دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه دکترای مهندسی برق قدرت

برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه با در نظرگرفتن قابلیت‌های فنی و محدودیت‌های واقعی واحدهای نیروگاهی

Simultaneous Scheduling of Energy and Primary Frequency Control Reserve Considering Technical Capabilities as well as Operational Constraints of Generating Units

مصطفی رجبی مشهدی

استاد راهنما:

دکتر محمد حسین جاویدی دشت بیاض

استاد مشاور:

دکتر محمدصادق قاضی زاده

۱۳۸۹

به نام خداوند بخشنده‌ی مهربان

و سرآغاز این رساله بـا فـرازی از گفتـار حکیمانـه‌ی مـولای متقیـان، امیـر مؤمنان حضرت علی بن ابیطالب علیه السلام :

" و بدان که پیشاپیش تو راهی است دراز و رنجی جانگداز و تو بی‌نیاز نیستی دراین تکاپو از جستجو کردن به طرزی نیکو. توشه‌ی خود را به اندازه گیر چنانکه تو را رساند و پشتت سَبُک ماند و بیش از آنچه که توان داری بر پُشتِ خود مَنِه که سنگینی آن بر تو گران آید."

تعهدنامه

اینجانب مصطفی رجبی مشهدی دانشجوی دوره‌ی دکترا رشته‌ی مهندسی برق – قدرت دانشکده‌ی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده‌ی پایان نامه « برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه با در نظرگرفتن قابلیت‌های فنی و محدودیت‌های واقعی واحدهای نیروگاهی» تحت راهنمایی آقای دکتر محمدحسین جاویدی دشت‌بیاض متعهد می‌شوم:

تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.

در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.

کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه فردوسی مشهد» و یا «Ferdowsi University of Mashhad» به چاپ خواهد رسید.

حقوق معنوی کلیه افرادی که در بدست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.

در کلیهٔ مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

در کلیهٔ مراحل این پایان نامه، در مواردی که به حوزهٔ اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از مطالب و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

تقدیم به روح پرفتوح امام خمینی (ره) و شهدای انقلاب اسلامی و دفاع مقدس به ویژه بردار بزرگوارم شهید مجتبی رجبی مشهدی

و با تشکر فراوان از پدر و مادر گرامی‌ام و همسر بزرگوارم که دعای خیرشان و حمایت‌های بی‌دریغ‌شان پشتوانه‌ی من در این سال‌ها بود.

و همچنین با سپاس از گل‌های زندگی‌ام، زهرا و سارا که با طراوت و نشاط خود، مرا در انجام این مهم یاری نمودند.

قدردانی

با شکر و سپاس از خداوند متعال، برخود لازم می‌دانم تا از زحمات بی‌دریغ کلیه کسانی که در به ثمر رسیدن این رساله مرا یاری رساندند، تشکر و قدردانی کنم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر محمدحسین جاویدی کـه در راهنمـایی و راهبـری پـروژه نقـش اساسی را بر عهده داشتند؛ از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمدصادق قاضی‌زاده که از مشاوره‌ی ارزنـده ایشان در طول مدت تحقیق برخوردار بودم و از اساتید محترم جناب آقایان دکتر حسین سـیفی، دکتـر رضـا قاضی، دکتر علی پیروی و دکتر مسعود رشیدی نژاد که زحمت نقد این رساله را برعهده داشـتند، همچنـین جناب آقای دکتر علی کریم پور نماینده تحصیلات تکمیلی گروه برق تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از حمایت‌های بی‌دریغ جناب آقای مهندس فخـر نبـوی مـدیرعامل محتـرم شـرکت بـرق منطقـه‌ای خراسان و جناب آقای مهندس قنبری معاون محترم بهره‌برداری شرکت برق منطقه‌ای خراسان، از همکـاری جناب آقای مهندس رحیم پور از واحد کنترل و ابزار دقیق نیروگاه سیکل ترکیبی شیروان، همکـاران محتـرم معاونت بهره‌برداری و معاونت برنامه‌ریزی و تحقیقات شرکت برق منطقـه‌ای خراسـان، دبیرخانـه‌ی هیـأت تنظیم بازار برق کشور و شرکت مدیریت شبکه برق ایران صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از معلمان دلسوز و دبیران فرهیخته‌ی که از دوره‌ی دبستان تا دبیرستان و اساتید برجسته‌ی که در طی دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد و دکتری در دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی، چراغ راه زنـدگیم بودند و امانت سنگینی را بر دوشم نهادند، سپاسگزارم.

همچنین از زحمات کلیه اعضاء محترم آزمایشگاه مطالعات سیستم و تجدید سـاختار بـه ویـژه آقـای دکتر محسن اصیلی، سرکار خانم دکتر سمیه حسن‌پور که در طول دوره‌ی دکتری، تجربه‌ی خود را در اختیار اینجانب گذاشته و همچنین سرکار خانم مهندس تکتم شریفیان که پیشنهادات مفیدی را در زمینه‌ی نگـارش این رساله به اینجانب ارائه نمودند، تشکر می‌نمایم.

چکیده

در یک سیستم قدرت، تغییرات ناگهانی میزان بار مصرفی دائماً رخ می‌دهد و یا خروج خودکار واحدهای نیروگاهی ممکن است اتفاق افتد، که منجر به انحراف فرکانس می‌گردد. بهره‌بردار سیستم وظیفه دارد، به منظور حفظ فرکانس در محدوده‌ی مجاز و جلوگیری از فروپاشی شبکه، بخشی از ظرفیت نیروگاه‌های در مدار را برای پاسخ‌گویی به هرگونه عدم تعادل در توان حقیقی اختصاص دهد. پس از وقوع هر اغتشاش، در مرحله اول گاورنر واحدهای نیروگاهی به انحراف فرکانس پاسخ می‌دهند. به ظرفیت آماده‌ای که به این انحراف فرکانس پاسخ می‌دهد، ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه اتلاق می‌گردد. ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه، به میزان تولید ساعتی واحدها وابستگی جدی دارد. بهمین دلیل، امروزه برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه مد نظر متخصصین می‌باشد.

توسعه فن‌آوری در بخش نرم افزاری سیستم کنترل واحدهای نیروگاهی، قابلیت‌های مانور جدیدی از جمله، انتخاب مد مشارکت در کنترل فرکانس(فعال و یا غیرفعال) و همچنین انتخاب نرخ بارگیری (عادی و یا سریع) را در هر لحظه و بدون توقف واحد امکان پذیر نموده که در توسعه‌ی ظرفیت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه و نحوه‌ی مشارکت واحدهای نیروگاهی در کنترل فرکانس تأثیر گذار است. از طرفی، برخی از واحدهای نیروگاهی در محدوده معینی از ظرفیت بهره‌برداری، قابلیت مشارکت در کنترل فرکانس را دارند. در این رساله، این قابلیت‌ها و محدودیت‌های واحدهای نیروگاهی معرفی شده و نقش آنها در مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه بررسی می‌گردد. همچنین برخی از این قابلیت‌ها و محدودیت‌های واحدهای نیروگاهی برای اولین بار در برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه در نظر گرفته شده‌اند.

برای حل این مسئله، یک روش ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. نتایج حاصل از شبیه-سازی‌ها نشان می‌دهند که اعمال قابلیت‌ها و محدودیت‌های فوق در برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه، آرایش مناسب‌تری را در اختیار بهره‌بردار سیستم قرار می‌دهد بطوریکه، بهره‌بردار سیستم انحراف کمتری را در اجرای برنامه خواهد داشت. در این رساله، همچنین، نقش قابلیت انتخاب نرخ بارگیری و بکارگیری نرخ بارگیری سریع واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس در قیمت انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه و نوسانات آنها در سناریوهای مختلف قیمت‌دهی فروشندگان و همچنین بارهای مختلف مورد بررسی وتحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهند که در صورت بکارگیری نرخ بارگیری سریع برای مشارکت در کنترل فرکانس، قیمت انرژی و نوسانات آن کاهش می‌یابد. بررسی نتایج نشان می‌دهند که اگرچه، در بسیاری از موارد ممکن است استفاده از نرخ بارگیری سریع برای مشارکت در کنترل فرکانس در بارِ حداقل ضرورتی نداشته باشد، در بارهای زیاد (اوج مصرف) ممکن است امری ضروری باشد. همچنین، بکارگیری نرخ بارگیری سریع از نظر اقتصادی در بارهای میانی توجیه پذیر بوده و در بارهای کمتر بسته به هزینه های استهلاک نرخ بارگیری سریع، امری قابل بررسی است.

ABSTRACT

Frequency control, as an ancillary service, is usually provided using generation reserves. Modern generating units have special technical capabilities; e.g. their governor operation mode can be selected to be either active or passive, their ramp rate can be selected to be either normal or fast, etc. On the other hand, there are some technical constraints; e.g. some generating units cannot participate in primary frequency control at their capacity limits. In this thesis, operational capabilities and constraints of generating units are incorporated in a "simultaneous scheduling of energy and primary frequency control reserve" problem.

To obtain the optimal scheduling, a heuristic iterative method -based on genetic algorithm- is proposed. The impacts of capabilities and constraints on scheduling are investigated through simulation studies. Simulation results indicate that taking these capabilities and constraints of generating units into account, not only reduces the total operational cost but also will end up with a feasible solution, even in cases where previous methods fail.

In some generating unit, the ramp rate may be selected to be either normal or fast. In this thesis, the impact of selecting the fast ramp rate of generating units on electricity price and its volatility is investigated in simultaneous scheduling of energy and primary reserve is also investigated. Simulation results show that using this capability of generating units, results in reduction of both the electricity price and its volatility. While, in minimum load condition, this capability may not necessarily be effective, it will be very essential for peak load condition. The effectiveness of this capability for medium load conditions depends on load and the committed units.

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱: مراحل بازیابی ونقش ذخیره‌های کنترل فرکانس در آن ۱۶
شکل۲-۲: محدوده‌ی فرکانسی عملکرد حفاظت فرکانس بالا و پائین در سیستم قدرت منطقه‌ی آمریکای شمالی ۱۷
شکل۲-۳: مدل حلقه‌های کنترل فرکانس در واحدهای نیروگاهی و شبکه برق اتحادیه‌ی اروپا UCTE ... ۲۰
شکل۲-۴: پاسخ زمانی ذخیره‌های کنترل فرکانس متناسب با عملکرد کنترل فرکانس اولیه، ثانویه و ثالثیه در کشور آلمان ۲۱
شکل۲-۵: بکارگیری ذخیره‌های کنترل فرکانس متناسب با مراحل بازیابی فرکانس پس از عدم تعادل..... ۲۱
شکل۲-۶: مقایسه کارائی ایستا و پویا در سازوکارهای مختلف ۲۷
شکل۴-۱: ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه بکار گرفته شده متناسب با انحراف فرکانس ۵۱
شکل۴-۲: بازه‌ی مجاز ذخیره‌ی کنترل فرکانس ۵۲
شکل۴-۳: بازه‌ی مجاز ذخیره‌ی کنترل فرکانس ثانویه و ثالثیه ۵۴
شکل۴-۴: محدوده ظرفیت مجاز برای مشارکت در کنترل فرکانس ۵۹
شکل۴-۵: ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه بکار گرفته شده با نرخ بارگیری سریع و عادی متناسب با انحراف فرکانس ۶۱
شکل۵-۱: فلوچارت کلی روش پیشنهادی برای حل مسئله..... ۶۹
شکل۵-۲: نمودار کروموزم در شیوه کدبندی پیشنهادی..... ۷۱
شکل۷-۱: اثر افزایش نرخ بارگیری در افزایش هزینه ۸۹
شکل۷-۲: نرخ بارگیری سریع و عادی در یک واحد نیروگاهی..... ۹۰
شکل۷-۳: تغییرات بار مصرفی به صورت تصادفی حول ۱۸۰ مگاوات ۹۱
شکل۷-۴: تغییرات قیمت انرژی برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع با قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه صفر در بارهای تصادفی حول ۱۸۰ مگاوات ۹۲
شکل۷-۵: تغییرات قیمت انرژی برای نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع به ازاء قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه‌ی یک دلار بر مگاوات ساعت..... ۹۴
شکل۷-۶: تغییرات قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه برای مشارکت در کنترل فرکانس اولیه در حالت نرخ بارگیری عادی و نیز حالت با نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع (قیمت‌دهی مطابق حالت اول جدول (۷-۱)) ۹۶
شکل۷-۷: تغییرات قیمت انرژی برای مشارکت در کنترل فرکانس اولیه در حالت نرخ بارگیری عادی و نیز حالت با نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع (قیمت‌دهی مطابق حالت اول جدول (۷-۱)) ۹۶

شکل۷-۸: تغییرات قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه برای مشارکت در کنترل فرکانس اولیه با نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع (قیمت‌دهی مطابق حالت دوم جدول (۷-۱)) ۹۷
شکل۷-۹: تغییرات قیمت انرژی برای مشارکت در کنترل فرکانس اولیه با نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و یا سریع (قیمت‌دهی مطابق حالت دوم جدول (۷-۱)) ۹۷
شکل۷-۱۰: تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای مشارکت واحد در کنترل فرکانس اولیه با نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع (قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه صفر) ۹۹
شکل۷-۱۱ : تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای مشارکت واحد در کنترل فرکانس اولیه با نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع (قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه یک دلار بر مگاوات ساعت) ۹۹
شکل۷-۱۲ : تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای مشارک واحد در کنترل فرکانس اولیه با نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع (قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه مطابق حالت اول جدول (۷-۱)) ۱۰۰
شکل۷-۱۳ : تغییرات قیمت انرژی در بارهای مختلف برای مشارکت واحد در کنترل فرکانس اولیه با نرخ بارگیری عادی و نرخ‌های بارگیری عادی و سریع (قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه مطابق حالت دوم جدول (۷-۱)) ۱۰۰
شکل پ-۱: بلوک دیاگرام انحراف فرکانس در یک سیستم قدرت با یک ژنراتور مستقل ۱۱۸
شکل پ-۲: بلوک دیاگرام انحراف فرکانس در یک سیستم قدرت با یک ژنراتور مستقل با در نظر گرفتن اثر بار وابسته به فرکانس ۱۱۹
شکل پ-۳: مشخصه افتی سرعت در حالت ایده آل و واقعی ۱۲۰
شکل پ-۴: بلوک دیاگرام گاورنر با مشخصه افتی سرعت ۱۲۰
شکل پ-۵: بلوک دیاگرام گاورنر با مشخصه افتی سرعت همراه با باند مرده ۱۲۰
شکل پ-۶: اثر نقطه تنظیم بر مشخصه گاورنر ۱۲۱
شکل پ-۷: بلوک دیاگرام گاورنر با کنترل مرجع بار ۱۲۱
شکل پ-۸: سیستم معادل واحدهای نیروگاهی برای تحلیل کنترل بار فرکانس ۱۲۲
شکل پ-۹: مشخصه‌ی ترکیبی پاسخ گاورنر و بار حساس به فرکانس به تغییر بار ۱۲۳
شکل پ-۱۰: بکارگیری کنترل کننده انتگرالی به واحدهای مشارکت کننده در AGC ۱۲۴
شکل پ-۱۰: بلوک دیاگرام سیستم بهم پیوسته دو ناحیه‌ای با کنترل تکمیلی ۱۲۶

فهرست جدول‌ها

جدول۲-۱: اهداف، سازوکارها، نحوه‌ی کنترل وپیاده‌سازی خدمات کنترل فرکانس..... ۲۳
جدول۲-۲: میزان کفایت ذخیره‌ی مورد نیاز در سیستم قدرت کشورهای مختلف..... ۳۱
جدول۴-۱: مشخصه‌ی گاورنر یک واحد گازی نمونه در مد فعال و غیر فعال کنترل فرکانس. ۵۸
جدول۴-۲: محدوده‌ی مجاز مشارکت در کنترل فرکانس برای برخی واحدهای نمونه ۶۰
جدول۵-۱ : کلیه حالت‌های ممکن متغیرهای باینری..... ۷۰
جدول۵-۲: کدبندی حالت‌های امکان پذیر ۷۰
جدول۶-۱: مشخصات واحدهای نیروگاهی..... ۷۴
جدول۶-۲: آرایش تولید و ذخیره با و بدون در نظر گرفتن محدودیت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه..... ۷۵
جدول۶-۳: آرایش تولید و ذخیره بدون در نظر گرفتن قابلیت انتخاب مد مشارکت و نرخ بارگیری..... ۷۶
جدول۶-۴: آرایش تولید و ذخیره با در نظر گرفتن قابلیت انتخاب مد مشارکت و نرخ بارگیری..... ۷۷
جدول ۶-۵: پیشنهاد قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه فروشندگان بر حسب دلار بر مگاوات ساعت.... ۷۸
جدول۶-۶: آرایش تولید و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه فروشندگان برای حالت‌های مختلف قیمت‌دهی ۷۹
جدول۶-۷: آرایش تولید و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه در بار مصرفی ۲۵۰ و ۳۵۰ مگاوات ۸۰
جدول۶-۸: آرایش تولید و ذخیره ی اولیه فروشندگان درحالت‌های مختلف..... ۸۱
جدول۶-۹: آرایش تولید و ذخیره ی اولیه برای یک شبانه روز..... ۸۱
جدول۶-۱۰: مشخصات واحدهای نیروگاهی برای شبکه‌ی ۱۷ واحدی..... ۸۴
جدول۶-۱۱: آرایش تولید و ذخیره ی اولیه فروشندگان درحالت‌های مختلف (برحسب مگاوات) ۸۵
جدول۷-۱: پیشنهاد قیمت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه فروشندگان برای دو حالت مختلف ۹۵

فهرست مندرجات

مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- اهداف و انگیزه های تحقیق ۴

۱-۳- نوآوری ها و اقدامات انجام شده در این رساله ۹

۱-۴- روند مطالب ارائه شده ۹

ذخیره‌های کنترل فرکانس و نقش آنها در بازار خدمات جانبی ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- ذخیره‌های کنترل فرکانس و نقش آنها در بازیابی شبکه ۱۱

۲-۲-۱- معرفی ذخیره‌های کنترل فرکانس ۱۲

۲-۲-۲- نقش ذخیره‌های کنترل فرکانس در مراحل بازیابی فرکانس ۱۳

الف) خدمت کنترل فرکانس اولیه ۱۶

ب) خدمت کنترل فرکانس ثانویه ۱۸

ج) خدمت کنترل فرکانس ثالثیه ۱۹

۲-۳- بازار خدمات جانبی کنترل فرکانس ۲۲

۲-۳-۱- سازوکارهای خرید و تأمین ذخیره‌های کنترل فرکانس ۲۳

الف) مقررات اجباری ۲۳

ب) قراردادهای دو جانبه ۲۴

ج) روش های بازار معاملات نقدی و برگزاری مناقصه ۲۴

۲-۳-۲- نحوه قیمت‌گذاری و پرداخت هزینه‌های خدمات کنترل فرکانس ۲۵

۲-۴- معرفی سازوکارهای برگزاری حراج و برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس ۲۸

۲-۴-۱- مروری بر مسئله‌ی برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس ۳۰

۲-۴-۲- معرفی روش برنامه‌ریزی متوالی ۳۱

۲-۴-۳- معرفی روش برنامه‌ریزی همزمان خدمات جانبی (خریدار معقول) ۳۲

۲-۴-۴- معرفی روش برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس ۳۳

۲-۵- جمع بندی ۳۴

مروری بر کارهای گذشته ۳۶

۳-۱- مقدمه ۳۶

۳-۲- پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی شناسایی قابلیتها و محدودیتهای واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس اولیه ۴۰

۳-۳- تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی برنامه‌ریزی ذخیره‌های کنترل فرکانس ۴۲

۳-۴- جمع بندی و دسته‌بندی محورهای تحقیقات انجام شده ۴۴

برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس با لحاظ نمودن قابلیتها و محدودیتهای واحدها ۴۵

۴-۱- مقدمه ۴۵

۴-۲- توصیف مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس ۴۶

۴-۲-۱- کلیات مسئله ۴۶

۴-۲-۲- فرضیات مسئله ۴۸

۴-۲-۳- تابع هدف ۴۹

۴-۲-۴- محدودیت‌های مسئله ۵۱

۴-۲-۴-۱- محدودیت متداول واحدهای نیروگاهی و شبکه ۵۱

۴-۲-۴-۲- محدودیت خاص مسئله ۵۱

۴-۲-۴-۳- سایر محدودیت‌ها ۵۵

۴-۳- معرفی قابلیت‌ها و محدودیت‌های واحدهای نیروگاهی ۵۶

۴-۳-۱- قابلیت انتخاب مد مشارکت در کنترل فرکانس ۵۶

۴-۳-۲- محدوده مجاز عملکرد واحدها برای مشارکت در کنترل فرکانس ۵۸

۴-۳-۳- نرخ بارگیری سریع و قابلیت انتخاب نرخ بارگیری ۶۰

۴-۴- فرمول‌بندی مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکنس اولیه با در نظر گرفتن قابلیت‌ها و محدودیت‌ها ۶۲

۴-۵- جمع‌بندی ۶۴

ارائه‌ی یک روش ابتکاری برای حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه ۶۵

۵-۱- مقدمه ۶۵

۵-۲- مروری اجمالی بر روشهای حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه ۶۶

۵-۳- معرفی روش پیشنهادی برای حل مسئله ۶۷

۵-۴- جمع بندی ۷۲

بررسی و تحلیل نتایج حاصله از حل مسئله‌ی برنامه ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه ۷۳
۶-۱- مقدمه ۷۳
۶-۲- شبیه‌سازی مسئله برای شبکه‌ی ۴ واحدی نمونه و تحلیل آن ۷۴
۶-۲-۱- در نظر گرفتن محدودیت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه ۷۵
۶-۲-۲- در نظر گرفتن قابلیت انتخاب مد مشارکت و نرخ بارگیری (عادی و یا سریع) ۷۶
۶-۲-۳- در نظر گرفتن قابلیت انتخاب نرخ بارگیری (عادی و یا سریع) با قیمت متفاوت برای مشارکت در کنترل فرکانس ۷۸
۶-۲-۴- لزوم بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ بارگیری سریع برای مشارکت در کنترل فرکانس در شرایط خاص ۸۰
۶-۲-۵- در نظر گرفتن محدودیت حداقل و حداکثر ظرفیت تولید مجاز برای مشارکت در کنترل فرکانس
۶-۲-۶- شبیه سازی مسئله برای یک شبانه روز ۸۱
۶-۳- شبیه‌سازی مسئله برای یک شبکه‌ی ۱۷ واحدی ۸۳
۶-۶- جمع بندی ۸۶

بررسی و تحلیل اثر استفاده از نرخ بارگیری سریع به منظور تأمین ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه ۸۷
۷-۱- مقدمه ۸۷
۷-۲- نقش بکارگیری نرخ بارگیری سریع در ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه ۸۸
۷-۳- بررسی و تحلیل اثر بکارگیری ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه با نرخ بارگیری سریع بر شاخص‌های کوتاه مدت بازار در سناریوهای مختلف قیمت‌دهی ۹۰
۷-۳-۱- سناریوی اول: فروشنده امکان قیمت‌دهی ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه را نداشته باشد ۹۲
۷-۳-۲- سناریوی دوم: حضور اجباری عرضه‌کنندگان ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه با قیمت یکسان و ثابت ۹۳
۷-۳-۳- سناریوی سوم: فروشنده در ارائه قیمت بابت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه، با نرخ عادی و سریع آزاد باشد ۹۵
۷-۳-۳-۱- شبیه‌سازی و تحلیل برای قیمت‌دهی مطابق حالت اول جدول (۷-۱) ۹۵
۷-۳-۳-۲- شبیه‌سازی و تحلیل برای قیمت‌دهی مطابق حالت دوم جدول (۷-۱) ۹۷

۷-۴- بررسی اثر بکارگیری قابلیت انتخاب نرخ بارگیری عادی و یا سریع برای مشارکت در کنترل فرکانس در بارهای مختلف ۹۸
۷-۵- نتیجه ۱۰۱

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۳

۸-۱- نتیجه‌گیری ۱۰۳
۸-۲- پیشنهادات ۱۰۷

مراجع ۱۰۹

پیوست ۱۱۸

اصول اساسی کنترل فرکانس ۱۱۸

پ-۱- پاسخ ژنراتور به تغییر بار ۱۱۸
پ-۲- پاسخ بار به انحراف فرکانس ۱۱۸
پ-۳- نقش مشخصه‌های واحدهای نیروگاهی در کنترل فرکانس ۱۱۹
پ-۴- مشخصه‌ی ترکیبی توان و فرکانس یک ناحیه ۱۲۱
پ-۵- اصول کنترل خود کار تولید(AGC) ۱۲۳

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در یک سیستم قدرت، فرکانس تنها متغیری از شبکه است که در تمامی گستره‌ی شبکه بهم‌پیوسته یکسان می‌باشد و تغییرات آن باید بسیار محدود باشد. از طرفی، فرکانس معیار بسیار مهمی است که میزان تعادل لحظه‌ای عرضه و تقاضای توان حقیقی را نشان می‌دهد. در یک سیستم قدرت که تعداد زیادی از واحدهای نیروگاهی برق مورد نیاز مصرف‌کنندگان را تأمین می‌کنند، احتمال خروج خودکار واحدهای نیروگاهی در هر لحظه وجود دارد. به علاوه، بار مصرفی نیز مرتباً در حال تغییر است. به عبارت دیگر، سیستم قدرت دائماً در معرض اغتشاشاتی است که منجر به عدم تعادل در تولید و مصرف برق و در نتیجه، انحراف فرکانس[1] سیستم قدرت از فرکانس نامی می‌گردند. به همین دلیل، در سیستم قدرت منابع و سازوکارهای مختلفی برای جبران عدم تعادل توان حقیقی و بازیابی فرکانس پیش‌بینی شده است تا فرکانس سیستم قدرت در صورت رخداد هر حادثه در محدوده‌ی مجاز باقی مانده و از فروپاشی شبکه جلوگیری گردد.

ظرفیت ذخیره‌ی واحدهای نیروگاهی، مهم‌ترین منبع برای جبران عدم تعادل توان حقیقی در شرایط افزایش بار است. در مرحله اول، پس از وقوع هر عدم تعادل در سیستم قدرت، واحدهای نیروگاهی با توجه به مشخصه‌ی گاورنر سرعت خود به انحراف فرکانس پاسخ می‌دهند که به کنترل فرکانس اولیه[2] مشهور است. از این‌رو بهره‌بردار سیستم قدرت، بخشی از ظرفیت تعدادی از واحدهای نیروگاهی در مدار را به صورت ذخیره برای پاسخگویی سریع به انحراف فرکانس در نظر گرفته که به آن ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه یا به اختصار ذخیره‌ی اولیه[3] اتلاق می‌گردد. ذخیره‌ی اولیه‌ی آماده هر واحد نیروگاهی، سهم مشارکت پاسخگویی آن واحد به انحراف فرکانس است که به ظرفیت ذخیره‌ی اختصاص یافته‌ی واحد نیروگاهی و مشخصه‌ی آن وابسته است. ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه قادر به حذف خطای حالت دائم انحراف فرکانس

---

[1] Frequency deviation
[2] Primary frequency control
[3] Primary reserve

نمی‌باشد. از طرفی، برای آمادگی سیستم قدرت در برابر اغتشاشات بعدی، ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه واحدهای نیروگاهی که در اغتشاش اول مورد استفاده قرار گرفته است، بایستی جبران گردد. از اینرو و در مرحله دوم، به منظور حذف خطای حالت دائم انحراف فرکانس و همچنین جبران ذخیره‌های کنترل فرکانس اولیه‌ی مصرف شده، بخشی دیگر از ظرفیت تولید واحدهای نیروگاهی توسط سیستم کنترل تولید خودکار[1](AGC) فعال شده که به آن کنترل فرکانس ثانویه[2] نیز می‌گویند. همچنین، به ظرفیت تولید هر واحد نیروگاهی که به منظور مشارکت در کنترل فرکانس ثانویه اختصاص می‌یابد، ذخیره‌ی کنترل فرکانس ثانویه و یا ذخیره‌ی ثانویه[3] اتلاق می‌گردد. از دیگر وظایف سیستم کنترل تولید خودکار در یک شبکه به هم پیوسته که شامل دو یا چند ناحیه‌ی کنترل[4] است، تنظیم میزان تبادل توان حقیقی هر ناحیه با نواحی مجاور در مقدار برنامه‌ریزی شده است. در مرحله سوم، برای حفظ قابلیت اطمینان شبکه در حوادث بعدی، ذخیره-های مصرف شده باید جبران گردند. بهمین منظور، بخشی دیگر از ظرفیت تولید واحدهای نیروگاهی در مدار یا آماده برای سنکرون شدن با شبکه در نظر گرفته می‌شوند که به ذخیره‌ی ثالثیه[5] معروف است. ذخیره-ی ثالثیه بایستی، در بازه‌ی زمانی حدود ۱۵ تا ۳۰ دقیقه، تولید خود را در اختیار سیستم قدرت قرار دهد. بارهای مدیریت پذیری که قابلیت کاهش بار در بازه‌ی زمانی فوق را داشته باشند نیز به عنوان ذخیره‌ی ثالثیه در نظر گرفته می‌شوند[۳-۱].

در صورت وقوع یک حادثه و در شرایط عدم کفایت ذخیره‌های کنترل فرکانس در یک سیستم قدرت، سیستم‌های حفاظتی(رله های فرکانس پائین و بالا[6]) با کمک بارزُدائی[7] و یا خروج خودکار واحدهای نیروگاهی[8] مانع از خروج فرکانس از محدوده مجاز شده تا منجر به فروپاشی شبکه نگردد[۴]. از اینرو است که، برنامه‌ریزی تخصیص میزان ذخیره‌های کنترل فرکانس اولیه، ثانویه و ثالثیه در کوتاه‌مدت به منظور حفظ امنیت و قابلیت اطمینان شبکه امری ضروری و مهم است که مسئولیت آن بر عهده‌ی بهره‌بردار مستقل سیستم[9] (ISO) می‌باشد.

تخصیص بخشی از ظرفیت واحدهای نیروگاهی به منظور ذخیره‌ی کنترل فرکانس، سبب افزایش هزینه‌ی عرضه‌کنندگان ذخیره‌های کنترل فرکانس و بالطبع سبب افزایش هزینه‌های بهره‌برداری سیستم قدرت می‌گردد چرا که، به منظور تأمین بار و ذخیره‌ی مورد نیاز، بهره بردار سیستم مجبور است از ظرفیت

---

[1] Automatic Generation Control (AGC)
[2] Secondary frequency control
[3] Secondary reserve
[4] Control area
[5] Tertiary reserve
[6] Under and Over frequency relays
[7] Load shedding
[8] Generation tripping
[9] Independent System Operator

واحدهای نیروگاهی گران‌تر (با هزینه‌ی بهره‌برداری بیشتر) نیز استفاده نماید. این امر سبب می‌شود که واحدهای با هزینه‌ی بهره‌برداری بیشتر در مدار قرار گرفته و یا تولید آنها بیشتر گردد که بالطبع سبب افزایش هزینه‌ی بهره‌برداری کل خواهد شد. این افزایش هزینه مربوط به جبران تأمین ذخیره‌های مورد نیاز است. از طرفی، از ظرفیت ذخیره‌های کنترل فرکانس، تنها در صورت وقوع حادثه‌ی منجر به انحراف فرکانس، استفاده می‌گردد. به همین دلیل، واحدهای نیروگاهی مشارکت کننده در تأمین ذخیره‌های کنترل فرکانس، فرصت تولید انرژی مستمر بخشی از ظرفیت خود و متناسباً درآمدهای ناشی از آن را نیز از دست می‌دهند. علاوه بر آن، هزینه‌های استهلاک و تعمیر و نگهداری ناشی از بکارگیری ذخیره‌های کنترل فرکانس و همچنین هزینه‌های ناشی از تولید در نقطه غیربهینه از منظر تولید انرژی نیز به این واحدهای نیروگاهی تحمیل خواهد شد.

اگرچه در ساختار یکپارچه با تجمیع عمودی[1] صنعت برق، هزینه ذخیره‌های کنترل فرکانس به صورت مجزا چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد ولیکن، این هزینه‌ها به صورت غیرِ شفاف از مصرف‌کنندگان دریافت می‌گردد. از طرفی از آنجائی‌که در این ساختار، سازوکاری برای جبران هزینه‌های مشارکت واحدهای نیروگاهی در تأمین ذخیره‌های کنترل فرکانس پیش بینی نشده است، در نتیجه عرضه‌کنندگان انگیزه‌ی لازم برای تأمین ذخیره‌های کنترل فرکانس را نخواهند داشت.

در محیط تجدید ساختاریافته صنعت برق، ذخیره‌های کنترل فرکانس، بخشی از خدمات جانبی است که برای حفظ امنیت و قابلیت اطمینان شبکه، توسط بهره‌بردار مستقل سیستم فراهم می‌گردد. با توجه به طراحی بازار، هر کدام از ذخیره‌های کنترل فرکانس به صورت یک کالای مجزا در یک حراج، که از قبل بدین منظور طراحی شده است، عرضه می‌گردد. از اینرو وظیفه‌ی بهره‌بردار سیستم قدرت آن است تا با خرید بهینه‌ی ذخیره‌های مورد نیاز در کوتاه مدت (ساعتی و در یک دوره حداکثر یک هفته‌ای)، قابلیت اطمینان شبکه را با کمترین هزینه حفظ نماید. سازوکار برگزاری حراج و تسویه‌ی بازار برای تأمین انرژی و ذخیره‌های مورد نیاز در محیط تجدید ساختار یافته، به سه روش برنامه‌ریزی متوالی[2]، خریدار معقول[3] و برنامه‌ریزی همزمان[4] صورت می‌گیرد. در روش برنامه‌ریزی متوالی، ابتدا حراج انرژی اجرا شده و سپس حراج ذخیره‌ها به ترتیب و بر اساس میزان مرغوبیت برگزار می‌گردد. در روش خریدار معقول، پس از برگزاری حراج انرژی، حراج کلیه ذخیره‌ها به صورت همزمان انجام می‌شود. در روش برنامه‌ریزی همزمان، حراج انرژی و ذخیره‌ها به طور همزمان صورت می‌گیرد. با توجه به تأثیر زیادی که میزان تولید تخصیص یافته‌ی واحدها در میزان ذخیره‌ها دارند، برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ها از مزیت بیشتری در مقایسه

[1] Vertical integrated structure
[2] Sequential schedule
[3] Rational buyer
[4] Simultaneous schedule

با روش‌های برنامه‌ریزی متوالی و خریدار معقول برخوردار می‌باشد[۶-۵]. به همین دلیل در این رساله، از برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس استفاده شده است.

با بکارگیری فن‌آوری نرم‌افزاری پیشرفته در سیستم کنترل واحدهای نیروگاهی، قابلیت‌های جدیدی برای مشارکت واحدهای نیروگاهی در کنترل فرکانس ایجاد شده که بر مسئله‌ی برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره-های کنترل فرکانس تأثیرگذار است. از طرفی، برخی از واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس محدودیت‌هایی دارند که کمتر در مسئله برنامه ریزی انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس در نظر گرفته شده است. بهمین دلیل، در این رساله بر شناسائی و معرفی ظرفیت‌ها، قابلیت‌ها و محدودیت‌های فنی واحدهای نیروگاهی که نقش مؤثری در تخصیص ذخیره‌های کنترل فرکانس واحدها دارند، تکیه گردیده است. با لحاظ نمودن قابلیت‌ها و اعمال محدودیت‌های واحدهای نیروگاهی در مسئله‌ی برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس، تخصیص میزان تولید و ذخیره‌های مورد نیاز با دقت مناسبی صورت می‌گیرد، بطوریکه، بهره‌بردار سیستم انحراف کمتری در اجرای آن خواهد داشت. علاوه بر آن، بهره‌بردار سیستم از کفایت ذخیره‌های تخصیص یافته مطمئن خواهد بود. با افزوده شدن این قابلیت‌ها و محدودیت‌ها، مسئله برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌های کنترل فرکانس پیچیده‌تر می‌گردد. در این رابطه، برای حل مسئله یک روش ابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک پیشنهاد گردیده است. معرفی این قابلیت‌های واحدهای نیروگاهی، ظرفیت‌های جدیدی را برای توسعه رقابت بین عرضه‌کنندگان این خدمات ایجاد می‌نماید. در این رساله، همچنین، سازوکارهای انگیزشی برای بکارگیری این قابلیت‌ها، که قبلاً مورد توجه نبوده‌اند ارائه شده و نقش آن سازوکارها بر قیمت انرژی و نوسانات آن در بارهای مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

۱-۲- اهداف و انگیزه های تحقیق

ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه با توجه به اینکه سریعاً به انحراف فرکانس واکنش نشان می‌دهد، مانع از افت بیش از حد مجاز فرکانس می‌گردد واز اهمیت ویژه‌ای در کنترل فرکانس برخوردار است. یکی از چالش‌های کنونی در بهره‌برداری سیستم قدرت، عدم کفایت منابع ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه است. از دلایل عمده‌ی این کمبود منابع، افزایش سهم واحدهای نیروگاهی مستقل[1](IPP) پس از تجدید ساختار صنعت برق می‌باشد. این واحدهای نیروگاهی معمولاً از نوع توربین گاز و یا واحدهای سیکل ترکیبی بوده و مالکان آنها تمایل به تولید انرژی در بارِ کامل[2] را دارند و بنابراین کمتر از قابلیت مشارکت در کنترل فرکانس استفاده می‌نمایند. به علاوه، نتایج مطالعات نشان می‌دهند که افزایش تعداد واحدهای گازی

[1] Independent Power Plant (IPP)
[2] Full load

نیروگاه‌های سیکل ترکیبی سبب بدتر شدن پاسخ دینامیکی سیستم قدرت به انحراف فرکانس خواهد شد[۸-۷].

در سال‌های اخیر بسیاری از سیستم‌های قدرت با کمبود ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه روبرو بوده‌اند. از دلایل این عدم کفایت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه، هدف‌گذاری برخی از این کشورها برای توسعه‌ی ظرفیت تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله احداث نیروگاه‌های بادی است که اغلب قابلیت مشارکت در کنترل فرکانس را ندارند. از اینرو با افزایش سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر در تولید، انتظار می‌رود تا میزان منابع ذخیره‌ی کنترل فرکانس کاهش یابد. با این‌حال، موضوع مشارکت نیروگاه‌های تجدید پذیر در کنترل فرکانس، از محورهای مهم تحقیقاتی در این زمینه به شمار می‌رود[۱۰-۹]. از طرفی، کمبود موردی منابع آبی در کشورهائی‌که واحدهای نیروگاهی برقآبی وظیفه‌ی کنترل فرکانس را به عهده دارند، نیز منجر به عدم کفایت منابع ذخیره‌ی کنترل فرکانس شده است. همچنین، عدم امکان مشارکت نیروگاه‌های سیکل ترکیبی با سوخت مایع سبب می‌شود که این نیروگاه‌ها در برخی از فصول سال که به صورت اجباری از سوخت مایع استفاده می‌کنند نتوانند این خدمات را ارائه کنند. همچنین، نقص فنی برخی از واحدهای قدیمی از جمله مواردی هستند که این شرایط را تشدید می‌کنند [۱۲-۱۱].

برای جبران عدم کفایت منابع ذخیره‌ی کنترل فرکانس، استفاده از فن‌آوری های نوین از جمله چرخ لنگرهای با انرژی زیاد و کم[1]، خازن‌های با ظرفیت خیلی بالا[2] و واحدهای نیروگاهی بادی با سرعت متغیر مورد بررسی می‌باشند. با این‌حال، اینگونه واحدها هنوز در مقیاس وسیع بکار گرفته نشده‌اند. از اینرو، در شرایط کنونی، شناسایی قابلیت‌های واحدهای نیروگاهی حرارتی و همچنین ایجاد انگیزه برای بکارگیری این قابلیت‌ها برای مشارکت در کنترل فرکانس در محیط تجدید ساختار یافته می‌تواند ظرفیت‌های جدیدی را برای این خدمات تأمین نماید. خوشبختانه با توسعه‌ی نرم‌افزاری سیستم کنترل واحدهای نیروگاهی زمینه‌ی بکارگیری قابلیت‌های نهفته در این واحدها فراهم شده است.

قابلیت‌های واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس در بازه‌ی زمانی معمولاً کمتر از ۳۰ ثانیه بکارگرفته می‌شوند در حالی که، سازوکار تخصیص ظرفیت مورد نیاز واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس به صورت ساعتی و یا بلندمدت‌تر است. بنابراین، یک چالش اصلی آن است که هرگونه بهبود در پاسخ واحدهای نیروگاهی به انحراف فرکانس بایستی در برنامه‌ریزی ساعتی تخصیص ذخیره‌ی اولیه‌ی کنترل فرکانس لحاظ گردد. مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام شده در این خصوص نشان می‌دهد که به ارتباط توسعه فن‌آوری سیستم‌های کنترل فرکانس و برنامه‌ریزی تخصیص ساعتی ذخیره‌های کنترل فرکانس چندان توجه نشده است. در واقع، پژوهشگرانی که از دیدگاه کنترل سیستم به

[1] High and low energy fly wheels
[2] Super capacitors

مسئله‌ی کنترل فرکانس می‌پردازند، عمدتاً بهینه‌سازی حلقه‌های اولیه و ثانویه کنترل بار- فرکانس را مورد توجه قرار داده‌اند که نتیجه‌ی آن ارائه‌ی قابلیت‌های جدید و همچنین بهبود پاسخ واحدهای نیروگاهی به انحراف فرکانس ناشی از حادثه در سیستم قدرت است. اگرچه این قابلیت‌ها و همچنین بهبود پاسخ واحد به انحراف فرکانس، در برخی موارد سبب افزایش ظرفیت آماده برای پاسخ در کنترل فرکانس می‌گردد لیکن، این قابلیت‌ها در مسئله‌ی برنامه‌ریزی ذخیره‌ها منظور نشده و نمی‌توان انتظار داشت که واحد نیروگاهی از این ظرفیت که به بهره‌بردار سیستم قدرت معرفی نگردیده است، (بدون جبران هزینه‌های آن) استفاده نماید. از طرفی، در برخی موارد واحدهای نیروگاهی از قابلیت‌هایی برای محدود کردن و مقید کردن ظرفیت واحد خود برای مشارکت در کنترل فرکانس سود می‌برند که علی‌رغم اینکه این موارد در تخصیص ذخیره‌های کنترل فرکانس تأثیرگذار هستند ولی، در مسئله‌ی برنامه‌ریزی ذخیره‌های کنترل فرکانس در نظر گرفته نمی‌شوند. بنابراین، می‌توان گفت که حلقه‌ی مفقوده‌ای بین مطالعات آنی و برنامه‌ریزی ساعتی ذخیره‌ی کنترل فرکانس وجود دارد. از اینرو در این رساله، نقش پاسخ ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه در بر مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی اولیه مورد توجه قرار گرفته است.

به منظور برقراری روابط بین مطالعات آنی و ساعتی، می‌توان مسئله‌ی برنامه‌ریزی انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه را، با در نظر گرفتن این فرض که پاسخ حالت ماندگار حلقه‌ی کنترل فرکانس اولیه در کمتر از ۳۰ ثانیه محقق می‌شود، در مسئله‌ی برنامه‌ریزی لحاظ نمود. در این صورت، تخصیص ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه به شکل دقیق‌تری، که وابسته به میزان انحراف فرکانس می‌باشد در مسئله برنامه‌ریزی لحاظ خواهد گردید. با برقراری این ارتباط، زمینه‌ی بکارگیری توسعه‌ی ظرفیت واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس اولیه فراهم می‌گردد.

با توجه به مطالب فوق، می‌توان گفت انگیزه‌ی اصلی از این تحقیق، شناسائی و معرفی قابلیت‌ها و محدودیت‌های نهفته‌ی واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس اولیه و و بکارگیری آن‌ها در مسئله‌ی برنامه‌ریزی همزمان انرژی و ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه است. از اینرو، این تحقیق می‌تواند در پاسخگویی به سئوالات متعددی که در طراحی و سیاستگذاری‌های کوتاه مدت در بازار برق پس از تجدید ساختار به وجود آمده است، مؤثر باشد. بدیهی است که در این رابطه، موضوعات جدیدی در خصوص توسعه‌ی ظرفیت واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس مطرح خواهند شد. برخی از این سؤالات عبارتند از:

۱- با توجه به عدم کفایت ظرفیت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه‌ی واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس در برخی ساعات و بعضی از شبکه‌ها، چه ظرفیت‌های نهانی در واحدهای نیروگاهی وجود دارد که ممکن است بتوانند کفایت ذخیره‌ی کنترل فرکانس اولیه را فراهم نمایند؟