

بهبود شاخص‌های کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع با مولدهای پراکنده در ریز شبکه‌ها

فردین شکری^۱، کاروان کریمی زاده^۲

^۱ کارشناسی ارشد، مهندسی برق سیستم‌های قدرت، دانشگاه آزاد واحد مریوان، ایران
^۲ استادیار، مهندسی برق قدرت، دانشگاه آزاد واحد مریوان، ایران

چکیده

با تغییر ماهیت سیستم‌های الکتریکی از سیستم‌های الکتریکی معمولی به سیستم‌های الکتریکی هوشمند، باید جنبه‌های مختلفی را در نظر گرفت و با شرایط جدید تطبیق داد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سیستم‌های الکتریکی، مفهوم کیفیت توان است. در این مقاله، بهبود شاخص‌های کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع نمونه در کارکرد توامان با مولد های پراکنده در ریز شبکه‌ها ارزیابی گردیده است. بر اساس نتایج سیستم SPVUPQC متشکل از یک جبران کننده استاتیک توزیع (DSTATCOM) و یک بازسازی کننده ولتاژ دینامیکی (DVR)، برای جبران همزمان اعوجاج ولتاژ، افت/سوخت و غیره و همچنین هارمونیک‌های جریان، توان راکتیو و عدم تعادل جریان‌های بار و غیره. مدل سیستم SPVUPQC در محیط MATLAB توسعه یافته است و نتایج آن برای نشان دادن قابلیت‌های آن ارائه شده است. اعتبار سنجی سیستم نیز بر روی نمونه اولیه سخت افزاری انجام می‌شود و به طور همزمان برای افزایش کیفیت توان ولتاژ و جریان به طور موثر عمل می‌کند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد کنترل کننده فازی پیشنهادی در شرایط مختلف مانند تغییر بار، تغییر شدت تابش خورشید و غیره عملکرد خوبی در بهبود شاخص‌های کیفیت توان از خود نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: کیفیت توان، شبکه توزیع، مولدهای پراکنده، ریز شبکه‌ها

مقدمه

سال‌های اخیر، منابع تولید پراکنده، با توجه به دستاوردهای فراوانشان، به بخش جدانشدنی و بااهمیت در شبکه‌های قدرت امروزی تبدیل شده‌اند. بهبود تنظیم ولتاژ شبکه، کمک به شرایط اوج مصرف و کاهش بارگذاری خطوط انتقال و ترانسفورماتورهای قدرت، بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش آلاینده‌گی محیط‌زیست از جمله دلایل رشد و توسعه منابع تولید پراکنده‌اند. در مقابل مزیت‌های این منابع برای شبکه، افزایش حضور منابع تولید پراکنده، چالش‌های جدیدی برای شبکه‌های قدرت فراهم کرده است. از مهم‌ترین مشکلات ایجادشده، تأثیر بر عملکرد سیستم حفاظتی شبکه است. ساختار حفاظتی سنتی شبکه‌ها با تأثیر از حضور منابع تولید پراکنده، دچار اختلال می‌شود و عملکرد نادرستی خواهد داشت [۱].

امروزه فیلترهای اکتیو نقش مهمی را در بهبود مشکلات کیفیت توان در سیستم‌های توزیع ایفا می‌کنند. افزایش روز افزون بارهای غیر خطی اعم از یکسوکننده‌های دیودی و تریستوری و غیره در سیستم‌های توزیع منجر به بروز مشکلات کیفیت توان و تأثیر متقابل آن بر روی بارهای تغذیه شونده از آن شین می‌شوند. از طرف دیگر، به دلیل محدودیت‌های در نظر گرفته شده توسط استاندارد‌های بین‌المللی مختلف به خصوص برای مصرف‌کننده‌های صنعتی، کاهش مشکلات هارمونیکی ناشی از بار به عنوان یک ضرورت مطرح می‌گردد [۲].

برای بهبود و ارتقاء کیفیت توان ارائه شده به مصرف‌کنندگان انواع مختلفی از جبران‌سازها معرفی شده‌اند. فیلترهای پسیو به عنوان اولین جبران‌سازها به منظور حذف هارمونیک‌های جریان و بهبود ضریب توان معرفی شده‌اند. اگر چه این دسته از فیلترها از سادگی و هزینه کمی برخوردارند، ولی به دلیل تأثیر امپدانس خط و احتمال بروز مشکلات رزونانسی، عدم توانایی در حذف چندین مولفه هارمونیکی از مقبولیت کمی برخوردارند [۳]. به همین دلیل، تحقیقات مختلف و گسترده‌ای در زمینه طراحی سایر جبران‌سازها انجام گرفته است؛ بنابراین، این تحقیق به دنبال بهبود شاخص‌های کیفیت توان در شبکه‌ی توزیع نمونه در کارکرد توامان با مولد‌های پراکنده در ریز شبکه‌ها می‌باشد.

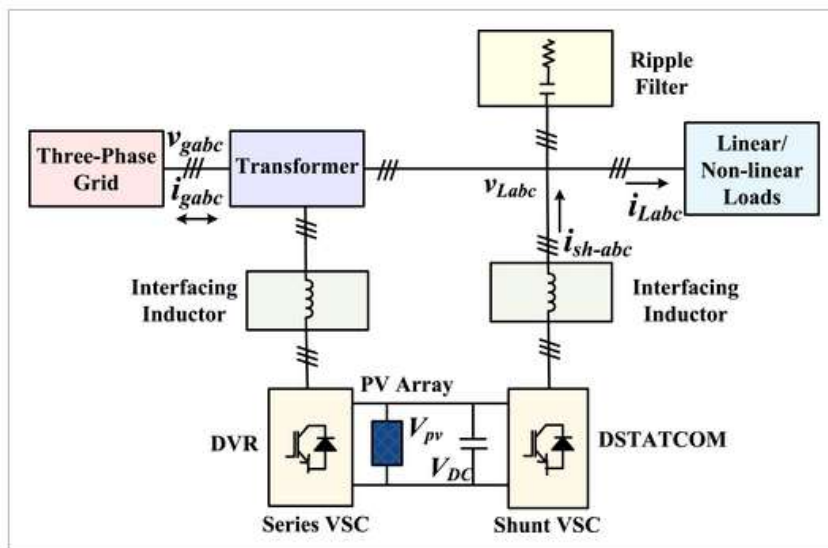
از طرف دیگر، امروزه ریزشبکه‌ها راه‌حل مناسب برای افزایش نفوذ منابع انرژی تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت در نظر گرفته می‌شوند [۲]. ریزشبکه می‌تواند یک شبکه توزیع ولتاژ پایین متشکل از منابع تولید پراکنده، دستگاه‌های ذخیره‌ساز، نیروگاه‌های تجدیدپذیر و بارهای پاسخگو باشد که می‌توانند در حالت‌های متصل به شبکه و جدا از شبکه (جزیره‌ای) عمل کنند [۳].

در [۴] عدم قطعیت قیمت، بارهای الکتریکی و دمای محیط مورد بررسی قرار گرفته است و با یک طرح بهینه‌سازی تصادفی دو مرحله‌ای هزینه‌های بهره‌برداری را به حداقل رسانده است. در [۵] مدل تصادفی دو مرحله‌ای برای مدیریت منابع انرژی ریزشبکه‌ها با توجه به تولیدات تجدیدپذیر، وسایل نقلیه الکتریکی و عدم قطعیت قیمت بازار پیشنهاد شده است. یک مدل دو مرحله‌ای برای بهینه‌سازی ریزشبکه‌ها با در نظر گرفتن مدلسازی دقیق محدودیت‌های بهره‌برداری در [۶] ارائه شده است. مسئله بهینه‌سازی با توجه به مقدار پیش‌بینی‌شده تولیدات تجدیدپذیر، در مرحله اول به صورت یک مسئله برنامه‌ریزی خطی آمیخته با عدد صحیح تدوین می‌شود و در مرحله دوم بهره‌برداری زمان-واقعی غیرقطعی با مدلسازی عدم قطعیت‌ها صورت می‌گیرد. از آنجایی که گسترش روزافزون منابع تجدیدپذیر توزیع‌شده انرژی، باعث ایجاد چالش‌های عمده فنی در تعادل عرضه و بار می‌شود، استفاده از خدمات جانبی فرعی محلی برای اپراتورهای شبکه از اهمیت بسزایی برخوردار است.

مدل سازی مسئله

شکل ۱ نمودار شماتیک سیستم بهبود کیفیت توان یکپارچه با PV خورشیدی (SPVUPQC) متصل به یک شبکه توزیع سه فاز را نشان می‌دهد. مبدل منبع ولتاژ سری سه پایه (VSC) به عنوان DVR و یک شنت سه پایه VSC به عنوان IDSTATCOM جزای اصلی سیستم UPQC هستند. سیستم تولید انرژی فتوولتائیک خورشیدی تک مرحله‌ای مستقیماً به خازن پیوند DC سیستم UPQC متصل می‌شود. فیلترهای ریپل در PCC نصب می‌شوند تا اثر ریپل فرکانس سوئیچینگ را

کاهش دهند. دستگاه DVR ولتاژهای جبرانی را در طول افزایش و افت ولتاژ شبکه از طریق ترانسفورماتور تزریق تزریق می کند. طراحی تمام پارامترهای استفاده شده با توجه به پژوهش [۷] انجام می شود.



شکل ۱- شماتیک های سیستم متصل به شبکه SPVUPQC

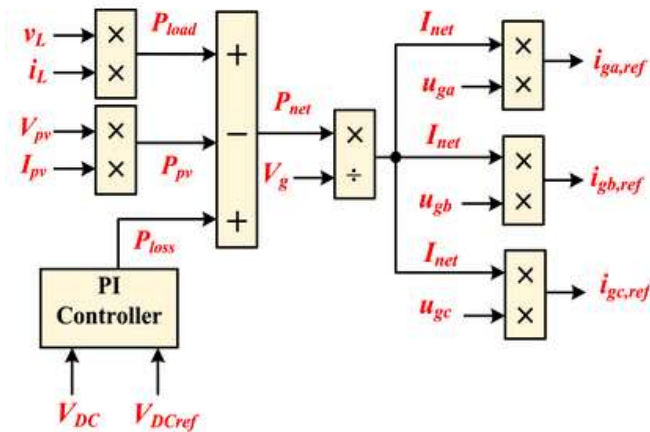
طرح کنترل سیستم SPVUPQC به ترتیب تحت سه بخش اصلی ارائه می شود: کنترل DVR، MPPT و DSTATCOM. در این مقاله، الگوریتم کنترل MPPT مورد استفاده، الگوریتم اغتشاش و مشاهده (P&O) برای به دست آوردن ولتاژ مرجع پیوند DC است. کنترل های سیستم SPVUPQC برای کاهش مشکلات PQ در شبکه توزیع، با داشتن تولید انرژی PV خورشیدی استفاده می شود و در این بخش مورد بحث قرار می گیرد.

طرح کنترل DSTATCOM در شکل ۲ نشان داده شده است. هدف اصلی DSTATCOM ارائه جبران بار است، یعنی حذف هارمونیک ها در جریان شبکه به دلیل بار غیر خطی، اصلاح ضریب توان، جبران توان راکتیو و غیره ظاهر می شود. طرح کنترل برای تولید جریان های مرجع است که جریان های شبکه مورد نظر هستند که باید عاری از هارمونیک های ناشی از بار غیرخطی باشد و فقط شامل مولفه های توان فعال و اصول اولیه باشد. این طرح کنترل از توان های فعال برای تخمین جریان های مرجع استفاده می کند. جزء توان اکتیو خالص (Pnet) از سه جزء توان تشکیل شده است، جزء تلفات (Ploss) با حفظ ولتاژ لینک DC (VDC)، توان بار (Pload) و توان SPV (PPV). توان SPV با ضرب ولتاژ MPP و جریان محاسبه می شود. مولفه بار توان اکتیو خالص از ولتاژهای بار برآورد شده و جریان های بار حس شده محاسبه می شود. شکل ۲-الف، اجرای دقیق برای برآورد جریان های شبکه مرجع فعال خالص برای شنت VSC را نشان می دهد. عنصر تلفات توان اکتیو خالص خروجی تنظیم کننده یکپارچه ساز تناسبی (PI) است که در شکل ۲-الف نشان داده شده است. توان خالص در معادله زیر آورده شده است.

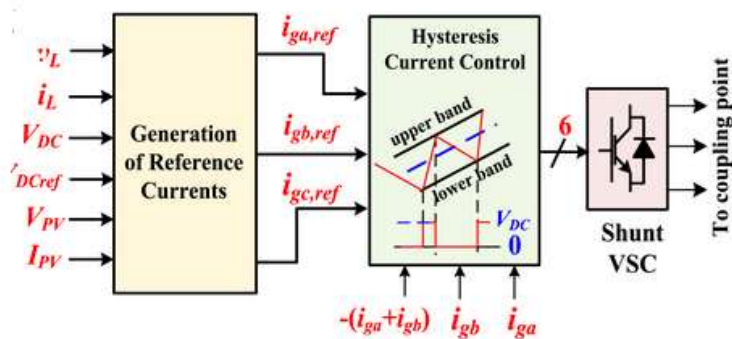
$$P_{net} = P_{Load} - P_{PV}$$

$$P_{Load} = v_{L,abc} \cdot i_{L,abc}$$

۱



الف



ب

شکل ۲- بلوک دیاگرام طرح کنترل DSTATCOM. (الف) تولید جریان های شبکه مرجع و (ب) تولید پالس های سوئیچینگ برای شنت VSC

جریان خالص خالص با استفاده از FPSC از معادله قبلی به صورت زیر محاسبه می شود:

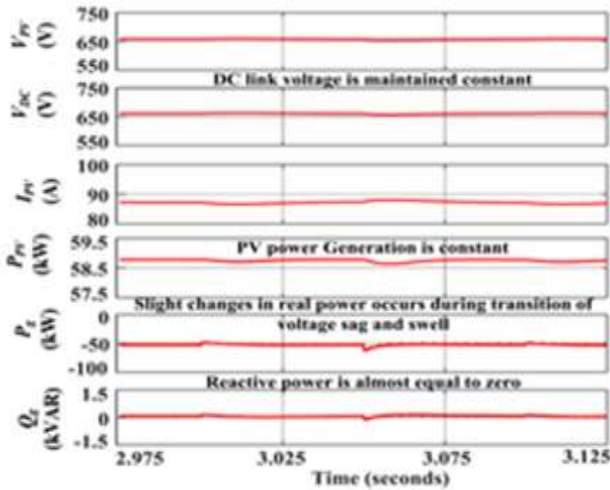
$$I_{net} = \frac{P_{net}}{v_{g\alpha}^2 + v_{s\beta}^2} \quad ۲$$

اکنون، جریان های مرجع (igabc,ref) با ضرب FPSC های ولتاژ شبکه در دامنه abc محاسبه می شوند. همچنین جریان خالص بدست آمده از رابطه ارائه شده در بالا علاوه بر این، نتایج مقایسه بین جریان های مرجع و جریان های بار حس شده به بلوک تولید پالس برای تولید پالس های سوئیچینگ DSTATCOM همانطور که در شکل ۲-ب نشان داده شده است، منتقل می شود. خطای جریان لحظه ای از طریق کنترل کننده جریان هیستریزس و پالس های سوئیچینگ به شنت VSC تغذیه می شود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل دقیق پارامتر کنترل و انتخاب پهنای باند آن در پیوست - تحلیل ریاضی پهنای باند حلقه کنترل ارائه شده است.

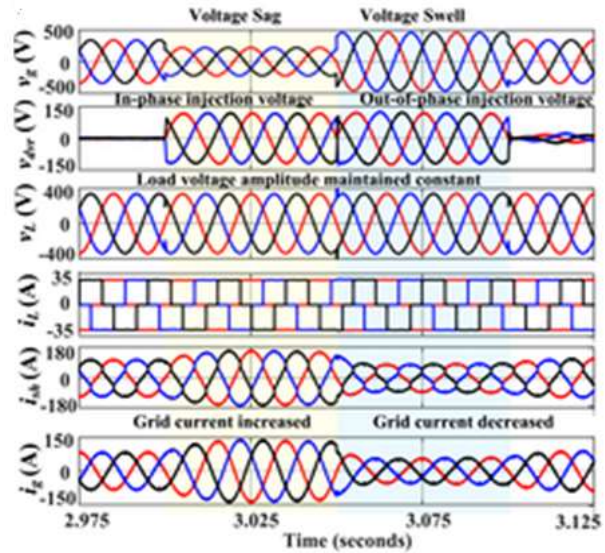
نتایج شبیه سازی

نتایج شبیه سازی شده سیستم SPVUPQC در این بخش برای تجزیه و تحلیل عملکرد تحت شرایط مختلف مورد بحث قرار می گیرد. شکل موج های مورد بحث عبارتند از: تابش خورشیدی (G)، ولتاژ شبکه سه فاز (vg)، ولتاژ بار (vL)، ولتاژ تزریقی (vDVR)، جریان بار (iL)، جریان تزریقی (ish)، جریان شبکه (ig)، ولتاژ لینک (VDC) DC، ولتاژ (VPV) SPV، جریان (IPV)، توان (PPV) و فعال سمت شبکه (Pg) و توان راکتیو (Qg). شکل ۳-الف و ب نتایج شبیه سازی شده سیستم

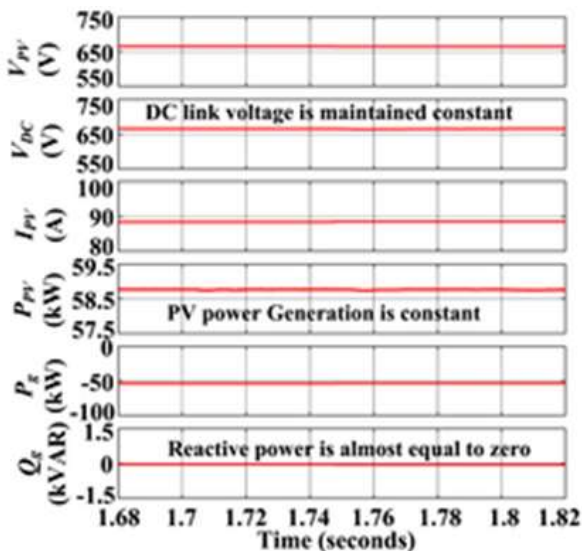
SPVUPQC را در شرایط افت و تورم ولتاژ متعادل نشان می دهد. در حالی که شبکه دارای افت ولتاژ متعادل ۰,۳۵ pu از $t = 3.05-3.10$ ثانیه است، مقدار ولتاژ بار تا مقدار RMS مشخص شده (خط ۴۱۵ ولت) حفظ می شود و جریان های شبکه بدون هارمونیک و در طول ولتاژ متعادل هستند. همچنین متورم شود. علاوه بر این، جریان های شبکه به خوبی متعادل و بدون هارمونیک در شرایط افزایش ولتاژ ۰,۳۵ pu از $t = 3.05-3.10$ ثانیه هستند. DVR. ولتاژ خارج فاز و داخل فاز را با ولتاژهای شبکه تزریق می کند تا مقدار ولتاژ بار را در شرایط تورم و کاهش ولتاژ حفظ کند.



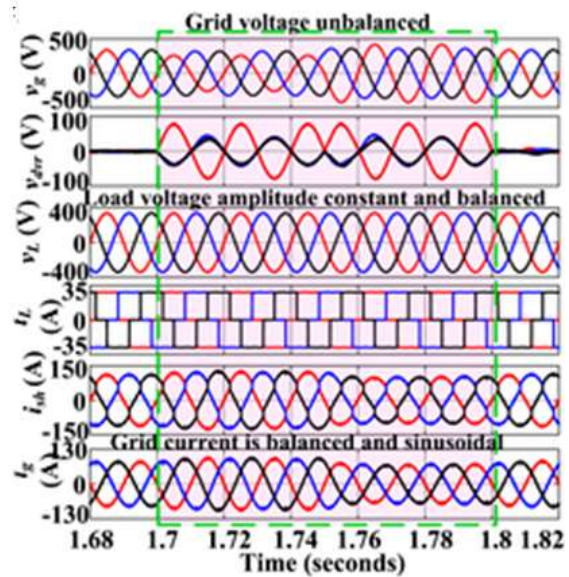
ب



الف



د

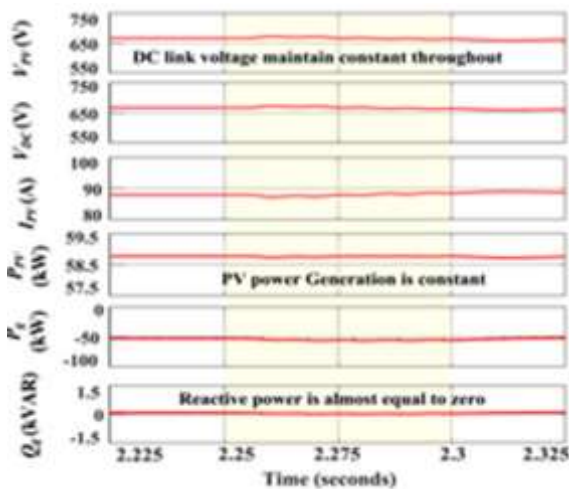


ج

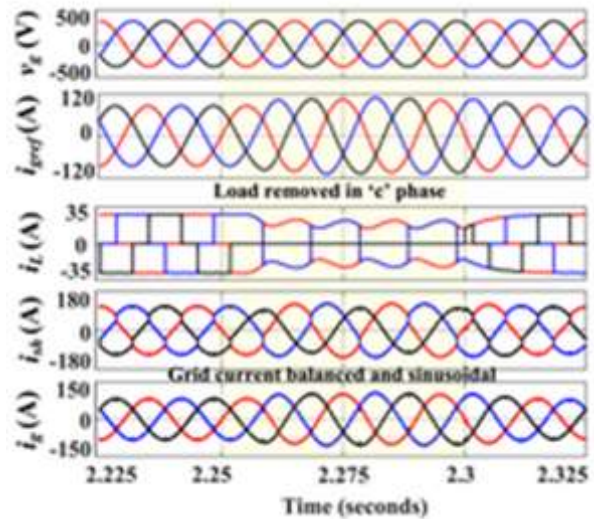
شکل ۳- نتایج شبیه سازی شده برای سیستم SPVUPQC، (الف، ب) در شرایط افت و تورم ولتاژ متعادل و (ج، د) در طول ولتاژ شبکه نامتعادل

شکل ۳ ج و د عملکرد سیستم را در طول ولتاژ شبکه نامتعادل نشان می دهد. ولتاژهای شبکه نامتعادل از $t = 1.7-1.8$ ثانیه رخ می دهد، در این شرایط همچنین مقدار ولتاژ بار تا مقدار مشخص شده (خط ۴۱۵ ولت) حفظ می شود و شکل موج ها به خوبی متعادل هستند. علاوه بر این، جریان های شبکه در شرایط ولتاژ شبکه نامتعادل به خوبی با بدون هارمونیک متعادل می شوند PQ. ولتاژ بار و جریان شبکه به طور همزمان بهبود می یابد، حتی در شرایط نامتعادل شبکه.

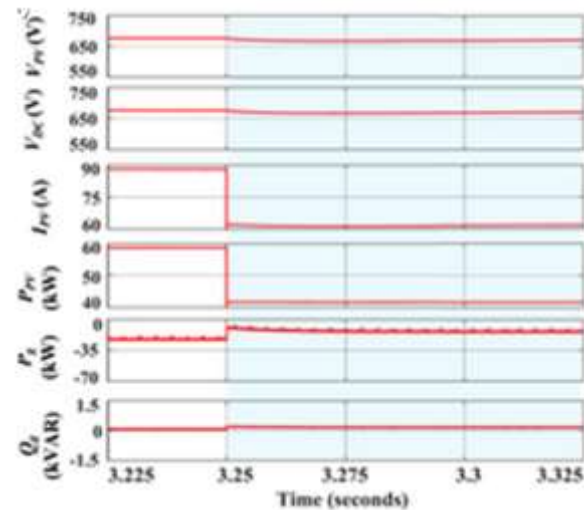
نتایج شبیه سازی شده به صورت گرافیکی در شکل ۴ الف و ب برای سیستم تحت عدم تعادل بار نشان داده شده است. بار نامتعادل با حذف بار در فاز c از $t = 2.25$ تا $t = 2.3$ ثانیه اتفاق می افتد. در این دوره، جریان های شبکه با تزریق جریان های جبرانی توسط DSTATCOM متعادل می شوند و ولتاژ پیوند DC را ثابت نگه می دارند. DSTATCOM نه تنها جریان های جبرانی را فراهم می کند، بلکه توان فعال تولید شده توسط آرایه SPV را برای بارگذاری و باقی مانده به شبکه نیز فراهم می کند. از این رو، جریان های جانبی شبکه و ولتاژها دارای فازهای مخالف هستند تا PQ در شبکه توزیع بهبود یابد. تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم SPVUPQC در طول تغییر تابش خورشیدی در شکل ۵ c و d ارائه شده است. تابش خورشیدی از ۱۰۰۰ وات بر متر مربع تا ۷۰۰ وات بر متر مربع متغیر است، با کاهش تابش خورشیدی، تولید برق خورشیدی و همچنین جریان شبکه از آنجایی که نیاز بار یکسان است، کاهش می یابد. کاهش تابش خورشیدی بر عملکرد سیستم تأثیر نمی گذارد و در عین حال PQ را بهبود می بخشد.



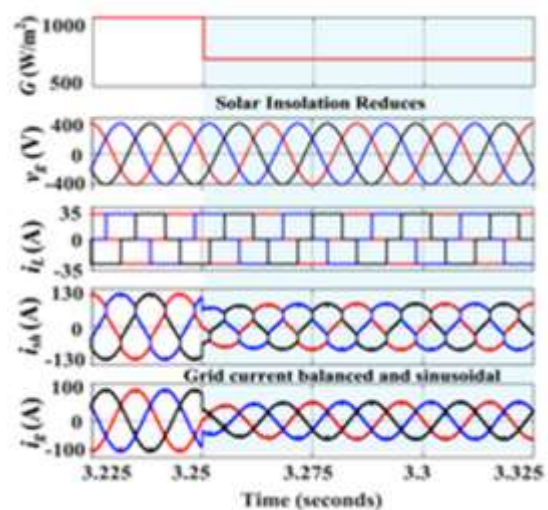
ب



الف



د



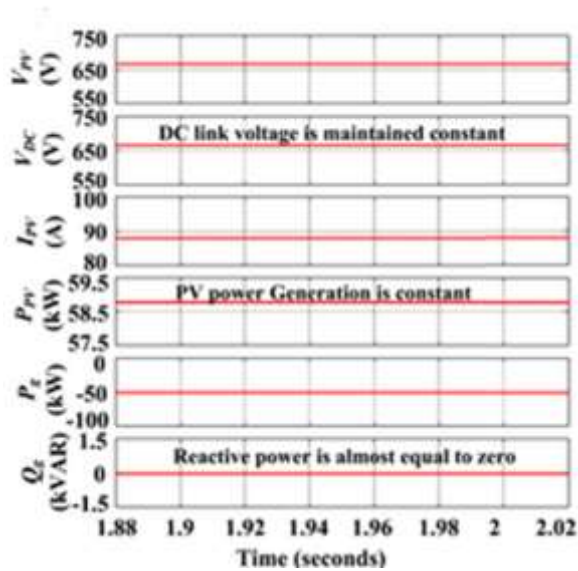
ج

شکل ۴- نتایج شبیه سازی شده برای سیستم SPVUPQC (الف، ب) در شرایط عدم تعادل بار و (ج-د) در هنگام تغییر

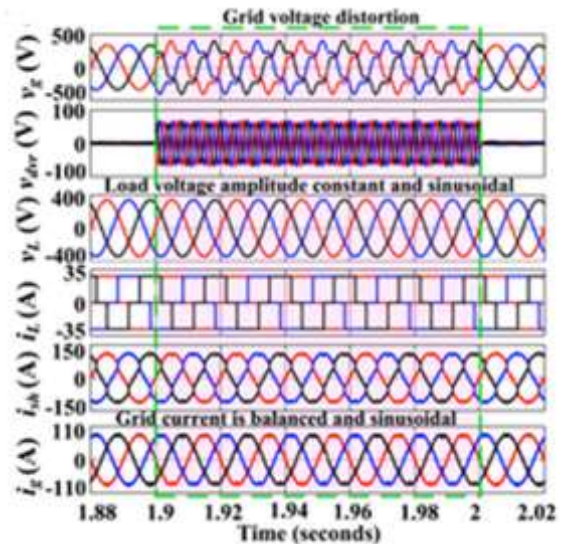
تابش خورشیدی از ۱۰۰۰ وات بر متر مربع تا ۷۰۰ وات بر متر مربع

تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم ارائه شده در طول اعوجاج شبکه در شکل ۵ الف و ب نشان داده شده است. ولتاژهای شبکه تحریف شده متشکل از هارمونیک های مرتبه سوم ۰.۳ p.u.، ۲۵- درجه و هارمونیک های مرتبه پنجم ۰.۲ p.u. تزریق می شود. در دمای ۳۵ درجه تزریق می شود که در مجموع 20 THD % است که بسیار بالاتر از حد مجاز ذکر شده در IEEE

1159 و استانداردهای IEEE-519 از زمان، $t = 1.9-2.0$ ثانیه است. با این حال، ولتاژ بار ۴۱۵ ولت است که در شکل ۵-الف مشاهده می شود. در طول دوره $t = 1.9-2.0$ ثانیه، DVR ولتاژها را به گونه ای تزریق می کند که ولتاژ بار عاری از هرگونه اعوجاج موجود در سمت شبکه باشد و مقدار آن در ولتاژ مورد نظر ۴۱۵ V RMS حفظ شود. جریان‌هایی را به گونه ای تزریق می کند که اثر بار غیرخطی در همان زمان در جریان شبکه حذف شود؛ بنابراین، هر دو PQ ولتاژ و جریان به طور همزمان با استفاده از سیستم UPQC-PV بهبود می یابند.



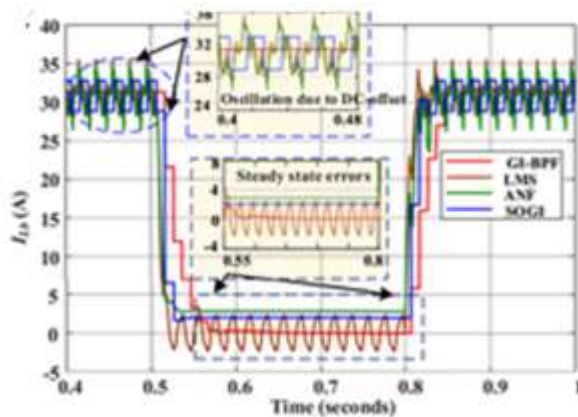
ب



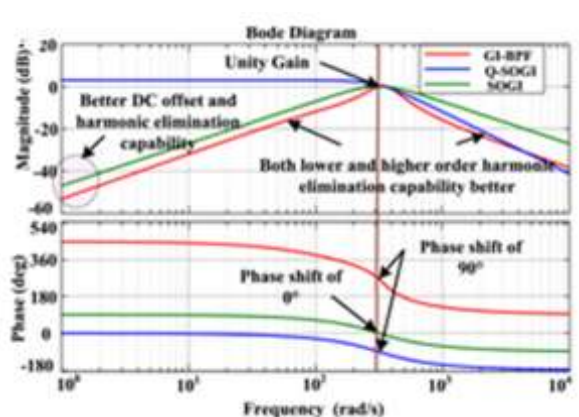
الف

شکل ۵- نتایج شبیه سازی شده برای سیستم SPVUPQC در طول کجی ولتاژ شبکه

اثربخشی و شایستگی کنترل ارائه شده بر روی الگوریتم‌های کنترل مرسوم از نظر تحلیل عملکرد مقایسه‌ای در حوزه زمان و حوزه فرکانس مورد بحث قرار می‌گیرد. پاسخ فرکانسی بر حسب نمودار Bode برای مولفه مربعی GI-BPF-FLL، SOGI و SOGI(Q-SOGI) ارائه شده در شکل ۶-الف شده است و قابلیت‌های رد هارمونیک در جدول ۱ نمایش داده شده است. قابلیت حذف هارمونیک مرتبه بالا و پایین برای GI-BPF-FLL ارائه شده در مقایسه با SOGI و Q-SOGI بهتر است. علاوه بر این، بیشتر ویژگی‌های برجسته مانند قابلیت حذف بهتر DC-offset در شکل ۶-الف به عنوان پاسخ فرکانسی تاکید شده است. الگوریتم کنترل ارائه شده با توجه به قابلیت فیلتر کردن و پاسخ فرکانسی بهتر، انتخاب بهتری است.



ب



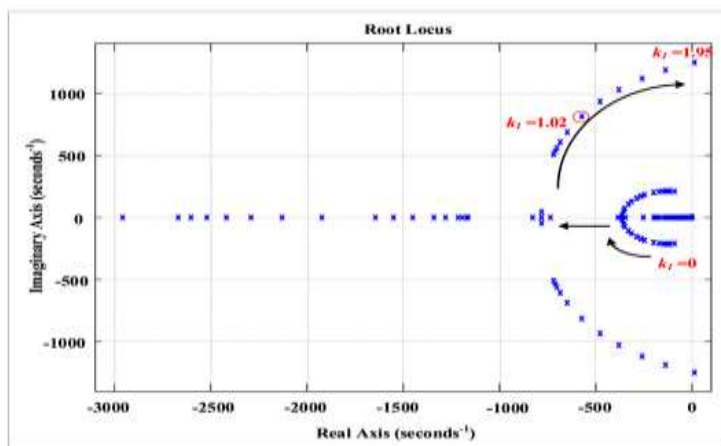
الف

شکل ۶- تحلیل مقایسه ای الگوریتم کنترل ارائه شده با روش متداول (الف) تحلیل پاسخ فرکانسی و (ب) تحلیل عملکرد مقایسه ای حوزه زمان

جدول ۱- عملکرد مقایسه ای از نظر قابلیت‌های رد هارمونیک

الگوریتم کنترل	افست DC	هارمونیک ۳	هارمونیک ۵	هارمونیک ۷	هارمونیک ۱۱	هارمونیک ۱۳
GI-BPF ارائه شده	-55 dB (0.0017)	-25 dB (0.0562)	-29 dB (0.0354)	-34 dB (0.0112)	-37.8 dB (0.01819)	-39.6 dB (0.01047)
Q-SOGI	5 dB (1.778)	-13.9 dB (0.2018)	-21.5 dB (0.084)	-26.8 dB (0.045)	-34 dB (0.0199)	-37.5 dB (0.014)
SOGI	-45 dB (0.0056)	-4.41 dB (0.6018)	-7.94 dB (0.4008)	-10.5 dB (0.298)	-15 dB (0.1778)	-15.8 dB (0.1621)

عملکردهای مقایسه ای در حوزه زمانی الگوریتم کنترل ارائه شده نسبت به کنترل های معمولی، مانند حداقل میانگین مربع (LMS)، فیلتر شکاف تطبیقی (ANF)، Q-SOGI و غیره در شکل ۶-ب برای تخمین دامنه بار مورد بحث قرار گرفته است. جریان FC در شرایط عدم تعادل بار، سیگنال جریان بار ورودی در فاز 'b'، همراه با آفست DC 2A به بلوک های کنترلی LMS، ANF و Q-SOGI ارائه شده برای دامنه مؤلفه اساسی (FC) ارسال می شود. از شکل ۶-ب، مشاهده می شود که یک نوسان در شکل موج های دامنه FC استخراج شده با استفاده از LMS، ANF و Q-SOGI به دلیل اثر افست DC وجود دارد. در حالی که شکل موج دامنه FC صاف و بدون نوسان برای GI-BPF-FLL ارائه شده با افست DC حذف شده است. علاوه بر این، عملکرد حالت پایدار LMS، ANF و Q-SOGI در مقایسه با الگوریتم کنترل GI-BPF-FLL ارائه شده با خطاها و افزایش زمان ته نشینی ضعیف است؛ بنابراین الگوریتم کنترل ارائه شده با قابلیت حذف افست DC و قابلیت فیلتر هارمونیک بهتر انتخاب بهتری است. دینامیک GI-BPF-FLL از طریق نمودار منبع ریشه تابع انتقال (۲) حاکم بر طرح کنترل ارائه شده (نشان داده شده در شکل ۴-۲ الف) بحث شده است. شکل ۷ دینامیک GI-BPF-FLL را از طریق نمودار مکان ریشه با مقادیر مختلف 'k1' نشان می دهد تا مقدار مورد نظر آن به دست آید. مشاهده می شود که پایداری سیستم با قرار گرفتن قطب ها در نیم صفحه سمت چپ حاصل می شود. بدون شک از شکل ۷ مشاهده می شود که با افزایش مقدار k1 از ۰،۲ به ۲، قطب های مزدوج پیچیده از محور فرضی دور می شوند و تمایل دارند به سمت صفحه سمت راست حرکت کنند، که نشان می دهد هر چه مقدار k1 از ۱،۹۵ آن بیشتر شود منجر به بی ثباتی سیستم می شود. همچنین هرچه مقدار 'k1' بیشتر باشد، پاسخ دینامیکی بهتر است اما بدترین قابلیت رد فرکانس را دارد. از این رو، در این پژوهش، مقدار $k1 = 1$ به عنوان مقدار مورد نظر برای متعادل کردن رابطه بین پاسخ دینامیکی و قابلیت رد فرکانس انتخاب شده است.



شکل ۷- دینامیک GI-BPF-FLL ارائه شده از طریق نمودار جایگاه ریشه

نتیجه گیری

برای بهبود و ارتقاء کیفیت توان ارائه شده به مصرف‌کنندگان انواع مختلفی از جبران‌سازها معرفی شده‌اند. با این وجود، استراتژی کنترل GI-BPF-FLL ارائه شده دارای قابلیت حذف هارمونیک بهتر (هم مرتبه پایین و هم بالاتر) است و نوسان در دامنه جریان بار اساسی را به دلیل اثر افسست DC حذف کرده است. عملکرد سیستم در نمونه اولیه سخت افزاری رضایت بخش است در حالی که PQ شبکه توزیع را بهبود می بخشد.

مراجع

- [۱] بیشه، ه.، و معظمی، م.، و فانی، ب.، و شاه قلیان، غ. (۱۳۹۸). روش جدید کنترل تنظیمات حفاظتی ریزشبه با ضریب نفوذ بالای تولیدات پراکنده. هوش محاسباتی در مهندسی برق (سیستم های هوشمند در مهندسی برق)، ۱۰(۴)، ۷۱-۸۹.
- [2]. Serrano-Fontova, Alexandre, Azab, Mohamed, (2022). Development and performance analysis of a multi-functional algorithm for AC microgrids: Simultaneous power sharing, voltage support and islanding detection, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 135, February 2022, 107341
- [3]. Pijarski, P.; Kacejko, P.; Wancerz, M. Voltage Control in MV Network with Distributed Generation—Possibilities of Real Quality Enhancement. Energies 2022, 15, 2081. <https://doi.org/10.3390/en15062081>
- [۴] شاه قلیان، غ.، و فانی، ب.، و معظمی، م.، و کیوانی، ب.، و کریمی، ح. (۱۳۹۸). بهبود تسهیم توان راکتیو با استفاده از اصلاح مشخصه های افتی در ریزشبه های خودگردان. مهندسی مدیریت انرژی (مدیریت انرژی)، ۹(۳)، ۶۴-۷۱.
- [۵] مودن، فرید و علیخانی، مجید و علوی، غلامرضا، ۱۳۹۸، بررسی کیفیت توان الکتریکی در شبکه توزیع با کلیدزنی پی در پی خازن و هارمونیک ناشی از آن در حضور بارهای غیرخطی، دومین کنفرانس بین المللی تحقیقات بین رشته ای در مهندسی برق، کامپیوتر، مکانیک و مکاترونیک در ایران و جهان اسلام، کرج، <https://civilica.com/doc/952442>
- [6]. Gaspard d'Hoop, Olivier Deblecker and Dimitrios Thomas " Power Quality Improvement of a Microgrid with a Demand-Side-Based Energy Management System", Submitted: September 17th, 2018Reviewed: December 17th, 2018Published: February 1st, 2019 DOI: 10.5772/intechopen.83604
- [7] Devi, S.C., *et al.*: Solar PV array integrated UPQC for power quality improvement based on modified GI. In: 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON), pp. 1–6 (2020)