



تخصیص ظرفیت معین مشارکت در کنترل فرکانس با ارائه یک الگوریتم اصلاحی در حلقه کنترل فرکانس نیروگاه شریعتی مشهد

مصطفی رجبی مشهدی^{۱*} علیرضا قبادی چهکندک^۲ داود جانفدا^۳ محمدحسین جاویدی^۳

۱- شرکت برق منطقه‌ای خراسان - معاونت برنامه‌ریزی و تحقیقات mrabajim@yahoo.com

۲- مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق خراسان

۳- آزمایشگاه تخصصی مطالعات سیستم قدرت و تجدید ساختار - دانشگاه فردوسی مشهد

واژه‌های کلیدی: کنترل فرکانس، ذخیره اولیه، آمادگی، ذخیره گردان، اصلاح حلقه کنترل

تخصیص ظرفیت معین برای مشارکت در کنترل فرکانس پیشنهاد شده است. این الگوریتم این اختیار را به بهره بردار خواهد داد تا با محدوده مشخصی از ذخیره گردان در کنترل فرکانس مشارکت داشته باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم فوق قابلیت به کارگیری عملی در این نوع واحدها را داشته و در صورت پیاده‌سازی، واحد عملکرد بهتری در شرایط عادی و بحرانی فرکانس شبکه خواهد داشت.

۱- مقدمه

راهنمازی بازار خدمات جانبی کنترل فرکانس به صورت اجباری در ایران طی یک سال گذشته و طرح موضوعاتی نظری اعطاء مشوق‌های مالی به منظور مشارکت واحدهای حرارتی در کنترل فرکانس، منجر به آن گردید که برخی از نیروگاه‌های حرارتی به منظور به کارگیری قابلیت واحدهای نیروگاهی و

چکیده
در سال‌های اخیر به دلیل عدم کفايت ذخیره‌ی فرکانسی واحدهای برق آبی، مشارکت واحدهای حرارتی در کنترل فرکانس به حد چشم‌گیری افزایش یافته است. از این رو برخی از واحدهای نیروگاهی حرارتی در صدد توسعه و به کارگیری قابلیت‌های مشارکت در کنترل فرکانس برآمده و برخی با توجه به فرسودگی و محدودیت واحدهای نیروگاهی، تمايل به مشارکت محدود در کنترل فرکانس را دارند. هدف از این مقاله معرفی الگوریتم هایی به منظور توسعه هدفمند قابلیت‌های واحد گازی یک نیروگاه سیکل ترکیبی برای مشارکت در کنترل فرکانس می‌باشد. به همین منظور حلقه‌های اصلی و پارامترهای سیستم گاورنر یک واحد گازی ۱۲۳/۵ مگاواتی نیروگاه شریعتی مشهد شناسائی و مدلسازی شده‌اند. سپس یک الگوریتم به منظور

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

منظور تخصیص بهینه ذخیره گردان برای مشارکت در کنترل فرکانس اشاره نمود [۸]. در این طرح، آقای Aguero و همکارانش با محدود کردن فیدبک سرعت و اعمال یک مرجع ثابت به جای مرجع متغیر کنترل بار- سرعت، میزان مشارکت واحد را در کنترل فرکانس محدود نمودند.

هدف ما در این مقاله، اعمال طرح ارائه شده در مرجع [۸] بر روی مدل اسپید ترونیک MARK IV مربوط به توربین گاز F9-GE نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد است. لذا در بخش دوم این مقاله، به صورت اجمالی حلقه‌های اصلی و از جمله کنترل بار- فرکانس بازنگری شده و همچنین مدل گاورنر شناسائی شده است. در بخش سوم این مقاله، طرح پیشنهادی معرفی و در مدل‌سازی اعمال گردیده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در بخش چهارم مورد بحث قرار گرفته است و نهایتاً در بخش پنجم، مطالب جمع‌بندی و نتیجه‌گیری شده است.

۲- معرفی حلقه‌های اصلی واحد و مدل‌سازی گاورنر

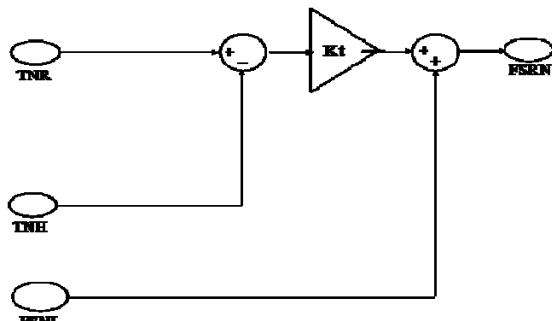
سیستم کنترل توربین گاز نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی مشهد، اسپید ترونیک MARK IV می‌باشد. شکل ۱، بلوک دیاگرام ساده شده حلقه‌های اصلی کنترل این واحد را نشان می‌دهد. این بلوک دیاگرام شامل اجزاء اصلی نظریه توربین گاز، کنترل والو سوخت و سرو والو می‌باشد. حلقه‌های اصلی واحد شامل کنترل سرعت (گاورنر)، کنترل دما و کنترل شتاب می‌باشد. البته حلقه کنترل شتاب در واحد گازی شریعتی، حلقه فرعی در نظر گرفته شده است. هدف از کنترل شتاب، محدود کردن شتاب به منظور جلوگیری از تنش‌های ناخواسته است. در مواردی که شتاب محور از مرجع شتاب، بیشتر شود متناسب با آن، میزان بسته شدن کنترل والو بیشتر خواهد گردید. با توجه به اینکه در این مقاله، تغییرات سرعت در حد فعال‌سازی حلقه کنترل شتاب نیست، در مطالعات منظور نشده است. بدیهی است از توضیح بیشتر در مورد حلقه راهاندازی و توقف عادی واحد که در این مطالعه تأثیرگذار نیست، اجتناب شده است [۹].

همچنین توسعه ظرفیت آماده برای مشارکت در کنترل فرکانس تلاش نمایند. در این خصوص برخی از واحدهای بخار نظیر واحد بخار اشکودای مشهد که عمری بیش از سی سال دارند و قبلًا آماده برای مشارکت در کنترل فرکانس نبوده‌اند، با تعمیر و راهاندازی سیستم گاورنر به صورت یک واحد آماده برای مشارکت در کنترل فرکانس مطرح می‌باشند. همچنین می‌توان از کاهش دروپ یک واحد نیروگاه توسعه به صورت آزمایشی برای افزایش ظرفیت فعال مشارکت کننده در کنترل فرکانس نام برد [۱]. این در حالی است که عدم کفاایت ذخیره واحدهای برق آبی، نیاز به استفاده از ظرفیت واحدهای حرارتی را برای مشارکت در کنترل فرکانس جدی-تر نموده است [۲]. گزارشات امنیت و پایانی شرکت مدیریت شبکه برق ایران در خصوص میزان تخطی فرکانس از محدوده مجاز فرکانس، این مطلب را تائید می‌نماید [۳]. به همین منظور، مشارکت اجباری در کنترل فرکانس و مشخصات مورد نیاز واحدهای نیروگاهی برای مشارکت در کنترل فرکانس نظیر درصد مشخصه افتی (دروپ)، باند مرده گاورنر و مدت زمان تأخیر در رویه هیات تنظیم بازار برق به تصویب رسید [۴] و در این خصوص رویه‌های موجود ارتقا یافته است [۵]. این رویکرد منجر به آن گردید که واحدهای قدیمی تر و فرسوده و همچنین برخی از واحدهایی که مالکان آن به منظور کاهش استهلاک واحد تمایل به مشارکت در کنترل فرکانس نداشتند، در جهت محدود کردن قابلیت‌ها و همچنین تخصیص ظرفیت معین مشارکت در کنترل فرکانس تلاش نمایند.

مطالب فوق بر ضرورت توسعه قابلیت‌ها به منظور تخصیص ذخیره معین برای مشارکت در کنترل فرکانس تأکید می‌نماید. از کارهای قبلی در این زمینه می‌توان به تأثیر بهبود عملکرد گاورنر در تخصیص بهینه ذخیره گردان در مرجع [۶] و همچنین اثر به کارگیری نرخ بارگیری عادی و سریع در توسعه برنامه‌ریزی ذخیره‌های کنترل فرکانس در مرجع [۷] اشاره نمود. همچنین از طرح‌های عملی گزارش شده نیز می‌توان به اصلاح حلقه کنترل بار- سرعت در سیستم کنترل اسپید ترونیک MARK V مربوط به توربین گاز GE-F9 به

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

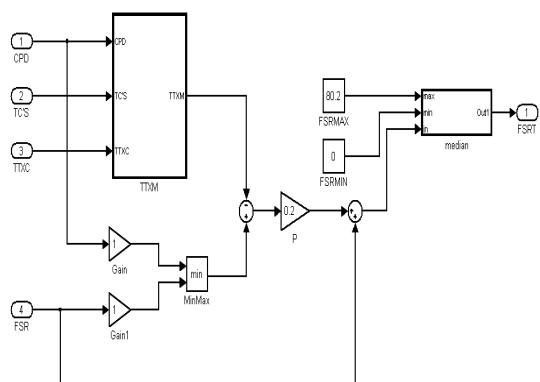
تغییر می‌نماید. توضیح اینکه این واحدها دارای دو مد ایزوکرونوس و دروب می‌باشند که مد ایزوکرونوس در حالتی که واحد به یک شبکه بزرگ متصل می‌باشد، غیرفعال می‌باشد.



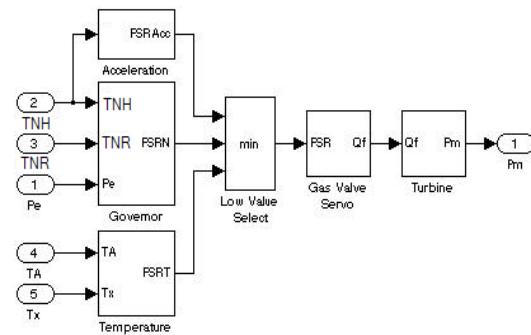
شکل (۲): مدل ساده شده حلقه کنترل بار سرعت

هدف از کنترل دما، کنترل دمای پرهای توربین گاز بوده که به شکل غیر مستقیم با اندازه‌گیری دمای هوای خروجی از اگزوز (TTXM) و فشار خروجی کمپرسور (CPD) انجام می‌شود. مدل ساده شده این حلقه در شکل ۳ آمده که تعداد ترموموکوپلهای میانگین دمای خروجی اگزوز TTXC نیز در آن نقش دارد. سیگنال خروجی این حلقه کنترل FSRT است که میزان باز شدن کنترل والو را تعیین می‌کند. این مقدار توسط سازنده به دو حد بالائی و پائینی که به ترتیب با MAX و FSRMAX مشخص شده، محدود می‌شود.

لازم به توضیح است که به منظور تطبیق حلقه‌ها با رفتار واقعی سیستم، برخی از پارامترها و حلقه‌های فرعی‌تر با سیگنال‌های مشابه، شبیه‌سازی شده‌اند. بدیهی است این گونه ساده‌سازی‌ها تأثیر عمده‌ای را در تحلیل رفتار سیستم ایجاد نمی‌نماید.



شکل (۳): مدل حلقه کنترل دما



شکل (۱): بلوك دیاگرام حلقه‌های اصلی کنترل واحد

میزان باز شدن کنترل والو در هر لحظه توسط حلقه‌های فوق-الذکر محاسبه و تعیین می‌شود. این مقدار برای حلقه‌های کنترل شتاب، سرعت و دما به ترتیب FSRACC، FSRACC و FSRT است. با استفاده از یک حداقل‌گیر هر کدام از این سه سیگنال فوق که مقدار کمتری را در هر لحظه داشته باشد، میزان باز شدن کنترل والو سوخت را مشخص می‌کند و اصطلاحاً کنترل واحد در اختیار آن حلقه قرار می‌گیرد. سیگنال‌های ورودی حلقه‌ها عبارتند از: (TNH) سرعت محور، (TNR) مرجع کنترل سرعت - بار، (Pe) توان خروجی ژنراتور، (TA) دمای محیط، (TX) میانگین دمای گازهای خروجی از اگزوز و (Pm) قدرت مکانیکی توربین است.

هدف از کنترل سرعت در مد دروب، در شرایط دور کامل و بی‌باری توربین، کنترل سرعت توربین و پس از سنکرون شدن واحد با شبکه، کنترل میزان تولید واحد است. میزان تولید (یا درصد باز شدن کنترل والو) مناسب با انحراف فرکانس از فرکانس مرجع (حلقه اولیه) و میزان تولید درخواستی مناسب با مرجع تولید (حلقه ثانویه) کنترل می‌شود. به منظور توضیح بهتر عملکرد واحد در این مد، مدل ساده شده حلقه کنترل سرعت (گاورنر) در شکل ۲ آمده است. سیگنال ورودی FSNL میزان سوخت مورد نیاز (یا باز شدن کنترل والو) در حالت دور کامل و بی‌باری ژنراتور است. اختلاف سیگنال سرعت (TNH) از سیگنال مرجع سرعت - بار (TNR) در گین تناسی (Kt) که مناسب با عکس دروب است ضرب می‌شود. حاصل با مقدار FSNL جمع شده و FSRN به دست می‌آید. دروب واحدهای شریعتی ۵ درصد می‌باشد. میزان TNR مناسب با بار مورد تقاضا از ژنراتور

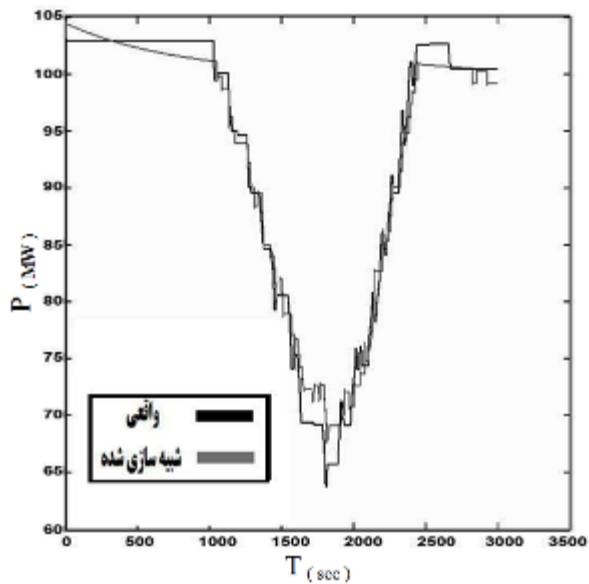
بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

(Active Mode) و مد غیرفعال (Passive Mode) شناخته می‌شوند. در صورت وقوع حادثه نظیر خروج یک واحد از شبکه، مناسب با افت فرکانس و مشخصه افتی واحد، میزان تولید واحد افزایش خواهد یافت. در این شرایط، چنانچه واحد در مد بار از قبل معین، بهره‌برداری شود، پس از اصلاح فرکانس میزان تولید واحد مناسب با نرخ بارگیری واحد به بار از قبل تعیین شده باز می‌گردد. ضمناً در این مد، در تغییرات عادی فرکانس، میزان تولید واحد در محدوده تعريف شده ± 1 مگاوات نوسان دارد. در این مد، میزان TNR با استفاده از یک بلوک باند مرده و محدودکننده در برابر میزان تغییرات تولید از مقدار تنظیم شده، مشخص می‌گردد. در صورت انتخاب مد بار متغیر، حتی با اصلاح فرکانس، میزان تولید به مقدار قبل از خطا باز نمی‌گردد و در مقدار تغییر یافته باقی می‌ماند. در این مد، با تغییر فرکانس تولید به نقطه کار جدید تغییر خواهد کرد. بهره‌برداران واحدهای نیروگاهی علاقه‌مند هستند برای جلوگیری از استهلاک ناشی از تغییرات تولید و افزایش هزینه ناشی از عدم بهره‌برداری در نقطه کار، در بار ثابت بهره‌برداری شوند. در چنین شرایطی تولید واحد در محدوده قابلیت مجاز بهره‌برداری آن بوده و با انحراف فرکانس، انرژی خود را عرضه می‌کند.

معرفی الگوریتم‌های اصلاحی

همان‌طور که در بخش قبل مطرح گردید، رفتار سیستم در برابر تغییرات محدود فرکانس در مد بار ثابت، میزان تولید ثابتی را حول یک باند مرده تضمین می‌کند. اما چنانچه تغییرات فرکانس زیاد باشد، سبب تغییرات جدی در میزان TNR خواهد گردید. در چنین شرایطی چنانچه واحد در مد بار از قبل معین باشد، با تغییر تولید به کاهش انحراف فرکانس در لحظات اولیه کمک می‌کند، اما با کاهش میزان انحراف فرکانس، میزان TNR به صورت بطئی به مقدار قبل از اغتشاش خواهد رسید و رفتار سیستم در برابر افزایش ناگهانی فرکانس، تداوم بی‌باری نامطلوب را برای واحد به ارمغان خواهد داشت. به همین دلیل در مرجع [۸]، دو روش اصلاحی پیشنهاد شده است. این دو روش شامل مد کنترل

به منظور شناسائی رفتار مجموعه توربین گاز، با توجه به محدودیت‌های واحد نیروگاهی و عدم امکان آزمون‌های دقیق‌تر و اختیارات واحدهای در مدار، میزان تولید واحد از بار MW ۱۰۵ تا بار MW ۶۵ مناسب با نرخ بارگیری واحد کاهش و سپس به مقدار MW ۱۰۵ به صورت گام به گام با پله‌های ۵ مگاواتی افزایش یافته است. پارامترهای مورد نیاز در طی این فرایند در بازه‌های زمانی ۳ ثانیه اندازه‌گیری گردید. با این داده‌ها و با استفاده از نرم افزار Matlab، مدل سیستم شناسائی و با یک مدل مرتبه اول برای توربین گاز تخمین زده شد.تابع تبدیل مجموعه توربین ($G = \frac{0.843605}{S + 0.1951}$) می‌باشد. در شکل ۴ مقایسه مقادیر به دست آمده با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داده شده است.



شکل (۴): مقایسه رفتار واقعی توربین و سرووالو و مدل شبیه‌سازی شده

نتایج به دست آمده، دقت مناسب مدل را نشان می‌دهد.

۳- اصلاحیه حلقه کنترل فرکانس

عملکرد واحد در مد کنترل فرکانس واحدهای گازی یک نیروگاه سیکل ترکیبی برای مشارکت در کنترل فرکانس، در مد بار متغیر(Part Load) و یا بار از قبل معین(Pre-selected Load) بهره‌برداری می‌شوند. این دو مد در برخی از مراجع از جمله مرجع [۱۰]، به ترتیب با مد فعال

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

جدی TNR را نخواهد داشت. این در حالی است که مد FPC نیز به قابلیت‌های واحد افزوده شده که امکان مشارکت واحد با محدوده اختیاری و قابل انتخاب را به بهره‌بردار خواهد داد. یادآوری می‌نماید که مد بار متغیر (Part Load) تنها در محدوده مجاز عملکرد بهره‌برداری واحد، میزان تغییرات را محدود خواهد کرد.

اخیراً در برخی از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، با انجام اصلاح در مدار کنترل، در صورتیکه واحد گازی در مد Part Load باشد و افزایش فرکانس منجر به کاهش بیش از حد تولید توربین گاز گردد و واحد بخار به آستانه ناپایداری برسد، مد واحد گازی به Pre-selected Load و تولید آن به مقداری که از قبل توسط بهره‌بردار انتخاب شده تغییر خواهد کرد. اما با انتخاب مد FPC برای بهره‌برداری واحد به صورت گازی مستقل یا به صورت سیکل ترکیبی، تنها بخش معینی از محدوده مجاز بهره‌برداری واحد در کنترل فرکانس مشارکت خواهد نمود.

ب) جایگزینی میزان سیگنال مرجع سوخت FSR به جای FSNL در حلقه کنترل بار- سرعت:

حلقه ساده شده کنترل بار- سرعت در اسپیدترونیک MARK IV نیروگاه شریعتی از میزان FSNL برای تعیین میزان مرجع سوخت کمک می‌گیرد (شکل ۲). یکی از اصلاحات جایگزینی سیگنال مرجع سوخت FSR به جای FSNL است. به عبارت دیگر یک فیدبک از توان به حلقه افزوده شده است. با این تغییر در شرایط نوسان توان، که اختلاف توان واقعی از مقدار توان درخواستی زیاد است، فاصله FSRN از FSR به مراتب کمتر از حالت قبلی است که بایستی کنترل کننده فاصله خطای FSRN را تا FSNL پوشش دهد. با این جایگزینی، پاسخگویی به خطای سرعت و دقت بیشتری برخوردار خواهد بود.

ج) مشارکت نامحدود در شرایط بحرانی شبکه: به هر حال در شرایط بحرانی شبکه که افت و یا افزایش فرکانس بیش از حد مورد نظر است، تغییرات تولید می‌تواند سبب ناپایداری شبکه و خاموشی گسترده شود. مشارکت

اولیه فرکانس (Frequency Primary Control) یا به اختصار (FPC) و مد بار ثابت (Fixed Load) می‌باشد. مد بار ثابت، تعمیم یافته مد FPC است. پایه اساسی مدارات اصلاحی، بر اعمال محدودیت در مسیر فیدبک سرعت و قرار دادن محدودیت حداکثر و حداقل بار مجاز و علاوه بر آن محدودیت در میزان مرجع سرعت TNR بنا شده است. روش فوق به صورت عملی بر روی واحدهای مختلف تست و آزمایش شده است [۸]. در این مقاله، طرح پیشنهادی به صورت اجمالی معرفی شده و سپس بر مدل به دست آمده از نیروگاه شریعتی همراه با اصلاحات مورد نیاز اعمال شده است. شایان ذکر است که سیستم کنترل واحدهای مورد آزمایش در مرجع [۸]، اسپیدترونیک MARK V بوده که مشابه واحدهای گازی نیروگاه سیکل ترکیبی یزد می‌باشد.

طرح اصلاحی تخصیص ظرفیت معین برای مشارکت در کنترل فرکانس

برای توصیف طرح اصلاحی، مدل هر کدام از حلقه‌های اصلی به همراه اجزای اصلی واحد که در بخش قبلی توصیف شده، توسط نرم افزار Simulink Matlab پیاده‌سازی گردید. در شکل ۵، این حلقه‌ها به صورت یک شماتیک کلی و تنها با جزئیات بیشتر در بخش اصلاحی آمده است. در این بخش به صورت اجمالی، اصلاحات انجام شده توصیف می‌گردد:

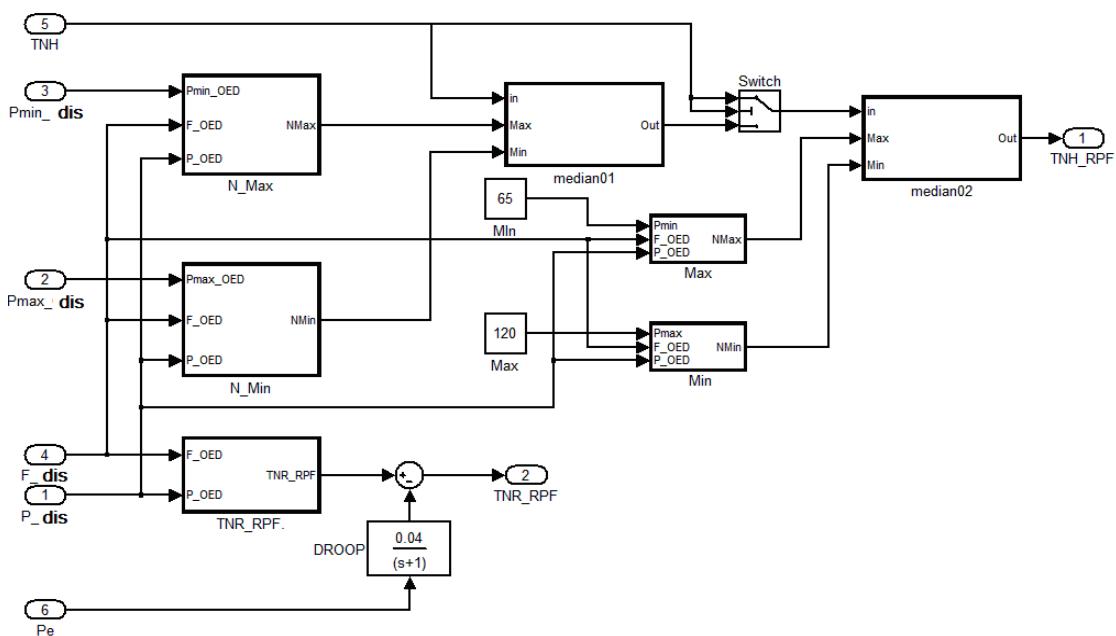
الف) تعیین مقادیر حداکثر و حداقل مجاز ظرفیت برای مشارکت در کنترل فرکانس:

به منظور محدود کردن میزان مشارکت واحد در کنترل اولیه فرکانس مقادیر حداکثر و حداقل مجاز ظرفیت برای مشارکت در کنترل فرکانس بین دو مقدار $P_{\text{max-disp}}$ و $P_{\text{min-disp}}$ می‌باشد. این دو مقدار توسط بهره‌بردار تعیین می‌شود. با توجه به استراتژی فروشنده جهت میزان مشارکت در کنترل فرکانس، میزان این محدودیتها مشخص خواهد گردید. نکته قابل توجه اینکه در صورت مشارکت واحد در کنترل فرکانس با Fixed Load، مقادیر حداقل و حداکثر به $\pm 1 \text{ MW}$ محدود می‌گردد. این مد اگر چه شبیه مد بار معین (Pre-Selected Load) می‌باشد لیکن، اثرات نامطلوب بی‌باری و تغییرات

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

وارد کند، واحد از محدوده کاری مجاز خود خارج نشد. بلوک محدود کننده نهایی (شکل ۵) این امکان را فراهم می‌سازد تا در شرایط بحرانی، جایی که حفظ شبکه بسیار مهم است، واحد با حداکثر قابلیت خود در کنترل فرکانس شرکت کند. در این حالت سیستم کنترل، محدودیت‌های تنظیم شده اولیه را در نظر نگرفته و برای پایداری شبکه با حداکثر توان نامی خود در کنترل فرکانس شرکت می‌نماید. البته با توجه به شرایط تکنولوژیکی و قابلیت‌های واحد، این حد نهایی توان برای سیستم تعریف شده است تا حتی در موارد بحرانی نیز از این حدود تجاوز نکند، چرا که منجر به تریپ واحد خواهد شد.

واحد در شرایط بحرانی و تغییر مد کنترل با استفاده از یک کتتاکت و دو بلوک میانه‌گیر پیاده‌سازی شده است. بلوک سوئیچ به صورت کتتاکت عمل نموده و در صورت قرار گرفتن در شرایط بحرانی، میانه‌گیر ۲، توان را بین ماکزیمم و مینیمم واقعی واحد محدود می‌کند. در غیر این صورت میانه‌گیر ۱ توان را بین توان ماکزیمم و مینیمم اعلام شده توسط بهره‌بردار برای مشارکت در کنترل فرکانس محدود خواهد کرد. در این مقاله برای اینکه تولید واحد هیچ‌گاه از مقادیر بحرانی واحد تخطی نکند، از محدود کننده دیگری نیز استفاده شده است. این محدود کننده تضمین می‌کند که هیچ‌گاه حتی زمانی که بهره‌بردار اشتباهاً مقادیری خارج از این محدوده را



شکل (۵): بلوک دیاگرام اصلاحی به منظور تخصیص ظرفیت معین برای مشارکت در کنترل فرکانس با مد FPC

سرعت سیستم اسپیدترونیک MARK IV با MARK V اضافه شده است. از طرفی در مدل اصلاحی در حلقه اولیه کنترل فرکانس، سرعت بین مقادیر ماکزیمم و مینیممی که متناسب با ذخیره گردان مورد نظر بهره‌بردار تعیین می‌شود، محدود می‌گردد. این امر سبب می‌شود که هیچ‌گاه تغییرات توان ناشی از تغییرات فرکانس، از محدوده ذخیره گردان مورد نظر خارج نشود. در شکل ۵، خروجی بلوک میانه‌گیر، عدد میانی از بین

(د) بهبود سیگنال‌های فیدبک انتخابی: با استفاده از سیگنال فیدبک توان که از یک بلوک مرتبه یک عبور می‌کند از تأثیرات نامطلوب اغتشاشات بزرگ و ناگهانی در فیدبک سرعت جلوگیری به عمل می‌آید. میزان بهره و ثابت زمانی این بلوک توسط ثوابت کنترلی واحد قابل تنظیم است. همچنین سیگنال FSR جایگزین سیگنال FSNL شده است. این اصلاح در این مقاله، جهت تطبیق حلقه کنترل بار

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

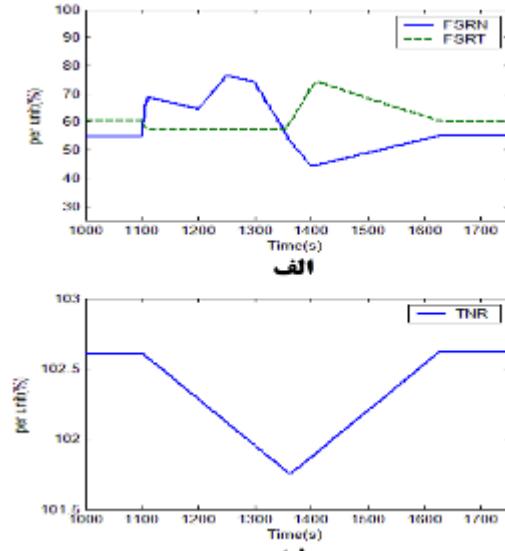
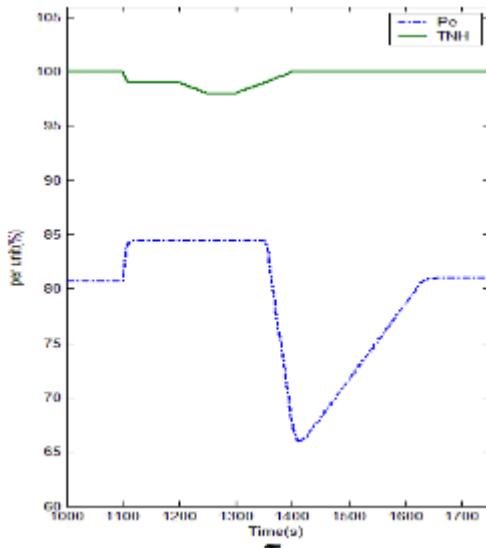
$$TNR_{RPF} = \frac{F_disp}{50} + kdroop \times \frac{P_disp}{123} \quad (2)$$

$$N_{\max} = \frac{F_disp}{50} + kdroop \times \frac{P_disp - P\min_disp}{123} \quad (3)$$

$$N_{\min} = \frac{F_disp}{50} + kdroop \times \frac{P_disp - P\max_disp}{123} \quad (4)$$

در صورت انتخاب مد بار ثابت (FIXED LOAD) روابط فوق با در نظر گرفتن یک محدوده کوچک تغییرات (حدود ± 1 MW) حول میزان توان تولید پذیرفته شده واحد اصلاح خواهد گردید.

۳ مقدار TNH ، N_{\max} و N_{\min} می‌باشد. توضیح اینکه با توجه به این دو محدودیت مقادیر TNR به دو مقدار N_{\min} و N_{\max} محدود می‌گردد. ضمناً $F\text{-disp}$ فرکانس شبکه، $P\text{-disp}$ بار یا انرژی پذیرفته شده واحد می‌باشد. سیگنال‌های خروجی شامل TNR_{RPF} سرعت محدود شده و TNH_{RPF} سرعت محدود شده می‌باشد. این دو سیگنال به ترتیب جایگزین TNH و TNR در حلقه کنترل خواهند شد. بنابراین سرعت همواره در بین مقادیر N_{\min} و N_{\max} محدود می‌شود. نحوه تولید سیگنال‌های TNR_{RPF} و N_{\min} از روابط زیر بدست آمده است.



شکل (۶): عملکرد واحد در مد بار معین (Pre-selected Load) در برابر یک اختشاش منفی

الف) میزان مراجع سوخت بدست آمده از حلقه های بار- سرعت و دما

ب) میزان تولید واحد و سرعت

ج) مرجع سرعت - بار (TNR)

شکل ۶، رفتار واحد را در مد بار معین در مواجهه با این اختشاش منفی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ابتدا توان به حدی افزایش می‌یابد که با حلقه کنترل دما محدود خواهد گردید. این در حالی است که مقدار مرجع سرعت (TNR) برای برگرداندن توان همچنان کاهش می‌یابد، پس از میرا شدن اختشاش اولیه، مرجع سرعت به کند که اصلاح می‌گردد، درنتیجه توان در این مدت افت می‌کند که رفتار نامطلوب سیستم را در این شرایط نشان می‌دهد. به هنگام بروز اختشاش شدید منفی در سرعت، پس از پایان

۴- بررسی نتایج

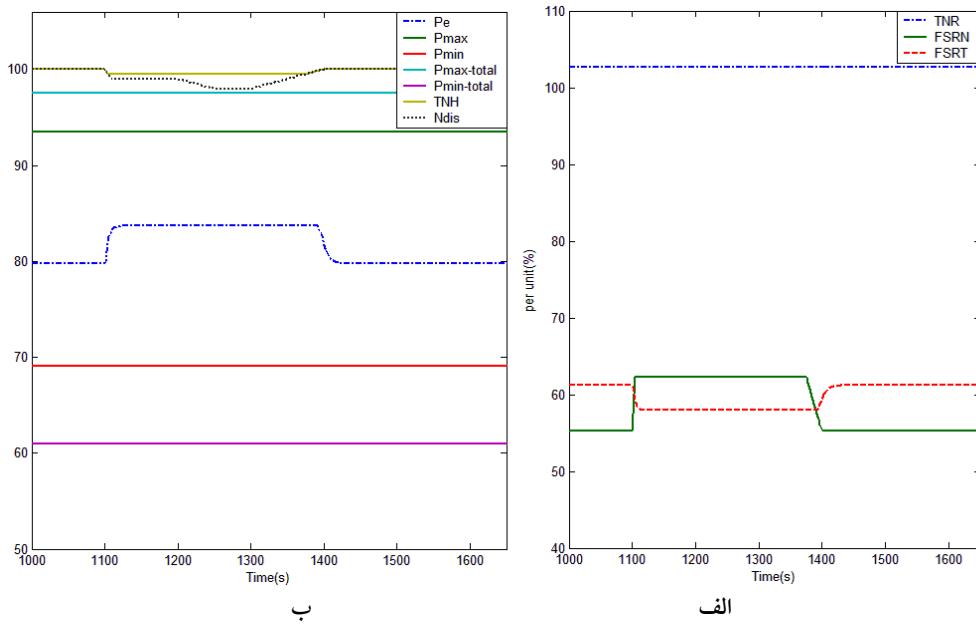
در این بخش رفتار سیستم در شرایط مختلف بهره برداری و در مواجهه با انحرافات فرکانس همراه با مدهای کنترل فرکانس پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، سیگنال سرعت (TNH) به صورت یک اختشاش مثبت با دو انحراف پله ای نرمال و بحرانی به صورت متوالی در نظر گرفته شده است. پله اول برای بررسی عملکرد واحد در برابر یک اختشاش معمولی و پله دوم به منظور آنالیز پاسخ سیستم در برابر یک اختشاش بزرگ در نظر گرفته شده است.

بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق

رفتن دما و در نتیجه کاهش سیگنال FSRT، این افزایش دما را محدود می‌کند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بعد از بین رفتن اغتشاش، رفتار نامطلوبی از واحد مشاهده نمی‌شود. شکل ۸، رفتار واحد را در مد بار ثابت Fixed Load در مواجهه با یک اغتشاش مثبت نشان می‌دهد. در این شرایط میزان تولید در برابر پله اول محدود به $MW \pm 1$ می‌شود. به عبارت دیگر تغییرات توان واحد در برابر نوسانات غیر بحرانی فرکانس، کوچک و در محدوده باند $MW \pm 1$ می‌باشد. اما چنانچه شبکه در معرض خطر قرار گیرد (یعنی انحراف فرکانس بیش از 6 Hz باشد)، رفتار واحد، مشابه رفتار واحد در مد کنترل اولیه فرکانس می‌باشد.

اغتشاش، توان سیستم به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. افت توان در لحظه بازیابی فرکانس، برای بازیابی آن بسیار مضر است و باعث افزایش نوسانات فرکانس و همچنین زمان بازیابی آن می‌شود. در نتیجه بازیابی فرکانس در زمان طولانی‌تر از مقدار لازم و با نوساناتی بیشتر صورت خواهد گرفت. همچنین در زمان اغتشاش سیگنال FSRN افزایش ناگهانی داشته و در این زمان کنترل توربین در اختیار FSRN بوده که نامطلوب می‌باشد. بعد از پایان اغتشاش نیز کاهش ناگهانی و عمیقی داشته است.

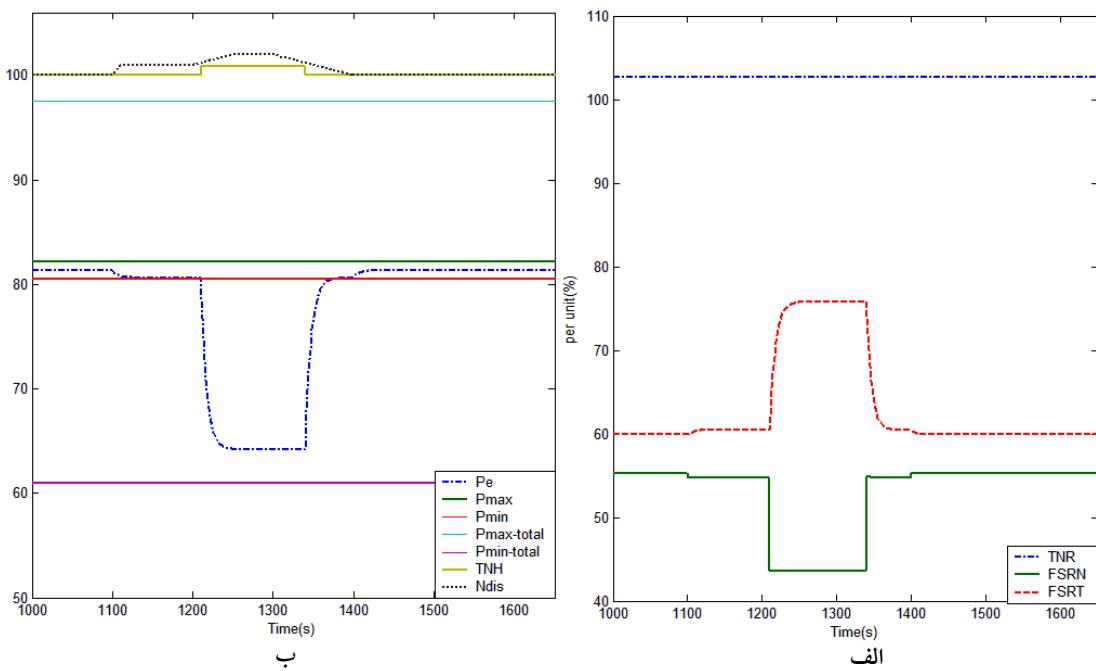
شکل ۷، رفتار واحد را در مد کنترل فرکانس (FPC) در مواجهه با این اغتشاش منفی نشان می‌دهد. در پاسخ به وارد شدن اغتشاش، توان تولیدی واحد افزایش می‌یابد. اما بالا



شکل (۷): عملکرد واحد در مد کنترل فرکانس اولیه (Primary frequency control) در برابر یک اغتشاش منفی (الف) میزان مراجع سوخت به دست آمده از حلقه‌های بار-سرعت و دما و میزان مرجع سرعت - بار (ب) رفتار تولید واحد و سرعت

یافته برای مشارکت در کنترل فرکانس را در اختیار بهره‌بردار قرار داده که بیشتر از محدوده ثابت، مد بار ثابت خواهد بود. علاوه بر این در صورت به کارگیری این دو مد اصلاحی، سیگنال‌های FSRT و FSRN با وجود اغتشاش، تغییرات نامطلوبی نخواهند داشت. همچنین رفتار نامطلوب واحد پس از بازیابی نیز برطرف می‌شود.

با توجه به مقایسه رفتار واحد در شرایط بار معین و با دو مد کنترلی اصلاحی مشخص می‌شود که به منظور جلوگیری از استهلاک ناشی از تغییرات نامطلوب تولید و پرهیز از هزینه‌های بهره‌برداری واحد در بار نامطلوب، به کارگیری این دو مد در شرایط مختلف می‌تواند مناسب باشد. به هر حال روش کنترل فرکانس اولیه (FPC)، محدوده ظرفیت تخصیص



شکل (۸): عملکرد واحد در مدد بار ثابت (Fixed Load) در برابر یک اغتشاش مثبت

الف) میزان مراجع سوخت به دست آمده از حلقه‌های بار-سرعت و دما و میزان مرجع سرعت - بار

ب) رفتار تولید واحد و سرعت

از جمله مزایای طرح پیشنهادی، می‌توان به مشارکت معین و محدود ذخیره گردان که میزان آن در اختیار بهره‌بردار می‌باشد، اشاره نمود. از طرفی رفتار واحد در مواجهه با اغتشاشات بزرگ، به کارگیری حداقل ظرفیت ممکن ذخیره گردان برای مشارکت در کنترل فرکانس می‌باشد. ضمن آنکه به کارگیری این روش، باقی ماندن واحد را در شرایط پس از اغتشاش در مقدار تعیین شده تضمین می‌کند که طبعاً بباری و اضافه بار نامطلوب را کاهش خواهد داد. از طرفی پاسخ‌دهی مطلوب و عدم تغییرات نامطلوب توان پایداری واحد گازی و بخار نیروگاه سیکل ترکیبی را در شرایط مختلف تضمین می‌کند.

به هر حال اگرچه روش فوق در مدل اصلاحی اثرات مطلوب فوق را داشته و دو مدد بار معین (Pre-selected Load) و بار متغیر (Part Load) را ارتقاء می‌دهد، لیکن پیاده‌سازی عملی آن در واحدهای گازی یا اسپیدترونیک Mark-IV نیازمند بررسی بیشتر خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم‌هایی به منظور توسعه هدفمند قابلیت‌های واحد گازی یک نیروگاه سیکل ترکیبی برای مشارکت در کنترل فرکانس معرفی شده است. به منظور تحلیل واقعی‌تر روش‌های پیشنهادی، الگوریتم‌ها بر روی مدل واحد گازی نیروگاه سیکل ترکیبی شریعتی پیاده‌سازی شده است. در این راستا، حلقه‌های اصلی و پارامترهای سیستم گاورنر آن واحد شناسائی و مدل‌سازی شده‌اند. سپس الگوریتم اصلاحی به منظور تخصیص ظرفیت معین برای مشارکت در کنترل فرکانس بر روی مدل به دست آمده اعمال گردید. این الگوریتم این اختیار را به بهره‌بردار خواهد داد تا با محدوده مشخصی از ذخیره گردان در کنترل فرکانس مشارکت داشته باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم فوق، قابلیت به کارگیری عملی در این نوع واحدها را داشته و در صورت پیاده‌سازی، واحد عملکرد بهتری در شرایط عادی و بحرانی فرکانس شبکه خواهد داشت.

مراجع

- [۱] گزارشات نیروگاههای خراسان در خصوص تغییر و اصلاح مشخصه عملکرد فرکانسی واحدها، ۱۳۸۷-۱۳۸۶
- [۲] مهدی مقیم زاده، حمدالله تراب، محمد تقی عاملی، "کنترل فرکانس مدرن در شبکه های به هم پیوسته و ارائه روشی مناسب برای شبکه برق ایران"، بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق، صفحه ۱۲-۱، سال ۱۳۸۷
- [۳] گزارشات ادواری امنیت و پایایی شبکه برق ایران، شرکت مدیریت شبکه برق ایران
- [۴] رویه خدمات جانبی کنترل فرکانس، مصوبات هیات تنظیم بازار برق ایران، ۱۳۸۶
- [۵] M.H.Asghari, M.J.Tabatabaei, R.Riahi, A.Mazhabjafari, M.Mirzaee, H.R.Bagheri, " Establishment of regulation service market in Iran Restructured Power System IEEE. PP:713-718, 2008
- [۶] Emmanuel J. Thalassinakis, Evangelos N. Dialynas," A Method for Optimal Spinning Reserve Allocation in Isolated Power Systems Incorporating an Improved Speed Governor Model", IEEE Transaction on Power System, Vol. 22, No. 4, PP:1629-1637, Nov 2007
- [۷] Howard F. Illian, "Expanding the Requirements for Load Frequency Control", Power Engineering Society General Meeting, pp.1-7, 2006.
- [۸] J.L.Aguero, M.C.Beroqui, H.Di.Pasquo, "Gas Turbine Control. Modifications for: Availability and Limitation of Spinning Reserve and Limitation of Non-desired Unloading", www.aedie.org
- [۹] Speedtronic Mark IV documents, shariati power plant, 1993
- [۱۰] G.Kelefenz, Automatic control of steam power plants. transl. Vladimir F. Tomek-3, ed. Mannheim, Wien, Zurich, 1986