائه می‌شود. همچنین در این فصل ، مروری بر پژوهش‌های انجام یافته در زمینه برنامه‌ریزی تامین خدمات جانبی کنترل فرکانس نیز ارائه می‌شود.

فصل چهارم: در این فصل، روش برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس تبیین گردیده و فرمول‌بندی مسئله نیز ارائه می‌شود.

فصل ششم: در این فصل، یک روش کاملا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک باینری جهت حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس ارائه می‌شود. همچنین، در این فصل، ساختار برنامه‌ریزی همزمان با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

فصل هفتم: در این فصل، نتایج حاصل از شبیه‌سازی مسئله، بر روی سیستم های نمونه در حالت مستقل و متصل به شبکه ارائه می‌شود. جزئیات بیشتری نیز در خصوص قید تامین ذخیره‌ی چرخان در برنامه‌ریزی ذخیره‌ی کنترل فرکانس بیان می‌شود. علاوه‌براین، نتایج شبیه‌سازی مسئله به کمک نرم‌افزار*GAMS* نیز ارائه شده است.

فصل دوم

ذخیره های کنترل فرکانس
در بازار خدمات جانبی

۲-۱ مقدمه

کنترل فرکانس در یک سیستم قدرت به سبب ضروری بودن تعادل عرضه و تقاضا اجتناب ناپذیر است.از اینرو بمنظور تامین ذخیره های مورد نیاز برای تثبیت فرکانس در محدوده مجاز، بهره بردار سیستم مسئولیت پیش بینی ذخیره های لازم را بعهده دارد تا از خاموشی و قطع بار مصرف کنندگان و همچنین حذف تولید و فروپاشی شبکه جلوگیری نماید.میزان ذخیره ی مورد نیاز به دوگونه‌ی ذخیره مثبت و منفی برای جبران عدم تعادل های منجر به کاهش و افزایش فرکانس پیش بینی می شود. با اینحال، از آنجائی که در این تحقیق تاکید بر حوادث منجر به خروج واحد های نیروگاهی می باشد، هرجا از واژه انحراف فرکانس استفاده شده، منظور انحراف منفی فرکانس(کاهش فرکانس) در اثر خروج واحدهای نیروگاهی می باشد.

بطور کلی وظیفه ذخیره های کنترل فرکانس ، تنظیم فرکانس، ممانعت از کاهش شدید فرکانس و بازگرداندن فرکانس و تبادل توان حقیقی با نواحی مجاور می باشد. تفکیک ذخیره های کنترل فرکانس می تواند بر اساس همین وظایف صورت گیرد و یا اینکه بر اساس مدت زمان پاسخگویی دسته بندی گردند. اما در یک دسته بندی کلی می توان همگی این ذخایر را به دو دسته گردان و غیر گردان تقسیم بندی نمود. ذخیره های گردان همواره با شبکه سنکرون بوده و در مدت زمان کمتری می توانند در دسترس قرار گیرند. بار های مدیریت پذیر وقابل قطع نیز در زمره ذخیره های غیر گردان قرار می گیرند. شورای قابلیت اطمینان آمریکای شمالی[1](NERC) ذخیره های کنترل فرکانسی را براساس مدت زمان پاسخگویی تفکیک نموده است[۵]. در این مطالعه از دسته‌بندی مورد نظر(NERC) استفاده شده است. در ادامه هر یک از مراحل بازیابی فرکانس بعد ازوقوع رخدادحادثه در یک سیستم قدرت و همچنین وظایفی که هر یک از انواع ذخایر کنترل فرکانس در مراحل مختلف متعهد به ایفای آن هستند تبیین گردیده است.

۲-۲-۱ مراحل بازیابی فرکانس به کمک ذخیره های کنترل فرکانسی

مرحله اول: پیشگیری از افت شدید فرکانس

بعد از وقوع عدم تعادل بین تولید و مصرف، ذخیره های کنترل فرکانس طی مراحل بازیابی بکار گرفته می شوند.اولین مرحله بازیابی پس از رخداد عدم تعادل توان حقیقی در سیستم قدرت، جلوگیری از افت شدید فرکانس است به گونه‌ای که میزان انحراف فرکانس بیشتر از تغییر مجاز فرکانس نگردد. در نخستین ثانیه های پس از عدم تعادل، واحدهای نیروگاهی و همچنین

[1] North American Electric Reliability Council