



طراحی و شبیه‌سازی سیستم ریز شبکه DC با استفاده از ذخیره‌ساز باتری و ابرخازن مبتنی بر کنترل کننده DLC

سیده یسرا غالبی^{۱*}، سید عباس طاهر^۲

۱- کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی علامه فیض کاشانی، دانشکده برق و الکترونیک، کاشان

۲- استاد، دانشگاه کاشان، دانشکده فنی و مهندسی، کاشان

* yosraghalebi@yahoo.com

ارسال: اسفند ماه ۹۸ پذیرش: فروردین ماه ۹۹

چکیده

امروزه در سیستم‌های قدرت، ریز شبکه‌ها به عنوان عامل کنترل کننده در منابع تجدید پذیر مورد توجه قرار گرفته‌اند؛ زیرا که قابلیت اطمینان، در کنار کیفیت شبکه مناسبی از خود نشان داده‌اند. این ریز شبکه‌ها با توجه به نوع پیکربندی جزیره‌ای خود از مجموعه‌ای از بارها، منابع تولید پراکنده و سیستم ذخیره کننده انرژی تشکیل شده‌اند که قادر به اتصال شبکه و حالت جزیره‌ای را از خود بروز می‌دهند. به توجه به اهمیت این موضوع در این مقاله به طراحی و شبیه‌سازی یک سیستم ریز شبکه DC با استفاده از منابع تجدید پذیر فتوولتائیک پرداخته شده است. در این مقاله نوع ریز شبکه در حالت اتصال به شبکه مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از SIMULINK/ MATLAB مورد آنالیز قرار گرفته است. روش کنترلی در این طراحی از نوع کنترلر دو حلقوی همچنین در دو حالت ذخیره کننده با وجود باتری و ابرخازن مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم مورد نظر حاکی از آن است که کنترلر پیشنهادی قادر است با بهره گیری از حداکثر توان فتوولتائیک شرایط بهره برداری مختلف ریز شبکه را فراهم آورده و انتقال یکنواخت بین اتصالات شبکه را فراهم نماید. همچنین سطح ولتاژ باس DC به عنوان لینک ارتباطی بین منابع و ذخیره سازها به خوبی کنترل گردد.

کلمات کلیدی: انرژی تجدید پذیر، ریز شبکه، فتوولتائیک، باتری، ابرخازن، کنترلر.

۱- مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت تکنولوژی و نیاز روز افزون جامعه و صنعت در سراسر جهان، سیستم‌های قدرت متداول با کاهش تدریجی منابع سوخت‌های فسیلی، بازده انرژی پایین و آلودگی‌های زیست محیطی مواجه هستند [۱، ۲]. همچنین افزایش نیاز به استفاده از منابع انرژی نو به عنوان تولید کننده، کهنه شدن شبکه‌های انتقال و توزیع، سرمایه گذاری کلان برای توسعه و نو کردن شبکه و نیاز به انرژی برق با کیفیت و قابلیت انعطاف پذیری بالا، دنیای امروز را به سوی روش های نوین تامین انرژی برق پیش می‌برد [۱، ۳]. یکی از گزینه‌های مناسب جهت تامین انرژی برق، منابع تولید پراکنده^۱ می باشند [۴]. حضور منابع انرژی نو^۲

¹ Distributed Generation (DG)

² Renewable Energy Sources (RES)

شبکه های توزیع گذشته را که حالت پسیو داشتند، به شبکه های اکتیو تبدیل کرده است. شبکه توزیع اکتیو نیز منجر به مفهوم جدیدی به نام ریزشبکه^۱ شده است. با توجه به حضور منابع تولید پراکنده ماهیت ریزشبکه ها تا حد زیادی با شبکه های قدیمی متفاوت خواهد بود، بنابراین مسائل فنی و کنترلی آن ها باید متفاوت باشد [۵، ۶]. این تفاوت می تواند پایه بسیاری از تحقیقات در این زمینه شود، چون ماهیت ریزشبکه ها طوری است که قابلیت استقلال از شبکه بالا دست را خواهند داشت [۷]. البته تنها دلیل بکارگیری تولید پراکنده در شبکه های قدرت خاموشی نیست. منابع تولید پراکنده عموماً منابع غنی، ارزان، در دسترس و تجدیدپذیر هستند که بکارگیری آن می تواند هزینه های تولید انرژی الکتریکی را به طور چشمگیری کاهش دهد [۸، ۹]. همین موضوع باعث گرایش روزافزون صنایع و جوامع امروزی به سمت و سوی استفاده از انرژی های تجدیدپذیر به عنوان جایگزینی مناسب برای سیستم های تولید انرژی متمرکز گردیده است. به همین علت استفاده از منابع تجدیدپذیر باعث افزایش روزافزون تولید انرژی بصورت تولیدات پراکنده گردیده است که افزایش ضریب نفوذ این منابع انرژی طی سال های اخیر نوید بخش مسیری سبز در زمینه تامین انرژی خواهد بود. همچنین در سال های اخیر پیشرفت فناوری های تولید برق از منابع تجدیدپذیر، پیشرفت در تجهیزات سیستم های مدیریت هوشمند و همچنین روند تجدید ساختار و ایجاد بازارهای رقابتی در صنعت برق همگی به رشد و توسعه تولیدات پراکنده شتاب بخشیده اند [۱۰]، که با ایجاد مفهوم جدیدی به نام ریزشبکه که شامل تعدادی واحد تولید پراکنده و بار است، بحث کنترل ولتاژ و فرکانس شبکه و واحدهای تولید پراکنده اهمیت پیدا کرده است. این مسئله در حالت عملکرد جزیره ای که فاقد ولتاژ و فرکانس مرجع از شبکه توزیع است، دشوارتر می شود. همزمان واحدهای تولید پراکنده که بر پایه ادوات الکترونیک قدرت هستند دارای رشد سریع می باشند. به این ترتیب با کنترل این شبکه های مبتنی بر مبدل های الکترونیک قدرت می توان بازده، قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری شبکه را افزایش داد [۱۱، ۱۲].

همانطور که اشاره گردید استفاده از انرژی های تجدیدپذیر با توجه به مزایای آن و وجود مشکلات حاصل از استفاده از منابع انرژی سنتی از عوامل اصلی در توسعه انرژی های تجدید پذیر می باشند [۱]. در این بین انرژی خورشیدی به دلیل مزایایی همچون ساختار ساده، نصب راحت و هزینه نگهداری پایین یکی از مهمترین منابع تجدیدپذیر محسوب می شود [۱۳، ۱۴]. در مقابل عیب اصلی سیستم های فتوولتائیک خاصیت تناوبی خورشید، عدم راندمان کافی سیستم های تولید انرژی خورشیدی و نیاز به منابع ذخیره کننده انرژی می باشد. به همین دلیل به منظور دستیابی به یک منبع تولید انرژی ثابت و قابل اطمینان نیازمند ارائه راهکاری برای حل این موضوع است [۴، ۷]. بنابراین روش های مختلفی برای طراحی بهینه و کمینه سازی هزینه های حاصل از این سیستم های انرژی ارائه گردیده است [۷].

در همین راستا در این مقاله به طراحی کنترل یکپارچه ی توزیع توان فتوولتائیک به همراه سیستم های ذخیره ساز انرژی در یک ریزشبکه که شامل بارها و تغییرات تابش خورشیدی متغیر است، اقدام گردیده است. در این بین به منظور حفظ ارتباطات شبکه و حالت جزیره ای نیازمند نگهداری و حفظ ولتاژ تولید پراکنده ثابت و تشخیص آن با توجه به مدهای عملی خواهد بود که عمده تحقیقات صورت گرفته در این راستا همواره از کنترل PCM در کنترل باتری و همچنین در کنترل دیوتی سایکل مبدل واسط PV به ریزشبکه استفاده می گردد که در این مقاله در روشی نوین از روش کنترل دو حلقوی^۲ که استفاده از دو حلقه کنترلی PI برای کنترل باتری و کنترل چرخه کار مبدل واسط PV خواهد بود استفاده گردیده است و نتایج حاصل از این کار توسط نرم افزار SIMULINK/ MATLAB مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است. از مزیت های این روش می توان به کاهش خطای ماندگار اشاره نمود. همچنین به منظور بهبود عملکرد سیستم از ابرخازن^۳ به عنوان سیستم ذخیره کننده مورد استفاده قرار گرفته است، زیرا که بهره گیری از آن باعث افزایش سرعت عملکرد سیستم و میزان بهره وری کل شبکه خواهد شد.

¹ Microgrid

² Dual Loop Controller (DLC)

³ Super Capacitor (SC)

۲- ادبیات و پیشینه پژوهش

الکترونیک قدرت به عنوان رابط کارآمد در توزیع قدرت سیستم های تولید به شمار می رود. سیستم های قدرت سنتی در حال تغییر در سطح جهان می باشند و تعداد زیادی از واحدهای DG، که شامل هر دو منابع انرژی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر مانند توربین های بادی، ژنراتورها و سلول های سوختی، در حال یکپارچه سازی سطح توزیع در سیستم های قدرت می باشند. طبق مطالعات انجام شده در سال ۲۰۰۴ به این نتیجه رسیده شد که، مبدل های الکترونیک قدرت نقش مهمی را در یکپارچه سازی ایجاد می کنند. در این تحقیق تحولاتی از الکترونیک قدرت مدرن مطرح شد. روشن است برنامه های کاربرد الکترونیک قدرت در واحدهای تولید پراکنده، سیستم های توربین باد و مزارع بادی دور از ساحل، سلول های سوختی و ژنراتور مورد مطالعه، تکنولوژی الکترونیک قدرت را برای تولید پراکنده برق قادر می سازد [۱۵]. در سال ۲۰۰۵ و در تحقیقی مستقل به بررسی حوادث کلیدزنی مدون و حوادث خطا که منجر به جزیره شدن یک زیر سیستم توزیع و تشکیل یک ریزشکه می شود، پرداخته شده است. مطالعات انجام شده بر اساس یک رویکرد کامپیوتر دیجیتال با استفاده از نرم افزار PSCAD/EMTDC بوده است. مطالعات نشان می دهد که یک استراتژی کنترل مناسب برای رابط الکترونیک قدرت واحد تولید پراکنده می تواند اطمینان ثبات ریزشکه و حفظ کیفیت ولتاژ در گذرگاه تعیین شده حتی در شرایط گذرای جزیره ای را فراهم کند [۱۶]. در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۰۷، در رابطه با سیستم توزیع DC ولتاژ پایین برای تغذیه بارهای الکترونیکی توضیحاتی آورده شد. به طور مثال در محیط اداره، طرح کلی و قطعات سیستم توصیف شده است. همچنین در مورد کنترل رابط الکترونیک قدرت بین شبکه AC و سیستم DC به طور خلاصه بحث شده است. نتایج تجربی ارائه شده نشان می دهد، که شبکه DC ممکن است به خوبی برای تامین بارهای الکتریکی در مقایسه با AC مورد استفاده قرار گیرد [۱۷].

در سال ۲۰۱۱ به ارزیابی ریزشکه ها و تکنیک های مربوط به کنترل اینورتر و حالت جزیره ای برنامه ریزی نشده، پرداخته شده است. هدف اصلی در این تحقیق بررسی سیستم های ریزشکه متمرکز در دو ویژگی مهم است که عبارتند از: راه حل اروپایی با استفاده از یک کنترلر مرکزی ریزشکه است و بعدی، استفاده از کنترلر غیر مرکزی در ریزشکه های ارائه شده در آمریکا است [۱۸]. در کاری دیگر در سال ۲۰۱۱ استراتژی های کنترل برای عملیات جزیره شدن ریزشکه ها بیان شده است. این تحقیق، ارزیابی و توصیف امکان استراتژی-های کنترل برای عملکرد ریزشکه وقتی که به صورت جداگانه می باشد، را به تصویب رساند [۱۹].

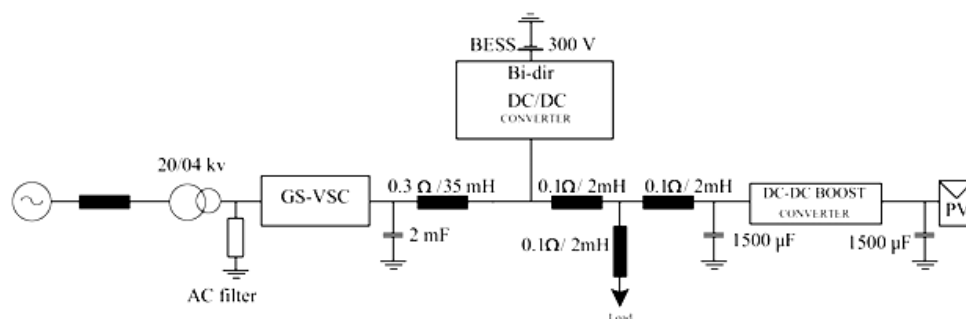
در سال ۲۰۱۲ بر روی استراتژی کنترل برای توزیع یکپارچه فتوولتائیک و سیستم های ذخیره انرژی در ریزشکه DC که شامل بارهای متغیر و تابش خورشیدی است مطالعاتی انجام شد، که در آن نیازمندی ولتاژ DC ثابت با در نظر گرفتن مدهای عملکردی متفاوت در حالت های جزیره ای و اتصال شبکه مقرر شد. کنترل پیشنهادی قادر است، استفاده از حداکثر توان PV در طول شرایط بهره بردای متفاوت از ریزشکه را ارائه کند و همچنین انتقال یکنواخت بین اتصال شبکه و مد جزیره ای بررسی گردید [۲۰]. در سال ۲۰۱۱ نیز کنترل قدرت ریزشکه DC با استفاده از DBS مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله پیکربندی ریزشکه DC براساس سیستم تولید فتوولتائیک مدولار توسعه داده شده است و طرح مدیریت قدرت برای ریزشکه DC ارائه شده است، که در آن سطح ولتاژ باس DC به عنوان حامل اطلاعات به نمایندگی از حالت های مختلف عملیات به کار برده شده و روش های کنترل برای مبدل های فتوولتائیک مدولار، مبدل باتری و مبدل DC/AC شبکه متصل به ترتیب توسعه یافته است. تعادل قدرت ریزشکه DC در شرایط شدید (حالت جزیره با باتری کاملاً شارژ شده) با استفاده از روش کنترل پیشنهاد شده برای تضمین مبدل مدولار است. امکان عملی و اثربخشی استراتژی های کنترل پیشنهاد شده، توسط آزمایش ها تایید شده است. در سال ۲۰۱۴ امکانات و مزیت های استفاده از یک سیستم کنترل DC به منظور افزایش بهره وری از یک ریزشکه DC مورد بررسی قرار گرفته است. در این مقاله استراتژی کنترل سلسله مراتبی برای اعمال به ریزشکه DC پیشنهاد شد و شبکه مورد آزمایش قرار گرفت. در این تحقیق، به مطالعه موردی یک ریزشکه ی موجود در موسسه فناوری ایلینوی که به عنوان یک

ریزشبکه DC تغذیه می شود، پرداخته شده و نتایج برای هر مورد با مقایسه با مدل AC ارائه شده است. در این ریزشبکه از روش تقسیم توان استفاده می شود. در این روش نیاز به ایجاد ارتباط و لوازم ارتباطی بین منابع تولید پراکنده می باشد، که در این روش تقسیم جریان به شیوه ی مناسبی صورت می گیرد و نوسانات ولتاژ خروجی نیز پایین است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد، که استراتژی کنترل پیشنهادی برای ریزشبکه DC در مقایسه با ریزشبکه AC، باعث بهره برداری بهتر از منابع انرژی پراکنده می شود و همچنین یک راه موثر برای حصول اطمینان از پاسخ ریزشبکه ی DC در موارد اضطراری و عملیات بهره وری در حالت پایدار را فراهم می کند [۲۱].

۳- مدل سازی و بررسی سیستم پیشنهادی

۳-۱- معرفی سیستم

سیستم پیشنهادی در این مقاله، از دو بخش ریزشبکه DC و AC تشکیل شده است که در شکل ۱ نمایش داده شده است. ریزشبکه شامل PV، سیستم ذخیره کننده انرژی باتری، مبدل های واسط، اینورتر GS-VSC و بار می باشد. در ادامه به بررسی نتایج شبیه سازی انجام گرفته در محیط SIMULINK/ MATLAB پرداخته می شود.



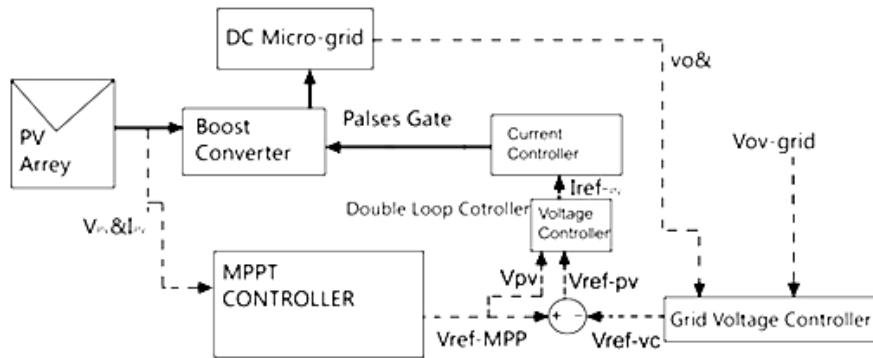
شکل ۱- شمای کلی ریزشبکه DC به همراه PV و باتری

۳-۲- ارائه کنترلر دو حلقوی در سیستم

به منظور کنترل الگوریتم PV در قسمت کنترل PCM از کنترلر PI استفاده شده است. بکارگیری دو حلقه کنترل PI در شکل ۲ نمایش داده شده است. به منظور بررسی، کنترل و ردیابی خطوط نقاط قدرت ۱ آرایه های سیستم PV از روش انحراف و مشاهده ۲ استفاده شده است. در این روش، با توجه به افزایش یا کاهش جریان ترمینال و ولتاژ آرایه خورشیدی در فواصل زمانی معین و سپس مقایسه توان خروجی کنونی PV با توان خروجی نمونه گیری شده قبلی، اقدام به ردیابی نقطه توان حداکثر می نماید. مطابق شکل ۲، در یک بخش از کنترل کننده الگوریتم MPPT، یک مقدار رفرنسی برای ولتاژ PV تعیین گردیده و در بخش دیگر در صورتی که ولتاژ شبکه از حد مشخصی بالاتر رود، PV از حالت حداکثر توان خارج می شود و مقدار ولتاژ رفرنس آن افزایش می یابد. از مقایسه ولتاژ رفرنس PV و ولتاژ واقعی، مقدار جریان مورد نیاز محاسبه شده و در حلقه بعدی، توسط یک کنترلر PI که ضریب P نسبتا بالایی دارد، مقدار چرخه کار تعیین می شود و بعد از تعیین چرخه کار و اعمال آن به PWM پالس مورد نظر به مبدل واسط باک-بوست اعمال می شود.

¹ Maximum Power Point Tracking (MPPT)

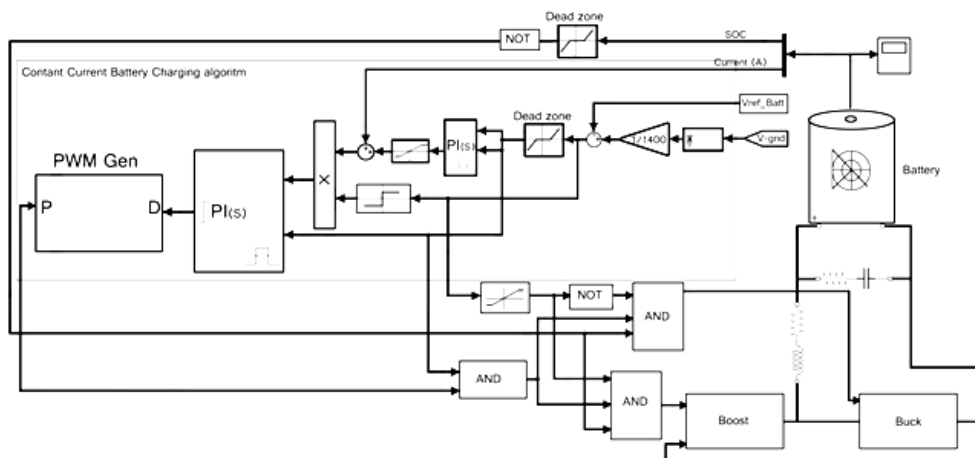
² Perturbation and Observation (P&O)



شکل ۲- بلوک دیاگرام توپولوژی کنترل سیستم PV ارائه شده

۳-۳- ارائه کنترلر شارژ/دشارژ باتری در سیستم

کنترلر دو حلقه ای DLC در شکل ۳ نمایش داده شده است که در ابتدا مقدار اختلاف ولتاژ شبکه از مقدار مطلوب محاسبه شده و سپس از داخل یک بلوک dead-zone نامتقارن جهت کنترل شارژ/دشارژ برای باتری و حذف نمودن چندین شارژ/دشارژ باتری در طی شرایط عادی شبکه عبور می کند. dead-zone همچنین برای اشتراک (تقسیم) توان بین چندین منبع ذخیره ساز انرژی در شبکه امکان پذیر است. سپس در صورتی که این اختلاف از یک مقدار مشخص بیشتر یا کمتر باشد، توسط یک کنترلر PI مقدار جریان شارژ یا دشارژ مورد نیاز برای تثبیت ولتاژ شبکه محاسبه می شود. در حلقه دوم، با مقایسه جریان باتری با مقدار رفرنس محاسبه شده، چرخه کار مورد نیاز محاسبه می شود. در نهایت با توجه به علامت اختلاف، یک مدار منطقی تشخیص می دهد که مبدل باید در حالت شارژ و یا دشارژ قرار بگیرد.

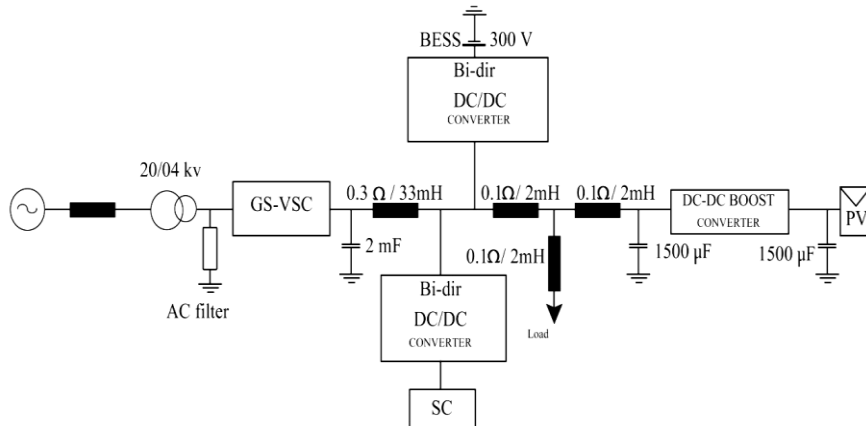


شکل ۳- بلوک دیاگرام کنترل باتری به روش DLC

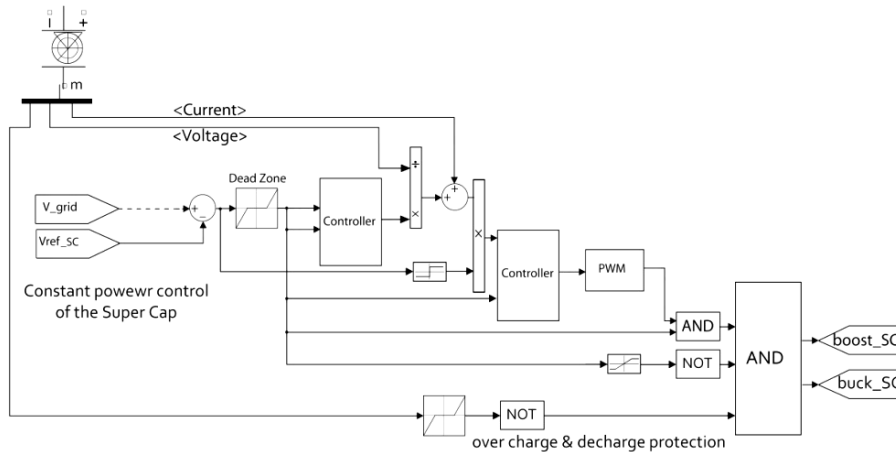
۳-۴- ارائه ابرخازن در سیستم

در گام بعدی ابرخازن SC به سیستم پیشنهادی اضافه گردیده است که ولتاژ نامی قابل تحمل آن بسیار پایین تر از ولتاژ باس DC می باشد (شکل ۴). بنابراین مبدل مورد نیاز باید در هنگام شارژ ابرخازن، ولتاژ بالای باس DC را با ولتاژ پایین ابرخازن تطبیق دهد و در هنگام توان دهی ابرخازن، باید ولتاژ پایین ابرخازن را به ولتاژ بالای DC تبدیل نموده و در هنگام شارژ و دشارژ ابرخازن جریان را محدود نماید. در نهایت از ترکیب این دو مبدل، مبدل باک-بوست به دست می آید که به عنوان مدار واسط استفاده می گردد. در کنترلر ابرخازن نیز با توجه به شکل ۵، از PI استفاده شده است که در حلقه اول از مقایسه ولتاژ شبکه با ولتاژ مرجع، مقدار توان شارژ یا دشارژ ابرخازن محاسبه شده و سپس از داخل یک بلوک dead-zone نامتقارن جهت کنترل شارژ/دشارژ

برای ابرخازن عبور می کند. در حلقه دوم، با تقسیم این توان بر ولتاژ ابرخازن، جریان مرجع ابرخازن محاسبه می شود. از مقایسه جریان مرجع و جریان واقعی، مقدار سیکل توسط کنترلر PI تعیین می -گردد. در نهایت با توجه به علامت اختلاف، یک مدار منطقی تشخیص می دهد که مبدل باید در کدام حالت قرار بگیرد.



شکل ۴- شمای نهایی ریزشبه DC به همراه PV، SC و باتری



شکل ۵- بلوک دیاگرام کنترل ابرخازن پیشنهادی

۴- شبیه سازی و بررسی نتایج سیستم

به منظور بررسی اثرات وجود باتری و ابرخازن در سیستم پیشنهادی حالات مختلف سطوح ولتاژی قابل ارائه است. اما در این مقاله با توجه به حجم زیاد نتایج به بررسی حالت اصلی و کلی سطح ولتاژی بسنده شده است که $V_{ref}^{SC} + \Delta V^+ < V_{dc} \leq V_{grid}^{ov}$ این حالت نشان دهنده اتصال به شبکه اصلی است. بدین منظور سیستم مورد نظر در دو حالت مختلف ذخیره سازی به وسیله باتری و حالت بعدی به همراه ابرخازن مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه نتایج هر کدام از حالت های ممکن ارائه گردیده است. عملیات های صورت گرفته بر روی ریزشبه در حالت کلی اتصال به شبکه اصلی در جدول ۱ آورده شده است که مبنای اصلی در بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی است.

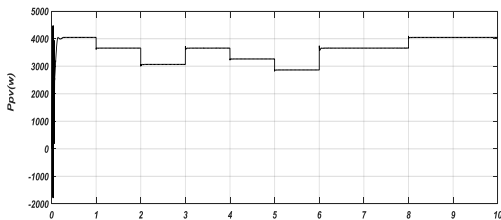
جدول ۱- عملیات حاصل از شبیه سازی سیستم مورد نظر با حالت ذخیره سازی به وسیله باتری

وقایع در نظر گرفته در شبیه سازی	زمان (ثانیه)
---------------------------------	--------------

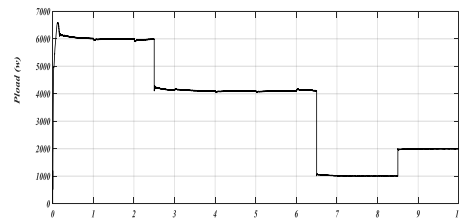
۱	کاهش شدت تابش نورخورشید از $\frac{W}{m^2} 1000$ به $\frac{W}{m^2} 900$
۲	کاهش شدت تابش نورخورشید از $\frac{W}{m^2} 900$ به $\frac{W}{m^2} 750$
۲/۵	۳۰٪ از بار قطع شود.
۳	افزایش شدت تابش نورخورشید از $\frac{W}{m^2} 750$ به $\frac{W}{m^2} 900$
۴	کاهش شدت تابش نورخورشید از $\frac{W}{m^2} 900$ به $\frac{W}{m^2} 800$
۵	کاهش شدت تابش نورخورشید از $\frac{W}{m^2} 800$ به $\frac{W}{m^2} 700$
۶	افزایش شدت تابش نورخورشید از $\frac{W}{m^2} 700$ به $\frac{W}{m^2} 900$
۶/۵	۸۰٪ بار قطع شود.
۸	افزایش شدت تابش نورخورشید از $\frac{W}{m^2} 900$ به $\frac{W}{m^2} 1000$
۸/۵	وصل مجدد ۱۵٪ بار شبکه

۴-۱- حالت نخست: ذخیره‌سازی به وسیله باتری

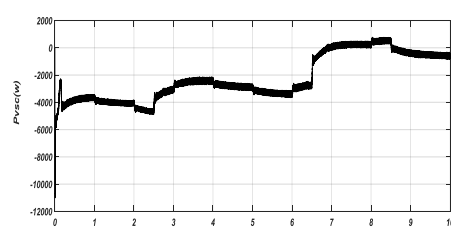
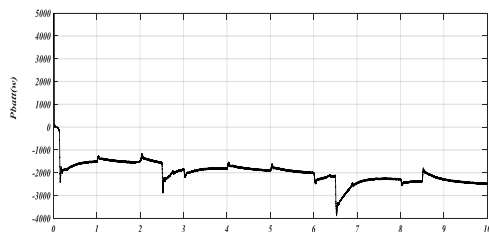
در حالت نخست، به منظور شبیه‌سازی سیستم مورد نظر جریان خروجی از اینورتر GS-VSC منفی در نظر گرفته شده است. در این حالت ریزشبه DC به شبکه اصلی متصل بوده و باتری نیز در حال شارژ شدن می‌باشد. در ابتدا بخشی از بار توسط PV تغذیه شده و کمبود توان و شارژ باتری توسط GS-VSC با یکسوسازی توان AC فراهم می‌شود. در طول شبیه‌سازی، PV در مد MPPT کار می‌کند و SOC باتری ۵۰٪ در نظر گرفته شده است. در لحظه ۲/۵ ثانیه بخشی از بار با توجه به شکل موج بار در شکل ۶ از شبکه جدا می‌شود، اما همچنان تولید PV کمتر از توان مورد نیاز بار است و تا لحظه ۶/۵ ثانیه به همین صورت می‌باشد. در لحظه ۶/۵ ثانیه بخش اعظمی از بار از ریزشبه جدا شده و با توجه به اینکه در این لحظه تولید PV بیش از نیاز باتری و بار است توان اضافه از طریق اینورتر شبکه GS-VSC به شبکه اصلی تحویل داده می‌شود و ریزشبه وارد حالت بهره‌برداری می‌شود. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شکل ۶ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی در این حالت GS-VSC به صورت مناسبی توانسته است ولتاژ لینک DC را در اغتشاشات مختلف تنظیم کند.

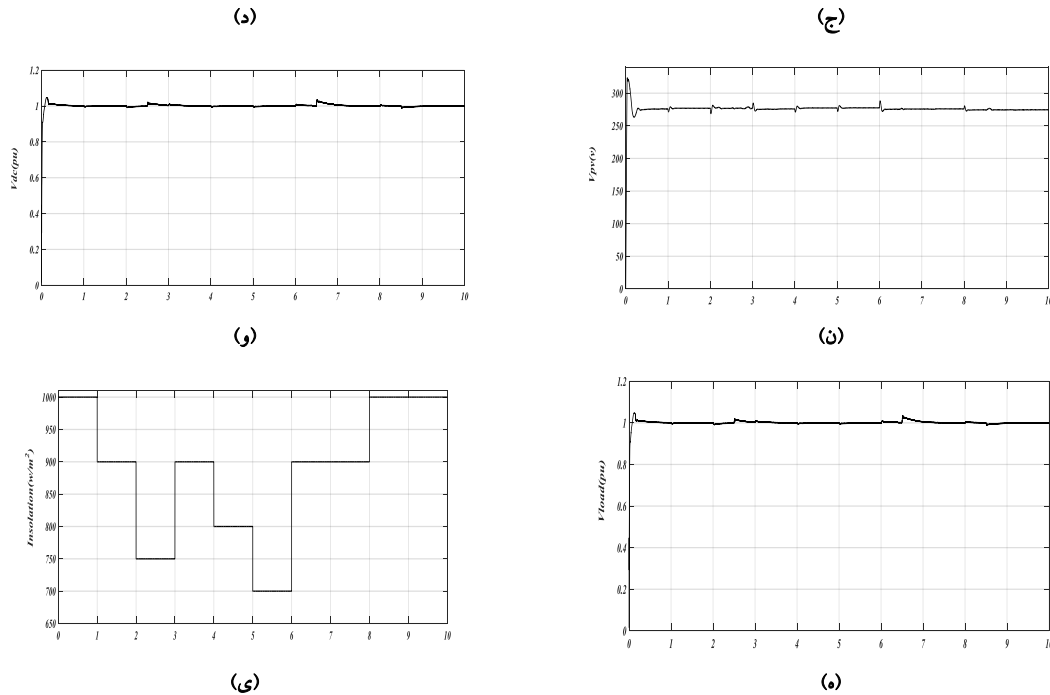


(ب)



(الف)

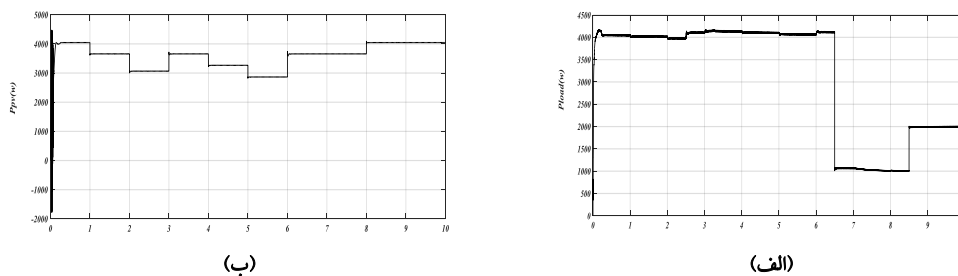


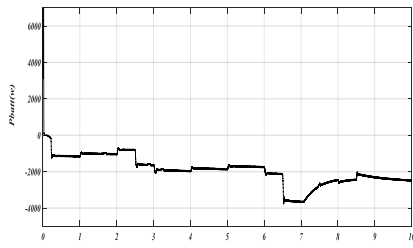


شکل ۶- عملکرد سیستم کنترل ریزشبه در تغییرات تولید PV و بار در حالت متصل به شبکه اصلی با حالت ذخیره سازی به وسیله باتری. (الف) بار کل ریزشبه. (ب) تولید PV. (ج) توان ورودی/خروجی در GS-VSC. (د) توان شارژ باتری. (ن) ولتاژ PV. (و) ولتاژ لینک DC در GS-VSC. (ه) ولتاژ DC در محل بار. (ی) تغییرات شدت تابش نور خورشید.

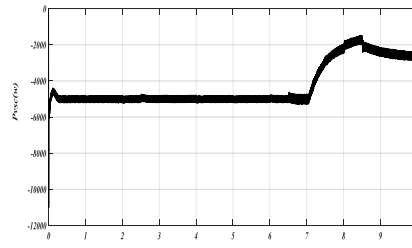
۴-۲- حالت دوم: ذخیره سازی با وجود باتری و ابرخازن

در این حالت فرض شده که ریزشبه DC به شبکه اصلی متصل می باشد و باتری و ابرخازن در حال شارژ شدن می باشند. در ابتدا بخشی از توان مورد نیاز بار توسط PV تامین می شود و کمبود توان مورد نیاز بار و شارژ باتری و ابرخازن توسط اینورتر GS-VSC با یکسوسازی توان AC فراهم می شود و ولتاژ DC را نیز کنترل می کند. در طول زمان شبیه سازی، PV در مد کاری MPPT فعالیت می کند و باتری و ابرخازن به ترتیب در وضعیت شارژ ۵۰٪ و ۴۵٪ در نظر گرفته می شوند. در این حالت نیز مانند حالت قبل مرحله دوم در لحظه ۶/۵ ثانیه بخش بزرگی از بار از شبکه جدا می شود و به دلیل اینکه تولید PV بیش از نیاز بار و باتری بوده توان اضافی جهت ذخیره شدن به ابرخازن داده شده و ریزشبه وارد حالت بهره برداری می شود. نتایج شبیه سازی با در نظر گرفتن تاثیر تغییرات بار و PV بیان شده و عملیات انجام شده بر ریزشبه شبیه سازی شده در شکل ۷ آورده شده است. با توجه به نتایج شبیه سازی ابرخازن به خوبی توانسته ولتاژ لینک DC را در اغتشاشات مختلف تنظیم کند. به عنوان نمونه در شکل ۷ (الف) شکل موج بار به ازای تغییرات مختلف بار در زمان های مختلف و همچنین تغییرات تابش خورشیدی نشان داده شده است، در همین راستا حالت مختلف دیگر نیز نشان داده شده است. با توجه به شکل موج های حاصل از آزمایش مشاهده می شود که مقدار توان مورد نیاز بار توسط سلول PV و GS-VSC تامین می شود و در زمان هایی که میزان درخواستی بار کمتر از توان تولیدی PV است، توان اضافه در باتری و ابرخازن ذخیره می شود.

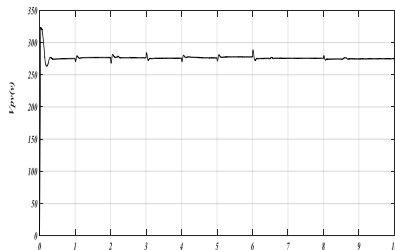




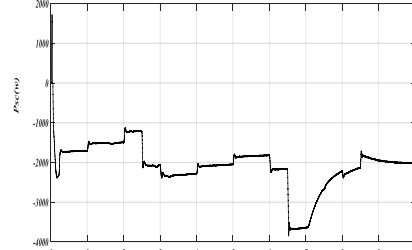
(ج)



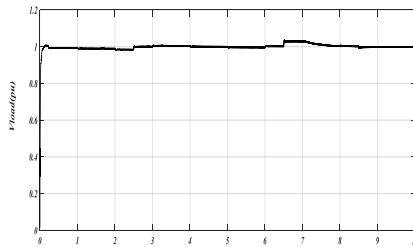
(پ)



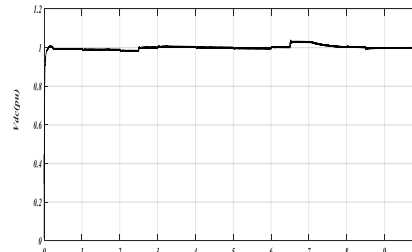
(ن)



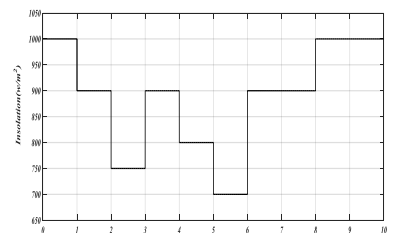
(د)



(ه)



(و)



(ی)

شکل ۷- عملکرد سیستم کنترل ریزشبه در تغییرات تولید PV و بار در حالت متصل به شبکه اصلی با حالت ذخیره سازی به وسیله باتری و ابرخازن. (الف) بار کل ریزشبه، (ب) تولید PV، (پ) توان ورودی/خروجی در GS-VSC، (ج) توان شارژ باتری، (د) توان شارژ ابرخازن، (ن) ولتاژ PV، (و) ولتاژ لینک DC در GS-VSC، (ه) ولتاژ DC در محل بار، (ی) تغییرات شدت تابش نور خورشید

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی سیستم های منبع تولید پراکنده PV و همچنین سیستم های ذخیره کننده انرژی در حالت متصل به شبکه اصلی پرداخته شده است. روش کنترلی پیشنهادی در این مقاله از نوع DLC است که از دو حلقه کنترلی PI برای کنترل باتری و کنترل چرخه کار مبدل واسط PV استفاده می نماید. مزیت این روش کاهش خطای ماندگار است. دو حالت کاری با وجود ذخیره کننده باتری و ابرخازن در طراحی و شبیه سازی سیستم پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده همزمان از ابرخازن

و باتری برای ذخیره انرژی الکتریکی، باعث شده است که سیکل های شارژ و دشارژ باتری کاهش یافته و طول عمر آن افزایش یابد. نتایج حاصل از طراحی و شبیه سازی سیستم پیشنهادی حاکی از آن است که استفاده از کنترلر پیشنهادی شرایط بهره بردای حداکثری را برای ریزشبهه فراهم نموده و انتقال یکنواخت بین اتصالات شبکه را فراهم می نماید که این نشان از طراحی مناسب سیستم و کنترلر پیشنهادی است.

۶- مراجع

1. Infield, D. and L. Freris, Renewable energy in power systems. 2020: John Wiley & Sons.
2. Amrouche, S.O., et al., Overview of energy storage in renewable energy systems. International Journal of Hydrogen Energy, 2016. 41(45): p. 20914-20927.
3. Khare, V., S. Nema, and P. Baredar, Solar-wind hybrid renewable energy system: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 58: p. 23-33.
4. Masters, G.M., Renewable and Efficient Electric Power Systems. A John Wiley & Sons. Inc., Hoboken, New Jersey, 2004: p. 468-473.
5. Shuai, Z., et al., Microgrid stability: Classification and a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 58: p. 167-179.
6. Kaur, A., J. Kaushal, and P. Basak, A review on microgrid central controller. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 55: p. 338-345.
7. Woyte, A., R. Belmans, and J. Nijs, Testing the islanding protection function of photovoltaic inverters. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2003. 18(1): p. 157-162.
8. Kakran, S. and S. Chanana, Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 81: p. 524-535.
9. Bansal, R., Handbook of distributed generation. Springer International Publishing, Switzerland Valsan SP, Swarup KS (2009) Wavelet transform based digital protection for transmission lines. Int J Electr Power Energy Syst, 2017. 31(7-8): p. 379-388.
10. Balaguer, I.J., et al., Control for grid-connected and intentional islanding operations of distributed power generation. IEEE transactions on industrial electronics, 2010. 58(1): p. 147-157.
11. Adefarati, T. and R. Bansal, Integration of renewable distributed generators into the distribution system: a review. IET Renewable Power Generation, 2016. 10(7): p. 873-884.
12. Ochoa, L.F. and G.P. Harrison, Minimizing energy losses: Optimal accommodation and smart operation of renewable distributed generation. IEEE Transactions on Power Systems, 2010. 26(1): p. 198-205.
13. Bialasiewicz, J.T., Renewable energy systems with photovoltaic power generators: Operation and modeling. IEEE Transactions on industrial Electronics, 2008. 55(7): p. 2752-2758.
14. Sahoo, S.K., Renewable and sustainable energy reviews solar photovoltaic energy progress in India: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 59: p. 927-939.
15. Blaabjerg, F., Z. Chen, and S.B. Kjaer, Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems. IEEE transactions on power electronics, 2004. 19(5): p. 1184-1194.
16. Katiraei, F., M.R. Iravani, and P. Lehn. Microgrid autonomous operation during and subsequent to islanding process. in IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2004. 2004. IEEE.
17. Salomonsson, D. and A. Sannino, Low-voltage DC distribution system for commercial power systems with sensitive electronic loads. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007. 22(3): p. 1620-1627.
18. Llaría, A., et al., Survey on microgrids: unplanned islanding and related inverter control techniques. Renewable energy, 2011. 36(8): p. 2052-2061.
19. Vandoorn, T.L., et al., A control strategy for islanded microgrids with dc-link voltage control. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011. 26(2): p. 703-713.
20. Eghtedarpour, N. and E. Farjah, Control strategy for distributed integration of photovoltaic and energy storage systems in DC micro-grids. Renewable energy, 2012. 45: p. 96-110.
21. Che, L. and M. Shahidehpour, DC microgrids: Economic operation and enhancement of resilience by hierarchical control. IEEE Transactions on Smart Grid, 2014. 5(5): p. 2517-2526.