



ارائه الگوریتم جدید جهت کنترل شبکه بر مبنای محدودیت‌های فرکانسی

عماد حمادی^۱ غلامعلی رامی^۱ احسان غریب رضا^۲
E.hemadi@gmail.com Rami_gh@gmail.com Ehsan.gharibreza@yahoo.com
۱- شرکت پالایش نفت آبادان ، ۲- دانشگاه شهید چمران اهواز
ایران

واژه‌های کلیدی: کنترل فرکانس، شبکه های عصبی مصنوعی، حد مینیمم فرکانس، نرخ تغییرات فرکانس، پخش بار، ریزش بار

چکیده

در یک شبکه برق کاهش فرکانس بیش از حد مجاز منجر به ریزش بار^۱ شده و زیان‌هایی را متوجه مراکز صنعتی می‌کند، لذا حفظ امنیت شبکه همواره از مهمترین اهداف کنترلی می‌باشد. یکی از روش‌های نوین کنترلی از استفاده حدود فرکانسی در پخش بار شبکه می‌باشد. در این روش‌ها دو حد کمینه فرکانس^۲ و نرخ تغییرات فرکانس^۳ (ROCOF)، تعیین کننده بار اخذ شده از مولدها است. روش‌های متعددی برای محاسبه حد کمینه فرکانس (که ذاتاً یک مرز غیرخطی می‌باشد) همچون تقریب‌زدن آن با یک مرز خطی و یا استفاده از مدل فرکانسی شبکه وجود دارد.

در این مقاله یک الگوریتم جدید بر مبنای شبکه عصبی ارائه شده است که حدود فرکانسی را تخمین زده و برای پخش بار به شبکه اعمال می‌کند. در این مقاله شبکه برق پالایشگاه

آبادان مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج الگوریتم پیشنهادی با روش کنترلی سنتی مقایسه شده است و حاکی از تاثیر آن بر بهبود عملکرد مولدها، افزایش قابلیت اعتماد شبکه و بهینه‌سازی هزینه‌های تولید می‌باشد.

۱. مقدمه

سیستم‌های الکتریکی به سرعت در حال گسترش می‌باشند و خصوصیات دینامیکی و استاتیکی بسیاری از سیستم‌های جدید با سیستم‌های متداول قدیمی تفاوت دارد. یک روش اقتصادی کنترل فرکانس قرار دادن یک ذخیره اضطراری است که در واقع جمع ذخایر یک سیستم می‌باشد که برای تامین امنیت آن کافی نیست و می‌بایست دیگر عوامل را در آن دخیل کرد. خصوصیات دینامیکی و استاتیکی یک سیستم الکتریکی از نحوه کنترل فرکانس سیستم قابل استنتاج است. این مطلب خصوصاً برای سیستم‌های الکتریکی کوچکتر که بیشتر در معرض تهدید فرکانس می‌باشند، بسیار حائز اهمیت

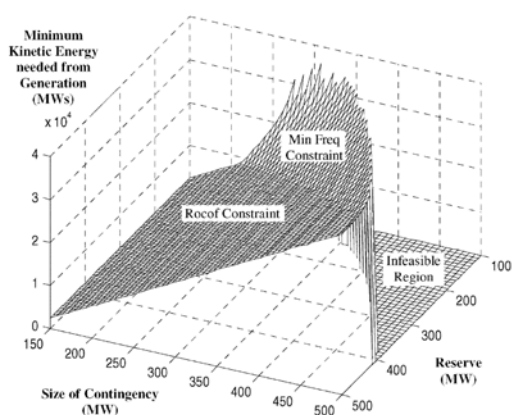
1 - Load shedding

2 - Minimum Frequency Constraint

3 - Rate of Change of Frequency

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

در شبکه مورد بررسی (شبکه پالایشگاه آبادان) فروپاشی سیستم در صورتی انجام می‌گیرد که تلفات یک یا چند واحد باعث نرخ کاهش فرکانس بیش از 0.25 Hz/s و یا حصول فرکانس کمتر از 49.3 هرتز شود. بنابراین توان اخذ شده از مولدها بر پایه این دو اصل تنظیم شده است، یعنی دو محدوده نرخ کاهش فرکانس و حداقل فرکانس می‌باشد. شکل ۱ [1]، نشان دهنده حدود فرکانس در یک شبکه بزرگ با ظرفیت ذخیره متغیر می‌باشد.



شکل ۱: محدوده های فرکانس در یک شبکه بزرگ

این مقاله بیان می‌کند که محدودیتهای کمینه فرکانس و نیز Rocof برای تضمین امنیت سیستم نسبت به در نظر گرفتن یک مقدار ذخیره معمولی به روش سنتی مناسب تراند. همچنین نشان داده شده که بوسیله این تغییر متغیر مشخصه‌های دینامیکی سیستم بهبود می‌یابد.

در این الگوریتم ابتدا بازه تغییرات P_i (که شماره واحد است) بین صفر و P_{maxi} است که در اینصورت بهینه بودن تضمین می‌شود اما عملی نبوده و ممکن است تعدادی از واحدها در نقطه‌ای کمتر از نقطه کار مینیم کار کنند. بدین منظور الگوریتم توزیع راه اندازی می‌شود و در تمام واحدهایی که فرض شده برای بخش ضروری می‌باشند در سرویس قرار داده و اجازه داده شد که P_i آنها بین P_{min} و P_{max} تغییر کند. هر چند این روش امکان این را داشت که از

است [1]. کنترل فرکانس سیستم در تمام مدت برای جلوگیری از ریزش بار در مواقع بحرانی در سیستم‌های کوچک مجزای بسیار مشکل ساز است. عموماً بسیاری از سیستم‌های قدرت با قرار دادن یک ذخیره اضطراری ساده در محاسبات اقتصادی پخش سعی در تامین و کنترل فرکانس دارند [2] و [3].

مباحث اقتصادی نیز از مهمترین عوامل در سیستم‌های الکتریکی مدرن به شمار می‌روند. از طرف دیگر در نظر گرفتن همزمان ذخایر کمکی در پخش بار سیستم می‌تواند به کاهش هزینه‌ها منجر گردد. بسیاری از سیستم‌ها در حال حاضر در کنار بازارهای برق مسئله کنترل فرکانس را به طور دائم در نظر می‌گیرند تا هزینه‌های امنیت سیستم را کاهش دهند [4]. برخی دیگر در بسط بازارهای برق خود، از الگوریتم‌های پخش بار بر اساس حدود فرکانسی به جهت تضمین قابلیت اعتماد شبکه در یک حالت بهینه استفاده می‌کنند، به عنوان نمونه در سیستم‌های قدرت تایوان و جمهوری ایرلند برای بررسی رفتار سیستم‌ها پس از دست رفتن یک واحد بزرگ از مدل‌های فرکانسی بهره گرفته شده است [1].

این مقاله یک روش پخش بار را ارائه می‌دهد که بر مبنای دو اصل جدید محدودیت فرکانس یعنی نرخ تغییر فرکانس (Rocof) و کمترین محدوده فرکانسی، بنا شده است. این محدودیت‌ها به عنوان متغیر در نظر گرفته شده‌اند تا تاثیر مستقیم فرکانس محاسبه گردد که در این روند از شبکه‌های عصبی بهره گرفته شده است و از اطلاعات ۶ سال اخیر شبکه برق پالایشگاه آبادان استفاده شده است.

۲- پخش بار بر اساس محدودیت‌های فرکانس

پخش بار بر اساس محدودیت‌های فرکانس یک روش پخش بار بر مبنای نرخ تغییر فرکانس (Rocof) و کمترین محدوده فرکانسی است. این محدودیت‌ها به عنوان متغیر در نظر گرفته شده‌اند تا تاثیر مستقیم فرکانس محاسبه گردد. در این روش از پخش بار خطی استفاده و در آن محدودیت‌های فرکانس لحاظ شده است. هدف در هر توزیع، انتقال سیستم با در نظر گرفتن محدودیت‌های مذکور جهت افزایش امنیت شبکه می‌باشد.

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

$$\frac{\partial f}{\partial t} = 25 \frac{p}{KE_{system}} \quad (3)$$

که در آن KE_{system} کل انرژی ذخیره شده در سیستم است. در این فرمول انرژی واحد از دست رفته باید از مقدار KE_{system} کسر گردد. در این مقاله فرض شده که کمترین مقدار مجاز نرخ کاهش فرکانس، 0.25 هرتز بر ثانیه است، با این فرض و اعمال کمی تغییرات به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^N kE_i \geq 100P_k - kE_L \quad \forall k \in G \quad (4)$$

که در آن kE_L انرژی جنبشی بار و G تعداد ژنراتورها می‌باشد.

همانطور که ملاحظه می‌شود حد $Rocof$ (یا نرخ کاهش فرکانس) ذاتاً خطی بوده و می‌توان آن را برحسب متغیرهای کنترلی بیان نمود، همچنین مشاهده می‌شود که مقادیر رزرو جایگاهی در محدودیت‌های $Rocof$ ندارد. این نتایج در شکل ۱ کاملاً مشهود است.

برای کمینه حد فرکانس در این مقاله فرض شده که پایین‌ترین حد مجاز برای فرکانس شبکه 49.3 باشد یعنی در هر حال فرکانس شبکه نباید از این مقدار کمتر گردد. البته کمینه حد فرکانس تابعی از توان حقیقی هر یک از مولدها، انرژی جنبشی سیستم و نیز نحوه پاسخ دینامیکی بار و شبکه است یعنی در عمل با یک تابع غیر خطی برخورد داریم (شکل ۱ غیرخطی بودن این مرز را نشان می‌دهد). برای آزمایش چنین سیستمی مدل فرکانسی آن مورد نیاز است. برای بدست آوردن حد کمینه فرکانس یک مدل فرکانسی سیستم باید بارها اجرا گردد تا یک بانک اطلاعاتی بزرگ حاصل شود. یک مدل فرکانسی کامل، برای یک سیستم بزرگ بسیار پیچیده است. در برخی مقالات از مدل تقریبی برای شبیه‌سازی شبکه‌ها استفاده می‌شود و در عمل حد کمینه فرکانس با چند مرز خطی تقریب زده شده است [1].

در این مقاله روشی جدید برای محاسبه حد کمینه فرکانس مطرح شده است. در این روش به جای محاسبه کلی حد فرکانس در یک بازه وسیع می‌توان آن را به صورت لحظه‌ای

محدوده تولید نیز فراتر رود اما مشاهده گردید که نتایج خوبی برای کل تست‌ها حاصل شده است.

یکی از تفاوت‌های بین روش ذخیره معمولی و روش پخش بار براساس محدودیت‌های فرکانس اینگونه بیان می‌شود که روش‌های توزیع براساس محدودیت‌های فرکانس توانایی نگهداری واحدهای بزرگ و مشکل‌دار را در سطح پایین‌تری از انرژی برای کمک به نگهداری سیستم در حدود مورد نظر را دارد که این خود یک راه حل کاهش هزینه می‌باشد. همچنین بیان می‌شود که توزیع براساس محدودیت‌های فرکانس مرزها را در حالی برآورد می‌کند که همزمان با کارکرد در نقاط کار پایین‌تر حالت بهینه هزینه‌ها نیز حاصل می‌گردد. در برخی مقاله‌های منتشر شده از این روش برای بهینه‌سازی اقتصادی و حضور در بازار رقابتی برق استفاده و نتایج قابل توجهی ثبت نموده اند [1]. در این مقاله‌ها از تابع هدفی بصورت زیر جهت کمینه کردن هزینه‌ها در کنار حدود فرکانس استفاده شده است.

$$\min(\sum_{i=1}^N b_{pi} + \sum_{i=1}^N b_{ri} R_i) \quad (1)$$

که در آن b_{pi} و b_{ri} ضرایب انرژی و مقادیر ذخیره ژنراتورها هستند و N تعداد ژنراتورها می‌باشند.

۳- روش محاسبه حدود فرکانس با بکارگیری شبکه‌های

عصبی و معرفی یک الگوریتم جدید برای پخش بار

سرعت تغییر فرکانس بستگی به اندازه واحد از دست رفته و مقدار انرژی جنبشی ذخیره شده در سیستم دارد. این سرعت تغییر پس از ازدست رفتن یک واحد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{f_0 \cdot p}{2H_{system} \cdot S_b} \quad (2)$$

که در آن S_b سبایز توان ظاهری سیستم، P سبایز فیدر از دست رفته، H_{system} ثابت لختی^۱ سیستم و f_0 فرکانس نامی می‌باشد. شکل دیگر این فرمول این گونه است:

^۱ - Inertial constant

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

۴- معرفی یک شبکه کوچک و مجزا

شرکت پالایش نفت آبادان همچون اکثر پالایشگاه‌های کشور دارای شبکه برق متشکل از چندین واحد تولید بوده که وظیفه آن تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز این شرکت است. این شبکه قدمت و سابقه طولانی داشته و سابق براین علاوه بر مایحتاج پالایشگاه، بخش اعظمی از برق مورد نیاز منطقه را نیز تأمین می‌کرده است. این شبکه کوچک دارای دو سطح ولتاژ متوسط ۱۱ و ۳۳ کیلوولت متصل به یکدیگر است و در حال حاضر کل برق پالایشگاه آبادان و نیز قسمتی از منازل شرکت را تأمین می‌کند. این سیستم متشکل از پنج ژنراتور بوده که مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است. ۲ عدد از توربین‌های بخاری بدلیل مستهلک بودن توانایی بهره برداری بیش از ۵ مگاوات را ندارند. این شبکه علاوه براین ژنراتورها دارای چند خط تغذیه به شبکه برق شهر نیز می‌باشد که در مواقع اضطراری از این خطوط برای تأمین بار درخواستی استفاده می‌شود.

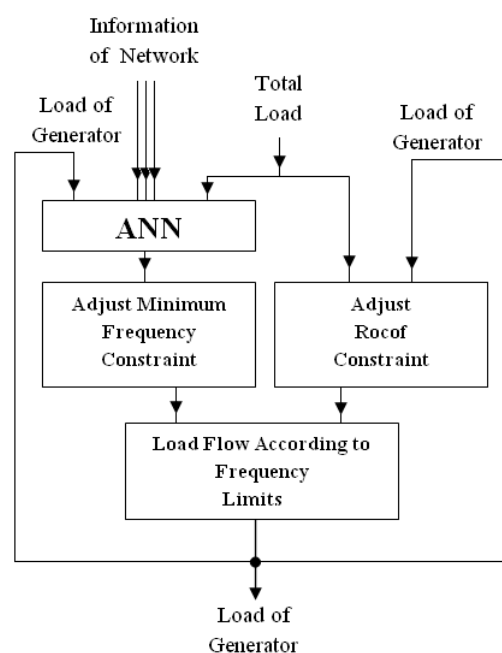
جدول ۱: مشخصات واحدهای نیروگاه

واحد	نوع واحد	توان نامی (MW)
۱	گازی	۶۰
۲	بخار	۳۰
۳	بخار	۳۰
۴	بخار	۲۲/۵
۵	بخار	۲۲/۵

بطور کلی توزیع بار بر روی ژنراتورها براساس بخش بار الکتریکی صورت می‌گیرد، بطوریکه مسایل اقتصادی نیز کمتر در نحوه تأمین انرژی دخیل است. به بیان دیگر مواردی چون بالا بودن قابلیت اعتماد شبکه نسبت به تولید با هزینه کمتر ارزش به مراتب بیشتری برای پالایشگاه دارد، زیرا تولید برق به نوعی هزینه جانبی محسوب شده و ضررهایی که در اثر قطع جریان برق متوجه تولیدات شرکت می‌شود به مراتب سنگین‌تر از آن است که شرکت بخواهد در مورد نحوه کنترل شبکه حتی به قیمت پایین آمدن هزینه‌ها انعطاف به خرج

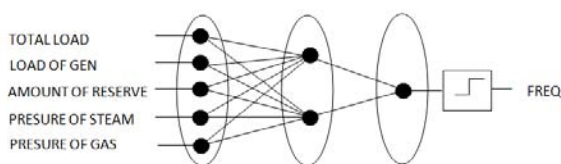
محاسبه و به سیستم اعمال کرد. از طرف دیگر می‌توان تأثیر کلیه عواملی که در نحوه تعیین این حد دخیل هستند را در محاسبات لحاظ کرد. بنابراین علاوه بر کاهش حجم محاسبات از اعمال تقریب‌های خطی اجتناب شده و کنترل دقیق‌تری بر روی سیستم انجام خواهد گرفت. برای این کار از یک شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده است. این شبکه در هر لحظه اطلاعات سیستم را که شامل کل بار شبکه، بار هر یک از مولدها و دیگر اطلاعات شبکه می‌باشد را دریافت کرده و میزان کاهش فرکانس در صورت از دست رفتن هر یک از مولدها را تخمین می‌زند.

بنابراین شبکه عصبی به شیوه‌ای آموزش داده می‌شود که بار مولدها در حداکثر مقدار خود، که شرط حدکمینه را نیز ارضا کنند، تنظیم شود. سپس یک مرحله پخش بار با حدود بدست آمده از مرحله قبل محاسبه می‌شود تا بار نهایی مولدها تعیین گردد. الگوریتم مطرح شده در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. الگوریتم ارائه شده پخش بار بر اساس محدودیت‌های فرکانسی

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۳. استفاده از شبکه عصبی برای محاسبه فرکانس

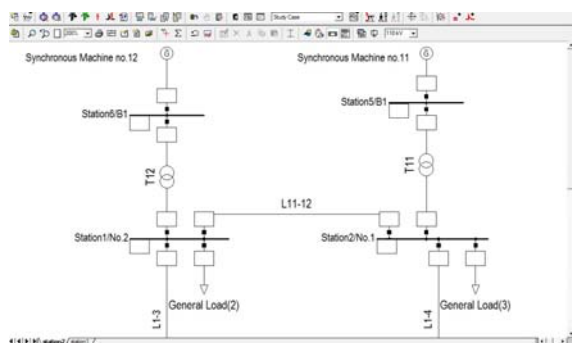
برای اطمینان از صحت عملکرد شبکه عصبی، عملکرد آن در چندین حادثه با مقادیر واقعی مقایسه شده است. مشاهده گردید که شبکه عصبی تقریباً قابل قبولی از سیستم واقعی عرضه می‌کند. جدول ۲ نتایج این مقایسه را در ۵ واقعه اخیر که طی آن مولد گازی از دست رفته بود، نشان می‌دهد.

جدول ۲: بررسی صحت عملکرد شبکه عصبی در تخمین افت فرکانس در

۵ حادثه اخیر

فرکانس محاسبه شده توسط ANN	فرکانس واقعی	بار مولد گازی در هنگام حادثه	بار کل شبکه
۴۹/۳۲۴۱	۴۹/۴	۳۵	۸۰
۴۹/۲۱۱۲	۴۹/۳	۳۸	۸۸
۴۹/۵۵۳۱	۴۹/۵	۳۳	۷۴
۴۹/۵۷۳۱	۴۹/۴	۳۸/۳	۱۰۰
۴۸/۹۱۷۳	۴۹/۲	۴۰/۲	۹۰

پس از بدست آوردن حدود مولدها آنها را در هر ساعت به مولدها اعمال کرده و پس از آن پخش بار توسط یک روش LP انجام گرفت. این پخش بار توسط برنامه **digsilent** محاسبه گشت، برای اینکار شبکه قدرت پالایشگاه در این برنامه شبیه‌سازی شد.



شکل ۴: شمای قسمتی از شبکه برق پالایشگاه آبادان در برنامه

digsilent

دهد. بنابراین صرفه‌جویی در تولید برق در اولویت بسیار پایین‌تری قرار دارد، اما اگر بتوان روشی بیان نمود که در وهله اول امنیت سیستم را تضمین کند شاید مسائل اقتصادی برجسته‌تر شده و بتوان بهینه‌سازی اقتصادی را به نوعی وارد مقوله تولید کرد. از طرفی مدیریت جدید صنعتی و نیز میل کردن صنایع بزرگ به بهینه‌سازی هر چه بیشتر هزینه‌ها، برای رقابت بهتر در بازار تولید ایجاد می‌کند که حتی در جانبی‌ترین مسائل نیز ملاحظات اقتصادی در کنار مسائل فنی در نظر گرفته شود.

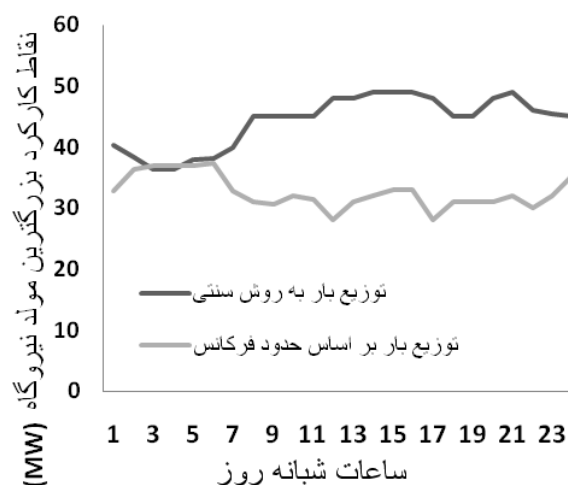
بنابراین مطلوب است بررسی گردد که آیا این نیروگاه قادر است هزینه‌های تولید برق را در کنار حفظ حاشیه امنیت بهینه سازد یا خیر و نیز آیا این امکان وجود دارد که در آینده و با جدی‌تر شدن بحث تولیدات پراکنده^۱ پالایشگاه نیز بتواند سهمی در زمینه تولید و فروش انرژی و حضور در عرصه بازار برق داشته باشد یا خیر؟

۵- اعمال الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه برق پالایشگاه آبادان

برای بکارگیری الگوریتم پیشنهادی یک شبکه عصبی توسط برنامه **MATLAB** طراحی شده است. برای آموزش این شبکه فهرستی از حوادثی که منجر به از دست رفتن هر یک از مولدهای پالایشگاه آبادان شده بود تهیه و تنظیم گشت. در این فهرست که از گزارشات ثبت شده در ۶ سال اخیر استخراج شده، اطلاعاتی چون میزان بار مصرفی شبکه، بار هر یک از مولدها، میزان ذخیره انرژی، میزان ریزش بار، فشار بخار توربین‌ها، فشار گاز ورودی به مولد گازی و مقدار کاهش فرکانس برای آموزش یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شده است. ورودی شبکه عصبی اطلاعات سیستم در هر لحظه و خروجی آن میزان افت فرکانس به ازای از دست رفتن هر مولد است. توزیع بر روی مولدها باید به گونه‌ای انجام گیرد که افت فرکانس حداقل گردد. شکل ۳ شمای این شبکه عصبی با یک لایه میانی و ۸ نرون را نشان می‌دهد.

^۱ -Distributed Generation

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۵: ناحیه عملکرد بزرگ‌ترین واحد شبکه در طول یکی از روزهای آزمایش

مهمترین نتیجه به دست آمده افزایش امنیت شبکه در این روش می‌باشد. جدول ۳ نشان دهنده میزان کاهش فرکانس در ۵ حادثه اخیر در صورت استفاده از این روش و مقایسه آن با مقادیر واقعی است. بنابراین یک شبکه عصبی که به نحو صحیح آموزش داده شود می‌تواند عملکرد مناسبی در این زمینه داشته باشد.

جدول ۳: مقایسه کنترل بار مولد گازی در ۵ حادثه اخیر در هر دو روش و تاثیر آن بر فرکانس

فرکانس در صورت استفاده از روش جدید	فرکانس واقعی	بار مولد گازی در هنگام حادثه	بار کل شبکه
۴۹/۵۱۱	۴۹/۴	۳۵	۸۰
۴۹/۳۹۱	۴۹/۳	۳۸	۸۸
۴۹/۷۷۸	۴۹/۵	۳۳	۷۴
۴۹/۶۰۱	۴۹/۴	۴۲	۱۰۰
۴۹/۴۴۵	۴۹/۲	۴۰/۴	۹۰

۷- نتیجه گیری

در یک شبکه برق کاهش فرکانس بیش از حد مجاز منجر به ریزش بار شده و زیان‌هایی را متوجه مراکز صنعتی می‌کند لذا حفظ امنیت شبکه همواره از مهمترین اهداف کنترلی می‌باشد. خصوصیات دینامیکی و استاتیکی یک سیستم الکتریکی از نحوه کنترل فرکانس سیستم قابل استنتاج است. این مطلب

شایان ذکر است که بارهای مصرفی برای ساده سازی به صورت متمرکز در هر شین قرار داده شد. در هر یک از ساعات شبانه روز کل بار محاسبه، حدود مولدها اعمال و سپس پخش بار انجام گرفته است. شکل ۴ شمای برنامه digsilent و شبکه شبیه سازی شده برق آبادان را نشان می‌دهد.

۶- نتایج پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم بیان شده در ۱۰ روز کاری مختلف سال به شبکه شبیه سازی شده اعمال و نتایج با مقادیر واقعی ثبت شده مقایسه شد. نتایج در هر ۱۰ روز تقریباً مشابه بود. یکی از نتایج حاصل شده این بود که این روش بزرگترین واحدهای سیستم را در ناحیه عملکرد پایین تری نسبت به روش سنتی نگه می‌دارد. این نتیجه همان طور که انتظار می‌رفت بیانگر توانایی این روش در نگهداری واحدهای بزرگ و مشکل دار در سطح پایین تری از انرژی برای کمک به نگهداری سیستم در حدود مورد نظر است. این خود علاوه بر بالابردن حاشیه امنیت هزینه های تعمیر و نگهداری را کاهش داده و سبب افزایش عمر مفید مولد می‌شود. از طرف دیگر باعث شده از مقادیر ذخیره در شبکه سراسری استفاده بهینه ای انجام گیرد. شکل ۵ نشان دهنده ناحیه کارکرد بزرگترین واحد نیروگاه در یکی از این روزها است.

همچنین هزینه متوسط تولید انرژی بدون احتساب هزینه های تعمیر و نگهداری برای این ۱۰ روز در هر دو روش محاسبه گشت. برای این کار توابع نرخ حرارتی^۱ مولد گازی و منحنی عملکرد مولدهای بخاری از کتابچه مولدها استخراج شد.

ممکن است با توجه به مستهلک بودن مولدها نتایج واقعی حاصل نگردد، اما به لحاظ مقایسه می‌توان به آن استناد کرد. هزینه ها در روش جدید نسبت به روش سنتی به میزان ۱/۷۴ درصد کاهش نشان می‌دهد. همان طور که گفته شد این روش در مقالات دیگری برای بهینه سازی اقتصادی و حضور در بازار برق مورد استفاده واقع شده است.

^۱ - Heat Rate

بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق

خصوصاً برای سیستم‌های الکتریکی کوچکتر که بیشتر در معرض تهدید فرکانس می‌باشند بسیار حائز اهمیت است. این مقاله یک روش پخش بار بر مبنای دو اصل جدید براساس محدودیت فرکانس یعنی نرخ تغییر فرکانس (Rocof) و کمترین محدوده فرکانسی، بنا شده است. این محدودیت‌ها به عنوان متغیر در نظر گرفته شده‌اند تا تاثیر مستقیم فرکانس محاسبه گردد که در این روند از شبکه های عصبی بهره گرفته شده است و شبکه برق پالایشگاه آبادان به عنوان یک شبکه کوچک مجزا مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی حاکی از این است که روش پیشنهادی توانسته با پایین قرار دادن نقطه کار ژنراتورهای مشکل دار از ریزش بار جلوگیری کرده و قابلیت اعتماد سیستم را افزایش دهد، همچنین در جایی که شرایط دینامیکی شبکه داخلی خطر کاهش فرکانس را دارد، به نحوی بهینه از شبکه سراسری استفاده کند. از منظر اقتصادی نیز با تعدیل کار ژنراتورهای مشکل دار هزینه تعمیر و نگهداری شبکه کاهش یافته است.

مراجع

- [1] R.Doherty, G.Lalor, M. O'Malley "Frequency control in competitive Electricity Market Dispatch", *IEEE Transactions on power systems*, vol, 20, No3, August 2005.
- [2] working Group on prime mover and energy supply models for system dynamic performance studies. "Dynamic models for combined cycle plants in power system studies", *IEEE Trans.power syst.* Vol, 9, no.3 pp.1698-1708 Aug. 1994.
- [3] L.Holdsworth, j. Ekanayka and N, Jenkins, "Power system frequency response from fixed speed and doubly-Fed induction generation based wind turbine" *wind energy*, Vol, 7, pp. 21-35, 2004.
- [4] W.o.studlin. "Economic allocation of regulating margin", *IEEE Trans power A pp. syst.* Vol. PS-89, no.4 pp 1776-1781, Jul 1971.
- [5] Market Arrangements for Electricity-Margadh Aibhleile na Eireann (MAE) commission for Energy Regulation. (2005). [on line] Available <http://www.cer.ie/cerfocs/cero3230.pdf>
- [6] دکتر دانیل اس کرشن - دکتر گوران استربک «مبانی اقتصادی سیستم قدرت» ترجمه: دکتر حسن منصف - مهندس محمد حسین عسگری - مؤسسه انتشارات چاپ دانشگاه تهران ۱۳۸۷.