

## پایداری فرکانسی ریز شبکه در حالت متصل به شبکه و حالت جزیره ای

سوان دیلانچیان<sup>۱</sup>، سیدجعفر نظام دوست<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد-دانشکده فنی مهندسی-دانشگاه آزاد اسلامی اراک-اراک-ایران

Sevan\_dilanchian@yahoo.com

<sup>۲</sup> هیئت علمی جهاد دانشگاهی

j-nezamdost@araku.ac.ir

چکیده - در این مقاله برای پایداری فرکانس ریز شبکه در حالت متصل به شبکه و حالت جدا از شبکه (جزیره ای)، از یک کنترلر دو مرحله ای استفاده شده است. سیستم ذخیره ساز انرژی وظیفه ی کنترل فرکانس را در مرحله ی اول به عهده دارد. کنترل ثانویه نیز برای اینکه همواره حداکثر توان ذخیره ساز در دسترس باشد مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه سازی بیانگر عملکرد صحیح کنترلر و در نتیجه پایداری کامل فرکانس ریز شبکه، در شرایط مختلف کاری ریز شبکه می باشد. کلید واژه- ریز منابع، ریز شبکه ها، نیروگاه بادی، DFIG، کنترل ریز شبکه ها، دیزل ژنراتور

تعداد تولید و مصرف ریز شبکه، یکی از مهم ترین ضروریات مدیریت ریز شبکه است. در حالت اتصال به شبکه، تعادل تولید و

### ۱-مقدمه

مصرف در ریز شبکه توسط تبادل توان با شبکه اصلی به دست می آید. ولی در حالت جدا از شبکه از آنجایی که منابع مورد استفاده در ریز شبکه نظیر دیزل ژنراتورها پاسخ زمانی کندی دارند و همچنین منابع تجدید پذیر دارای تولید تناوبی می باشند در صورت قطع ریز شبکه از شبکه ی اصلی و یا تغییر بار در حالت ایزوله، قادر به تأمین سریع توان بالانس ریز شبکه نبوده، در نتیجه ولتاژ و فرکانس دچار نوسان می شوند و ممکن است ریز شبکه از دست برود [۶]. به همین دلیل در ریز شبکه ها عموماً از منبع ذخیره ساز انرژی و استراتژی قطع بار برای ادامه ی عملکرد پایدار ریز شبکه، در لحظه ی جدا شدن ریز شبکه از شبکه ی بالادست و حالت عملکرد ایزوله، استفاده می شود.

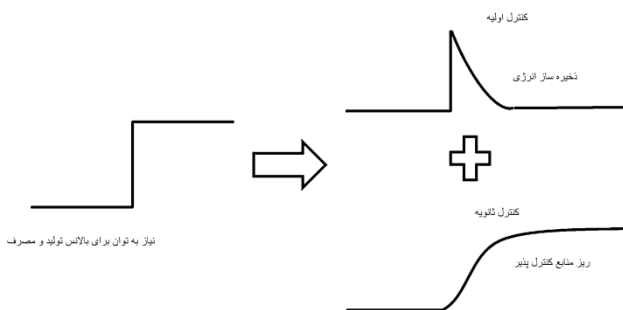
در [۷] جهت تعادل بار در لحظه ی ایجاد جزیره ای از استراتژی قطع بار بر مبنای انحراف فرکانس استفاده کرده است. در این مقاله استفاده از الگوریتم بهینه سازی استعماری جهت خروج حداقل بار ریز شبکه، طوری که انحراف فرکانس به کمتر از ۰.۱ برسد، پیشنهاد شده است. [۸] و [۹] به مطالعه یک میکروگرید

ریز شبکه از تعدادی واحد تولید پراکنده نظیر توربین بادی، سیستم فتوولتائیک، دیزل ژنراتور و پیل سوختی تشکیل می شود که قابلیت کنترل داشته و تأمین کننده ی توان الکتریکی و در صورت نیاز گرمایی می باشد [۱]. به عبارت دیگر، ریز شبکه بخشی از یک سیستم قدرت است که شامل یک یا چند واحد منبع تولید پراکنده بوده و انتظار می رود که پس از جدا شدن از سیستم بتواند در حالت بهره برداری باقی بماند. پدیده جدا شدن از شبکه که منجر به تشکیل ریز شبکه می شود می تواند ناشی از رویدادهای کلیدزنی برنامه ریزی شده و یا غیر برنامه ریزی شده باشد [۴]. از دیدگاه شبکه بالادست، ریز شبکه مجموعه ای است قابل کنترل که می تواند به عنوان بار یا منبع توان قابل کنترل عمل کند [۵]. در حالت متصل به شبکه، ریز شبکه از شبکه ی اصلی توان دریافت یا به آن تزریق می کند. اما عواملی نظیر اختلال بزرگ در شبکه اصلی، افت کیفیت توان شبکه اصلی نسبت به استانداردهای معین یا مسائل تعمیر و نگهداری، موجب جدا شدن ریز شبکه (حالت جزیره ای) از شبکه اصلی می شود.

### ۳- استراتژی کنترل سلسله مراتبی ریز شبکه

در این مقاله استراتژی کنترلی ریز شبکه سلسله مراتبی است که شامل دو مرحله می باشد. در مرحله ی اول بالانس توان به وسیله ی ذخیره ساز به صورت محلی (بدون استفاده از لینک مخابراتی، با استفاده از انحراف ولتاژ و فرکانس) محیا می شود و مرحله ی دوم، بالانس توان به وسیله ی دیزل ژنراتورها تامین می گردد. هر ریز منبع دارای یک کنترل کننده ی محلی است که با کنترل کننده ی مرکزی در ارتباط است و توان واحدهای تولید پراکنده را بر اساس اطلاعات دریافتی از کنترل کننده ی مرکزی تنظیم می کند.

در لحظه ی ایجاد جزیره و جدا شدن ریز شبکه از شبکه اصلی به دلیل پاسخ سریع ذخیره ساز در مرحله ی اول وظیفه ی کنترل فرکانس ریز شبکه بر عهده ذخیره ساز می باشد. این استراتژی کنترلی در شکل یک نمایش داده شده است.



شکل ۱: کنترل دو مرحله ای ریز شبکه

### ۳-۱ کنترل سیستم ذخیره ساز انرژی باتری به صورت

#### محلی

همان طور که شکل ۲ نشان می دهد، جریان های مرجع  $I_{d-ref}$  و  $I_{q-ref}$ ، سیستم ذخیره ساز انرژی در کنترل کننده ی شبکه به ترتیب از روی مقادیر انحراف ولتاژ و فرکانس تعیین می گردند. گذر از حالت متصل به شبکه به حالت ایزوله توسط اطلاعاتی که از کنترل کننده ی مرکزی دریافت می شود انجام خواهد شد [۶]. کنترل کننده ی مرکزی اطلاعات را از sts (static transformer)

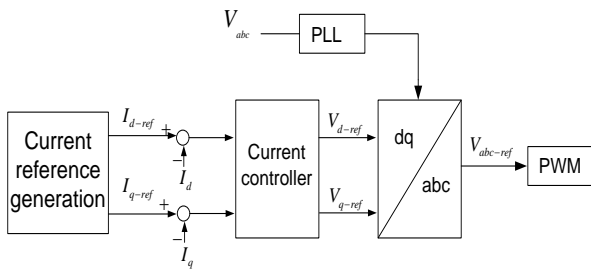
با ژنراتور سنکرون و یک منبع ذخیره انرژی پرداخته اند. روش کنترلی این ریز شبکه شبیه به شبکه های قدرت معمولی است، زیرا با تغییر تعادل تولید و مصرف، فرکانس چرخش ژنراتور سنکرون تغییر کرده و به کمک آن می توان تولید ژنراتور سنکرون را کنترل نمود. [۱۰] و [۱۱] دو استراتژی کنترل برای کاهش نوسانات توان توربین بادی با استفاده از ذخیره ساز انرژی پیشنهاد شده است. [۱۲] یک استراتژی کنترلی برای بهبود پاسخ فرکانسی ریز شبکه ارائه کرده است. مرجع [۱۳] کنترل فرکانس را با استفاده از ذخیره ساز انرژی الکترومغناطیسی انجام داده است و نشان داده است استفاده از یک ذخیره ساز انرژی الکترومغناطیسی با دو سیم پیچ می تواند پایداری ریز شبکه را بهبود دهد. در [۱۴] از ذخیره ساز انرژی گرمایی برای بهبود پایداری ریز شبکه در حالت ایزوله استفاده شده است. شبکه ی مورد مطالعه در این مرجع شامل یک دیزل ژنراتور و یک واحد بادی و سیستم فتوولتائیک می باشد. در این مطالعه، با طراحی یک سیستم کنترلی برای ذخیره ساز گرمایی، پایداری ریز شبکه در حالت ایزوله بهبود یافته است.

### ۲- روش های کنترل ریز شبکه

عملکرد مناسب یک ریز شبکه تنها در صورت وجود یک سیستم کنترل مناسب امکان پذیر است. برای کنترل ریز شبکه بطور کلی دو روش متمرکز و غیرمتمرکز پیشنهاد شده است. در روش اول ریز شبکه دارای یک سیستم کنترل مرکزی است، که اطلاعات منابع تولید پراکنده به کنترل مرکزی فرستاده شده و در آنجا برای وضعیت ریز شبکه تصمیم گیری می شود [۳-۲].

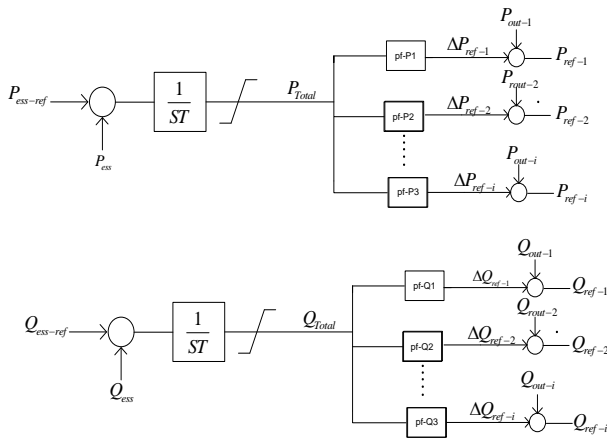
در کنترل غیرمتمرکز، هر منبع انرژی پراکنده (تولید یا ذخیره) با استفاده از سیگنال های اندازه گیری شده محلی، به صورت مستقل از سایر منابع عمل می کند. عدم نیاز به لینک مخابراتی و عدم وجود منبعی به عنوان مرجع نیز باعث افزایش قابلیت اعتماد سیستم می گردد [۳-۲]. همچنین کنترل سلسله مراتبی ترکیبی از کنترل متمرکز و نامتمرکز می باشد.

۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



شکل ۴ کنترل کننده ی جریان باتری

### ۲-۳ کنترل ثانویه

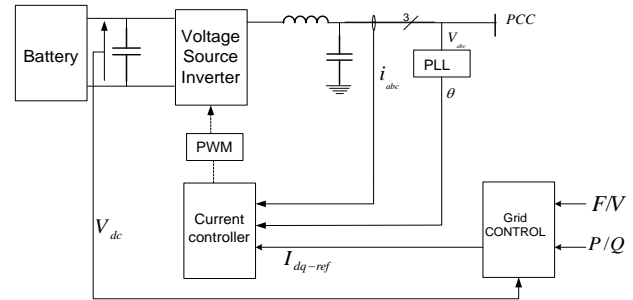


شکل ۵ کنترل ثانویه ی ریزشبه

به منظور استفاده از حداکثر ظرفیت باتری کنترل کننده ی مرکزی باید توان خروجی باتری را به صفر برساند. این کنترل-کننده اطلاعات را از ریزشبه به وسیله ی لینک مخابراتی دریافت می کند و با محاسبه توان خروجی برای هر یک از واحدهای تولید پراکنده، با استفاده از لینک مخابراتی، اطلاعات را به کنترل کننده محلی مخابره و در نتیجه توان خروجی هر یک از منابع در مقدار مورد نظر تنظیم می گردد.

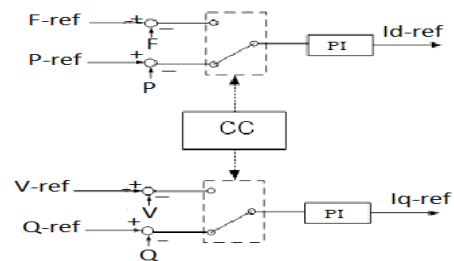
برای اینکه همواره حداکثر توان ذخیره ساز در دسترس باشد پس از تأمین توان مورد نیاز توسط باتری باید خروجی آن به صفر برسد. بنابراین کنترل کننده با مقایسه ی مقادیر مرجع با واقعی باتری مقدار خطا را بدست می آورد. تغییر توان در هر یک از منابع تولید پراکنده با روابط ۱ به دست می آید. که در این روابط تغییرات توان خروجی در واحد تولید پراکنده  $i$ ،  $P_{f-P_i}$  و  $P_{f-Q_i}$  به ترتیب ضریب مشارکت توان

(switch) دریافت کرده از طریق یک لینک مخابراتی به سیستم ذخیره انرژی مخابره می کند.



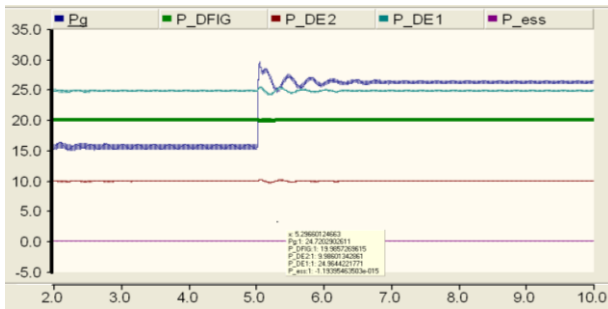
شکل ۲ ساختار سیستم ذخیره ساز انرژی

کنترل کننده جریان باتری در شکل ۳ نشان داده شده است. ابتدا جریان های مرجع  $I_{d-ref}$  و  $I_{q-ref}$  مشخص می شوند. تبدیل d-q برای کنترل توان اکتیو و راکتیو، به طور مستقل از همدیگر، استفاده می شود. ولتاژهای  $V_{d-ref}$  و  $V_{q-ref}$  بر اساس اختلاف جریان های اندازه گیری شده در دستگاه d-q با مقادیر مرجع آنها تولید می گردد. سپس ولتاژهای  $V_{d-ref}$  و  $V_{q-ref}$  با تبدیل معکوس d-q به ولتاژهای مرجع سه فاز  $V_{a-ref}$  و  $V_{b-ref}$  و  $V_{c-ref}$  تبدیل می شوند. هنگامی که ولتاژهای  $V_{a-ref}$  و  $V_{b-ref}$  و  $V_{c-ref}$  تولید شدند تکنیک مدولاسیون پهنای باند، به دلیل سادگی و عملکرد مطلوب آن، به کار گرفته می شود در بلوک PWM ولتاژهای  $V_{a-ref}$  و  $V_{b-ref}$  و  $V_{c-ref}$  با یک موج مثلثی مقایسه و پالس کلید زنی به IGBTs اعمال می گردد.

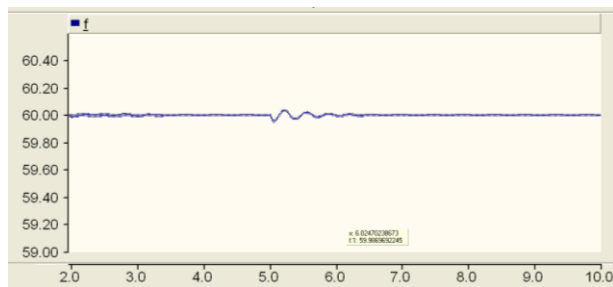


شکل ۳ تولید جریان مرجع سیستم ذخیره ساز انرژی باتری به وسیله ی کنترل کننده ی شبکه

**سناریو اول:** عملکرد ریز شبکه در حالت متصل به شبکه در این سناریو ریز شبکه به شبکه اصلی متصل بوده و در ثانیه ۵ توان اکتیو کل بارها از ۷۰ kW به ۸۵ kW افزایش می یابد. وظیفه ی بالانس توان و در نتیجه کنترل ولتاژ و فرکانس در حالت متصل به شبکه به عهده شبکه اصلی می باشد. در این حالت ESS آماده به کار نگه داشته می شود، و توانی به مدار تزریق نمی کند. شبکه بالادست با تامین توان مورد نیاز از انحراف ولتاژ و فرکانس جلوگیری می کند. شکل های ۶ و ۷ به ترتیب نمودار توان ریز منابع و فرکانس را در این حالت نشان می دهد.



شکل ۶: توان اکتیو منابع ریز شبکه و ذخیره ساز در سناریو اول



شکل ۷: فرکانس ریز شبکه در سناریو اول

**سناریو دوم: عملکرد مستقل ریز شبکه با ذخیره ساز بدون کنترل ثانویه:** در این سناریو در ثانیه ۶ ریز شبکه از شبکه بالا دست جدا می شود. و در ثانیه ی ۱۳ یک بار ۱۰ kW به ریز شبکه اضافه می گردد. قبل از ایجاد جزیره، همانطور که شکل ۸ نشان می دهد، شبکه ی بالادست مقدار ۱۵ kW به ریز شبکه تزریق کرده، و با ایجاد حالت جزیره ای و قطع از شبکه ی بالادست این مقدار همان مقدار توانی است که ذخیره ساز

اکتیو و راکتیو در واحد تولید پراکنده  $i$  می باشد.  $P_{total-commandi}$  و  $Q_{total-commandi}$  کل توان تولیدی مورد نیاز می باشد. توان نهایی منبع تولید پراکنده ی  $i$  از جمع اختلاف توان تولید شده و مقدار خروجی آن بدست می آید. بلوک دیگرام کنترل ثانویه در شکل ۵ نشان داده شده است.

$$\Delta p_{ref-i} = Pf - p_i \cdot P_{total-commandi} \quad (1)$$

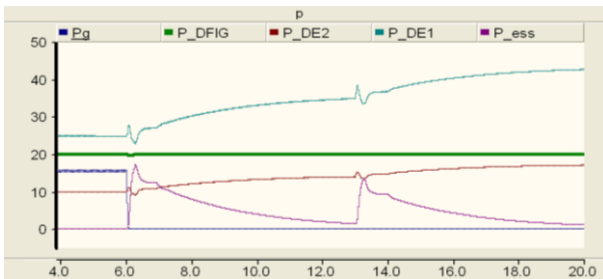
$$\Delta Q_{ref-i} = Pf - Q_i \cdot Q_{total-commandi}$$

#### ۴- شبیه سازی ریز شبکه

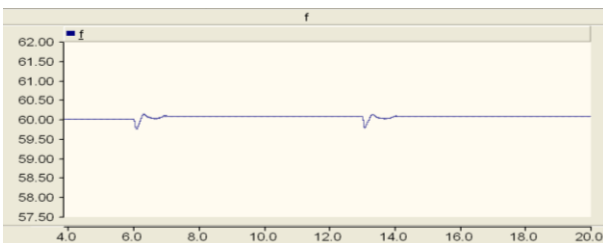
ساختار سیستم مورد مطالعه را نشان می دهد. ریز شبکه فشار ضعیف ۳۸۰ ولت از طریق یک ترانس ۱۰۰ کیلو ولت آمپر به شبکه ۲۲،۹ کیلو ولت متصل شده است. سیستم شامل توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی دو سو تغذیه، دو دیزل ژنراتور، سیستم ذخیره ساز انرژی باتری و سه بار می باشد. استراتژی کنترلی ریز شبکه، چند مرحله ای بوده، در مرحله ای اول به وسیله ی سیستم ذخیره ساز انرژی و در مرحله ی بعد به وسیله ی دیزل ژنراتور ها انجام می شود. همچنین فرض می شود ژنراتور القایی دو سو تغذیه مجهز به سیستم استخراج حداکثر توان ماگزیمم می باشد.

شبیه سازی با استفاده از نرم افزار PSCAD/EMTDC انجام شده است. برای تست سیستم مورد مطالعه چندین سناریو از جمله جداسازی از شبکه همراه تغییر بار در حالت ایزوله از شبکه طراحی شده است که نتایج آن درستی عملکرد کنترل کننده را تایید می کند. در سناریو ها کل بار ریز شبکه ۷۰ kW و کل بار راکتیو ریز شبکه ۱۷kVAR فرض می گردد. مقدار توان خروجی راکتیو ژنراتور القایی دو سو تغذیه برابر با صفر در نظر گرفته می شود، چرا که ظرفیت مبدل واسط محدود است (۲۵ تا ۳۰ درصد از توان نامی ژنراتور) و در درجه ی نخست باید از این ظرفیت محدود جهت فراهم آوری توان حقیقی برای شبکه از سمت روتور بهره برداری شود.

۷۰ kW به ۸۰ kW افزایش می یابد. با این تفاوت که سیستم ذخیره ساز پس از بالانس ۱۵ kW افزایش بار ناشی از ایجاد حالت جزیره ای، به تدریج با کنترل ثانویه توان خروجی اش را به صفر می رساند. و در ثانیه ۱۳ می تواند افزایش بار ۱۰ kW را جبران نماید. شکل های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب توان اکتیو خروجی منابع تولید پراکنده و سیستم ذخیره ساز انرژی و فرکانس ریز شبکه را در این حالت نمایش می دهد. مطابق این اشکال سیستم کنترل ثانویه با بالانس توان، فرکانس ریز شبکه را تنظیم می کند.



شکل ۱۰: توان اکتیو منابع ریز شبکه و ذخیره ساز در سناریو ی سوم



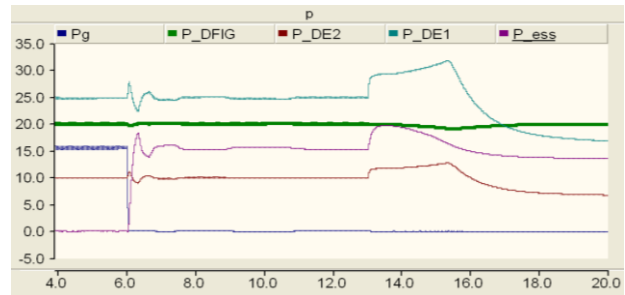
شکل ۱۱: فرکانس ریز شبکه در سناریوی سوم

### ۵- نتیجه گیری:

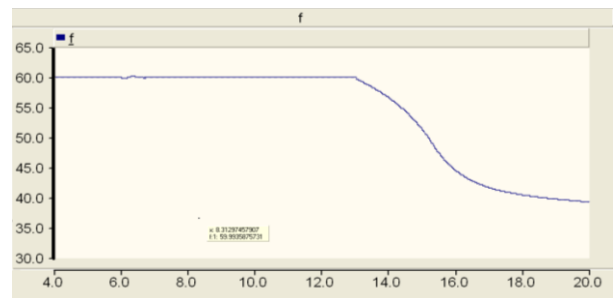
در این مقاله یک استراتژی کنترلی دو مرحله ای برای عملکرد مقاوم ریز شبکه در برابر از دست رفتن شبکه بالا دست یا تغییرات بار بررسی شد. با توجه به پاسخ کند دیزل ژنراتورها و متغیر بودن سیستم فتوولتائیک، از ذخیره ساز انرژی به دلیل بالا بودن سرعت پاسخگویی استفاده شده است.

استراتژی کنترلی به گونه ای طراحی شده که در مرحله اول سیستم ذخیره ساز بالانس بین بار و توان را برقرار کرده و از انحراف فرکانس جلوگیری می کند. سپس به تدریج با افزایش

انرژی باید برای بالانس ریز شبکه، تزریق کند. ذخیره ساز انرژی با استفاده از انحراف فرکانس و ولتاژ، توان مورد نیاز برای بالانس را به ریز شبکه تزریق می کند. در نتیجه فرکانس در زمان ایجاد حالت جزیره از مقدار مجاز همانطور که شکل نشان می دهد، انحراف پیدا نمی کند. اما با افزایش بار ۱۰ kW در ثانیه ی ۱۳، با توجه به این که میزان ظرفیت ذخیره ساز ۲۰ kW است، و قبل از افزایش بار، مقدار توان تزریقی آن به ریز شبکه ۱۵ kW می باشد، فقط قادر است ۵ kW از توان اضافه را شده را تامین کند. در نتیجه دیزل ژنراتورها مقدار توان الکتریکی خروجی خود را به طور لحظه ای افزایش می دهند، در صورتی که مقدار توان مکانیکی آنها تغییری نکرده است، حاصل این عدم برابری توان مکانیکی و الکتریکی دیزل ژنراتورها این است که فرکانس ریز شبکه مطابق شکل ۹ از دست می رود. این سناریو ضرورت وجود کنترل ثانویه برای عملکرد ریز شبکه در حالت جزیره ای را تایید می کند.



شکل ۸: توان اکتیو منابع ریز شبکه و ذخیره ساز در سناریو دوم



شکل ۹: از دست رفتن فرکانس ریز شبکه سناریو دوم

### سناریو سوم : عملکرد مستقل ریز شبکه با وجود ذخیره ساز و کنترل ثانویه

در این سناریو مشابه سناریو قبل در ثانیه ۶ ریز شبکه از شبکه بالا دست جدا شده و سپس در ثانیه ۱۳ توان اکتیو کل بارها از

[14] sumiti lanmichance "improvement stability microgrids by employing storage" master thesis, luisiana tech university, august 2012.

توان خروجی منابع کنترل پذیر، توان خروجی ذخیره ساز کاهش می یابد تا حداکثر ظرفیت ذخیره ساز همواره در دسترس باشد (کنترل ثانویه). نتایج به دست آمده حاصل از شبیه سازی، بیانگر عملکرد صحیح کنترلر و کنترل کامل فرکانس ریز شبکه می باشد.

#### منابع:

- [1] J. A. P. Lopes, C. L. Moreira, and A. G. Madureira, "Defining control strategies for microgrids islanded operation," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 916–924, May.
- [2] R. Lasseter *et al.* White Paper on Integration of Distributed Energy Resources—The CERTS MicroGrid Concept. [Online]. Available: [http://certs.lbl.gov/pdf/LBNL\\_50\\_829.pdf](http://certs.lbl.gov/pdf/LBNL_50_829.pdf).
- [3] N. Hatzargyriou, H. Asano, R. Iravani, and C. Marnay, "Microgrids," *IEEE Power Energy*, vol. 5, no. 4, pp. 78–94, Jul./Aug. 2007.
- [4] R.H, "Micro Grid", Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE, Vol.1, pp.305-308, Jan. 2002.
- [5] A.Tsikalakis and N. Hatzargyriou, "Centralized control for optimizing microgrids operation," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 1, pp. 241–248, Mar. 2008.
- [6] J-Y. Kim, J-H. Jeon, S-K Kim, C. Cho, J. H. Park, H-M Kim, and K-Y Nam, "Cooperative Control Strategy of Energy Storage System and Microsources for Stabilizing the Microgrid during Islanded Operation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 12, pp. 3037-3048, Dec. 2010.
- [7] M. Kohansal, M. J. Sanjari, G. B. Gharehpetian, "A novel approach to frequency control in an islanded microgrid by load shedding scheduling", *IEEE Power tech Conference 2011*.
- [8] D. J. Lee and L. Wang, "Small-Signal Stability Analysis of an Autonomous Hybrid Renewable Energy Power Generation/Energy Storage System Part I: Time-Domain Simulations", *IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION*, VOL. 23, NO. 1, MARCH 2008.
- [9] T. Senjyu, T. Nakaji, K. Uezato, and T. Funabashi, "A hybrid power system using alternative energy facilities in isolated island," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 20, no. 2, pp. 406–414, Jun. 2005.
- [10] C. Abbey and G. Joos, "Supercapacitor energy storage for wind energy applications," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 43, no. 3, pp. 769–776, May/June. 2007.
- [11] S. Teleke, M. E. Baran, A. Q. Huang, S. Bhattacharya, and L. Anderson, "Control strategies for battery energy storage for wind farm dispatching," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 24, no. 3, pp. 725–732, Sep. 2009.
- [12] Ioan Serban and Corneliu Marinescu, "Enhanced Control Strategy of Three-Phase Battery Energy Storage Systems for Frequency Support in Microgrids and with Uninterrupted Supply of Local Loads", 2013 IEEE.
- [13] A-Rong Kim, Gyeong-Hun Kim, Serim Heo, "SMES application for frequency control during islanded microgrid operation", 2012 Elsevier.