

کنترل فرکانس شبکه‌های توزیع جزیره‌ای متصل به تولیدات پراکنده با استفاده از کاهش بار براساس فرکانس

مظاهر کریمی / استادیار گروه مهندسی برق / دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی / دانشگاه گنبدکاووس / m.karimi@gonbad.ac.ir
 عمیدالدین شریاری / گروه مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب / تهران - ایران / shahriariamid@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، کنترل فرکانس شبکه‌های توزیع برق که توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شوند در حالت جزیره‌ای بررسی و تحلیل شده است. یک شبکه توزیع تغذیه شده توسط منابع تولید پراکنده، در صورتی که بتواند در هر دو حالت اتصال به شبکه و یا در حالت جزیره‌ای به فعالیت خود ادامه دهد، توانسته که قابلیت اطمینان و کیفیت توان را برای مشتریان حفظ نماید. در این صورت از منابع تولید پراکنده بیشترین استفاده جهت تامین و تغذیه بارهای شبکه توزیع، حتی در حالت جزیره‌ای امکان پذیر می‌شود. بنابراین، جهت عملکرد شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای باید از پایداری فرکانس و ولتاژ شبکه، با در نظر گرفتن این نکته که ولتاژ و فرکانس در بازه مطلوب خود قرار دارند، اطمینان حاصل گردد. در حالت عملکرد جزیره‌ای با توجه کوچک بودن ثابت اینرسی شبکه توزیع، فرکانس شبکه بسیار حساس می‌باشد. در این خصوص، پایداری فرکانس یکی از مهمترین چالش‌های پیش‌رو می‌باشد. بنابراین در این مقاله، یک کنترل کننده جدید جهت کاهش بار برای شبکه‌های توزیع در حالت جزیره‌ای متصل به تولیدات پراکنده براساس روش‌های مبتنی بر پاسخ و رخداد پیشنهاد گردیده تا بتواند با محاسبه سریع اختلاف توان اکتیو بین تولید و مصرف در شبکه، اولویت بندی بارها و کاهش بار در یک مرحله براساس اولویت بندی، فرکانس شبکه را که توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود در بازه قابل قبولی حفظ نماید. بدین جهت، درستی عملکرد کنترل کننده پیشنهادی برای یک شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای بررسی شده و پایداری قابل قبولی برای ولتاژ و فرکانس شبکه بدست آمده است.

کلمات کلیدی: تولیدات پراکنده، شبکه‌های توزیع جزیره‌ای، کنترل فرکانس، نرخ تغییرات فرکانس نسبت به زمان.

Power system frequency control of an islanded distribution network connected to distributed generation based on under-frequency load shedding

Mazaher Karimi/Department of Electrical Engineering, Faculty of Basic Sciences and Engineering, Gonbad Kavous University/ m.karimi@gonbad.ac.ir

Amidaddin Shariari/ Department of Electrical Engineering, Islamic Azad university, South-Tehran Branch, Tehran,Iran/ shahriariamid@yahoo.com

ABSTRACT

In this article; an islanded distribution network, which is connected with Distributed Generation (DG), is investigated. A distribution network that be able of operating in both grid connected or islanded condition, will improve reliability and power quality of the customers. In this case, the DG will be maximized to supply and feed the distribution network loads, even in islanded mode. Therefore, for the operation of the islanded distribution network, the frequency and voltage of the network should be kept within their optimal range. During the islanding mode voltage and frequency are very sensitive in distribution network connected with DG and the system frequency is determined by the power balance in the islanded system. This research adopt an Under Frequency Load Shedding (UFLS) scheme in response based and event based methods to improve the system stability and security by enhancing the frequency and voltage response of the system on occurrence of contingency in distribution network. Proposed method is performed based on frequency and Rate of Change of Frequency (RoCoF) for islanded distribution network. Developed UFLS scheme provide a fast decision to prevent the frequency decline in the system. Hence, after calculating the amount of load

needed to be shed; this method will shed the required load in one-step to find a better response. The proposed method functionality has been investigated and an acceptable stability for the voltage and frequency of the network has been obtained.

Keywords: Distributed generation, Islanded distribution network, Frequency control, Rate of change of frequency

۱- مقدمه

امروزه نفوذ نسبی انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های برق قدرت در حال افزایش است. به‌عنوان مثال اتحادیه اروپا، با توجه به سیاست لحاظ شده در استفاده از انرژی‌های نو، در نظر دارد تا سال ۲۰۳۰ به‌طور تقریبی ۲۰٪ از انرژی توسط انرژی‌های نو تولید و در شبکه تزریق شوند [۱]. این نشان می‌دهد که فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر برای گسترش و تجاری شدن در سراسر جهان با عزمی راسخ در حال پیگیری و توسعه می‌باشد. استفاده از منابع تجدیدپذیر در سراسر جهان جهت فرایند تولید برق است که از آلودگی‌ها و تولید گازهای گلخانه‌ای مبراست یا به اصطلاح پاک و سبز می‌باشد. این مهم‌ترین جنبه برای به حداقل رساندن اثرات فناوری به محیط زیست است و بر این اساس، با استفاده از منابع انرژی طبیعی موجود در قالب تولیدات پراکنده^۱، قادر به تامین برق ارزان‌تر با پایداری و قابلیت اطمینان بالاتری برای مشتریان خواهیم بود [۲، ۳]. در سال‌های اخیر با توجه به گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مباحث زیادی در بین پژوهشگرها مطرح گردیده و همگی در جهت افزایش قابلیت استفاده از این نوع انرژی در شبکه‌های برق، تحقیقات و مطالعات زیادی را انجام داده‌اند. براساس همین پژوهش‌ها، هر چند استفاده و بکارگیری از انرژی‌های تجدیدپذیر مزایای بسیاری را به ارمغان می‌آورد با این حال، پیاده‌سازی آن در یک شبکه سبب شده که شبکه و پیکربندی شبکه نیازمند تغییراتی شود. این تغییرات شامل تغییر در شبکه کنترل و تنظیمات حفاظتی نیز می‌شود. چنین چالشی برای تنظیم دوباره شبکه‌های معمولی، زمانی که توسط انرژی‌های تجدیدپذیر و در قالب تولید پراکنده تغذیه می‌شوند، مورد توجه قرار گرفته‌است.

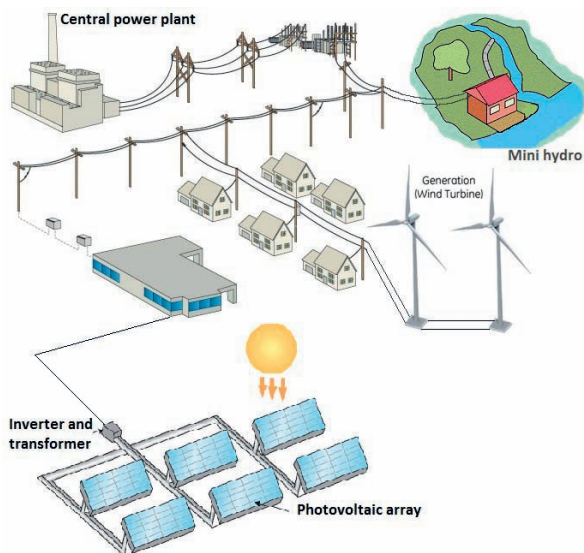
به‌طور کلی، تولید پراکنده می‌تواند هر نوعی از تولید برق الکتریکی باشد که به‌طور معمول در یک شبکه توزیع با ظرفیت کمتر از ۱۰ مگاوات نصب می‌شود و می‌تواند براساس انواع فناوری‌های مختلف مانند توربین بادی، آرایه فتوولتائیک، سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت^۲، سلول‌های سوختی، موتورهای دیزلی و گاز طبیعی معمولی و فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی باشد [۴]. تزریق انرژی برق در شبکه‌های توزیع با توجه به گسترش و پیشرفت فناوری استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌طور معمول از این نوع بوده و در این راستا مسایل فنی و پژوهش‌های زیادی قابل انجام و بررسی می‌باشند. یکی از این موارد که می‌توان به آن اشاره داشت مربوط به زمانی است که تولیدات پراکنده در شبکه توزیع متصل باشند و به‌صورت اتفاقی شبکه توزیع از شبکه سراسری برق جدا شود و در اصطلاح به‌صورت جزیره‌ای به کار خود ادامه دهد. یک شبکه جزیره‌ای^۳ می‌تواند شامل بسیاری از ژنراتورها و بسیاری از بارها باشد و این جزیره‌سازی می‌تواند دارای مزیت‌های قابل توجهی از قبیل بهبود قابلیت اطمینان، کاهش خاموشی و کاهش خسارت باشد، اگر تقاضا و نسبت بارها با دقت تخمین زده شوند [۵].

شبکه توزیع باید قابلیت کارایی در هر دو حالت اتصال یا قطع از شبکه اصلی را در صورتی که توسط تولید پراکنده تغذیه می‌شود داشته باشد. در حالت جزیره‌ای، شبکه توزیع و یا ابزارهای کنترلی و

حفاظتی نصب شده در این شبکه باید بتواند پایداری، قابلیت اطمینان و کیفیت قدرت شبکه را حفظ و اطمینان حاصل شود که ولتاژ و فرکانس مشتریان در محدوده قابل قبول حفظ می‌شود. در حالت جزیره‌ای با توجه به اینرسی پایین شبکه، فرکانس بسیار حساس می‌باشد و فرکانس شبکه توسط تعادل توان اکتیو بین تولید و بار در شبکه تعیین می‌شود. یکی دیگر از جنبه‌های مهم که در زمان جزیره‌سازی باید در نظر گرفته شود، اثر اختلالاتی مانند از دست دادن تولید یا اضافه بار است. اگر اختلاف بین تقاضای بار و تولید انرژی ناسازگار باشد، فرکانس و ولتاژ شبکه تغییر می‌کند [۶]. در این پژوهش، یک کنترل‌کننده پیشنهاد شده‌است، تا بتواند فرکانس شبکه توزیع را در حالت جزیره‌ای با استفاده از روش کاهش بار براساس فرکانس مدیریت نماید.

۲- پیکربندی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی متصل به تولیدات پراکنده

پیکربندی شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی متصل به تولیدات پراکنده را می‌توان به دو دسته اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود [۷]:
۱-۲- حالت موازی که تولیدات پراکنده به‌طور عمده به‌صورت موازی با دیگر منابع تولید در شبکه عمل می‌کنند و شبکه به شین بی‌نهایت متصل است. هنگامی که منابع تولید پراکنده به شبکه متصل شده‌اند و در حالت موازی کار می‌کنند، می‌توان بیان کرد که تولیدات پراکنده به بخشی از شبکه اصلی تبدیل می‌شوند که در شکل (۱) نشان داده شده‌است. از این‌رو، شبکه باید به‌عنوان یک شبکه یکپارچه محافظت و کنترل شود.



شکل ۱: شبکه توزیع متصل به منابع تولید پراکنده در حالت موازی

با داشتن انواع مختلف تولیدات پراکنده همانند شکل (۱)، مقداری از کل تقاضای بار را می‌توان توسط آنها تغذیه نمود و کمبود توان اکتیو و راکتیو شبکه توزیع را توسط نیروگاه‌های متمرکز جبران نمود.

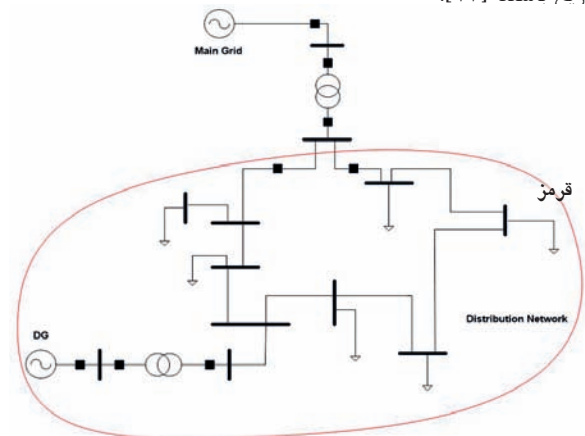
۲-۲- حالت جزیره‌ای که منابع تولید پراکنده طوری پیکربندی شده‌اند که مستقل از شبکه می‌باشند و شبکه متصل به آنها فقط توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌گردد.

با توجه به استاندارد IEEE [۸، ۹]، حالت جزیره‌ای منوط به حالتی است که بخشی از شبکه برق قدرت توسط منابع تولید پراکنده تغذیه شوند و در شبکه بیان شده، تولیدکننده و مصرف‌کننده به همراه کنترل‌کننده‌های مورد نیاز ولتاژ و فرکانس وجود داشته باشد [۱۰]. در این حالت لازم است که حفاظت شبکه در اثر اتصال کوتاه و صاعقه نیز لحاظ شود و به عبارتی شبکه جزیره‌ای حالت کوچک شده‌ای از شبکه برق قدرت می‌باشد.

این حالت معمولاً به علت اختلال در شبکه‌های قدرت مانند خطای اتصال کوتاه، قطع خط و قطع برق ژنراتورها، ممکن است اتفاق بیفتد و در جاهایی که شبکه توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود یک حالت جزیره‌ای مستقل می‌تواند به وجود آید و بارها می‌توانند توسط این منابع تغذیه گردند [۱۱]. در شکل (۲)، ناحیه‌ی جزیره‌ای یک شبکه را که شبکه توزیع توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود به نمایش گذاشته شده و حالت جزیره‌ای توسط دایره‌ای قرمز رنگ مشخص شده‌است.

هنگامی که شبکه توزیع به صورت اتفاقی از شبکه اصلی جدا می‌شود و منابع تولید پراکنده همچنان برای شبکه تولید توان می‌نمایند، این وضعیت به عنوان حالت جزیره‌ای غیرعمدی شناخته می‌شود. حالت جزیره‌ای غیرعمدی پایدار نیست، زیرا این گونه شبکه‌ها ابزار کنترل ولتاژ و فرکانس را در طی شرایط جزیره‌ای ندارند و کنترل‌کننده‌ی در این شبکه‌ها طراحی نشده‌است. برعکس، حالت عمدی جزیره‌ای پایدار است و این می‌تواند ثبات و قابلیت اطمینان شبکه را بهبود بخشد. حالت عمدی جزیره‌ای به طور هدفمند قادر است تا ولتاژ و فرکانس شبکه جزیره‌ای را کنترل نماید و مانع از وقوع قطعی در کل شبکه جزیره‌ای گردد. با این حال، موارد حفاظتی و مدیریتی شبکه باید در نظر گرفته شوند، تا تولیدات پراکنده بتوانند به طور مداوم شبکه را تغذیه نمایند.

عملکرد شبکه در حالت عمدی جزیره‌ای دشوارتر از حالت موازی است که شبکه به شین بی‌نهایت متصل بوده و به این حالت عملکرد جزیره‌ای^۴ گفته می‌شود. در حالت عملکرد جزیره‌ای باید اطمینان حاصل شود که ولتاژ و فرکانس بین محدوده‌های قابل قبول مطابق با منحنی تقاضا نگهداری می‌شود. عدم تعادل توان اکتیو و راکتیو مابین تولید و مصرف یک کار چالش برانگیز در شبکه جزیره‌ای است. تولیدات پراکنده در این حالت باید قادر به تامین نیاز بار برای شبکه تو؛ بع باشند [۱۲].



شکل ۲: شبکه توزیع متصل به تولید پراکنده در ناحیه‌ی جزیره‌ای

۳- کنترل فرکانس و روش کاهش بار بر اساس فرکانس

وقتی که تولید در شبکه قدرت نتواند به افزایش تقاضای بار پاسخ دهد، به منظور حفظ ثبات شبکه، کاهش بار به عنوان آخرین راهکار پیشنهاد می‌شود. این امر که جهت کنترل فرکانس در شبکه‌های برق مورد بحث قرار می‌گیرد و در صورت کاهش فرکانس برخی از بارهای موجود در شبکه را کاهش می‌دهد با عنوان روش کاهش بار بر اساس فرکانس^۵ مطرح می‌شود. این کاهش بار زمانی در دستور کار قرار می‌گیرد که تمام اقدامات کنترلی قادر به حفظ امنیت و پایداری در شبکه نباشند و به عنوان یک راه حل نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق، کنترل فرکانس با توجه به فراگیری استفاده از انرژی‌های نو و منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع، که در برخی موارد می‌توانند به صورت جزیره‌ای نیز به عملکرد خود ادامه دهند مورد بحث قرار گرفته‌است. این شبکه‌های توزیع گاهی در مناطق دورافتاده شکل گرفته‌اند و به صورت جزیره‌ای نیاز برق مشتریان را به توسط منابع تولید پراکنده تامین می‌نمایند.

۳-۱- تعادل بار و پایداری فرکانس

شبکه برق که متشکل از ژنراتورها و بارهای مختلفی است، باید توانایی آن را داشته باشد که در زمان تغییر تقاضای بار، فرکانس و ولتاژ شبکه را در سطح مطلوب و تعریف شده با استانداردهای مربوطه نگه دارد. در عمل شبکه قدرت هرگز در حالت تعادل باقی نمی‌ماند، اگر کنترل‌کننده‌هایی وجود نداشته باشند، زیرا تقاضا به طور مداوم از طرف مشتری تغییر می‌نماید و به طور معمول افزایش یا کاهش بار خواهیم داشت. این افزایش یا کاهش بار منجر به برهم زدن پایداری فرکانسی در شبکه خواهد شد [۱۳].

از این رو، تغییر در فرکانس شبکه نشان‌دهنده عدم تعادل توان اکتیو مابین تولید و مصرف‌کنندگان در یک لحظه خاص است. به عنوان مثال، شکل (۳) اطلاعات واقعی فرکانس شبکه را برای ۶۰ دقیقه در انگلستان نشان می‌دهد.

به طور کلی، کنترل‌کننده‌های شبکه قدرت تلاش می‌کنند تا فرکانس شبکه را در باندهای باریک ثابت نگه دارند، زیرا:

۱- بسیاری از موتورهای الکتریکی در سرعت ثابت در شبکه قدرت عمل می‌کنند و بسیاری از برنامه‌های کاربردی مشتری نیاز به سرعت ثابت دارند. سرعت موتور به طور مستقیم با فرکانس شبکه متناسب است.

۲- برخی از اعمال الکتریکی مانند برنامه‌های الکترونیکی از فرکانس اصلی به عنوان پایه‌ای برای زمان‌بندی فرآیندهای مختلف استفاده می‌نمایند.

۳- ترانسفورماتورها به عنوان یک تجهیزات حساس در شبکه قدرت



شکل ۳: فرکانس واقعی شبکه که در انگلستان ثبت شده‌است

(www.nationalgrid.com/uk)

$$\omega = \frac{p}{2} * \omega_m \quad (4)$$

در حالی که، ω_m در حالت پایدار تغییر نمی کند، H را می توان با سرعت سنکرون یا همان ω بررسی کرد. پس از جایگزینی (۳) و (۴) در معادله (۲) خواهیم داشت:

$$\frac{2H}{\omega} * S_{base} * \frac{\partial \omega}{\partial t} = P_{mech} - P_{elec} \quad (5)$$

در این معادله S_{base} توان پایه شبکه می باشد و سپس، معادله (۵) را بر ثابت S_{base} تقسیم می نماییم:

$$\frac{2H}{\omega} * \frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{P_{mech}}{S_{base}} - \frac{P_{elec}}{S_{base}} \quad (6)$$

بر این اساس توان الکتریکی تولیدی توسط ژنراتور، P_{elec} و توان مکانیکی ایجاد شده توسط توربین، P_{mech} می توانند به صورت پرونیت بیان گردند. این توان ها در رابطه (۷) بیان شده اند.

$$P_m(pu) - P_e(pu) = \frac{2H}{\omega} * \frac{\partial \omega}{\partial t} \quad (7)$$

در این معادله $P_m(pu)$ و $P_e(pu)$ به ترتیب توان الکتریکی و توان مکانیکی به صورت پرونیت هستند و H اینرسی شبکه به صورت مقداری ثابت براساس توان پایه می باشد.

۳-۳- کاهش بار براساس معادله چرخش در شبکه های قدرت

روش کاهش بار، براساس معادله چرخش (۸)، در شبکه قدرت در شرایط بحرانی می تواند استفاده شود. این معادله که جهت محاسبه اختلاف بین توان اکتیو تولیدی و مصرفی می باشد، در واقع وابسته به اینرسی شبکه قدرت و اندازه تغییر فرکانس در واحد زمان است. این معادله در واقع به صورت تقریبی مقدار اختلاف توان را نشان می دهد.

$$\Delta P = \frac{2 * \sum_{i=1}^N H_i}{f_n} * \frac{df_c}{dt} \quad (8)$$

در معادله (۸)، H_i اینرسی ژنراتور بر حسب ثانیه، P_e و P_m به ترتیب توان الکتریکی تولیدی توسط ژنراتور و توان مکانیکی ایجاد شده توسط توربین هستند، f_n فرکانس اسمی شبکه و f_c فرکانس واقعی شبکه می باشند. جهت محاسبه توان مورد نیاز برای کاهش بار باید اطمینان حاصل شود که فرکانس شبکه به محدوده استاندارد مورد نظر و در بازه خود می تواند برگردد.

براساس یک جمع بندی کلی، کاهش بار در شبکه نیاز به بررسی موارد زیر نیز دارد [۱۷]:

- ۱- برآورد میزان اختلاف بین توان تولیدی و مصرفی
- ۲- برآورد محل ایجاد و دلیل آن
- ۳- ایجاد هماهنگی بین رله های حفاظتی و سیستم کنترل فرکانس و کاهش بار در شبکه.

باید در نظر گرفت که پس از محاسبه میزان اختلاف توان تولیدی و مصرفی، کاهش بار باید براساس مقدار تخمینی و اولویت بارها اعمال گردد و فرکانس شبکه باید به طور دایم نمونه برداری و بررسی شود تا در صورت بهبود یافتن فرکانس از کاهش بار بیشتر جلوگیری شود.

۴- پیشنهاد یک کنترل کننده جدید جهت پایداری فرکانس شبکه های توزیع متصل به تولیدات پراکنده در حالت جزیره ای

روش کاهش بار براساس فرکانس همان طور که بیان شد یک عملیات اضطراری می باشد که می تواند مانع از فروپاشی شبکه و در نتیجه کاهش اختلالات و نوسانات فرکانس و ولتاژ در شبکه شود. از آنجایی که اینرسی شبکه توزیع در حالت جزیره ای بسیار کوچکتر از زمانی خواهد بود که شبکه به شین بی نهایت متصل است، فرکانس

کار می کنند و نسبت به تغییرات فرکانس و ولتاژ حساس هستند و این تغییرات تاثیر چشمگیری در تلفات و عمر آنها خواهد داشت. ۴- عملکرد ژنراتورها در نیروگاهها بستگی به عملکرد صحیح تجهیزات کمکی دارند و این بخش کمکی حساسیت زیادی به تغییرات سرعت ژنراتور اصلی دارد بدین گونه که کاهش فرکانس ناشی از سرعت چرخش کم ژنراتورها باعث کاهش خروجی این تجهیزات می شود و به طور مستقیم این کاهش بر روی ژنراتور اصلی تاثیر می گذارد.

پس به منظور کنترل فرکانس در محدوده قابل قبول، سرعت ژنراتور باید کنترل شود، زیرا به طور مستقیم به فرکانس شبکه وابسته است. اگر بار به طور ناگهانی در شبکه افزایش یابد، تقاضای انرژی اضافی در ابتدا توسط نیروی چرخشی موتور تولید می شود و باعث کاهش سرعت چرخش آن می گردد. کاهش سرعت روتور در ژنراتور باعث کاهش نسبی فرکانس می شود. برای نگهداری فرکانس در بازه قابل قبول، گاورنر مجبور به تغییر درجه توربین خواهد بود تا توان مکانیکی توربین را افزایش دهد و ژنراتور بتواند توان الکتریکی بیشتری برای پاسخ به افزایش بار در شبکه ایجاد نماید. ناگفته نماند که این کنترل فرکانس یا چرخش در ژنراتور تا حدود زیادی کند بوده و برای شبکه های جزیره ای که اینرسی آنها کم می باشد به تنهایی پاسخگو نخواهد بود و نمی تواند جلوی کاهش فرکانس را در زمان مناسب بگیرد.

۳-۲- معادله چرخش شبکه قدرت

قدرت مکانیکی مورد نیاز ژنراتور توسط توربین تولید می شود و به شفت ژنراتور منتقل می شود. ژنراتور قدرت مکانیکی را به قدرت الکتریکی تبدیل می نماید. T_{mech} در توربین از قدرت آب یا بخار ایجاد شده است و T_{elec} به عنوان یک نتیجه از اتصال بار است. هر اختلافی بین آنها می تواند سرعت چرخش روتور را در ژنراتورها افزایش دهد و به همین دلیل تغییر سرعت یا فرکانس را در شبکه قدرت خواهیم داشت [۱۴].

معادله نوسانات نشان دهنده رابطه بین انحراف گشتاور و تغییر شتاب زاویه ای براساس معادله زیر بیان گردیده است [۱۵، ۱۶]:

$$T_{mech} - T_{elec} = J \frac{\partial \omega}{\partial t} \quad (1)$$

در معادله نوسان (۱)، ω سرعت زاویه ای است و J ممان اینرسی ژنراتور و توربین است.

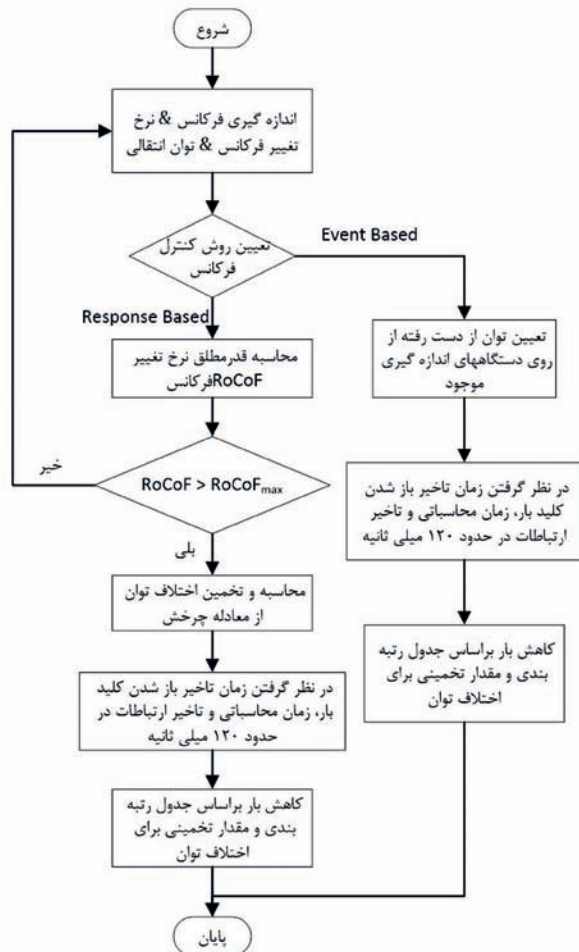
گشتاور مکانیکی و الکتریکی ضرب در سرعت زاویه ای، ω_m ، نشان دهنده توان مکانیکی و الکتریکی خواهد بود و براساس این تعریف خواهیم داشت، ($P_{elec} = \omega_m * T_{elec}$ و $P_{mech} = \omega_m * T_{mech}$) که با جایگزینی در معادله (۱) خواهیم داشت:

$$P_{mech} - P_{elec} = J \omega_m \frac{\partial \omega}{\partial t} \quad (2)$$

از معادله (۲)، واضح است که فرکانس شبکه وابسته به تعادل بین P_{elec} و P_{mech} است. معادله (۲) را می توان در شرایط ثابت براساس اینرسی یا لختی شبکه تعریف کرد که به طور معمول به صورت ثابت در شبکه تعریف می شود و H نمایش داده می شود. ثابت H در رابطه (۳) تعریف می شود.

$$H = \frac{1}{2} * \frac{J * \omega_m^2}{S_{base}} \quad (3)$$

در این معادله، H اینرسی شبکه است که به صورت مقداری ثابت و همان طور که در معادله (۳) بیان شده قابل محاسبه می باشد. اگر P تعداد قطبها در ژنراتور باشد، سرعت مکانیکی با سرعت الکتریکی در معادله (۴) مرتبط است و ω در واقع همان سرعت سنکرون می باشد.



شکل ۴: الگوریتم پیشنهادی جهت مازول کاهش بار (UFLS)

در باس اصلی متصل می‌شوند و توان مورد نیاز و مصرفی شبکه توزیع را تامین می‌کنند. ژنراتورهای واحد آبی کوچک با توجه به اینرسی پایین جهت مدل‌سازی در این شبکه در نظر گرفته شده‌اند. دی‌گرام تک خطی این شبکه مورد آزمایش، در شکل (۵) نشان داده شده‌است. تمام خطوط با مدل π یا مدل خط متوسط شبیه‌سازی و مدل‌سازی شده‌اند. در واقع طول خطوط بیش از ۶ کیلومتر نیست، اما زمانی که جریان شارژ خط افزایش می‌یابد، ظرفیت شانت باید مورد توجه قرار گیرد زیرا تمامی خطوط در این شبکه، به‌صورت کابل‌های زیرزمینی می‌باشند.

جدول (۱)، مقدار بار و نوع آن را به تفکیک برای توان اکتیو و راکتیو مصرفی به‌صورت جداگانه در هر باس‌بار نشان می‌دهد. در الگوریتم پیشنهادی، بارها بر اساس اولویت‌بندی آنها رتبه‌بندی می‌شوند. در این روش، بار با رتبه پایین‌تر در ابتدا قطع می‌شود و بارهای با رتبه بالاتر دیرتر و در صورت نیاز قطع می‌شوند.

۶- نتایج بدست آمده

مطالعات و نتایج مربوط به مازول پیشنهادی برای کنترل‌کننده فرکانس براساس کاهش بار که تشریح شد، در این قسمت ارائه می‌گردند. براساس مدل شبیه‌سازی شده شبکه توزیع، شکل (۵)، سناریوهای مختلفی بررسی شده‌اند و نتایج ناشی از این سناریوها در این بخش آورده شده‌اند. برای بررسی و مطالعه طرح کاهش بار و کنترل فرکانس پیشنهادی، یک شبکه توزیع که توسط منابع

شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای بسیار حساس است. بنابراین یک اختلال کوچک می‌تواند تغییرات فرکانسی زیادی را در شبکه ایجاد نماید.

جهت تثبیت فرکانس یک شبکه توزیع، در حالت جزیره‌ای که اینرسی پایینی دارد، یک کنترل‌کننده جدید پیشنهاد شده تا بتواند با محاسبه سریع اختلاف توان اکتیو بین تولید و مصرف در شبکه، اولویت‌بندی بارها و کاهش بار در یک مرحله براساس اولویت‌بندی، فرکانس شبکه را که توسط منابع تولید پراکنده تغذیه می‌شود در بازه قابل قبولی حفظ نماید و بتواند مانع از فروپاشی شبکه در زمان‌های قطع ژنراتور یا افزایش ناگهانی بار شود. در این کنترل‌کننده، روش کاهش بار مبتنی بر پاسخ، براساس اطلاعات فرکانس و نرخ تغییر فرکانس^۷ پیشنهاد گردیده‌است. این مقادیر به‌عنوان مقدار ورودی برای تعیین میزان اختلاف بین توان اکتیو تولیدی و مصرفی استفاده می‌شوند.

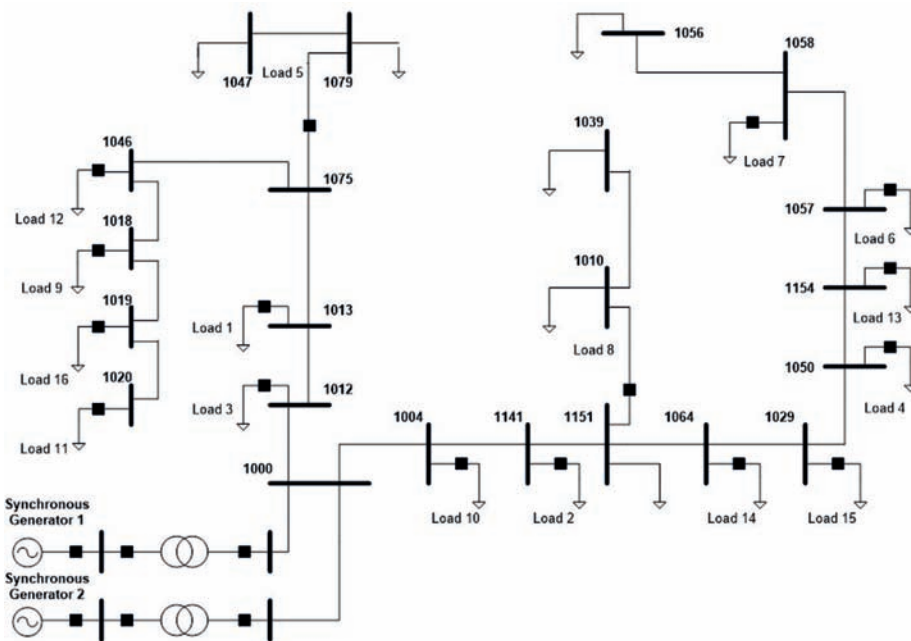
این ورودی‌ها جهت محاسبه در معادله (۸) بکارگیری شده و نتیجه حاصل از آن برای استفاده در روش کاهش بار مبتنی بر پاسخ در شبکه استفاده می‌شود. کنترل‌کننده پیشنهادی با قابلیت قطع بارها براساس اولویت مشخص شده توسط کاربر در نرم‌افزار PSCAD/EMTDC طراحی گردید. در واقع مازول پیشنهادی دارای یک الگوریتم محاسباتی و تصمیم‌گیری می‌باشد که در شکل (۴) به نمایش درآمده‌است. در ابتدا فرکانس شبکه محاسبه شده و نرخ تغییر فرکانس نیز به‌عنوان ورودی در الگوریتم محاسبه می‌گردد. سپس قدرمطلق و اندازه نرخ تغییر فرکانس بدست می‌آید.

بعد از محاسبه قدرمطلق نرخ تغییر فرکانس، این مقدار با مقدار از پیش تعیین شده مقایسه می‌شود و اگر از مقدار از پیش تعیین شده بزرگ‌تر باشد به‌عنوان یک اتفاق در نظر گرفته می‌شود و الگوریتم وارد مرحله بعدی می‌شود. در غیر این صورت الگوریتم در همین مرحله منتظر خواهد ماند. در صورت وقوع هرگونه اتفاقی در شبکه ناشی از اختلاف توان بین بار مصرفی و توان تولیدی، که به اختصار اتفاق نامیده خواهد شد، با توجه به مقدار نرخ تغییر فرکانس و معادله چرخش شبکه که در بخش قبل تشریح شد، الگوریتم پیشنهادی مقدار اختلاف توان مصرفی و تولیدی را محاسبه و تخمین می‌زند. سپس بارهای با اولویت کمتر را به ترتیب قطع می‌نماید تا مجموع بارهای کاسته شده از مقدار پیش‌بینی شده اختلاف توان تولیدی و مصرفی تقریباً برابر گردند و فرکانس شبکه بهبود یابد. زمان مورد نیاز جهت قطع بارها و زمان انجام عملیات محاسباتی در این الگوریتم و براساس واقعیت موجود به اندازه ۶۰ میلی‌ثانیه لحاظ گردیده‌است تا پاسخ شبکه به واقعیت نزدیک‌تر شود.

در الگوریتم مربوطه، حالتی نیز پیش‌بینی شده‌است تا در صورت وجود تجهیزات اندازه‌گیری در مکان‌های خاص که امکان اندازه‌گیری اتفاق مربوطه و اندازه دقیق اختلاف بین توان تولیدی و مصرفی امکان اندازه‌گیری داشت این الگوریتم بتواند مقدار دقیق را جهت کاهش بار لحاظ نماید. از این حالت به‌عنوان حالت مبتنی بر رخداد^۸ در الگوریتم پیشنهادی یاد شده‌است. قابل ذکر است که زمان‌های تاخیر در این بخش از الگوریتم نیز لحاظ گردیده‌اند.

۵- شبکه مورد مطالعه

شبکه مورد مطالعه جهت تست و بررسی، در شکل (۵) نشان داده شده‌است. این شبکه یک شبکه واقعی در کشور مالزی بوده که شامل ۲۲ باس‌بار با ۲ ژنراتور واحد آبی کوچک است و باس‌بارها را می‌توان با ۱۶ کلید قطع قدرت کنترل کرد. هر دو ژنراتور واحد آبی کوچک



شکل ۵: شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای متصل به DG

جدول ۲: سناریوهای بررسی شده در شبکه شبیه سازی شده

شماره سناریو	سناریوهای مطرح شده
سناریوی ۱	قطع ناگهانی تولیدکننده کوچک آبی شماره ۲
سناریوی ۲	افزایش ناگهانی بار در ۲ مرحله متوالی

در واقع ۲ سناریوی مطرح شده در این بخش، به بررسی بدترین شرایط احتمالی ممکن در این شبکه توزیع می‌پردازند. زیرا در سناریوی نخست، شبکه تقریباً ۵۰٪ تولید خود را از دست می‌دهد و سناریوی دوم به افزایش متوالی و ناگهانی بار در دو مرحله می‌پردازد که این خود می‌تواند شوک زیادی را به شبکه وارد نماید. هر دو رویداد می‌توانند به کاهش ولتاژ و فرکانس در شبکه منجر شوند؛ و روش پیشنهادی کاهش بار برای بازیابی فرکانس و ولتاژ باید قادر باشد تا بار مطلوب شبکه را کاهش دهد.

۶-۱- سناریو نخست: قطع ناگهانی تولید کننده شماره ۲

در این سناریو، از دست دادن یک ژنراتور یک اختلال بزرگ در شبکه توزیع ایجاد می‌نماید و همان‌طور که مشخص است، شبکه حدود ۵۰٪ از تولید خود را از دست می‌دهد. این اختلال (قطع یک ژنراتور) در زمان $t=10$ s شبیه‌سازی شده است. با توجه به طرح پیشنهادی، مازول کنترل فرکانس و کاهش بار برخی از بارها را به منظور تعادل ولتاژ و فرکانس از شبکه قطع می‌نماید. در این سناریو فرکانس شبکه که توسط مازول محاسبه فرکانس شبکه بدست آمده است در شکل (۶) به نمایش گذاشته شده است.

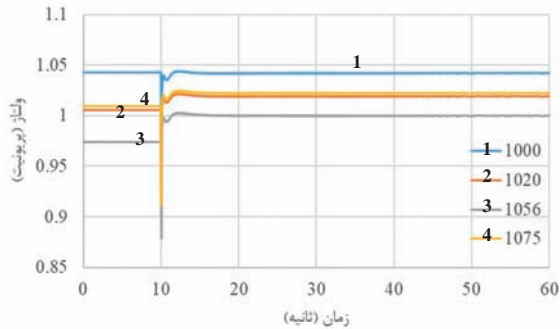
منحنی فرکانس در شکل (۶) برای قبل و بعد از اختلال که قطع ناگهانی ژنراتور بوده ارایه شده است. در این سناریو، فرکانس بعد از آنکه ژنراتور از مدار خارج شده تا مقدار ۴۸,۱۷۵ هرتز کاهش می‌آید و پس از حدود ۳۰ ثانیه به ۵۰ هرتز برمی‌گردد. شایان ذکر است که در این حالت مازول کنترل فرکانس پیشنهادی تعدادی از بارها را جهت حفظ و پایداری فرکانس کاهش داده است. با توجه به آنکه کمترین مقدار فرکانس برای قطع ژنراتورهای شبکه در مازول

تولید پراکنده آبی کوچک تغذیه می‌شود، جهت شبیه‌سازی استفاده شده است. این شبکه توزیع در واقع به شبکه انتقال برق نیز متصل بوده و در این بررسی فرض بر آن است که از شبکه برق ایزوله گشته و به صورت جزیره‌ای به کار خود ادامه دهد. در این راستا، پایداری فرکانس شبکه در چند سناریوی مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار خواهد گرفت. سناریوهای مورد بررسی در جدول (۲) بیان گردیده‌اند.

جدول ۱: انواع و مقادیر بار، براساس رتبه‌بندی لحاظ شده

Row	Bus number	P (MW)	Q (MVAR)	Consumption type
۱	۱۰۱۳	۰.۰۴۵۶	۰.۰۲۸۲	Residential
۲	۱۱۴۱	۰.۰۵۳۱	۰.۰۳۳	Residential
۳	۱۰۱۲	۰.۰۵۳۱	۰.۰۳۳	Residential
۴	۱۰۵۰	۰.۰۶۳	۰.۰۳۸۴	Residential
۵	۱۰۴۷-۱۰۷۹	۰.۱۱۷۲۱	۰.۰۷۲۸۱	Residential
۶	۱۰۵۷	۰.۱۲۶	۰.۰۷۶۸	Residential
۷	۱۰۵۸	۰.۱۳۲	۰.۰۸۱۹	Residential
۸	۱۰۱۰-۱۰۳۹	۰.۱۵۰۰۹	۰.۰۹۳۳	Residential
۹	۱۰۱۸	۰.۱۱۶۱۹	۰.۰۷۲	Shopping centre
۱۰	۱۰۰۴	۰.۱۴۱۵۱	۰.۰۸۷۶	College
۱۱	۱۰۲۰	۰.۱۸۴۵	۰.۱۱۴۳۹	Shopping centre
۱۲	۱۰۴۶	۰.۱۷۰۱	۰.۱۰۵۳	Factory
۱۳	۱۱۵۴	۰.۱۳۹۸	۰.۰۸۴۹	Shopping centre
۱۴	۱۰۶۴	۰.۰۹۳۲۰۱	۰.۰۵۷۸۰۱	Gas station
۱۵	۱۰۲۹	۰.۲۳۱۳	۰.۱۴۳۱	Factory
۱۶	۱۰۱۹	۰.۱۰۶۷۱	۰.۰۶۶۰۹	Polyclinic
۱۷	۱۱۵۱	۰.۱۰۷۱۹۹	۰.۰۶۶۳۹	Vital
۱۸	۱۰۵۶	۰.۳۵۲۵۹	۰.۲۱۸۷	Vital
۱۹	۱۰۰۰	.	.	Main bus

در این سناریو، هر دو ژنراتور ۲،۶۱۶ مگاوات را به شبکه توزیع عرضه می‌کنند؛ هنگامی که یک ژنراتور قطع می‌شود، توان تولیدی در شبکه توزیع برابر با ۱،۴۶۱ مگاوات می‌شود و این شبکه در واقع ۱،۳۰۸ مگاوات تولید را از دست می‌دهد. ماژول کنترل‌کننده فرکانس، با ایجاد کاهش باری مطلوب، بارهای با اولویت پایین را به مقدار ۱،۱۷۳ مگاوات قطع نموده‌است.

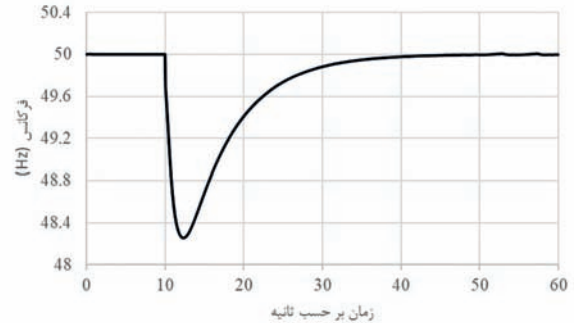


شکل ۸: پروفایل ولتاژ قبل و بعد از قطع ناگهانی ژنراتور

جدول ۳: بارهای قطع شده از شبکه در سناریوی اول

اولویت بار	شماره باس بار	توان حقیقی (MW)
۱	۱۰۱۳	۰۰۴۵۶
۲	۱۱۴۱	۰۰۵۳۱
۳	۱۰۱۲	۰۰۵۳۱
۴	۱۰۵۰	۰۰۶۳
۵	۱۰۴۷-۱۰۷۹	۰۰۱۱۷۲۱
۶	۱۰۵۷	۰۰۱۲۶
۷	۱۰۵۸	۰۰۱۳۲
۸	۱۰۱۰-۱۰۳۹	۰۰۱۵۰۰۹
۹	۱۰۱۸	۰۰۱۱۶۱۹
۱۰	۱۰۰۴	۰۰۱۴۱۵۱

محاسبه فرکانس شبکه ۴۷،۵ هرتز برای زمان ۳ ثانیه مشخص شده، در این سناریو که کاهش تولیدی برابر ۵۰٪ شبیه‌سازی شده، کنترل‌کننده فرکانس و ماژول کنترل‌کننده پیشنهادی توانسته‌است تا فرکانس شبکه را در بازه مورد نظر حفظ نماید و مانع از فروپاشی فرکانسی و خاموشی در شبکه گردد.

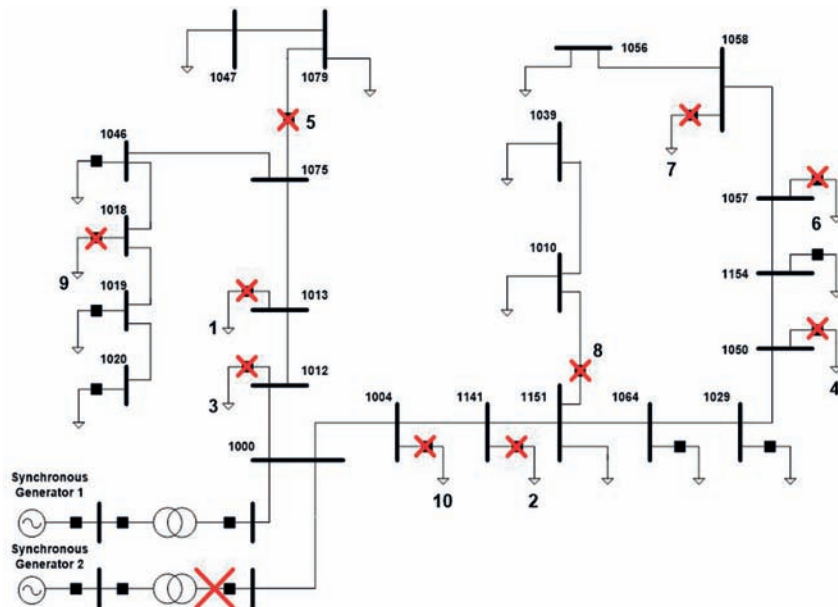


شکل ۶: فرکانس شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای برای سناریوی اول

در شکل (۷)، بارهایی که توسط ماژول پیشنهادی کاهش بار از شبکه قطع شده‌اند به نمایش گذاشته شده‌است. در این راستا و برای حفظ پایداری شبکه بارهای با اولویت پایین‌تر انتخاب گردیده‌اند و بر این اساس بارهای با اولویت ۱ الی ۱۰ از شبکه جدا شده‌اند.

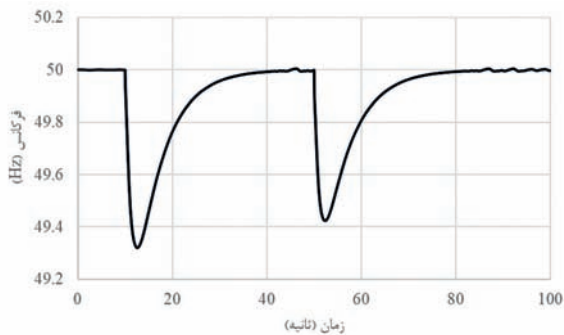
ماژول کنترل‌کننده فرکانس، با کاهش بار شبکه، میزان تولید و مصرف را در تعادل نگه می‌دارد تا امکان ادامه برق‌رسانی برای دیگر بارهای شبکه با اولویت بالاتر امکان‌پذیر گردد. بارهایی را که پس از قطع ژنراتور ۲ در این سناریو به توسط ماژول کنترل‌کننده فرکانس قطع می‌شوند در جدول (۳) لیست شده‌اند.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، پایداری ولتاژ نیز یکی از موارد بسیار مهم می‌باشد که باید مورد توجه قرار گیرد. در همین راستا، هر چند که بررسی پایداری ولتاژ در قالب این تحقیق در نظر گرفته نشده‌است، ولی پروفایل ولتاژ چند باس‌بار بررسی شده‌است. شکل (۸) پروفایل ولتاژ باس‌های ۱۰۰۰، ۱۰۲۰، ۱۰۵۶ و ۱۰۷۵ را به صورت پریونیت به نمایش گذاشته شده‌است.



شکل ۷: کاهش بار در شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای برای سناریوی اول

فرکانس، بارهای با رتبه پایین را اگر قطع نباشند ابتدا از شبکه جدا می‌نماید و سپس به سراغ بارهای با اولویت بالاتر می‌رود. شکل (۱۲) کاهش بار در شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای برای سناریوی دوم را به نمایش گذاشته است. در این شکل بارهایی که در هر دو اختلال از شبکه جدا می‌شوند به نمایش گذاشته شده‌اند. در این حالت نیز، مازول کنترل‌کننده فرکانس، نبود تعادل بار در شبکه را تخمین می‌زند و نسبت به کاهش بار در شبکه اقدام می‌نماید. نتیجه همان‌طور که در منحنی فرکانس در شکل (۱۳) به نمایش درآمده مشاهده می‌شود و به راحتی می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ فرکانس همانند حالت نخست است که هر دو بار در باس شماره ۱۰۰۰ به شبکه متصل شدند. در واقع این بررسی نشان می‌دهد که پاسخ مازول کنترل‌کننده فرکانس به مکان اتصال ناگهانی بار بستگی نداشته است و این موضوع با توجه به آنکه شبکه‌های توزیع در محدوده کوچک جغرافیایی قرار دارند مربوط می‌باشد. در این حالت نیز بارهای با اولویت ۱، ۲، ۳ و ۴ در مرحله اتصال ناگهانی بار نخست قطع می‌شوند و کاهش بار در اختلال دوم (افزایش ناگهانی بار دوم) نیز برای بارهای ۵، ۶ و ۷ اتفاق می‌افتد.



شکل ۱۰: منحنی فرکانس شبکه در سناریوی دوم

جهت بررسی بیشتر عملکرد مازول کنترل‌کننده فرکانس، دو اختلال ذکر شده در این سناریو در باس‌های دیگری نیز مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته‌اند. باس‌های ۱۰۵۸ و ۱۰۷۵ برای افزایش ناگهانی

در این روش پیشنهادی، با توجه به عدم تعادل زیاد بین تولید و مصرف بعد از قطع ژنراتور شماره ۲ همان‌طور که بیان شد به مقدار ۵۰٪ تولید کل، شاهد ثبات ولتاژ و فرکانس شبکه هستیم و مازول کنترل‌کننده توانسته با دقت مورد قبولی پایداری ولتاژ و فرکانس را به همراه بیاورد. یکی از مزایای این مازول آن است که کنترل‌کننده پیشنهادی، قابلیت اطمینان را در حالت جزیره‌ای برای این شبکه توزیع افزایش داده و امکان برق‌رسانی به بارهای با اولویت زیاد را حتی در شرایط وخیم فراهم آورده است.

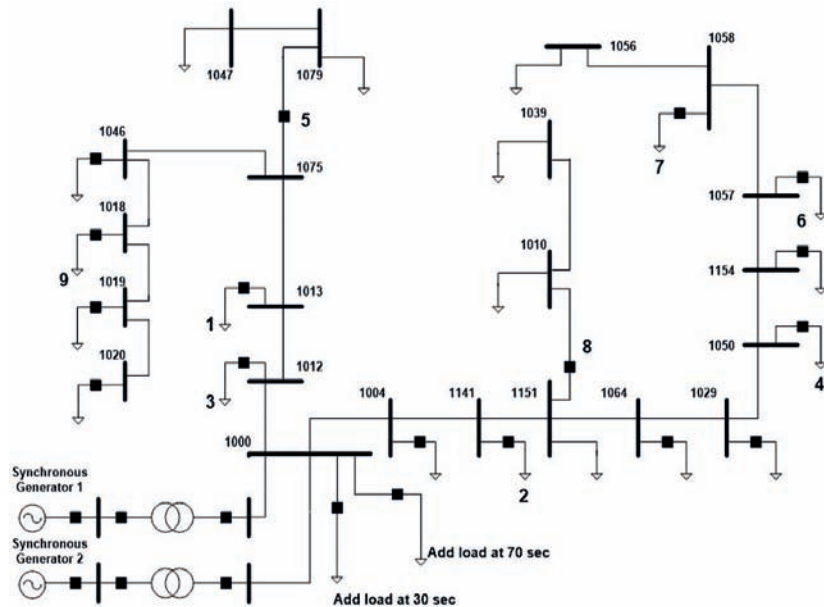
۲-۶- سناریو دوم: افزایش ناگهانی بار در ۲ مرحله متوالی

در این سناریو، افزایش ناگهانی بار در دو مرحله متوالی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. افزایش ناگهانی بار در زمان ۱۰ ثانیه و ۵۰ ثانیه به ترتیب در باس شماره ۱۰۰۰ اعمال می‌شود. پیکربندی شبکه توزیع برای این سناریوی پیشنهادی در شکل (۹) به نمایش درآمده است. مازول کنترل‌کننده فرکانس در این سناریو نیز باید بتواند مقدار عدم تعادل توان را تخمین زده و سپس نسبت به کاهش بار در شبکه اقدام نماید.

در این سناریو، نخستین افزایش بار برابر با ۰٫۳۶ مگاوات در ۱۰ ثانیه اعمال می‌شود و بار بعدی برابر با ۰٫۵۱ مگاوات در ۵۰ ثانیه به شبکه توزیع متصل می‌شود. شکل (۱۰) منحنی فرکانس شبکه را در خصوص سناریوی دوم بعد از افزایش متوالی بار در شبکه نشان می‌دهد.

ولتاژ برخی از باس‌های شبکه نیز در شکل (۱۱) به نمایش درآمده‌اند و همان‌گونه که مشاهده می‌شود، ولتاژ در محدوده قابل قبول بوده و پایداری ولتاژ را بعد از وجود اختلال در شبکه شاهد هستیم. در این سناریو نیز، ولتاژ باس‌های شبکه در بازه قابل قبول قرار گرفته است.

در این سناریو، مازول کنترل‌کننده فرکانس پیشنهادی، پس از افزایش ناگهانی نخستین بار، با توجه به افت فرکانس در شبکه، بارهای ۱، ۲، ۳ و ۴ را قطع می‌نماید. این کاهش بار در اختلال دوم (افزایش ناگهانی بار دوم) نیز برای بارهای ۵، ۶ و ۷ اتفاق می‌افتد و نکته جالب توجه در مازول پیشنهادی این می‌باشد، که این مازول در واقع تشخیص می‌دهد کدام بارها از شبکه قطع شده‌اند و آنها را برای کاهش بار انتخاب نمی‌کند. در این خصوص، مازول کنترل‌کننده



شکل ۹: پیکربندی شبکه توزیع برای سناریوی دوم

۷- نتیجه‌گیری

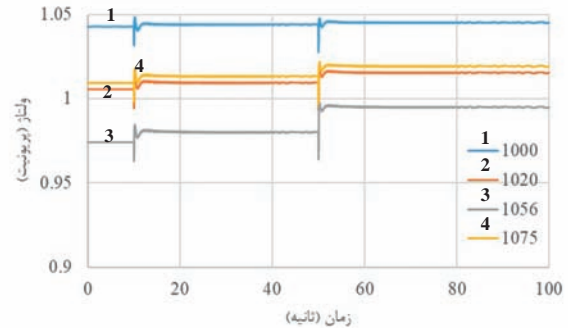
از تست‌های پیشنهادی و بررسی شده می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که، ماژول کنترل‌کننده فرکانس توانسته تا بار مطلوب را با توجه به مقدار عدم تعادل مابین توان اکتیو تولیدی و مصرفی را در یک شبکه توزیع با اینرسی پایین، در یک مرحله کاهش دهد و در این خصوص پایداری لازم را برای ولتاژ و فرکانس شبکه ایجاد نماید. این مهم در شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای که معمولاً در محدوده کوچک جغرافیایی قرار گرفته در واقع بدون وابستگی به محل افزایش بار انجام می‌پذیرد.

نکته مثبت دیگر در ماژول و طرح پیشنهادی، کاهش بارها براساس اولویت آنها است. کنترل‌کننده پیشنهادی توانسته‌است تا بارها را برترتیب از اولویت کمتر از شبکه قطع نماید و در صورتی که بارهای با اولویت کمتر از شبکه قطع باشند از بارهای با اولویت بالاتر استفاده نماید. در این راستا، بارها با توجه به اهمیت آنها دسته‌بندی می‌شوند. در واقع بارهای با اولویت بالاتر به‌عنوان گزینه‌های نهایی برای کاهش بار خواهند بود و این مسئله در خصوص کاهش بار در شبکه بسیار مهم بوده و نیازمند طراحی ویژه می‌باشد. به‌عنوان مثال، مکان‌هایی همچون بیمارستان‌ها و مکان‌های نظامی دارای اولویت بسیار بالاتری نسبت به مکان‌های مسکونی می‌باشند و برق‌رسانی به آنها در هر شرایطی باید تداوم یابد.

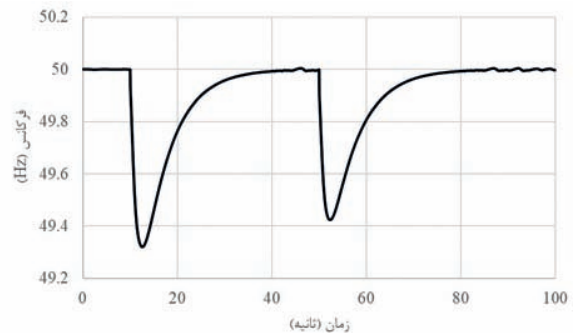
ماژول کنترل فرکانس، برای بهبود ثبات و امنیت در شبکه پیشنهاد داده شده‌است و تصمیمات خود را در خصوص کاهش بار با توجه به نرخ افزایش یا کاهش فرکانس اتخاذ می‌نماید. بنابراین از نرخ فرکانس و فرکانس شبکه در هنگام وقوع احتمالی عدم تعادل در تولید و مصرف در شبکه استفاده می‌نماید تا بتواند کاهش بار را پیش‌بینی نماید. همانطور که در نتایج مشاهده شده‌است، ماژول پیشنهادی در خصوص ایجاد پایداری فرکانس و ولتاژ در شبکه بسیار موفق عمل نموده‌است و توانسته این مهم را با استفاده از روش‌های مبتنی بر پاسخ و رخداد به انجام رساند.

در واقع کنترل‌کننده فرکانس از یک طرح تطبیقی و هوشمند برای

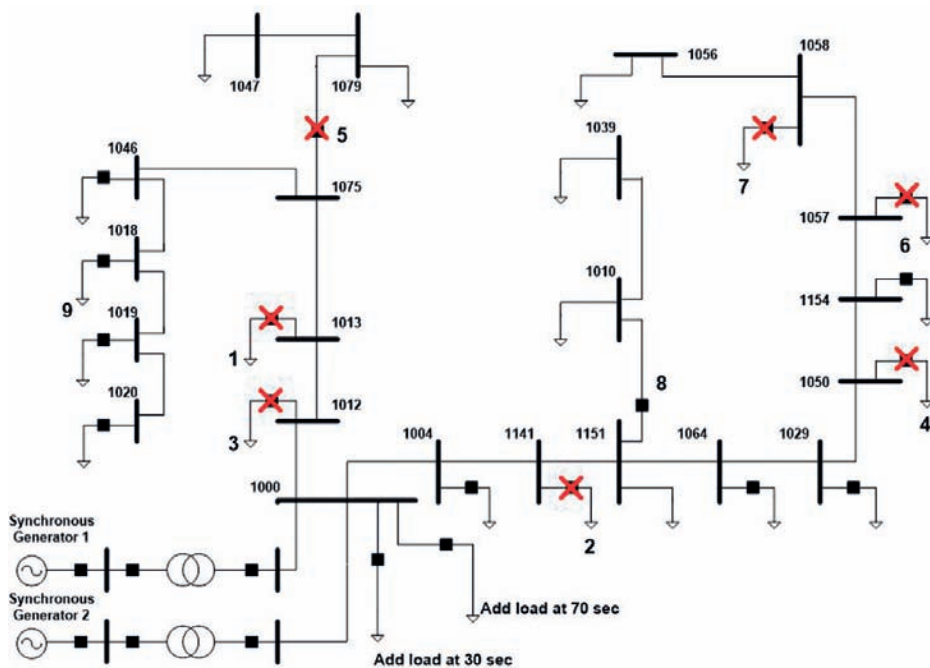
بار در دو مرحله انتخاب شده‌اند و برترتیب ۰,۳۶ و ۰,۵۱ و مگاوات بار، همانند حالت نخست به‌طور ناگهانی به شبکه متصل شده‌اند. این آزمایش در خصوص بررسی ماژول کنترل فرکانس و اینکه پاسخ آن به مکان افزایش بار وابستگی دارد یا نه در نظر گرفته شده‌است. پاسخ فرکانس شبکه در شکل (۱۳) به نمایش درآمده‌است.



شکل ۱۱: منحنی ولتاژ در سناریوی دوم



شکل ۱۳: پاسخ فرکانس برای افزایش ناگهانی بار در باس‌های متفاوت



شکل ۱۲: کاهش بار در شبکه توزیع در حالت جزیره‌ای برای سناریوی دوم

- Technology, vol. 7, no. 1-5, p. 19, 2017.
- [7] B. a. Antal and A. a. Hajdu, "An ensemble-based system for automatic screening of diabetic retinopathy," Knowledge-Based Systems, Elsevier, vol. 60, pp. 20-27, April 2014.
- [8] B. v. G. M. Niemeijer, Michael J. Cree, "Retinopathy online challenge: Automatic detection of Microaneurysms in digital color Fundus photographs," IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 29, pp. 185-195, Jan. 2010.
- [9] S. S. Rahim, C. Jayne, V. Palade, and J. Shuttleworth, "Automatic detection of microaneurysms in colour fundus images for diabetic retinopathy screening," Neural Comput. and Applications, June 2015.
- [10] L. G. L. Giancardo, F. Meriaudeau, T. P. Karnowski, Y. L. G. Kenneth W. Tobin, J. C. Edward Chaumd, "Exudate-based diabetic macular edema detection in fundus images using publicly available datasets," Medical Image Analysis, vol. 16, pp. 216-226, Jan. 2012.
- [11] N. Tajbakhsh, S. R. Gurudu, and J. Liang, "A comprehensive computer-aided polyp detection system for colonoscopy videos," in Inf. Process. in Med. Imag., New York: Springer, 2015, pp. 327-338.
- [12] R. Zhang, Y. Zheng, T. Mak, R. Yu, S. Wong, J. Lau and C. Poon, "Automatic detection and classification of colorectal polyps by transferring low-level CNN features from nonmedical domain," IEEE J. Biomed. Health Inform., vol. 21, no. 1, pp. 41-47, 2017.
- [13] N. Tajbakhsh, "Computer-aided pulmonary embolism detection using a novel vessel-aligned multi-planar image representation and convolutional neural networks," in Proc. MICCAI, 2015.
- [14] D. C. Cireşan, A. Giusti, L. M. Gambardella and J. Schmidhuber, "Mitosis detection in breast cancer histology images with deep neural networks," in Proc. MICCAI, 2013, pp. 411-418.
- [15] H. Roth et al., "A new 2.5D representation for lymph node detection using random sets of deep convolutional neural network observations," in Proc. MICCAI, P. Goll, N. Hata, C. Barillot, J. Hornegger, and R. Howe, Eds., 2014, vol. 8673, LNCS, pp. 520-527.
- [16] H. Shin, H. Roth, M. Gao, L. Lu, Z. Xu, I. Nogue, J. Yao, D. "Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning," IEEE Trans. on Med. Imag., vol. 35, no. 5, pp. 1285-1298, 2016.
- [17] Y. Zheng, D. Liu, B. Georgescu, H. Nguyen and D. Comaniciu, "3d deep learning for efficient and robust landmark detection in volumetric data," in Proc. MICCAI, 2015, pp. 565-572.
- [18] H. Roth, L. Lu, N. Lay, A. Harrison, A. Farag, A. Sohn and R. Summers, "Spatial aggregation of holistically-nested convolutional neural networks for automated pancreas localization and segmentation," Med. Image Anal., vol. 45, pp. 94-107, 2018.
- [19] D. Vo "Semantic image segmentation using fully convolutional neural networks with multi-scale images and multi-scale dilated convolutions," Multimedia Tools and appl., vol. 77, pp. 1-19, 2018.
- [20] W. Zhang et al., "Deep convolutional neural networks for multi-modality isointense infant brain image segmentation," NeuroImage, vol. 108, pp. 214-224, 2015.
- [21] D. C. Cireşan, A. Giusti, L. M. Gambardella, and J. Schmidhuber, "Deep neural networks segment neuronal membranes in electron microscopy images," in Advances in Neural Inf. Process. Syst., F. Pereira, C. Burges, L. Bottou, and K. Weinberger, Eds. Red Hook, NY: Curran, 2012, vol. 25, pp. 2843-2851.
- [22] A. Prasoon, K. Petersen, C. Igel, F. Lauze and E. Dam "Deep feature learning for knee cartilage segmentation using a triplanar convolutional neural network," in Proc. MICCAI, 2013, pp. 246-253.
- [23] J. Y. Shin, N. Tajbakhsh, R. T. Hurst, C. B. Kendall and J. Liang, "Automating carotid intima-media thickness video interpretation with convolutional neural networks," in Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., Las Vegas, NV, 2016.
- [24] D. H. Hubel and T. N. Wiesel, "Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex," J. Physiol, vol. 195, pp. 215-24, Jun. 1968.
- [25] K. Fukushima, "Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position," Biological Cybernetics, vol. 36, no. 4, pp. 193-202, 1980.
- [26] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," Conf. Neural Inf. Processing Syst. (NIPS), 2012.
- [27] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient based learning applied to document recognition," Proc. IEEE, vol. 86, pp. 2278-2324, 1998.
- [28] [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1207.0580>. Accessed: Nov. 10, 2016.
- [29] N. Tajbakhsh et al., "Convolutional neural networks for medical image analysis: fine tuning or full training?," IEEE Trans. Med. Imag., vol. 35, no. 5, pp. 1299-1312, May. 2016.
- [30] A. Krizhevsky, "Learning multiple layers of features from tiny images," in Master's Thesis. Dept. of Comp. Science, University of Toronto, 2009.
- [31] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L.-J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei, "Imagenet: A large-scale hierarchical image database," in IEEE CVPR, 2009.

کاهش بار در شبکه استفاده می‌نماید تا پایداری فرکانس شبکه را تضمین نماید. در این روش از معادله چرخش یا معادله نوسان قدرت استفاده شده‌است و سپس با استفاده از ماژول پیشنهادی یک تصمیم سریع برای جلوگیری از کاهش بیش از اندازه فرکانس در شبکه اتخاذ می‌کند. همانطور که در نتایج به آن اشاره شد، کنترل کننده فرکانس پیشنهادی، طرح کاهش بار را بدون در نظر گرفتن مکان افزایش بار محاسبه می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

- 1 Distributed Generation
- 2 Combined Heat and Power
- 3 Islanding Network
- 4 Islanding Operation
- 5 Under Frequency Load Shedding
- 6 Response Based
- 7 Rate of Change of Frequency
- 8 Event Based

مراجع

- [1] I. Dafnomilis et al., "Review of solid and liquid biofuel demand and supply in Northwest Europe towards 2030—A comparison of national and regional projections," vol. 78, pp. 31-45, 2017.
- [2] K. L. Anaya and M. G. J. E. P. Pollitt, "Integrating distributed generation: Regulation and trends in three leading countries," vol. 85, pp. 475-486, 2015.
- [3] T. Amraee, M. G. Darebaghi, A. Soroudi, and A. J. I. T. o. P. S. Keane, "Probabilistic under frequency load shedding considering RoCoF relays of distributed generators," vol. 33, no. 4, pp. 3587-3598, 2018.
- [4] P. P. Barker and R. W. De Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems. I. Radial distribution systems," in Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE, 2000, vol. 3, pp. 1645-1656: IEEE.
- [5] R. Walling and N. Miller, "Distributed generation islanding-implications on power system dynamic performance," in power engineering society summer meeting, 2002 IEEE, 2002, vol. 1, pp. 92-96: IEEE.
- [6] X. Lu, X. Yu, J. Lai, J. M. Guerrero, and H. J. I. T. o. I. Zhou, "Distributed secondary voltage and frequency control for islanded microgrids with uncertain communication links," vol. 13, no. 2, pp. 448-460, 2017.
- [7] A.-M. Borbely and J. F. Kreider, Distributed generation: the power paradigm for the new millennium. CRC press, 2001.
- [8] A. T. Elsayed, A. A. Mohamed, and O. A. J. E. P. S. R. Mohammed, "DC microgrids and distribution systems: An overview," vol. 119, pp. 407-417, 2015.
- [9] T. Basso and R. J. G.-I. DeBlasio, "IEEE smart grid series of standards IEEE 2030 (interoperability) and IEEE 1547 (interconnection) status," vol. 2030, pp. 5-8, 2011.
- [10] IEEE, IEEE recommended practice for utility interface of photovoltaic (PV) systems. IEEE, 2000.
- [11] H. M. Dola and B. H. Chowdhury, "Intentional islanding and adaptive load shedding to avoid cascading outages," in Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, 2006, p. 8 pp.: IEEE.
- [12] Y. Lu, X. Yi, J. a. Wu, and X. Lin, "An intelligent islanding technique considering load balance for distribution system with DGs," in Power Engineering Society General Meeting, 2006. IEEE, 2006, p. 5 pp.: IEEE.
- [13] P. Mahat, Z. Chen, and B. J. I. T. o. P. D. Bak-Jensen, "Underfrequency load shedding for an islanded distribution system with distributed generators," vol. 25, no. 2, pp. 911-918, 2010.
- [14] I. P. S. R. C. J. I. S. C, "IEEE Guide for the Application of Protective Relays Used for Abnormal Frequency Load Shedding and Restoration," vol. 37, 2007.
- [15] H. Saadat, Power system analysis. WCB/McGraw-Hill Singapore, 1999.
- [16] P. Kundur, "Power system stability and control. McGrawHill, London, 1994. PikeResearch. Worldwide revenue from microgrid swill reach \$17.3 billion by 2017," Technical report, PikeResearch, 2012. URL <http://www.pikeresearch.com/newsroom/worldwiderevenuefrommicrogrids-will-reach-17-3-billionby-2017>.
- [17] S. Hirodantis, H. Li, and P. Crossley, "Load shedding in a distribution network," in Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SU- PERGEN'09. International Conference on, 2009, pp. 1-6: IEEE.
