کنترل پراکنده سیستم ذخیره‌ساز انرژی متصل به شبکه و یک بار غیرخطی مبتنی بر بهبود عملکرد پایداری

احسان گنجی، مهدی مهدویان*

گروه برق، واحد نایین، دانشگاه آزاد اسلامی، نایین، ایران
, meh_mahdavian@yahoo.comMr.ehsanganji@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۹

چکیده: امروزه به دلیل افزایش مصرف انرژی و لزوم جلوگیری از آسیب های یست محیطی، بکارگیری سیستم‌های تجدیدپذیر (مانند پیل سوختی، بادی یا خورشیدی) به منظور تأمین انرژی، توجه ت روزافزون محققان را به خود جلب نموده است. سیستم‌های تولید توان فتوولتائیک (PV) از مهمترین راه‌های با هزینه کم در بین انرژی‌های نو است. در این مقاله از سیستم فتوولتائیک (PV) به عنوان ژنراتور اصلی توان، و همچنین از PEMFC به عنوان تجهیز ذخیره سازی انرژِی استفاده شده است. از مزایای سیستم پیشنهادی می‌توان به سازگاری زیست محیطی کاهش نویز سیستم و پایین بودن هزینه، اشاره کرد. همچنین استراتژی کنترلی پیشنهادی پایداری سیستم را در حالات مختلف اتصال منابع تولید پراکنده، نظیر سیستم فتوولتاییک به شبکه و بار غیر خطی که حالت عملکرد جزیره‌ای را به همراه دارد، تضمین می کند. به علاوه از یک باتری به همراه یک پیل سوختی برای ذخیره انرژی استفاده شده است که دارای سیستم کنترل مشابه با کنترل سیستم تولید پراکنده است و نیازی به تغییر حالت کنترلی سیستم در زمان تغییر حالت از جزیره‌ای را ندارد.

واژه‌های کلیدی: سیستم فتوولتاییک، پیل سوختی، PEMFC، عملکرد جزیره‌ای، پایداری سیستم، سیستم هیبرید، بار غیرخطی، باتری.

۱- مقدمه

امروزه هزینه های تولید برق، برابر هزینه تولید انرژی از نیروگاه‌های جدید زغال سنگ سوز و گاز سوز است [۱-۵]. اگر هزینه‌های زیست محیطی و طبیعی تولید برق در محاسبات مد نظر قرار گیرد برق بادی ارزانتر از دیگر فناوری‌ها است با وجود این مشکلات و پدیدار شدن سیستم‌های فتوولتاییکی باید برای مقابله با مشکلات و چالش-های فصلی و متناوب هم راه‌حل‌هایی طراحی کرد [۶-۸]. به همین دلیل، استراتژی‌های کنترلی نوآورانه مفید و استاندارسازی سیستم‌ها مورد نیاز است [۹-۱۵]. در [۱۶]، یک چارچوب کنترلی را توصیف شده است که سیستم‌های ذخیره انرژی باتری توزیع شده (BESS) متصل به شبکه‌های توزیع (DN) را قادر می‌سازد تا نقاط تنظیم ولتاژ درخواست شده توسط اپراتور سیستم انتقال (TSO) را در نقاط اتصال خاص به شیوه‌ای بهینه و هماهنگ ردیابی کنند. در [۱۷] یک کنترل‌کننده سوئیچینگ متمرکز جدید را برای وضعیت تعادل شارژ سیستم‌های ذخیره انرژی باتری توزیع شده در یک ریزشبکه DC پیشنهاد شده است. تنظیم ولتاژ لینک DC از طریق یک روش غیر خطی بر اساس معادلات دیفرانسیل در بهبود پاسخ دینامیکی،

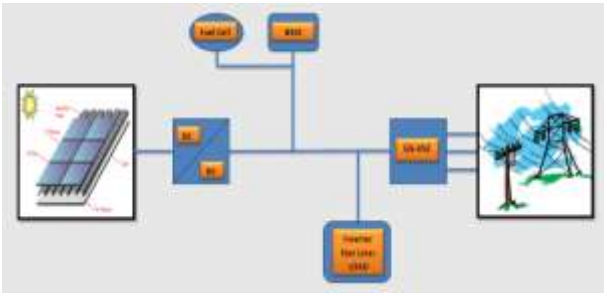
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

ثبات و استحکام سیستم هیبریدی PV-FC و با کاهش خطای استاتیک در خروجی ولتاژ تنظیم در [۱۸] ارائه شده است. به منظور دستیابی به عملکرد سیستم تحت شرایط جزیره، یک راهبرد هماهنگ در [۱۹] برای BESS، RES و مدیریت بار از جمله دفع بار با توجه به حالت باتری از شارژ (SOC) و محدودیت قدرت باتری ارائه شده است. در [۲۰] یک استراتژی کنترلی کاملاً غیرمتمرکز و بدون ارتباطات را برای دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی ناهمگن توزیع شده در مرکز داده DC پیشنهاد شده است. در استراتژی پیشنهادی، کنترل مبتنی بر مقاومت مجازی غیرمتمرکز، جزء فرکانس پایین بارها را به باتری‌ها اختصاص داده، و در حالی که جزء فرکانس بالا به فراخازن‌ها با کنترل افت خازنی مجازی اختصاص داده شده است. در [۲۱] یک کنترل افت تطبیقی جدید (ADC) برای باتری‌های ذخیره انرژی ارائه شده و پارامترهای حالت و مدل باتری های ذخیره انرژی به طور همزمان به صورت آنلاین توسط الگوریتم فیلتر کالمن توسعه یافته دوگانه (DEKF) تخمین زده شده اند . در [۲۲] هدف از سیستم یک استراتژی کنترل توزیع شده برای سیستم های ذخیره انرژی باتری بر اساس سیستم چند عاملی ارائه شده است و قوانین کنترل پیشنهادی می تواند تضمین کند که وضعیت شارژ (SoC) هماهنگ است و توان فعال BESS را می‌توان به طور متناسب تقسیم کرد.. در [۲۳] یک استراتژی کنترل اینرسی تطبیقی مجازی (VAIC) برای وضعیت بسته‌های باتری ذخیره‌سازی انرژی (ESBP) به‌صورت آنلاین توسط فیلتر کالمن توسعه‌یافته دوگانه تخمین زده شده است سپس پارامترهای اینرسی مجازی و افت از طریق منطق فازی و الگوریتم باتری مجازی بر اساس وضعیت باتری و نوسانات ولتاژ شین با هدف توزیع اینرسی و توان به ترتیب در دوره‌های پویا و پایدار طراحی شده است. در [۲۴] یک ریزشبکه DC جزیره‌ای با سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی هیبریدی متعدد هدف این تحقیق است و یک روش کنترل هماهنگ سلسله مراتبی سیستم‌های ذخیره انرژی هیبریدی بر اساس یک مکانیسم ایجاد شده توسط رویداد پیشنهاد شده است. در [۲۵] یک استراتژی کنترل برای DES&TES با در نظر گرفتن وضعیت TES برای بهبود استفاده از انرژی مازاد، انرژی سیستم و عملکرد اقتصادی به ویژه در طول فصل انتقال پیشنهاد شده است. در [۲۶] یک استراتژی کنترلی برای BESS توزیع شده در یک ریزشبکه کنترل شده مرکزی برای افزایش عمر تقویمی BESS ارائه شده که استراتژی پیشنهادی، شارژ و دشارژ باتری‌ها را بر اساس وضعیت شارژ (SOC)، وضعیت سلامت (SOH) و حداکثر ظرفیت کنترل می‌کند. مدل سازی دقیق از SEPIC با ورودی ماژول PV و کنترل پیک جریان در [۲۷] ارائه شده است که در آن کنترل کننده ولتاژ PV و یک کنترلر تطبیقی MPPT طراحی شده است. بهینه سازی و یکپارچه سازی منابع انرژی تجدید پذیر با شبکه برق جهت قابلیت اطمینان توسط استراتژی کنترلی توزیع شده بر اساس بهبود سیگنالینگ باس DC برای سیستم فتوولتائیک (PV) مدولار با عناصر ذخیره انرژی می‌تواند پایداری را به خوبی حفظ کند[۲۸]. یک طراحی کنترل جدید برای FC، باتری و یک سیستم قدرت هیبریدی انجام شده است که در عین حال حاضر به اشتراک-گذاری فعال و مدیریت کنترل منبع انرژی در این سیستم ترکیبی است[۲۹]. یک کنترل داخلی برای مبدل DC-DC دو طرفه جهت باتری واسط در یک میکرو شبکه ثبات حالت جزیره ایی را تدوام می دهد [۳۰]. در [۳۱] یک چارچوب کنترل توزیع شده با رویکرد زمان محدود و اجرای فیزیکی سایبری برای ESS با پارامترهای ناهمگن در MGهای جزیره‌ای پیشنهاد شده است. در [۳۲] نشان می دهد که مدل ریاضی اینورتر در سیستم PV ایجاد می‌شود، سپس از روش کنترل بک‌استپی برای کنترل آن استفاده می‌شود و فیلتر فرمان به کنترل‌کننده اضافه می‌شود تا انبساط دیفرانسیل کنترل‌کننده پسگام حذف شود. به منظور بهبود بلوغ تکنولوژی میکرو شبکه در میان جنبه های مختلف میکرو شبکه، مقاله [۳۳] بر کنترل میکرو شبکه با ذخیره انرژی به منظور ارتقاء و حمایت از تجزیه و تحلیل متمرکز است. یک فیلتر خطی کالمن بر اساس یک مدل الکتروشیمیایی کاهشی می تواند به منظور برآورد پتانسیل داخلی باتری، غلظت شیب ، وضعیت شارژ (SOC) از جریان و ولتاژ اندازه‌گیری خارجی در سیستم هیبرید استفاده شود [۳۴]. یک طراحی کنترل جدید برای FC و باتری در سیستم قدرت هیبریدی در [۳۵] انجام شده است که قادر است جریان فعال اشتراک گذاری و کنترل مدیریت منبع قدرت در سیستم ترکیبی جهت تنظیم توان خروجی بخوبی تایید کند. از طریق تحلیل داده‌های تجربی رگرسیون [۳۶]، رفتار غیرخطی یک مدل دینامیکی برای آزمون پاسخ ولتاژ با پروفایل فعلی چند مرحله ای به عنوان ورودی برای یک سیستم جهت رفتار دشارژ باتری می-تواند موثر باشد. با استفاده از یک مدل الکترونیکی می توان یک عنصر جبران درجه حرارت برای مدل شارژ و تخلیه، یک مدل باتری نسبتا ساده و دقیق طراحی کرد [۳۷]. یک بلوک دیاگرام BMS برای وضعیت شارژ (SOC) یک سیستم و استفاده از شمارنده کولمب و روش ولتاژ مدار باز برای از بین بردن محدودیت ها موثر میباشد و کارایی فیلتر کالمن را تایید می نماید [۳۸]. اهداف این مقاله را هم میتوان در پایداری سیستم، مدیریت و کنترل سیستم در نتایج شبیه‌سازی با در نظر گرفتن نوآوری‌های زیر مشاهده کرد.

- طراحی یک کنترل‌کننده با قابلیت میرایی فعال برای شارژ و دشارژ دخیره کننده (باتری)
- طراحی یک کنترل‌کننده برای تنظیم توان‌های اکتیو و راکتیو به صورت تقویتی و پایدار
- طراحی یک کنترل‌کننده استراتژیک از روش برداری برای سوییچ زنی سیستم اینورتر
- طراحی یک کنترل‌کننده مد لغزشی ابتکاری به صورت غیر خطی با تغییر نوع کاربری

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

۲- سیستم مورد مطالعه

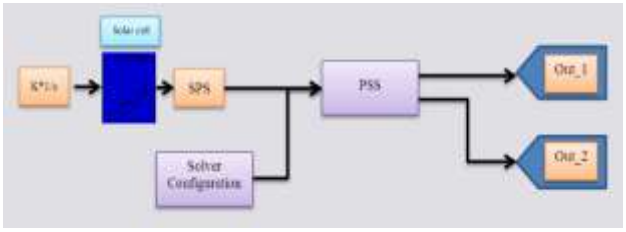


شکل (۱): معماری مورد مطالعه

در شکل (۱) بستر مورد مطالعه مشاهده می‌شود در شبیه‌سازی این سیستم از یک منبع ذخیره انرژی و یک پیل سوختی که به طور مجزا به یک سیستم فتوولتاییک متصل می‌شود استفاده شده است. این سیستم شامل یک یکسو کننده هدایت شده و یک کنترلر می‌باشد که ردیابی نقطه‌ای ماکزیمم توان را بر عهده دارد، همچنین شامل یک باس DC مشترک و یک اینورتر هدایت شده می باشد که برای دو حالت مختلف طراحی شده است .یک فیلتر LCL پس از اینورتر در سیستم طراحی شده است که هارمونیک‌های مختل کننده سوئیچینگ را تضعیف نماید. از آنجایی که میزان تقاضای در شبکه یا یک بار متغیر است و توان خروجی در سیستم قابل پیش بینی نیست طراحی کنترلر ها طوری انجام گرفته است که پایداری سیستم در حالت‌های بخصوصی به طور کامل حفظ شوند.

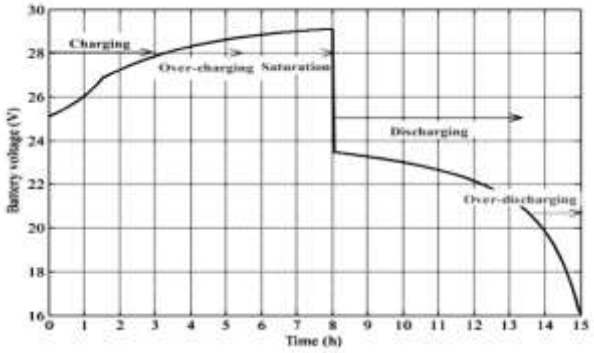
۲-۱- مدلسازی صفحه خورشیدی و ذخیره کننده انرژی(باتری)

در اینجا پیشنهاد مدلسازی مدل صفحه خورشیدی در شکل (۲) نشان داده شده است در این شکل، بلوک زرد رنگ مربوط به سلول خورشیدی می‌باشد و بلوک آبی رنگ که جهت تغییرات شدت نور خورشید اعمالی به سلول خورشیدی استفاده شده است. ولتاژ خروجی سلول خورشیدی نیز به مبدل DC/DC متصل شده که در شکل (۵) این مبدل مشاهده خواهد شد.



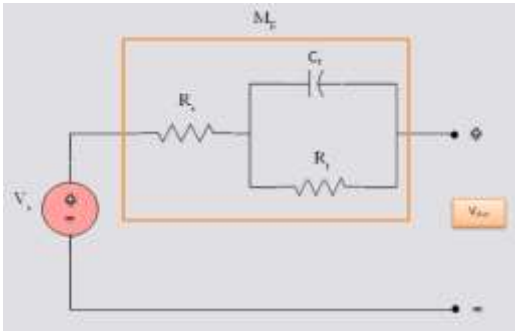
شکل (۲): مدار داخلی یک صفحه خرشیدی

در اینجا یک روش مناسب برای شارژ باتری و برای بررسی سیستم کنترلی باتری در حالات مختلف در نظر گرفته شده است. با در نظر داشتن رفتار غیرخطی در این مدل، مدل کردن و به کار گیری سیستم کنترلی می‌تواند چالش بر انگیز باشد. در سیستم شبکه‌های کوچک در بحث انرژی نو و داشتن حالت توان نامتعادل، به کار گیری سیستم دینامیک الزامی می‌باشد. در حالت سوم با چند المان دینامیکی اولیه در المان‌های الکتریکی برای سیستم مدلسازی شده است. حالت‌های گوناگونی از المان‌های دینامیکی در تحقیقات دیگران می‌باشد که از راحت ترین المان برای یک منبع ذخیره از جمله یک منبع تغذیه و یک المان مقاومت داخلی استفاده شده است [۳۵].



شکل (۳): حالات کاری یک منبع ذخیره کننده انرژی

در اینجا چند مدل برای باتری در نظر گرفته شده است: مدل‌سازی بحث الکتروشیمیایی، مدل‌سازی روابط ریاضی و مدل‌سازی سیستم-های دینامیکی. حالت الکتروشیمیایی [۳۴] تحت روابط دیفرانسیل در سیستم پیاده سازی شده است که اهداف کنترلی طبیعی را برای بررسی حالت عملی باتری در نظر گرفته است. در حالت دوم [۳۸] به کارگیری باتری به راحتی با چند معادله آزمایش شده و غیرمعمول در دینامیک طراحی و استفاده شده است.. در شکل (۳) حالات کاری یک منبع ذخیره کننده انرژی نشان داده شده است که مدل رفتار ذخیره کننده انرژی در حالات شارژ/دشارژ را ارائه کرده است [۳۷]. در اینجا یک مدار با توجه به نوع حالت ترکیبی از تونن و زمان برای حالت شارژ و دشارژ ذخیره کننده پیشنهاد شده است . این حالت پیشنهادی در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴): مدار داخلی اصلاح شده ذخیره کننده انرژی

در مدار شکل (۴)، Vs بیانگر ولتاژ حالت باز ذخیره کننده و Rs نشانگر مقاومت درونی ذخیره کننده می باشد و باعث اثرگذاری به نقطه کار ذخیره کننده در حالت شارژ می‌شود. با توجه به هزینه‌ها، دسترسی راحت و سهولت ساخت، ذخیره کننده های اسیدی امروزه کاربردهایی زیادی مانند استفاده درشبکه های مجزا و کوچک را دارند.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

رابطه‌های استاندارد و بهینه شده را برای ذخیره کننده اسیدی بصورت زیر داریم:

- حالت دشارژ:

$$V_g = 2.085 - 0.12(1 - SoC) \quad (۱)$$

$$R_{sb} = \frac{1}{C_{10}}\left(\frac{4}{1+I^{1.3}} + \frac{0.27}{SoC^{1.5}} + 0.02\right) \quad (۲)$$

که در معادلات فوق (SOC=(1-(Q/C)) و Q=i.t و C_{10} ظرفیت اسمی خازن (بر حسب آمپر ساعت) در ساعاتی بعد از شارژ می‌باشد.

- حالت شارژ:

$$Vg = 2 + 0.16(SoC) \quad (۳)$$

$$R_{sb} = \frac{1}{C_{10}}\left(\frac{6}{1+I^{0.86}} + \frac{0.48}{(1-SoC^{1.2})} + 0.036\right) \quad (۴)$$

در عین حال این شبکه RC شبیه به حالتی معادل مدل تونن برای حالت گذرا استفاده شده است. که رفتار آن را به این صورت داریم [۳۷] [۲۳]:

$$R_{tb} = 0.086I^{-0.67}(70.3 - 11.66V_{oc} + 0.49V_{oc}^2) \quad (۵)$$

$$C_{tb} = (326.5I^{-1.1}R_{tb})^{-1} \quad (۶)$$

۳- طراحی استراتژی های پیشنهادی

۳-۱- استراتژی پیشنهادی برای کنترل ، شارژ و دشارژ دخیره کننده (باتری)

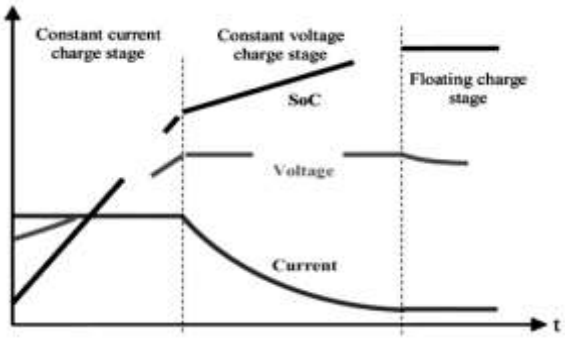
در سیبستم های هیبرید بخاطر اینکه سیستم فتوولتاییک بتواند بـرای حالت های متصل و جدا از شبکه برق همواره پایدار و فعال تاثیر داشته باشد طراحی کنترل ذخیره ساز باید قادر به تنظیم ولتاژ سیستم بـاس DC باشد و قابلیت پایداری را فراهم کند. سیستم تولید انرژی در این شبکه کوچک DC به نحوی کنترل خواهد شد کـه سیسـتم بتوانـد در نقطه حداکثر توان پایدار باشد و در حالی که منبع ذخیره کننده بایـد در شرایط بروز اختلال در شـبکه و اتفـاق افتـادن حالـت جزیـره ای ، خروجی لازم را برای بار به وجود آورد.

حالات و شرایط کاری برای سیستم ریز شبکه در جدول (۱) در نظر گرفته شده است. در حالت ۱، شبکه DC به شبکه AC متصل می باشد، حالت MPPT فعال و BESS در حالت شارژ یا تغذیه کامل قرار گرفته است، در حالت ۲ شبکه DC از مدار خارج می‌شود و بارخطی به تنهایی در مدار قرار میگیرد ولی همواره MPPT فعال و شارژ و دشارژ BESS کنترل می شود. در این حالت هم BESS مسئول تنظیم ولتاژ برای سیستم می باشد. در حالت ۳ هم سیستم ریز شبکه در حالت جزیره ای بوده و اینورتر هم بصورت بار غیر خطی وارد مدار می‌شود .

جدول (۱): حالت های مختلف ریزشبکه

مود	وضعیت ریزشبکه	وضعیت PV	وضعیت BESS	وضعیت GS-VSC
۱	متصل به شبکه	MPPT	شارژ/خاموش	حالت اینورتری/یکسوسازی
۲	جزیره ای	MPPT	شارژ/خاموش	حالت جدا از سیستم
۳	جزیره ای	MPPT	شارژ/خاموش	حالت اینورتری غیر خطی

با توجه به حالت های مختلف جدول فوق، حالت های on/off روش معمول و ساده‌ای برای کنترل باتری هستند. در عین حال به دلیل زیاد بودن زمان شارژ باتری این روش مناسب نیست. همچنین در حالت جزیره و غیر فعال بودن هیچ اثری در باتری انجام نمی‌گیرد. یک استراتژی شارژ ذخیره کننده یا همان باتری در سیستم PV در [۲۷] [۱۲] بیان شده و در شکل (۵) نشان داده شده است که دارای سه حالت می باشد در حالت اول باتری با روندی ثابت شارژ می شود که دقیقا شبیه جریان شارژ اسمی باتری می باشد ، زمانی که شارژ شدن باتری به حد معمول خود برسد حالت دوم سیستم استارت می شود و ادامه کار از روش پیشنهادی ادامه خواهد داشت.

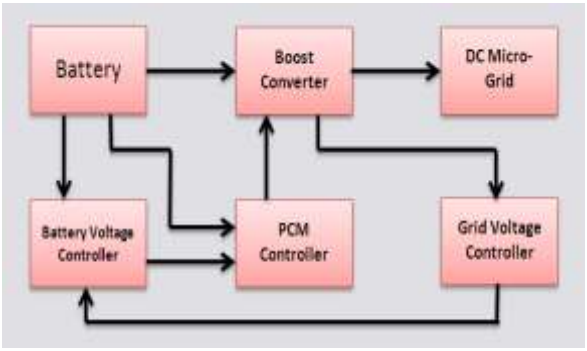


شکل۵: مراحل شارژ یک باتری [۱۲] [۲۷]

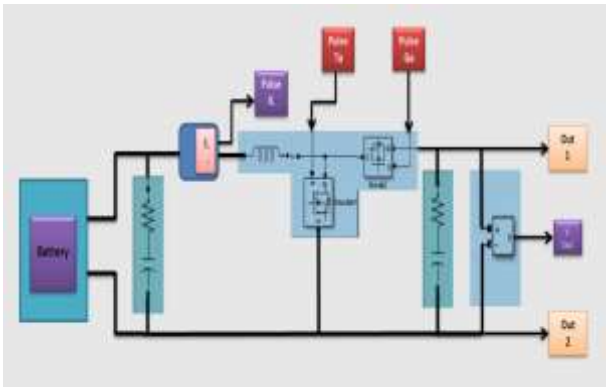
در حالت سوم، شارژ کاملا انجام شده و نشان می دهد که الگوریتم پیشنهادی برای شارژ یک ذخیره کننده قابل توجه می باشد. همچنین به دلیل اینکه باید ولتاژ dc در شرایط متفاوت تنظیم شود ، مستلزم این می باشد که مرحله انجام الگوریتم شارژ به صورت جزیره ای برای شبکه های کوچک انجام شود. اکثرا سیستم کنترلر ها طوری طراحی انجام میگیرد تا هم ولتاژ dc را در حدود استاندارد تنظیم شود و هم ذخیره کننده انرژی در حالت ولتاژ تثبیت شده، عمل شارژ انجام دهد. بحث دشارژ هم مانند بحث شارژ در ذخیره کننده انرژی برای ثابت و کنترل ولتاژ مناسب برای مدیریت توان در شبکه ها و لینک مورد توجه می باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022

در کنترلر مربوط به این قسمت جریان تخلیه باتری محدود می‌باشد و مواقعی که شارژ باتری کمتر از حد استاندارد باشد و یا مواقعی که توان لازم بار بیشتر از توان ذخیره کننده باشد، از تخلیه باتری جلوگیری خواهد شد. برای استفاده ذخیره‌کننده در شبکه‌های کوچک، به مدارهای واسط نیاز است. به کار گیری مبدل dc/dc در سیستم های مربوطه از استاندارد ترین حالت برای استفاده باتری در سیستم های هیبرید متصل به شبکه است [۲۲]. سیستم پیشنهادی برای کنترل ذخیره کننده در شکل (۶) نشان داده شده است. در این سیستم ، ساختار طراحی مبدل از روش حالت جریان پیک با جبرانسازی شیب جهت تنظیم ورودی استفاده شده است. این کنترلر یک سیستم دو چرخه ای دارد : در چرخه اول ولتاژ با چرخه جریان اضافی درونی با مقدار رفرنسی (I_{bat}^{ref}) که در سیستم کنترلر ساخته شده است باهم بصورت تطابق استفاده شده است.



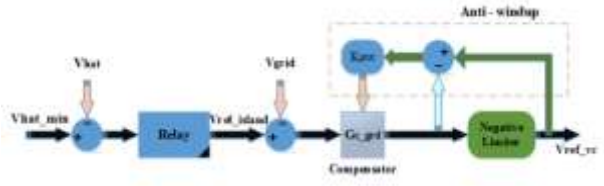
(a) (الف)



(b) (ب)

شکل۶: سیستم پیشنهادی برای کنترل BESS الف) بلوک دیاگرام، ب) مدار

در سیستم فوق که جریان ذخیره کننده تحت نظارت است، زمانی که لازم باشد جریان باتری تا اندازه شارژ $I_c^{\max}$ و مقدار دشارژ $I_{dc}^{\max}$ تغییر پیدا میکند. در طراحی سیستم فوق، چرخه ی ولتاژ خارجی جهت بوجود آوردن ولتاژ مرجع کانورتر (V_{bat}^{ref}) با توجه به ولتاژ نقطه ای ذخیره کننده (V_{bat}^{sp}) و ولتاژ مرجع مبدل (V_{VC}^{ref}) ، تاثیر مقایسه ای فراهم شده است. در شکل زیر سیستمی برای کنترل و تنظیم کردن ولتاژ نمایش داده شده که مقایسه ی ولتاژ (V_{grid}) و ولتاژ رفرنس را در شرایط جزیره ای انجام می‌دهد. در زمان اتفاق افتادن حالت جزیره ای در مواقعی که توان منبع به حد قابل توجهی نرسیده ، چرخه تنظیم ولتاژ به موقعیت تعیین شده می‌رود و V_{bat}^{ref} را توسط تنظیم V_{VC}^{ref} هماهنگ می‌کند.



شکل۷: طراحی پیشنهادی برای کنترل سیگنال‌های سیستم BESS

در سیستم های هیبرید تنظیم و هماهنگ کردن دو چرخه ی کنترلی تثبیت کننده ی توان و سیستم تنظیم کننده ی ولتاژ در شرایط حساس و ضروری را به وجود می آورد. بخصوص در مواقعی که حداکثر انرژی تولیدی از تخلیه ذخیره کننده کمتر از انرژی مورد نیاز و لازم سیستم باشد، مدار کاهش دهنده ی بار برای مانعیت از ازیاد تخلیه شدن ذخیره کننده چند بار فعال در سیستم را غیر فعال و خاموش می کند.

جدول (۲): مقادیر نامی BESS

نوع	اسیدی به حالت سربی
مقادیر پایه و نامی	120Ah و 300v
فرکانس المان های کلیدزنی	5 KHz
L , R_L , C_O , R_O	15mH , 0.02 Ω , 1 mF , 0.025 Ω

۲-۳- استراتژی پیشنهادی برای مبدل و شبکه DC

در تمامی سیستم‌های مشابه با استفاده مبدل‌های ولتاژ، شبکه‌های کوچک به سیستم های قدرت متصل می شوندکه انجام تثبیت حالت-های دائم از طریق این مبدل‌ها برای ایجاد پایداری صورت می گیرد. در سیستم مورد مطالعه برای کنترل و تنظیم توان های اکتیو و راکتیو استفاده از سیستم کنترلی حالت جریان در نظر گرفته شده است. به همین جهت برای کنترل زاویه و تنظیم مقدار فاز ولتاژ اینورتر شبکه از قاب مرجع dq استفاده می‌شود. در این سیستم تنظیم جریان واقعی از روش تنظیم و تثبیت ولتاژ لینک dc انجام می‌شود. رابطه مربوط به این کنترل به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

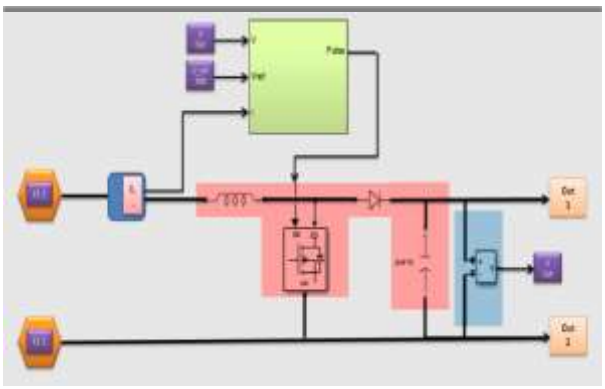
$$\frac{d}{dt}(\frac{1}{2}C\times V_{dc}^2) = P_{dc} - P_{ac} \qquad (۷)$$

$$P_{dc} = V_{dc} \times i_{gr}^{dc} \qquad (۸)$$

در طراحی سیستم کنترلی این مطالعه جهت اتصال سیستم فتوولتاییک به ریز شبکه ، اینورتر DC/DC و روشO/P [۲۶] برای حالت MPPT درنظر گرفته شده است. مبدلdc/dc پیشنهادی در این طرح که در شکل (۵) نیز نشان داده شده، به عنوان مدار واسط باتری استفاده شده است. در شرایط مختلف آورده شده در قسمت قبل،

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

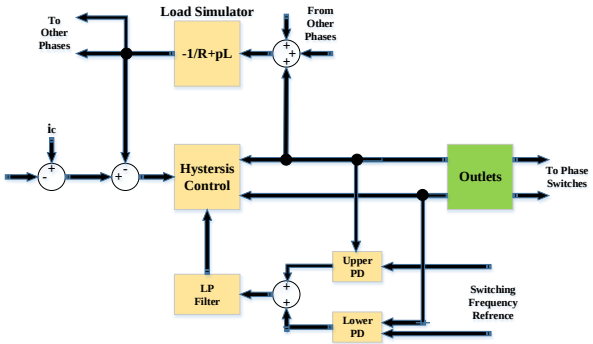
ذخیره کننده در حالت های متفاوت شارژ کامل، دشارژ و حالت اشباع تعریف شده است و این حالت ها با توجه به شرایط ولتاژ باس DC در نقطه اتصال BESS مدیریت می‌شوند. سیستم کنترلی پیشنهادی ولتاژ ورودی مبدل را موقع شارژ ذخیره کننده به حالت تثبیت می رساند. به طور نمونه در یک سیستم مشابه هنگام فعالیت در حالت جزیره ای، یک سیستم کنترلی حلقه‌ای، ولتاژ رفرنس ورودی مبدل را جهت کنترل شبکه پایدار می‌سازد.



شکل۸: مبدل DC/DC دو جهته طراحی شده

۳-۳- استراتژی کنترلی پیشنهادی برای کنترل اینورتر

در شکل (۹) روش هیسترزیس برای اینورتر در نظر گرفته شده است که در آن جریان های قسمت AC از یک فیلتر که در شکل به رنگ زرد نشان داده شده است عبور می کنند پس از آن توالی سه فاز abc با استفاده از بلوک آبی روشن به توالی dq0 تبدیل می شوند. ولتاژ قسمت dc نیز با یک ولتاژ مرجع مقایسه شده و پس از عبور از جبرانساز که با رنگ قرمز نشان داده شده و پس از آن عبور از فیلتر پایین گذر وارد بلوک آبی روشن شده (شکل سمت راست) و جریان های abc مرجع را ایجاد می کند. این جریان های مرجع با جریان های abc قسمت سه فاز مقایسه شده و حاصل آن وارد رله های سبز رنگ می شود و پس از ان پالس های کلید زنی تولید شده و دستور پالس به کلید ها صادر می شود. برای طراحی دینامیکی این روش با در نظر داشتن جدول زیر که مربوط به حالت های مختلف برای کلیدها می باشد می توان فهمید که ۸ حالت برای بردار ولتاژ خروجی داریم:

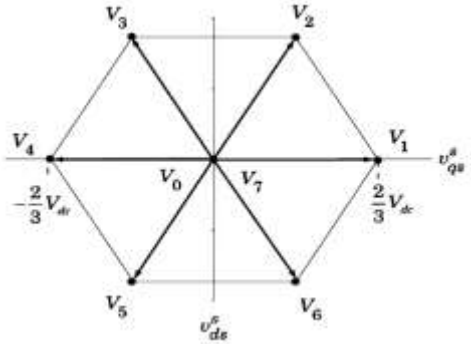


شکل۹: سیستم کنترلی به روش هیسترزیس

جدول (۳): شرایط سوییچ زنی در روش پیشنهادی

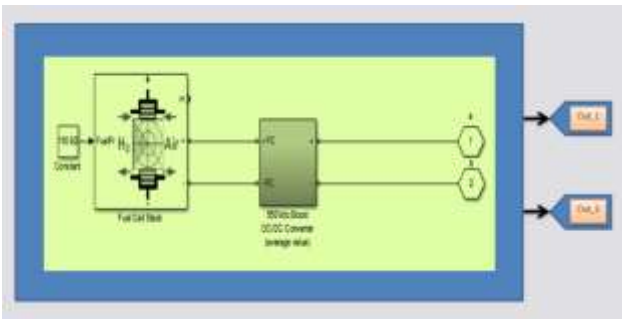
Voltage Vector	T1/$\overline{T4}$	T2/$\overline{T5}$	T3/$\overline{T6}$
V_0	0	0	0
V_1	1	0	0
V_2	1	1	0
V_3	0	1	0
V_4	0	1	1
V_5	0	0	1
V6	1	0	1
V7	1	1	1

در شکل (۱۰) بردار حالتی سوییچ زنی را می بینیم که تمام کلیدها روشن (V7) و تمام کلیدها خاموش (V0) هستند را بردار ولتاژ صفر می نامند. ۶ حالت دیگر بردارهای اصلی را نشان می دهند که اندازه آنها ۳/۲ ولتاژ لینک DC می باشد. با توجه به این ۶ بردار اصلی صفحه ولتاژ به ۶ ناحیه تقسیم می شود که هر ناحیه با بردار خود نام گذاری می شود.



شکل۱۰: بردار حالتی سوییچ زنی در روش پیشنهادی

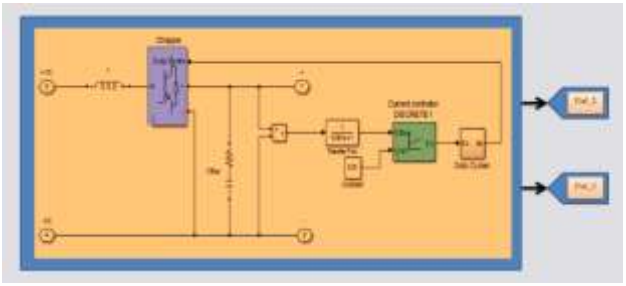
شکل (۱۱) سیستم پیل سوختی را نشان می دهد. در این شکل در سمت راست بلوک مربوط به پیل سوختی می باشد. بلوک سبز رنگ نیز یک مبدل DC/DC از نوع Boost می باشد که ولتاژ خروجی پیل سوختی را به ولتاژ متناسب با شبکه ی DC تبدیل می کند. شکل (۱۲) نیز سیستم مربوط به مبدل DC/DC موجود در شکل (۸) می باشد که یک مبدل Boost می باشد. که در آن بلوک زرد رنگ مربوط به شبکه ی کلید زنی می باشد. بلوک زرد رنگ نیز بلوک مربوط به کنترل کننده ی حالت جریانی می باشد. و خروجی آن دیوتی سیکل را تولید کرده که دستور پالس گیت به شبکه ی کلید زنی را صادر می کند.



شکل۱۱: سیستم پیل سوختی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022



شکل۱۲: مدار کنترل مربوط به مبدل DC/DC

۴-۳- استراتژی پیشنهادی برای بار غیر خطی

این استراتژی یک اینورتر با فیدبک کنترلی با روش کنترلی مد لغزشی می باشد که به صورت یک بار غیر خطی کار می کند. روابط غیر خطی را برای پالس دهی بصورت زیر داریم :

$$\begin{cases} \frac{1}{500}\omega\cos(\omega t)+\frac{Va}{900} \\ \frac{1}{500}\omega\cos(\omega t-\frac{2\pi}{3})+\frac{Vb}{900} \\ \frac{1}{500}\omega\cos(\omega t+\frac{2\pi}{3})+\frac{Vc}{900} \end{cases} \quad (۹)$$

استراتژی مد لغزشی سیستم را در برابر عدم قطعیت ها تضمین می کند. در این روش هدف ما بوسیله نگه داشتن حالت های سیستم روی سطح لغزش بدست می آید. از طرفی مشکل این روش، افزایش پدیده Chattering می باشد که به دلیل تحریک دینامیک های مدل نشده فرکانس بالا نامطلوب می باشد. به منظور غلبه بر این مشکل یک تخمین پیوسته از قانون کنترلی سوئیچینگ از طریق هموار کردن ناپیوستگی ها در یک محدوده بدست آورده شده است و تابع علامت با تابع اشباع جایگزین شده است. با این حال با اجرای این طراحی میتوان وجود یک بار غیر خطی را برای آزمایش سیستم پیشنهادی به وجود آورد . در این طراحی رابطه های مربوطه را بصورت زیر داریم :

ابتدا سطح لغزش را داریم :

$$s=\left(\frac{d}{dt}+\lambda\right)\breve{x}=\dot{\breve{x}}+\lambda\breve{x} \quad (۱۰)$$

سپس داریم :

$$\dot{s}=\ddot{x}_1-\ddot{x}_{1d}+\lambda\dot{\breve{x}} \quad (۱۱)$$

با جایگذاری $\ddot{x}_1$ از پالس دهی غیر خطی از قبل و ساده کردن روابط،رابطه نهایی سطح را بصورت زیر داریم:

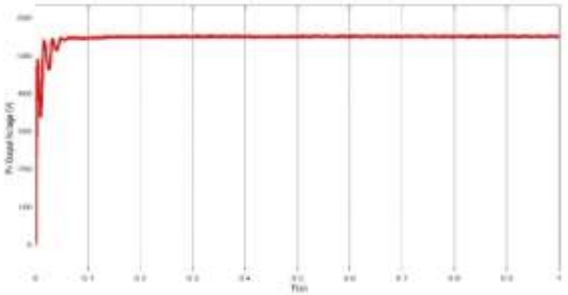
$$\dot{s}=es-\frac{u^2}{v_{abc}(x_{1,2})C}-\ddot{x}_{1d}+\lambda\dot{\breve{x}} \quad (۱۲)$$

۴- نتایج شبیه سازی

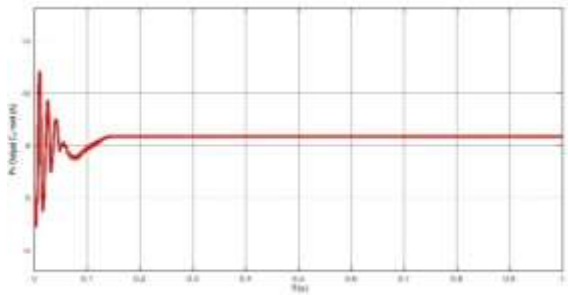
در این مطالعه جهت تایید و صحه گذاری به استراتژی های پیشنهادی برای این سیستم هیبرید مبتنی بر انرژی های تجدید پذیر، مدلسازی این سیستم در نرم افزار سیمولینک متلب انجام گرفته است.

- **حالت اول : وضعیت وصل کامل به شبکه AC و بار خطی**

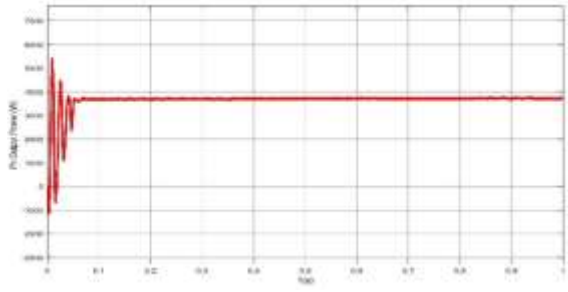
در این حالت شبکه ی DC کلا به شبکه AC متصل می باشد و وضعیت شکل موج ها به صورت زیر حاصل شد. در شکل (۱۳) ولتاژ خروجی فتوولتاییک را نشان داده که صراحتا ولتاژ خروجی در حالت بار خطی از سمت شبکه را در مقدار ۵۵۰ ولت تثبیت کرده است. در شکل (۱۴) جریان خروجی فتوولتاییک در مقدار پایدار نشان داده شده است. در شکلهای (۱۵،۱۶،۱۷) پایداری پارامتر های توان فتووتاییک ، بار و ولتاژ ئر وضعیت پایدار قابل مشاهده است.



شکل۱۳: ولتاژ خروجی شبکه PV

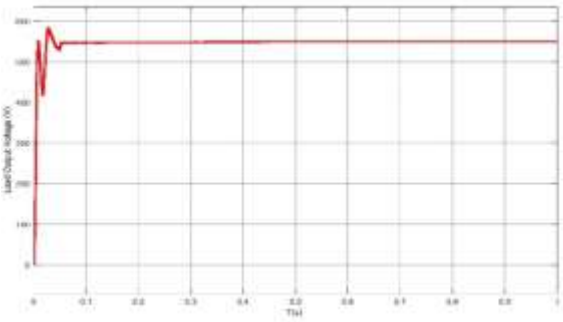


شکل۱۴:جریان شبکه یPV

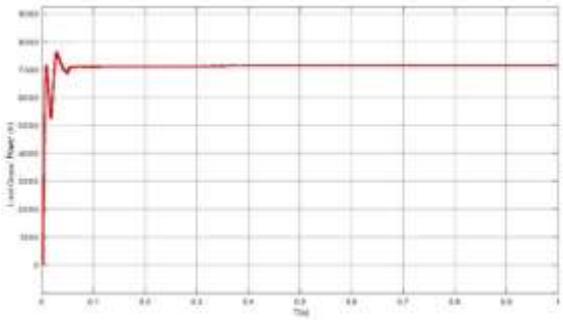


شکل۱۵:توان خروجی شبکه یPV

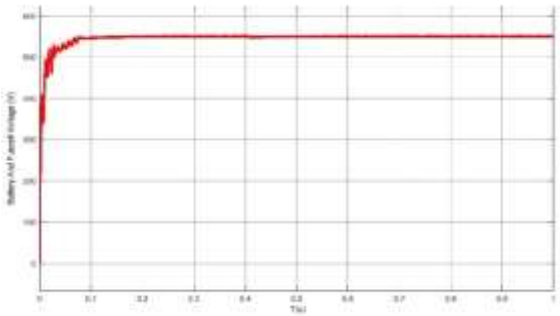
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل۱۶: ولتاژ دو سر بار

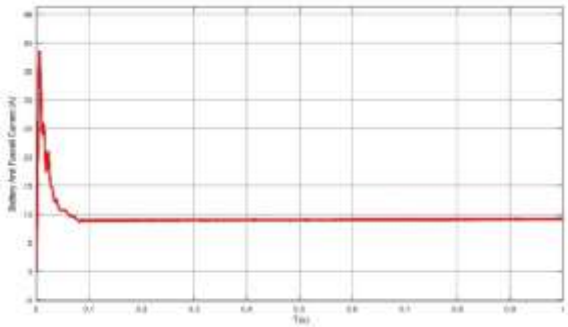


شکل۱۷: توان بار

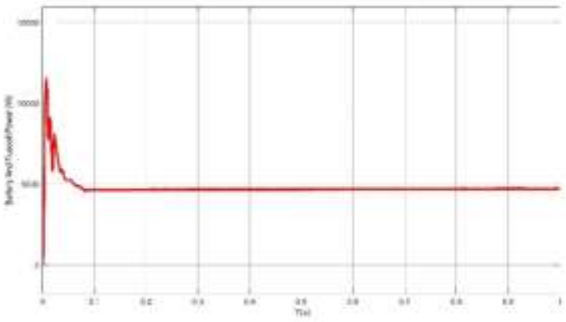


شکل۱۸: ولتاژ خروجی باتری

در شکل (۲۰،۱۹،۱۸) پارامترهای قسمت باتری را نشان میدهد که ثبات در وضعیت اتصال شبکه و بار خطی را کاملا واضح نشان داده است.



شکل۱۹: جریان خروجی باتری

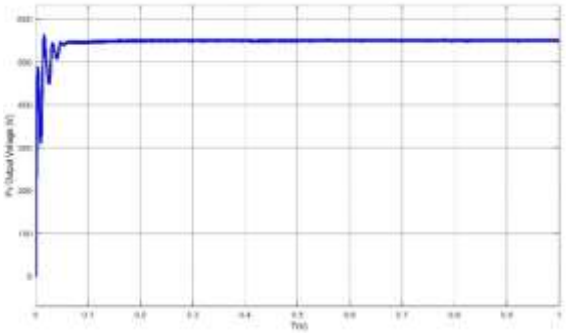


شکل۲۰: توان خروجی باتری

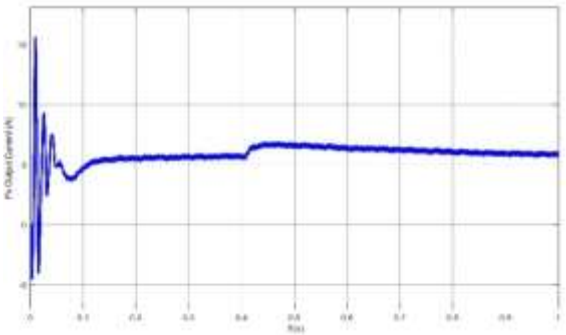
- **حالت دوم: حضور بار غیر خطی اینورتری در شبکه:**

در این حالت بار خطی قطع شده و به جای آن یک بار غیرخطی اینورتری جایگذاری می‌شود. در شکل (۹) سیستم کنترل این بار غیر خطی را نشان دادیم. در آزمایش سیستم نیز تا ثانیه ی ۰.۴ ثانیه ریز شبکه به شبکه ی اصلی وصل می باشد و پس از آن از شبکه قطع می شود که نتایج شبیه سازی در حضور بار غیر خطی به صورت زیر می شود.

در شکل (۲۳،۲۲،۲۱) پارامترهای سیستم فتوولتاییک را نشان می‌دهد که ثبات در وضعیت اتصال شبکه و بار خطی و همچنین کنترل کردن شرایط اختلال را کاملا به وضوح بیان میکند .

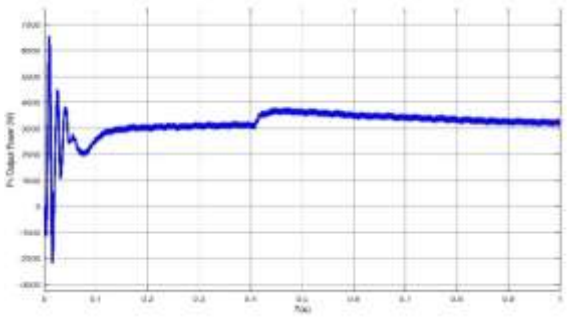


شکل۲۱: ولتاژ خروجیPV

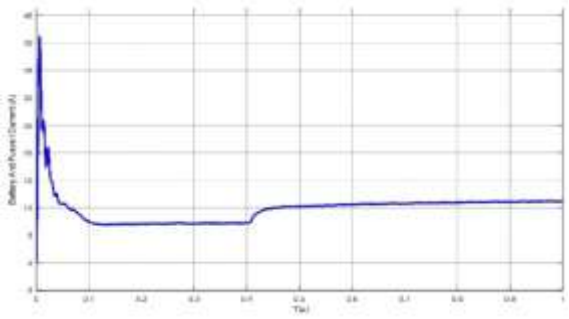


شکل۲۲: جریان خروجیPV

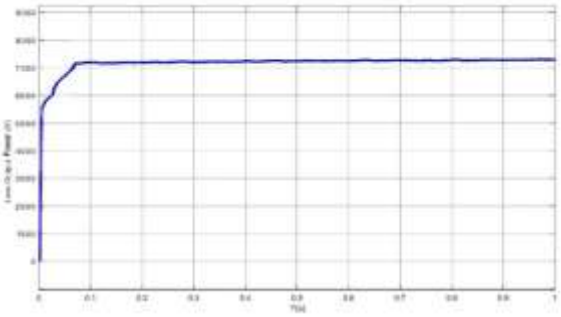
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



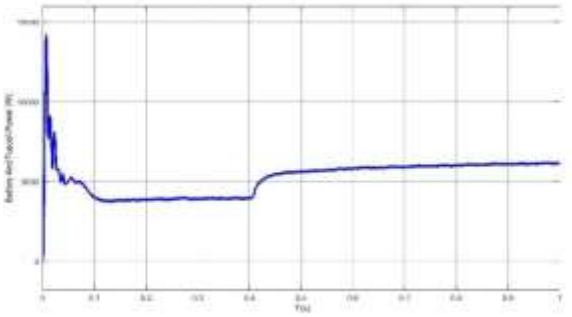
شکل۲۳: توان خروجیPV



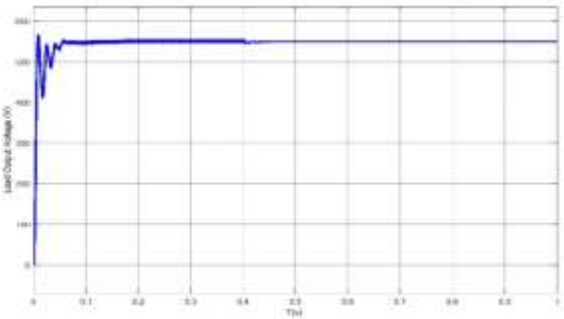
شکل۲۶: جریان خروجی باتری و پیل سوختی



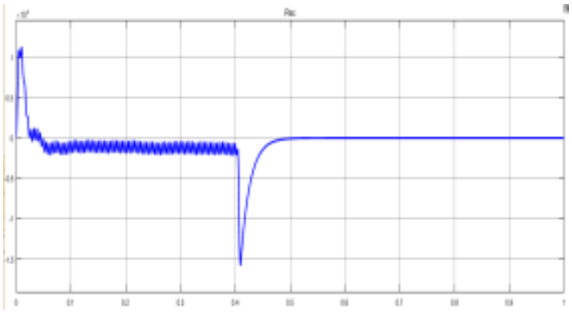
شکل۲۴: توان بار



شکل۲۷: توان خروجی باتری و پیل



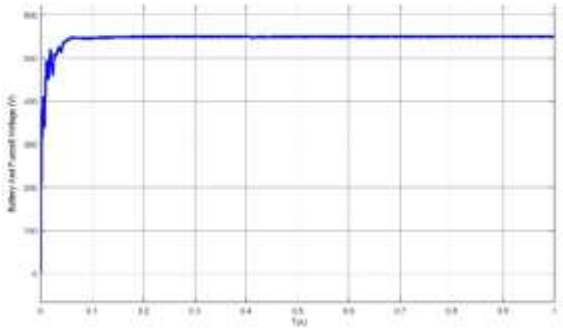
شکل۲۴: ولتاژ خروجی بار



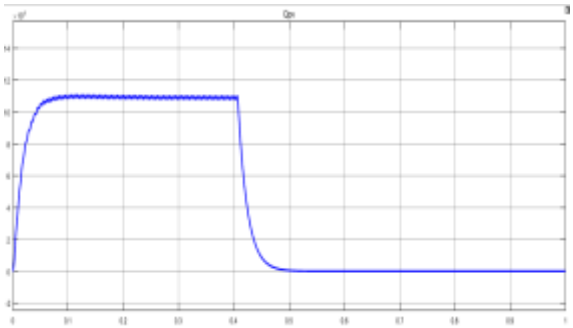
شکل۲۸: توان اکتیو شبکه یac

کنترل کردن شرایط اختلال در شکل های فوق توسط استراتژی های طراحی شده به صورت دقیق قابل مشاهده است که در زمان وقوع، استراتژی ها استفاده شده هماهنگی و پایدار سازی را فراهم کرده اند.

در شکل (۲۸) و (۲۹) وقوع اختلال را مشاهده می‌کنید که در زمان کوتاهی سیستم‌های کنترلی عکس العمل خود را نشان داده‌اند و خروجی سیستم قدرت را خیلی سریع به حالت پایداری رسانده و اختلال ایجاده به طور کامل کنترل شده است.

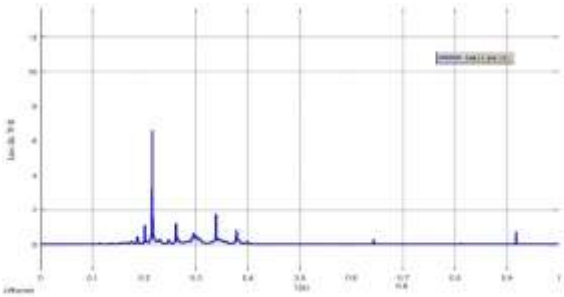


شکل۲۵: ولتاژ خروجی باتری و پیل سوختی

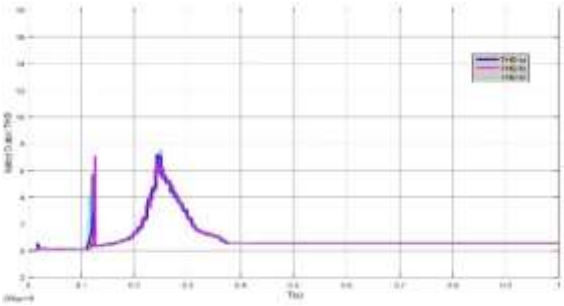


شکل۲۹: توان راکتیو شبکه یac

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل۳۰: نمودار هارمونیک های لینک DC در زمان بار غیر خطی



شکل۳۱: نمودار هارمونیک‌های جریان سه فازه خروجی از سیستم

در شکل‌های فوق هارمونیک های تاثیر گذار سیستم را مشاهده می‌کنید که در مقادیر استاندارد کنترل شده و ناپایداری طولانی مدتی را در نمودارها ندارند و هارمونیک‌های مضر در روند نمودار ها به مقادیر حداقل رسیده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، طراحی استراتژی های کنترلی برای پایداری یک سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه و حالت های باتری در یک شبکه کوچک DC در سیستم انرژِی های تجدید پذیر می باشد که اینکار با حضور سیستم انرژی تجدید پذیر با عدم قطعیت برای خروجی سیستم در زمان عادی و ورود بار غیر خطی انجام شده است. مهمترین بخش برای حفظ و تثبیت ولتاژ لینک DC در خروجی مورد نظر با اعمال حالت های متغییر در شرایط کاری در نظر گرفته شده هنگام اتصال به شبکه برق قدرت و حالت جزیره ای انجام گرفت. انتخاب استراتژی ها برای مدیریت BESS طوری انجام گرفت که در هر شرایطی در خروجی سیستم شاهد تغییراتی نابسامانی در نمودار ها نباشیم و همچنین در شرایط متغییر التزامی برای قطع سیستم از شبکه نداشته باشیم . همچنین اجباری برای اعمال تغییراتی همچون سوییچینگ دستی در شرایط مختلف به وجود نیاید. همچنین کنترلرهای پیشنهادی برای شارژ و دشارژ باتری می تواند روشی قابل استناد باشد. در طراحی فیلترها هم برای تنظیم ولتاژ خروجی دیدیم که هارمونیک‌های ایجاد شده تغییرات موثری در خروجی سیستم ظاهر نشد. نتایج شبیه سازی این مقاله به طور واضح کارایی موفق خود را برای این سیستم و شرایط مورد نظر در قسمت سیمولینک نرم افزار متلب. به انجام رسیده است و برای اجرای عملی در ریز شبکه ها قابل اجرا می‌باشد.

مراجع

[1] Y. Wang, S. Lou, Y. Wu, S. Wang, "Flexible operation of retrofitted coal-fired power plants to reduce wind curtailment considering thermal energy storage", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 35, no. 2, pp. 1178-1187, March 2020.

[2] M. Mahdavian, G. Shahgholian, "State space analysis of power system stability enhancement with used the STATCOM", *Proceeding of the IEEE/ECTICON*, pp. 1201-1205, 2010.

[3] O. Sharifiyana, M. Dehghani, G. Shahgholian, S. M. M. Mirtalaei, M. Jabbari, "An overview of the structure and improvement of the main parameters of non-isolated dc/dc boost converters", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 12, no. 48, pp. 1-29, March 2022.

[4] H. Moghadassi, M.R. Moradian, "Dynamic response and low-voltage ride-through improvement for a DFIG, using an integral sliding mode controller with an adjustable reactive power reference value", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 14, no. 55, pp. 13-26, Dec. 2023.

[5] M. Mahdavian, N. Wattanapongsakorn, G. Shahgholian, S. H. Mozafarpoor, M. Janghorbani, S. M. Shariatmadar, "Maximum power point tracking in wind energy conversion systems using tracking control system based on fuzzy controller", *Proceeding of the IEEE/ECTICON*, pp. 1-5, 2014.

[6] M. Mahdavian, G. Shahgholian, P. Shafaghi, M. Azadeh, S. Farazpey, M. Janghorbani, "Power system oscillations improvement by using static VAR compensator", *Proceeding of the IEEE/ECTICON*, pp. 1-5, 2016.

[7] F. Khalafian, "Robust planning of the islanded hybrid system including renewable and non-renewable sources and stationary and mobile storages", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 14, no. 53, pp. 15-32, Sept. 2022

[8] G. Shahgholian, P. Shafaghi, S. Moalem, M. Mahdavian, "Analysis and Design of a Linear Quadratic Regulator Control for Static Synchronous Compensator", *Proceeding of the IEEE/ICCEE*, pp. 65-69, 2009.

[۹] مالکی امین، براتی حسن، **"جایابی و تعیین اندازه بهینه خازن‌های موازی درشبکه‌های توزیع با استفاده از الگوریتم آموزش-یادگیری"**، نشریه تحقیقات نوین در برق، سال: ۲، ش.: ۲، ص. ۳۶-۲۷، ۱۳۹۲.

[10] S.H. Mozafarpoor-Khoshrodi, G. Shahgholian, "Improvement of perturb and observe method for maximum power point tracking in wind energy conversion system using fuzzy controller", *Energy Equipment and Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 111-122, Autumn 2016.

[11] G. Shahgholian, M. Mahdavian, M. Janghorbani, I. Eshaghpour, E. Ganji, "Analysis and simulation of UPFC in electrical power system for power flow control", *Proceeding of the IEEE/ECTICON*, pp. 62-65, Phuket, Thailand, June 2017

[۱۲] قنبرزاده مسعود، براتی حسن، **"پخش بار بهینه دینامیکی در ریزشبکه‌های صنعتی با درنظر گرفتن شارژ خودروهای الکتریکی"**، نشریه تحقیقات نوین در برق، سال: ۲، ش.: ۳، ص.: ۲۲-۱۱، ۱۳۹۲.

[13] G. Shahgholian, K. Khani, M. Moazzami, "Frequency control in autanamous microgrid in the presence of DFIG

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

based wind turbine", *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 6, no. 23, pp. 3-12, Dec. 2015

[14] G. Shahgholian, P. Shafaghi, S. Moalem, M. Mahdavian, "Damping power system oscillations in single-machine infinite-bus power system using a STATCOM", *Proceeding of the IEEE/ICCEE*, pp.130-134, Dubai, Dec. 2009.

[15] M. Mahdavian, G. Shahgholian, M. Janghorbani, B. Soltani, N. Wattanapongsakorn, "Load frequency control in power system with hydro turbine under various conditions", *Proceeding of the IEEE/ECTICON*, pp. 1-5, Hua Hin, Thailand, June 2015

[16] T. Zhao, A. Parisio, J.V. Milanović, "Distributed control of battery energy storage systems in distribution networks for voltage regulation at transmission–distribution network interconnection points", *Control Engineering Practice*, vol. 119, Article Number: 104988, Feb. 2022.

[17] R. Zhang, A.V. Savkin, B. Hredzak, "Centralized nonlinear switching control strategy for distributed energy storage systems communicating via a network with large time delays". *Journal of Energy Storage*, vol. 41, Article Number: 102834, 2021.

[18] M.Y. Abouboua, R. Ayadb, M. Saadia, M. Becherifc, M. Bahria, "Experimental validation of differential flatness-based control applied to stand alone using photovoltaic/fuel cell/battery hybrid power sources", *International Journal of Hydrogen Energy* Volume, vol. 42, no. 2, pp. 1510–1517, 2017.

[19] N. Eghtedarpour, E. Farjah, "Distributed Charge/discharge Control of Energy Storages in a Renewable-energy-based DC Micro-grid", *IET Renewable Power Generation*, vol. 8, no. 1, pp. 45-57, 2014.

[20] W. Pinthurat, B. Hredzak. "Fully decentralized control strategy for heterogeneous energy storage systems distributed in islanded DC datacentre microgrid", *Energy* vol. 231, Article Number: 2021, 120914, 2021.

[21] X. Wei, et al., "An adaptive droop control for distributed battery energy storage systems in microgrids with DAB converters", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 130, Article Number: 106944, 2021.

[22] K. Wenfa, et al., "Distributed heterogeneous energy storage systems synchronization control with dynamic weights and time-varying unbalanced digraphs", *Energy Reports*, vol. 6, pp. 877-885, 2020.

[23] X. Wei, et al., "An adaptive virtual inertia control strategy for distributed battery energy storage system in microgrids", *Energy*, Article Number: 121155, 2021.

[24] Z. Hongshan, W. Guo, "Coordinated control method of multiple hybrid energy storage systems based on distributed event-triggered mechanism", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 127, Article Number: 106637, 2021.

[25] Y. Jiaqi, et al., "A control strategy for distributed energy system considering the state of thermal energy storage". *Sustainable Cities and Society*, vol. 63, Article Number: 102492, 2020.

[26] A. Asfand Yar, et al., "Optimizing coordinated control of distributed energy storage system in microgrid to improve battery life", *Computers & Electrical Engineering*, vol. 86, Article Number: 106741, 2020.

[27] S.J. Chiang, et. Al., "Modeling and control of PV charger system with SEPIC converter", *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 56, no. 11, pp. 4344–4353, 2009.

[28] K. Sun, et. Al., "A distributed control strategy based on dc bus signaling for modular photovoltaic generation systems with battery energy storage", *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 26, no. 10, pp. 3032–3045, 2011.

[29] W. Jiang, B. Fahimi, "Active current sharing and source management in fuel cell–battery hybrid power system", *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 57, no. 2, pp. 752–761, 2010.

[30] M. Abdollahi Sofla, L. Wang, "Control of DC–DC bidirectional converters for interfacing batteries in microgrids". *IEEE PES Power Systems Conference and Exposition (PSCE), Phoenix AZ*, vol. 35, no. 10, pp. 1–6, 2011.

[31] W. Yu, et al., "Distributed control of heterogeneous energy storage systems in islanded microgrids: Finite-time approach and cyber-physical implementation", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 119, Article Number: 105898, 2020.

[32] D. Xu, et. al., "A novel adaptive command-filtered backstepping sliding mode control for PV grid-connected system with energy storage", *Solar Energy*, vol. 178, pp. 222-230, 2019.

[33] R. Zamora, A. Srivastava, "Controls for micro-grids with storage: review, challenges, and research needs", *Renew. Sustain. Energy Rev*., vol. 14, pp. 2009–2018, 2010.

[34] K.A. Smith, et. Al., "Model-based electrochemical estimation and constraint management for pulse operation of lithium ion batteries", *IEEE Trans. Control Syst. Technol*., vol. 18, no. 3, pp. 654–663, 2010.

[35] M. Durr, "Dynamic model of a lead acid battery for Use in a domestic fuel cell system", *J. Power Sources*, vol. 161, no. 2, pp. 1400–1411, 2010.

[36] W. Jiang, B. Fahimi, "Active current sharing and source management in fuel cell–battery hybrid power system", *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 57, no. 2, pp. 752–761, 2010.

[37] S. Tian, et. al. "An experimental study and nonlinear modeling of discharge I–V behavior of valve-regulated lead–acid batteries", *IEEE Trans. Energy Convers*., vol. 24, no. 2, pp. 452–458, 2009.

[38] K.W.E. Cheng, et. al., "Battery-management system (BMS) and SoC development for electrical vehicles", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 1, pp. 76–88, 2011.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

رزومه



احسان گنجی در کرمانشاه متولد شده است (۱۳۶۹). مدارک تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- الکترونیک از جهاد دانشگاهی (۱۳۹۱)، و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نایین(۱۳۹۵) دریافت کرده است. فعالیتهای پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه انرژی های تجدیدپذیر، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر مدیر گروه برق دانشگاه فنی واحد کرمانشاه می‌باشد.



مهدی مهدویان در اصفهان متولد شده است (۱۳۵۷). مدارک تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-از دانشگاه دولتی کاشان (۱۳۸۱)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق از دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد(۱۳۸۳) و دکتری مهندسی برق قدرت از دانشگاه KMUTT (2017) دریافت کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه بهینه سازی چند هدفه، کیفیت توان، و بهره‌برداری از سیستم‌های قدرت است و در حال حاضر هیات علمی تمام وقت گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد نایین می‌باشد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022

Distributed control of grid-connected energy storage system and nonlinear load-based stability performance improvement

Ehsan Ganji, Mehdi Mahdavian*

Department of Electrical Engineering, Naein Branch, Islamic Azad University, Naein, Iran
, meh_mahdavian@yahoo.commr.ehsanganji@gmail.com

Abstract: Recently, researchers are increasingly paying attention to the continuous use of renewable systems (such as fuel cells, wind, or solar) due to increased energy consumption, energy supply, and prevention of environmental damage. Photovoltaic power generation (PV) systems are one of the most important low-cost ways among new energy sources. In this paper, a photovoltaic (PV) system is used as the main power generator, and also PEMFC is used as energy storage equipment. The advantages of the proposed system include environmental compatibility, reduction of system noise, and low cost. The proposed control strategy also ensures the system stability in various situations of connection of distributed generation sources, such as photovoltaic system to the grid and non-linear load, which brings the island mode of operation. In addition, a battery with a fuel cell is used to store energy, which has a control system similar to the control of the distributed generation system and does not need to change the control mode of the system when changing the mode from an island.

Keywords: Photovoltaic System, Fuel Cell, PEMFC, Island Performance, System Stability, Hybrid System, Nonlinear Load, Battery.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.4.4.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10, No. 4- Winter 2022
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]