اصلاح کیفیت توان شبکه‌های توزیع برق با بکارگیری طرح ترکیبی بهبودیافته DVR-PV مبتنی بر چاپر Interleave و مدولاسیون هیسترزیس

حمید کریمی[۱]، محسن سیماب*[۲]، مهدی نفر[۳]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی برق، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران، karimi.hamid@miau.ac.ir
*۲- استادیار، گروه مهندسی برق، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران، msimab@miau.ac.ir
۳- استادیار، گروه مهندسی برق، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران، mnafar@miau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۰ تاریخ پذیرش:۹۸/۱۲/۲۵

چکیده: بازیاب دینامیکی ولتاژ (DVR) یکی از تجهیزات جبرانسازی ولتاژ می‌باشد.کیفیت ولتاژ تزریقی این تجهیز به کیفیت ولتاژ لینک DC و نوع مدولاسیون سیستم کنترل آن بستگی دارد. از آرایه فتوولتائیک می‌توان برای ذخیره‌ساز لینک DC این تجهیز استفاده نمود. برای افزایش ولتاژ خروجی آرایه فتوولتائیک به سطح ولتاژ DC مورد نیاز از یک چاپر بوست معمولی استفاده می‌گردد که به علت داشتن رایپل بالای ولتاژ، موجب کاهش کیفیت ولتاژ جبرانساز می‌گردد. استفاده از چاپرهایی با طرح مناسب نظیر Interleave، می‌تواند علاوه بر افزایش ولتاژ آرایه فتوولتاییک، رایپل ولتاژ لینک DC و درنتیجه محتوای هارمونیکی ولتاژ تزریقی توسط جبرانساز را نیز کاهش دهد. همچنین بکارگیری مدولاسیون پهنای پالس مناسب در سیستم کنترل این تجهیز نیز می‌تواند در کاهش محتوای هارمونیکی و بهبود کیفیت ولتاژ موثر باشد. در این مقاله، برای کاهش اعوجاج هارمونیکی کل (THD) ولتاژ تزریقی جبرانساز و درنتیجه بهبود کیفیت ولتاژ بار، از مبدل بوست Interleave در لینک DC جبرانساز و از مدولاسیون هیسترزیس در ساختار طرح کنترلی این جبرانساز ترکیبی استفاده می‌شود و نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی با نتایج حاصل از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست معمولی و مدولاسیون سینوسی مقایسه می‌شود. شبیه‌سازی‌ها با بهره‌گیری از نرم‌افزار Matlab/Simulink انجام می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت توان، آرایه فتوولتاییک (PV)، مبدل Interleave، مدولاسیون هیسترزیس، بازیاب دینامیکی ولتاژ (DVR)

۱- مقدمه

ادوات D-FACTS و یا Custom Power به عنوان ادوات مناسبی جهت اصلاح کیفیت توان سیستم‌های توزیع برق معرفی شده‌اند که توپولوژی و ساختار تعدادی از این تجهیزات در [۱-۵] ارائه شده است. یک نوع از این ادوات که برای بازیابی ولتاژ و اصلاح کمبود ولتاژ[۱] در سیستم‌های توزیع بکار می‌رود. بازیاب دینامیکی ولتاژ[۲](DVR) می‌باشد. مولفه‌ها و اجزای این جبرانساز در [۵-۱۱] معرفی شده است. قابلیت این تجهیز در جبرانسازی کمبود ولتاژ، به ظرفیت ذخیره‌ساز انرژی لینک DC آن بستگی دارد. در شرایط وقوع افت ولتاژ شدید در منبع تغذیه، درصورت عدم وجود منبع ذخیره‌ساز انرژی در لینک DC، این تجهیز قادر به بازیابی و اصلاح کامل ولتاژ نمی‌باشد. بنابراین، بکارگیری منابع ذخیره‌ساز انرژی نظیر باتری یا منابع انرژی نو برای این جبرانساز ضروری است[۱۲-۱۳]. در [۱۴-۱۸]، ساختار آرایه فتوولتائیک[۳](PV) و مدار معادل و روابط و معادلات ریاضی آن و در [۱۹-۲۲]، ساختار مبدل DC-DC مرسوم مورد استفاده در خروجی PV، معرفی شده است. این مبدل که شامل سلف‌ها، دیودها و خازن‌ها بوده، مبدل بوستی است که برای افزایش ولتاژ خروجی PV

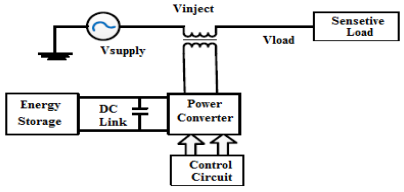
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

می‌شود. اگرچه عموماً از این مبدل برای افزایش ولتاژ خروجی PV استفاده می‌شود ولی ولتاژ خروجی آن دارای رایپل و نوسان بوده که درصورت بکارگیری در لینک DC جبرانساز، ولتاژ تزریقی توسط جبرانساز معوج و هارمونیکی بوده و همچنین جبرانساز نمی‌تواند به‌طور کامل و دقیق، ولتاژ از دست رفته را بازیابی نماید. استفاده از مبدل‌های DC-DC یا چاپر با ساختار مناسب نظیر ساختار Interleave در سیستم‌های PV، می‌تواند بازدهی این سیستم‌ها را افزایش داده و ضمن افزایش ولتاژ آرایه فتوولتاییک به سطح مناسب، رایپل ولتاژ خروجی DC و محتوای هارمونیکی ولتاژ تزریقی توسط جبرانساز را نیز کاهش دهد. در [۲۳-۲۶]، چندین توپولوژی مختلف از این مبدل‌ها ارائه شده است.

علاوه بر موضوع ذخیره‌ساز، عملکرد این جبرانساز در اصلاح کمبود ولتاژ و کیفیت ولتاژ تزریقی به نوع مدولاسیون پهنای پالس مورد استفاده در سیستم کنترل آن وابسته است. برای تولید سیگنال‌های کلیدزنی مبدل منبع ولتاژ (VSC) در DVR عموماً از مدولاسیون‌های مختلفی نظیر مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM)[۴] و مدولاسیون هیسترزیس استفاده می‌شود[۲۷-۳۲]. استفاده از مدولاسیون هیسترزیس به علت پیاده‌سازی ساده و پاسخ سریع گزینه مناسبتری نسبت به SPWM می‌باشد. در این مقاله، با اتصال طرح پیشنهادی به یک شبکه توزیع نمونه، عملکرد آن در بازیابی ولتاژ بار حساس به ولتاژ و درنتیجه بهبود کیفیت توان بررسی و آنالیز می‌شود و اثبات می‌شود که طرح پیشنهادی علاوه بر بازیابی دقیق ولتاژ بار، محتوای هارمونیکی کمتری به شبکه تزریق می‌کند و درنتیجه ضمن بهبود کیفیت ولتاژ تزریقی، بهبود بیشتر کیفیت توان مصرف‌کننده را در بر خواهد داشت.

۲- ساختار بازیاب دینامکی ولتاژ (DVR)

بازیاب دینامیکی ولتاژ یکی از تجهیزات بهبود کیفیت توان است که برای محافظت بار و جلوگیری از رسیدن اغتشاشات منبع به بارهای حساس استفاده می‌شود. پس از اتصال DVR به شبکه، کمبود ولتاژ ناشی از هر خطایی به‌سرعت اصلاح شده و باعث جلوگیری از اختلال عملکرد بارهای حساس به نوسان ولتاژ می‌گردد. این تجهیز در هنگام بروز خطا، ولتاژی به اندازه اختلاف بین ولتاژ پیش از خطا و ولتاژ حین خطا به‌وسیله تأمین توان اکتیو مورد نیاز از منبع ذخیره انرژی DC و توان راکتیو با هم تزریق می‌کند و ولتاژ سمت بار را در محدوده نامی و در مقدار قبل از خطا حفظ می‌نماید[۵]. توپولوژی کلی DVR در شکل (۱) نشان داده شده است[۵].



شکل (۱): توپولوژی کلی DVR [۵]

اجزای این تجهیز شامل خازن لینک DC، اینورتر یا مبدل منبع ولتاژ (VSC)[۵]، فیلتر پسیو، سوئیچ بای‌پاس، سیستم کنترل، ترانسفورمرهای تزریق سری و واحد ذخیره‌ساز انرژی می‌باشد[۵-۱۰].

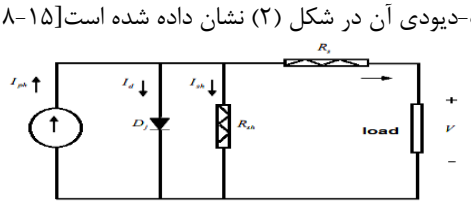
خازن DC موجب ثابت نگه‌داشتن ولتاژ DC ورودی به اینورتر می‌باشد. وظیفه اصلی اینورتر، تبدیل ولتاژ DC تامین‌شده به‌وسیله منبع ذخیره انرژی به ولتاژ AC می‌باشد. سوئیچ بای‌پاس برای حفاظت از اینورتر DVR در مواقعی‌که خطا در سمت پایین دست رخ می‌دهد استفاده می‌شود. فیلترهای پسیو برای حذف مولفه‌های هارمونیکی فرکانس بالا و تبدیل شکل موج AC خروجی اینورتر به شکل موج سینوسی استفاده می‌گردند و برای افزایش سطح ولتاژ تولیدی توسط DVR از ترانسفورمرهای تزریق سری استفاده می‌شود.

واحد ذخیره‌ساز انرژی وظیفه ذخیره انرژی DC را دارد و توان مورد نیاز برای جبران‌سازی را تامین می‌کند. در صورت عدم وجود منبع انرژی در لینک DC، این تجهیز نمی‌تواند کمبود ولتاژهای شدید را جبرانسازی کند. آرایه فتوولتائیک می‌تواند برای تامین یک منبع DC مورد نیاز DVR بکار رود. با توجه به نوسانی بودن و همچنین پایین بودن ولتاژ خروجی سلول فتوولتاییک و با توجه به اینکه در افت ولتاژهای شدید نیاز به وجود ولتاژ لینک DC جهت جبرانسازی ولتاژ بار می‌باشد لذا وجود این مبدل افزاینده به‌طوریکه ولتاژ لینک DC را در حد نامی نگه دارد ضروری است. در اینجا با توجه به موثری مبدل Interleave در ایجاد ولتاژ DC خروجی با رایپل ناچیز از این مبدل استفاده می‌شود.

به منظور در دسترس بودن انرژی مورد نیاز لینک DC در DVR در طی شب و همچنین در شرایط هوای ابری، می‌توان از یک منبع انرژی ذخیره پشتیبان نظیر باتری بصورت موازی با مجموعه آرایه فتوولتائیک و مبدل آن نیز استفاده نمود.

۳- مدل سلول فتوولتاییک (PV)

سلول فتوولتائیک در اصل یک دیود پیوندی p-n است که مدار معادل مدل تک-دیودی آن در شکل (۲) نشان داده شده است[۱۵-۱۸].



شکل (۲): مدار معادل مداری یک سلول خورشیدی [۱۸]

D_j دیود p-n ایده‌آل است، I_{ph} به عنوان منبع جریان نوری (فوتو) تولید شده متناسب با دمای سطح و تابش بیان می‌شود. V و I به ترتیب، ولتاژ و جریان خروجی سلول خورشیدی است. R_s مقاومت سری خیلی کوچکی و R_{sh} یک مقاومت موازی بزرگ است.

بر طبق ویژگی فیزیکی نیمه هادی p-n، مشخصه‌های I-V ماژول PV می‌تواند به‌صورت رابطه زیر بیان شود[۱۸].

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

$$I(1+Rs/Rsh) = \\ = n_p I_{ph} - n_p I_{sat}[\exp\{(q/AkT)(V/n_s + IR_s)\}-1 \\ -(V-n_s)/R_{sh} \quad (۱)$$

در این رابطه، q بار الکترون ($1.602*10^{-19}$ C) و k ثابت بولتزمن ($1.38*10^{-23}$ $j/^0K$)، T دمای سطح ماژول PV است و A نشانگر ضریب ایده‌آل پذیری (A=1-5) است که در بعضی از منابع به‌جای آن α معرفی شده است. n_s تعداد سلول‌های متصل شده به‌صورت سری و n_p تعداد سلول‌های متصل شده به‌صورت موازی می‌باشد. علاوه‌براین، جریان اشباع معکوس I_{sat} که رابطه آن در زیر ذکر شده، با دمای T تغییر می‌کند[۱۸].

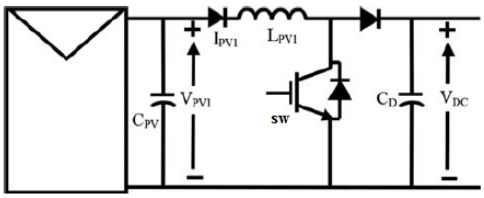
$$I_{Sat} = I_{rr}(\frac{T}{T_r})^3 \exp\left\{\frac{qE_{gap}}{kA}(\frac{1}{T_r}-\frac{1}{T})\right\} \quad (۲)$$

E_{gap} انرژی فاصله باند برای سلیکون ($E_{gap}\cong 1.1$ eV) است و T_r دمای مرجع سلول خورشیدی است. I_{ph} بیان شده در رابطه زیر جریان فوتو متناسب تولید شده برای میزان دمای سطح سلول و تابش است که I_{sso} جریان اتصال کوتاه، k_i ضریب دمای جریان اتصال کوتاه و S_i تابش خورشید برحسب W/m^2 می‌باشد[۱۸].

$$I_{ph} = \{I_{sso} + k_i(T-T_r)\}\frac{S_i}{1000} \quad (۳)$$

۴- ساختار چاپر بوست معمولی و Interleave

استفاده از یک مبدل DC-DC بوست یا چاپر جهت افزایش ولتاژ خروجی سلول فتوولتاییک با توجه به ماهیت نوسانی بودن ولتاژ خروجی سلول فتوولتاییک در اثر تغییرات سطح تابش و دمای محیط، ضروری است[۱۹-۲۲]. ساختار چاپر مرسوم مورد استفاده برای آرایه‌های فتوولتائیک در شکل (۳) نشان شده است[۲۱].



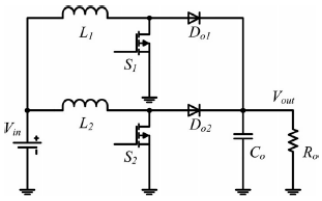
شکل (۳) : ساختار مبدل DC-DC مرسوم بکار رفته در خروجی PV [۲۱]

یکی از مشکلات عمده این نوع مبدل این است که ولتاژ خروجی آنها معمولاً دارای سطح رایپل بالا می‌باشد و بنابراین لازم است که از مبدل‌های مناسبتری استفاده شود.

مبدل بوست Interleave (IBC)[۶] که ساختار آنها در [۲۳-۲۶] ارائه شده دارای رایپل جریان ورودی و رایپل کم ولتاژ خروجی است[۲۶]. ساختار مبدل بوست Interleave در شکل (۴) نشان داده شده است[۲۶].

مبدل بوست Interleave شامل سلف‌های اصلی L_1 و L_2، سوئیچ‌های اصلی S_1 و S_2، خازن C_0 و دیودهای خروجی D_{01} و D_{02} است.

جزئیات بیشتر در مورد این مبدل و مدار معادل این مبدل در مراحل کاری مختلف در [۲۶] ارائه شده است.



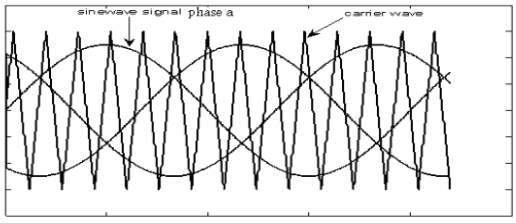
شکل (۴): شماتیک مبدل بوست Interleave (IBC) [۲۶]

۵- مدولاسیون‌های پهنای پالس سینوسی و مدولاسیون هیسترزیس

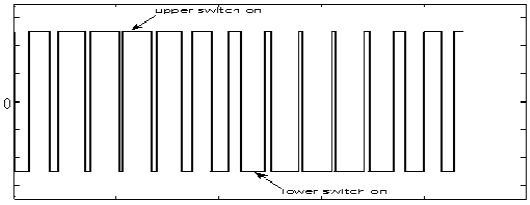
دو نوع از مدولاسیون‌های مورد استفاده برای تولید سیگنال‌های کلیدزنی مبدل منبع ولتاژ (VSC) در DVR، مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM) و مدولاسیون هیسترزیس می‌باشند که در ادامه، به طور اجمالی نحوه عملکرد این دو مدولاسیون ارائه می‌شود.

۵-۱- مدولاسیون پهنای پالس سینوسی

در مدولاسیون پهنای پالس سینوسی سه‌فاز، برای تولید سیگنال های PWM، سیگنال‌های مدوله‌کننده مرجع سه‌فاز، با یک موج مثلثی مقایسه می‌شوند و از تقاطع هر موج سینوسی با موج مثلثی ولتاژهای فاز بدست می‌آیند[۲۷]. سیگنال حامل می‌تواند موج دندان اره‌ای باشد. شکل‌های (۵) و (۶) اساس عملکرد مدولاسیون پهنای پالس سینوسی را نشان می‌دهند[۲۷].



شکل (۵): مدولاسیون پهنای پالس سینوسی سه‌فاز [۲۷]



شکل (۶): پالس بدست آمده از مدولاسیون پهنای پالس سینوسی [۲۷]

ولتاژ خروجی اینورتر به‌صورت رابطه (۴) تعیین می‌شود:

$$V_{control} > V_{tri} \Rightarrow V_{A0} = V_{dc}/2 \quad (۴)$$
$$V_{control} < V_{tri} \Rightarrow V_{A0} = -V_{dc}/2$$

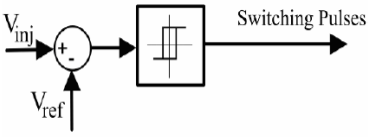
که Vcontrol پیک ولتاژ موج سینوسی یا مرجع و Vtri پیک ولتاژ موج حامل (مثلثی) و V_{DC} ولتاژ لینک DC می‌باشد.

۵-۲- مدولاسیون هیسترزیس

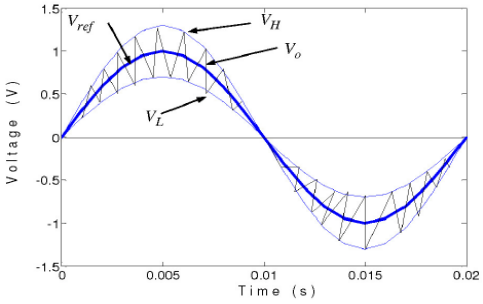
تکنیک کنترل ولتاژ هیسترزیس[۷] یک نوع کنترلر ولتاژ غیرخطی مبتنی بر خطای ولتاژ می‌باشد. شکل (۷)، کنترلر ولتاژ هیسترزیس

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

و شکل (۸)، اساس کار این کنترلر را نشان می‌دهد[۳۱-۳۲].



شکل (۷): کنترلر ولتاژ هیسترزیس [۳۱]



شکل (۸): اساس کار کنترل ولتاژ هیسترزیس [۳۲]

این کنترلر شامل مقایسه بین ولتاژ خروجی V_0 و حدود تلرانس (V_H و V_L) حول ولتاژ مرجع V_{ref} می‌باشد. مادامی‌که ولتاژ خروجی V_0 بین حد بالایی V_H و حد پایینی V_L می‌باشد هیچ‌گونه کلیدزنی انجام نمی‌شود و هنگامی‌که ولتاژ خروجی از حد بالایی عبور می‌کند ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد و هنگامی‌که ولتاژ خروجی از حد پایینی عبور می‌کند ولتاژ خروجی افزایش می‌یابد[۳۲].

به منظور تولید پالس‌های کلیدزنی سوئیچ‌های مبدل منبع ولتاژ در DVR، سیگنال‌های ولتاژ سه فاز مرجع تولید شده با ولتاژهای خروجی سه فاز DVR مقایسه می‌شوند. در کنترل هیسترزیس هر فاز به‌طور مستقل کنترل می‌شود[۳۲].

استفاده از این مدولاسیون در سیستم کنترل جبرانساز می‌تواند منجر به بازیابی ولتاژ بار با اعوجاج هارمونیکی کل کمتری گردد.

اعوجاج هارمونیکی کل (THD)[۸] به‌صورت زیر تعریف می‌شود[۳۲,۳۵]:

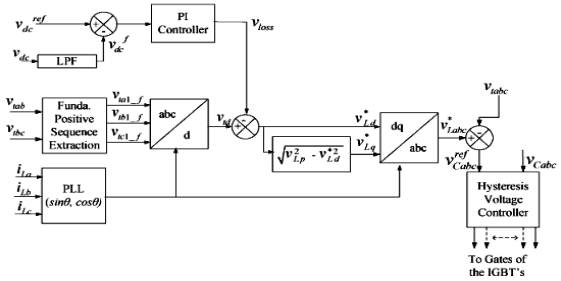
$$\%THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n} V_h}}{V_1} \times 100\% \qquad (۵)$$

که در این رابطه، V_1 مولفه اصلی ولتاژ و V_h مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ می‌باشند.

۶- طرح کنترل

سیستم کنترل وظیفه تشخیص خطا، محاسبه و تعیین مقدار ولتاژ مورد نیاز برای جبرانسازی و تولید پالس‌های تریگر برای مبدل و تزریق ولتاژ را دارد. در حالتی‌که ولتاژ منبع تغذیه در محدوده نرمال قرار دارد، DVR به‌گونه‌ای کنترل می‌شود که تلفات در آن به حداقل برسد. وقتی کمبود ولتاژ رخ می‌دهد لازم است DVR در سریعترین زمان ممکن واکنش نشان داده و یک ولتاژ AC را به شبکه تزریق نماید[۳۳]. برای این منظور، می‌توان از تئوری قاب مرجع سنکرون (SRFT)[۹] استفاده نمود که بر مبنای مقادیر لحظه‌ای ولتاژ منبع تغذیه عمل می‌کند[۳۴].

در شکل (۹)، طرح کلی سیستم کنترل و پارامترهایی که برای اهداف کنترلی اندازه‌گیری می‌شوند نشان داده شده است[۳۴].



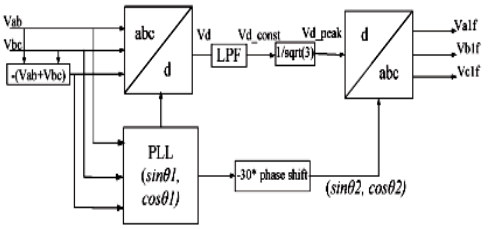
شکل (۹): دیاگرام کلی سیستم کنترل SRFT [۳۴]

یک ولتاژ سه فاز مرجع برای اینورتر PWM توسط الگوریتم کنترل تولید می‌شود. ولتاژ مورد نیاز توسط اینورتر تزریق می‌شود به‌گونه‌ای که ولتاژ بار در سطح مرجع آن نگه دارد.

از حلقه قفل فاز[۱۰] (PLL) و تبدیل dqo یا تبدیل پارک برای کنترل جبرانساز استفاده می‌شود.

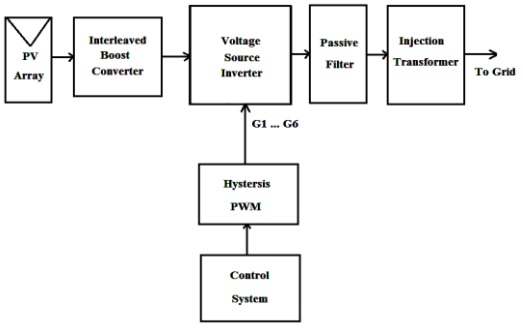
در مرحله اول، ولتاژ از قاب مرجع a-b-c به مرجع d-q-o تبدیل می‌شود. مدار PLL برای تولید یک موج سینوسی واحد هم‌فاز با ولتاژهای اصلی استفاده می‌شود. در حقیقت زاویه θ گردان بین محورهای d و q توسط PLL ایجادمی‌شود و در هرلحظه زاویه فاز را برای تولید ولتاژی هم‌فاز با سیستم قدرت توسط کنورتر به سیستم کنترل می‌دهد.

در این طرح، از دو ولتاژ خط برای استخراج مولفه اصلی ولتاژهای توالی مثبت استفاده می‌شود همچنان‌که در شکل(۱۰) نشان داده شده است.



شکل(۱۰): استخراج توالی مثبت مولفه اصلی [۳۴]

در شکل(۱۱)، بلوک دیاگرام کلی طرح ترکیبی بهبود یافته DVR-PV مبتنی بر چاپر Interleave و مدولاسیون هیسترزیس ارائه‌شده‌است.



شکل (۱۱): بلوک دیاگرام کلی طرح ترکیبی بهبود یافته DVR-PV مبتنی بر چاپر Interleave و مدولاسیون هیسترزیس

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

در طرح پیشنهادی، به منظور دستیابی به ولتاژ DC تقریباً ایده‌آل با حداقل رایپل و با دامنه مطلوب و تأمین انرژی موردنیاز لینک DC بازیاب دینامیکی ولتاژ، از چاپر Interleave استفاده شده است. نتیجه حاصل از بکارگیری این طرح، بهبود کیفیت ولتاژ تزریقی توسط جبرانساز و بهبود ولتاژ بازیابی شده بار می‌باشد.

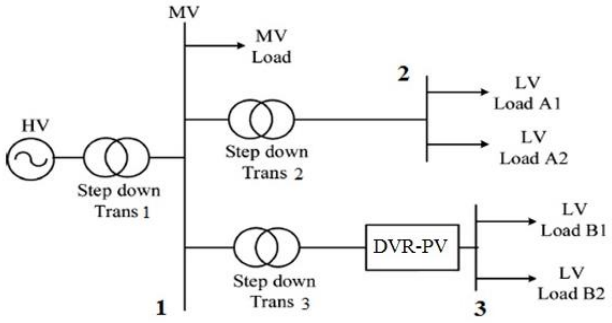
همچنین، برای تولید پالس‌های کلیدزنی اینورتر جبرانساز ترکیبی، از مدولاسیون هیسترزیس به‌جای مدولاسیون سینوسی مرسوم استفاده شده که ضمن پیاده‌سازی ساده و داشتن پاسخ سریع نسبت به مدولاسیون سینوسی، منجر به کاهش بیشتر اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ تزریقی و درنتیجه بهبود بیشتر کیفیت ولتاژ اصلاح‌شده بار می‌گردد.

در بخش بعد، عملکرد طرح پیشنهادی در بازیابی ولتاژ بارهای حساس شبیه‌سازی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها ارائه و آنالیز می‌گردد.

۷- شبیه سازی و نتایج

در این بخش، یک شبکه توزیع برق نمونه با حضور طرح پیشنهادی، با استفاده از نرم‌افزار سیمولینک متلب شبیه‌سازی گردیده و عملکرد آن جهت اصلاح کمبود ولتاژهای ناشی از خطاهای اتصال کوتاه متعادل و نامتعادل بررسی و تحلیل می‌شود و نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌گردد.

دیاگرام تک‌خطی شبکه برق نمونه با حضور طرح ترکیبی در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۲): شبکه برق نمونه مورد مطالعه [۳۶]

در شبیه‌سازی‌ها، شبکه بالادست با استفاده از مدار معادل تونن با ولتاژ 20kV و فرکانس 50Hz معادل شده است (شبکه بالادست شین ۱). بارهای فشار متوسط و ترانسفورماتورهای توزیع از طریق شین ۱ تغذیه می‌شوند. بارهای LV از طریق دو ترانسفورماتور کاهنده 20/0.4 kV تغذیه می‌شوند (شین ۲ و ۳).

پارامترها و مشخصات مورد استفاده در شبیه‌سازی، در جداول (۱) الی (۳) لیست شده‌اند. پارامترهای مدل سلول فتوولتاییک از [۱۴] و پارامترهای مربوط به المان‌های اصلی مبدل DC از [۲۶] اتخاذ شده است و پارامترهای بازیاب دینامیکی ولتاژ متناسب با ولتاژ و توان مورد نیاز بارهای حساس شبکه مورد مطالعه انتخاب شده است به‌طوری که قادر به اصلاح افت ولتاژهای شدید متعادل و نامتعادل باشد.

جدول (۱): پارامترها و مشخصات سلول فتوولتاییک [۱۴]

پارامتر	علامت اختصاری	مقدار
بار الکترون	e	$1.602*10^{-19}$c
ثابت بولتزمن	K	$1.38*10^{-23}$ J/°K
جریان فوتو	I_{ph}	5 A
جریان اشباع معکوس دیود	I_O	2e-4 A
مقاومت سری سلول	R_S	0.001 Ω
دمای کاری مرجع سلول	T_C	20 C
ولتاژ خروجی آرایه	V	160 V

جدول (۲): پارامترها و مشخصات مبدل Interleave DC-DC [۲۶]

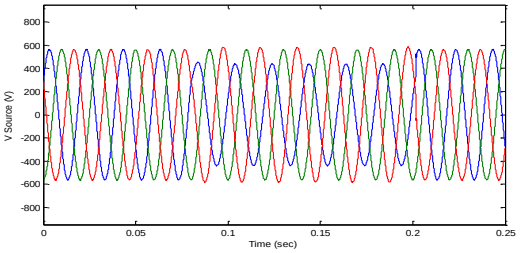
پارامتر	علامت اختصاری	مقدار
اندوکتانس سلف اولیه	L1	15µH
اندوکتانس سلف ثانویه	L2	15 µH
اندکتانس تزویج	M	14.78 µH
ولتاژ ورودی	Vpv	160 V
ولتاژ خروجی	Vout	500 V
فرکانس سوئچینگ	f_{sw}	3 kHz
خازن خروجی مبدل	C_o	100 µF

جدول(۳): مشخصات و مقادیر اجزای مختلف DVR

اجزا ی DVR	مشخصات
ظرفیت منبع DC	۵۰۰V
نوع ترانس تزریق	سه ترانس تک فاز
راکتانس نشتی ترانس تزریق (%uk)	uk=٪ ۱۰
نوع سوئیچ‌های قدرت VSI	IGBT
فرکانس کلیدزنی	۳۰۰۰Hz
نوع اینورتر	اینورتر پل سه فاز ۲ سطحه
فیلتر پسیو	005. اهم و ۵ میلی هانری

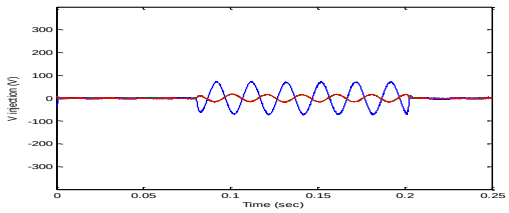
۷-۱- سناریوی یک: وقوع خطای تک‌فاز به زمین و بررسی کارایی جبرانساز پیشنهادی

در این سناریو، در سمت منبع تغذیه، یک خطای اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین در بازه زمانی ۸۰ میلی ثانیه تا ۲۰۰ میلی ثانیه رخ می‌دهد و ولتاژ یک فاز حدود ۱۰٪ افت می‌کند. نتایج شبیه‌سازی حاصل از این سناریو در شکل‌های (۱۳) الی (۱۹) نشان داده شده‌اند.

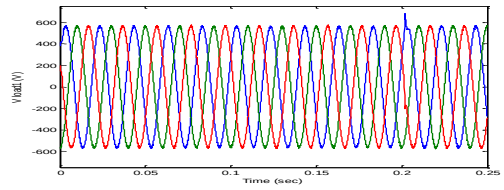


شکل (۱۳): ولتاژ سمت منبع در حالت وقوع کمبود ولتاژ ناشی از خطای اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین

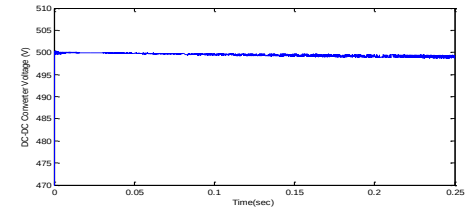
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



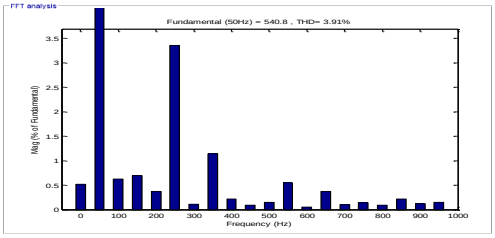
شکل (۱۴): ولتاژ تزریقی توسط جبرانساز در حالت وقوع کمبود ولتاژ ناشی از خطای اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین



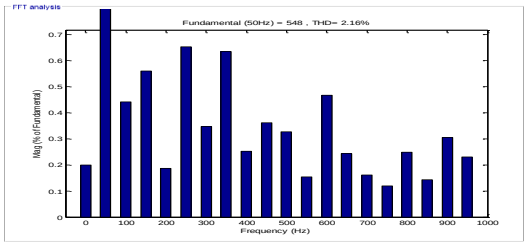
شکل (۱۵): ولتاژ سمت بار (شین ۳) در حالت وقوع کمبود ولتاژ ناشی از خطای اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین



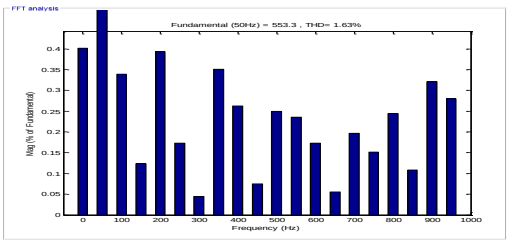
شکل (۱۶): ولتاژ لینک DC و خروجی مبدل DC – DC



شکل (۱۷): طیف فرکانسی ولتاژ اصلاح شده بار در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست معمولی و مدولاسیون سینوسی



شکل (۱۸): طیف فرکانسی ولتاژ اصلاح شده بار در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست Interleave و مدولاسیون سینوسی



شکل (۱۹): طیف فرکانسی ولتاژ بار در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست Interleave و مدولاسیون هیسترزیس

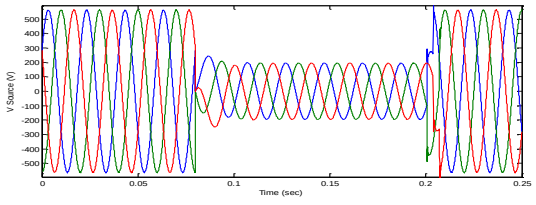
در اثر خطای تک‌فاز به زمین ولتاژ یک فاز از بارهای شین 400V (شین ۲ و ۳) به میزان ۱۰٪ افت می‌کند که این میزان افت ولتاژ سریعاً توسط DVR جبران می‌گردد. در این حالت برای اصلاح ولتاژ، DVR به میزان لازم توان به سیستم تزریق می‌کند. به علت سوئیچ‌زنی ادوات الکترونیک قدرت در DVR، محتوای شکل موج تزریقی جبرانساز سینوسی خالص نبوده و مقداری هارمونیک به شبکه تزریق می‌شود که باعث افزایش درصد THD شبکه می‌گردد.

در اینجا برای کاهش اعوجاج هارمونیکی کل (THD) شکل موج ولتاژ تزریقی جبرانساز و درنتیجه بهبود کیفیت ولتاژ اصلاح شده سمت بار، از مبدل بوست Interleave در لینک DC جبرانساز و از مدولاسیون هیسترزیس در ساختار طرح کنترلی آن استفاده شده است و نتایج حاصله با مبدل بوست معمولی و مدولاسیون سینوسی مقایسه شده است.

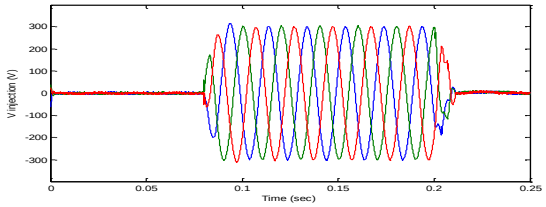
از طیفهای فرکانسی بدست آمده می‌توان مشاهده نمود که درصد THD ولتاژ اصلاح شده سمت بار در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست معمولی و مدولاسیون سینوسی، ۳,۹۱٪ بوده و در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست Interleave و مدولاسیون سینوسی، مقدار THD ولتاژ اصلاح شده سمت بار به ۲,۱۶٪ کاهش می‌یابد و در شرایطی که از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست Interleave و مدولاسیون هیسترزیس استفاده می‌شود مقدار THD به ۱,۶۳٪ کاهش می‌یابد و بنابراین کیفیت ولتاژ سمت بار در شرایط مطلوبتری می‌باشد.

۷-۲- سناریوی دو: وقوع خطای سه‌فاز به زمین و بررسی کارایی جبرانساز پیشنهادی

در این سناریو، در سمت منبع تغذیه، یک خطای اتصال کوتاه سه‌فاز به زمین در همان بازه زمانی رخ می‌دهد که در اثر آن، ولتاژ سمت منبع تغذیه حدود ۷۰٪ افت می‌کند. نتایج شبیه‌سازی در شکل‌های (۲۰) الی (۲۵) نشان داده شده‌اند.

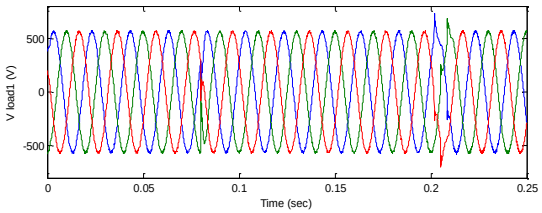


شکل (۲۰): ولتاژ سمت منبع در حالت وقوع کمبود ولتاژ ناشی از خطای اتصال کوتاه سه‌فاز به زمین

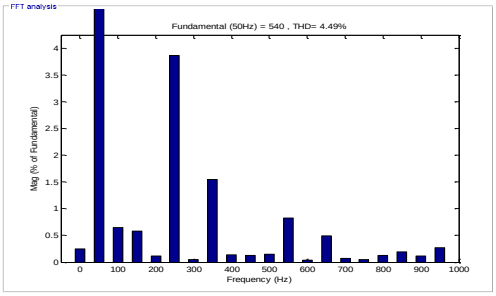


شکل (۲۱): ولتاژ تزریقی توسط جبرانساز در حالت وقوع کمبود ولتاژ ناشی از خطای اتصال کوتاه سه‌فاز به زمین

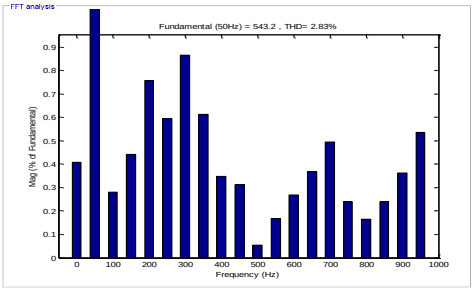
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]



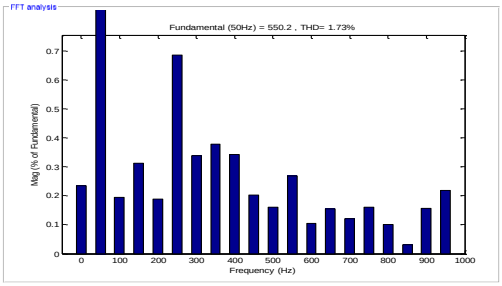
شکل (۲۲): ولتاژ سمت بار (شین ۳) در حالت وقوع کمبود ولتاژ ناشی از خطای اتصال کوتاه سه‌فاز به زمین



شکل (۲۳): طیف فرکانسی ولتاژ اصلاح شده بار در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست معمولی و مدولاسیون سینوسی



شکل (۲۴): طیف فرکانسی ولتاژ اصلاح شده بار در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست Interleave و مدولاسیون سینوسی



شکل (۲۵): طیف فرکانسی ولتاژ اصلاح شده بار در حالت استفاده از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست Interleave و مدولاسیون هیسترزیس

علی‌رغم وجود کمبود ولتاژ در سمت منبع، ولتاژ لینک DC توسط PV و مبدل DC– DC بوست interleave ثابت نگه داشته می‌شود تا DVR بتواند کمبود ولتاژهای با زمان‌های طولانی مدت را نیز به‌راحتی جبرانسازی و اصلاح نماید. زمانی‌که کمبود ولتاژی اتفاق می‌افتد با بکارگیری طرح پیشنهادی و تزریق ولتاژ با اندازه مطلوب، ولتاژ سمت بار در محدوده نرمال بازیابی می‌شود. همانگونه که از شکل موج بار و محتوای طیف فرکانسی مشاهده می‌شود درصد اعوجاج هارمونیکی کل در حالت بکارگیری مبدل بوست Interleave نسبت به در حالت بکارگیری مبدل بوست معمولی کمتر می‌باشد و در شرایطی که از جبرانساز ترکیبی مبتنی بر مبدل بوست Interleave و مدولاسیون هیسترزیس استفاده می‌شود ولتاژ بار دارای وضعیت ایده‌آل‌تری بوده و تقریباً به شکل سینوسی متعادل و دارای حداقل محتوای هارمونیکی بوده و همانگونه که از نتایج مشهود است اعوجاج هارمونیکی کل (THD٪) ولتاژ اصلاح شده بار، بسیار پایین می‌باشد.

در جدول (۴)، درصد THD ولتاژ بار در حالت بکارگیری هر یک از انواع مدولاسیون‌ها و مبدل‌های DC-DC مورد بحث، لیست شده است.

جدول (۴): مقایسه درصد اعوجاج هارمونیکی کل (THD) ولتاژ بار با بکارگیری مبدل‌ها و مدولاسیون‌های مختلف

نوع خطای اتصال کوتاه	نوع مبدل DC-DC و نوع مدولاسیون مورد استفاده		
	مبدل بوست معمولی و مدولاسیون سینوسی	مبدل بوست Interleave و مدولاسیون سینوسی	مبدل بوست Interleave و مدولاسیون هیسترزیس
خطای اتصال کوتاه تک‌فاز به زمین	3.91%	2.16%	1.63%
خطای اتصال کوتاه سه‌فاز به زمین	4.49%	2.83%	1.73%

۸- نتیجه گیری

در این مقاله، طرح جبرانساز ترکیبی بازیابی دینامیکی ولتاژ مبتنی بر PV و مبدل Interleave برای جبرانسازی و اصلاح کمبود ولتاژ ارائه گردید. این ساختار ترکیبی می‌تواند نوسانات ولتاژ طولانی مدت را جبرانسازی نماید. برای کاهش اعوجاج هارمونیکی کل (THD) ولتاژ تزریقی جبرانساز و درنتیجه بهبود کیفیت ولتاژ اصلاح شده بار از مبدل بوست Interleave در لینک DC جبرانساز و از مدولاسیون هیسترزیس در ساختار طرح کنترلی این جبرانساز استفاده گردید و نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم پیشنهادی با نتایج حاصل از جبرانساز مبتنی بر مبدل بوست معمولی و مدولاسیون سینوسی مقایسه گردید. طرح پیشنهادی هم قادر به بازیابی و اصلاح کمبود ولتاژهای ناشی از خطاهای متقارن و هم قادر به بازیابی و اصلاح کمبود ولتاژهای ناشی از خطاهای نامتقارن می‌باشد. نتایج شبیه-سازی نشان داد که سیستم پیشنهادی می‌تواند بطور موثری قابلیت جبرانسازی طرح ترکیبی DVR-PV را افزایش دهد. بنابراین، بکارگیری روش پیشنهادی باعث بهبود عملکرد بازیابی دینامیکی ولتاژ شده و قابلیت این تجهیز در جبرانسازی و بهبود کیفیت ولتاژ بارهای حساس در شرایط وقوع کمبود ولتاژها را بهبود می‌بخشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

مراجع

[1] Rohani, A., Joorabian, M., Abasi, M., Zand, M., "Three-phase amplitude adaptive notch filter control design of DSTATCOM under unbalanced/distorted utility voltage conditions", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, Vol. 37, No. 1, pp. 847-865, 2019.

[2] Singh, A., "Performance Evaluation of Three Different Configurations of DSTATCOM with Nonlinear Loads", IETE Journal of Research, Vol. 56, No. 6, pp. 313-326, 2010.

[3] Yunfei, X., Xiangning, X., Yamin, S., Yunbo, L., "Voltage Sag Compensation Strategy for Unified Power Quality Conditioner with Simultaneous Reactive Power Injection, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy (MPCE)", Vol. 4, Issue 1, pp. 113–122, 2016.

[4] Patel, A., Mathur, H. D., Bhanot, S., "A New SRF-Based Power Angle Control Method for UPQC-DG to Integrate Solar PV into Grid", International Transactions On Electrical Energy Systems, Vol. 29, Issue 1, e2667, 2019.

[5] Torabi, S. F., Nazarpour D., Shayestehfard, Y., "Compensation of Sags and Swells Voltage Using Dynamic Voltage Restorer (DVR) During Single Line to Ground and Three-Phase Faults", International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering, Vol. 4, Issue 12, No. 3, pp. 126-132, 2012.

[6] Zadehbagheri, M., Ildarabadi R., Baghaeinejad M., "Modeling and Simulation of Dynamic Voltage Restorer for Voltage Sag/Swell Compensation in Power Distribution Networks: A Review", International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology, Vol. 5, No. 16, pp. 2258-2275, 2015.

[7] Ramasamy M., Thangavel, S., "Optimal Utilization of PV Solar System as DVR (PV-DVR) for a Residence or Small Industry", Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 16, No. 3, pp. 295-304, 2013.

[8] Sharma, G., Bhatia, V., and Chakarvorty, J., "Voltage Sag and Swell Mitigation Using Dynamic Voltage Restorer (DVR)", International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering, Vol. 4, Issue 3, pp. 195-204, 2018.

[9] Sharma, G., Bhatia, V., Chakarvorty, J., "Voltage Sag and Swell Mitigation Using Dynamic Voltage Restorer (DVR)", International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering, Vol. 4, Issue 3, pp. 195-204, 2018.

[10] Jeevitha, V. M., Mythili, A., "Improvement of Voltage Sag Compensation Scheme for Dynamic Voltage Restorer", International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, Issue 1, pp. 383-388, 2017.

[11] Patel, D., Goswami, A. K., Singh, S. K., "Voltage Sag Mitigation in an Indian Distribution System Using Dynamic Voltage Restorer," Electrical Power and Energy Systems, Vol. 71, pp. 231-241, 2015.

[12] Kamatchi Kannan, V., Rengarajan, N., "Photovoltaic Based Distribution Static Compensator for Power Quality Improvement", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 42, pp. 685–692, 2012.

[13] Ramasamy, M. and Thangavel, S., "Photovoltaic Based Dynamic Voltage Restorer with Power Saver Capability Using PI Controller", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 36, pp. 51–59, 2012.

[14] Altas, I. H., Sharaf, A. M., "Photovoltaic array simulation model for Matlab-Simulink GUI environment" International Conference on Clean Electrical Power, Capri, Italy, pp. 341 – 345, 21-23, 2007.

[15] Liu, X., Wang, P., and Chiang Loh, P., "A Hybrid AC/DC Microgrid and Its Coordination Control", IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 2, No. 2, 2011.

[16] Mousazadeh Mousavi, S. Y., Jalilian, A. R., Savaghebi, M., Guerrero, J. M., "Power quality enhancement and power management of a multifunctional interfacing inverter for PV and battery energy storage system" International Transactions on Electrical Energy Systems, Vol. 28, Issue 12, e2643, 2018.

[17] Besheer, A. H., Kassem, A. M., Abdelaziz, A. Y., "Single-diode Model Based Photovoltaic Module: Analysis and Comparison Approach", Electric Power Components and Systems, Vol. 42, No. 12, pp. 1289-1300, 2014.

[18] Kuei-Hsiang, Ch., Ching-Ju, L., Sheng-Han, H., "Modeling and fault simulation of photovoltaic generation systems using circuit-based model", 2008 IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies, Singapore, pp. 290-294, 2008.

[19] Mary, S. S., Kumar, S. S., Poluru, S. P., Bharata Reddy, M. J., "A Dual DC Output Power Supply for a Stand-alone Photovoltaic System," Electric Power Components and Systems, Vol. 43, Nos. 8-10, pp. 939-950, 2015.

[20] Datta, M., Senjyu, T., Yona, A., Funabashi, T., "Photovoltaic Output Power Fluctuations Smoothing by Selecting Optimal Capacity of Battery for a Photovoltaic-Diesel Hybrid System," Electric Power Components and Systems, Vol. 39, No. 7, pp. 621-644, 2011.

[21] Ameur, K., Hadjaissa, A., Cheknane, A., Essounbouli, N., "DC-Bus Voltage Control Based on Power Flow Management Using Direct Sliding Mode Control for Standalone Photovoltaic Systems," Electric Power Components and Systems, Vol. 45, No. 10, pp. 1106-1117, 2017.

[22] Kamatchi Kannan, V., Rengarajan, N., "Photovoltaic Based Distribution Static Compensator for Power Quality Improvement", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 42, pp. 685–692, 2012.

[23] Samavatian, V., Radan, A., "A novel low-ripple Interleaved buck–boost converter with high efficiency and low oscillation for fuel-cell applications", Electrical Power and Energy Systems, Vol. 63, pp. 446–454, 2014.

[24] Mirbagheri, S. Z., Mekhilef, S., Mirhassani S. M., "MPPT with Inc. Cond method using conventional Interleaved boost converter", Mediterranean Green Energy Forum (MGEF-13), Energy Procedia, 42, 24 – 32 ,2013.

[25] Saudi Samosir, A., Taufiq, Shafie, A. J., Mohd Yatim, A. H., "Simulation and Implementation of Interleaved Boost DC-DC Converter for Fuel Cell Application", International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), Vol. 1, No. 2, pp. 168-174, December 2011.

[26] Gu, Y., Zhang, D., "Interleaved Boost Converter with Ripple Cancellation Network", IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 28, No. 8, August 2013.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[27] Hendawi, E., Khater, F., Shaltout, A., "Analysis, Simulation and Implementation of Space Vector Pulse Width Modulation Inverter", Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Applications of Electrical Engineering, January 2006.

[28] Nourmohamadi, H., Bektas, S. I., Hosseini, S. H., Babaei, E., Sabahi, M., "A conventional dynamic voltage restorer with fault current limiting capability", 9th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perception, ICSCCW 2017, Budapest, Hungary, 22-23 August 2017.

[29] Aziz, M., Kumar, V., Chauhan, A., Thakur, B., "Power Quality Improvement by Suppression of Current Harmonics Using Hysteresis Controller Technique", International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), Vol. 2, Issue 2, May 2013.

[30] Jain, N., Gupta, A., "Comparison between Two Compensation Current Control Methods of Shunt Active Power filter", International Journal of Engineering Research and General Science, Vol. 2, Issue 5, August-September, 2014.

[31] Ezoji, H., Fazlali, M., Ghatresamani, A., Nopour, M., "A Novel Adaptive Hysteresis Band Voltage Controller for Dynamic Voltage Restorer", European Journal of Scientific Research, Vol. 37 No. 2, pp.240-253, 2009.

[32] Jowder, F. A., "Modeling and Simulation of Dynamic Voltage Restorer (DVR) Based On Hysteresis Voltage Control", The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Taipei, Taiwan, 5-8 November 2007.

[33] Thaha, H. S., Deva Prakash, T. R., "Reduction of Power Quality Issues in Micro-Grid using GA Tuned PI Controller Based DVR", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Vol. 8, Issue 10, 2019.

[34] Kanjiya, P., Singh, B., Chandra, A., Al-Haddad, K., "SRF Theory Revisited to Control Self-Supported Dynamic Voltage Restorer (DVR) for Unbalanced and Nonlinear Loads", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 49, No. 5, 2013.

[35] Valderrabano, A., Ramirez, J. M., "DSTATCOM regulation by a fuzzy segmented PI controller", Electric Power Systems Research, Vol. 80, No. 6, p. 707–715, 2010.

[36] Mahdianpoor, F. M., Hooshmand, R. A., Ataei, M., "A New Approach to Multifunctional Dynamic Voltage Restorer Implementation for Emergency Control in Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, No. 2, April 2011.

رزومه



حمید کریمی در کازرون متولد شد (۱۳۶۲). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کازرون (۱۳۸۵) و کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۰) سپری کرده است و در حال حاضر در رشته سیستم های قدرت در مقطع دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت مشغول به تحصیل میباشد. فعالیتهای پژوهشی ایشان در زمینه ادوات FACTS، کیفیت توان و انرژی های تجدیدپذیر میباشد.



محسن سیماب در اقلید متولد شد (۱۳۶۰). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت از دانشگاه امیرکبیر تهران (۱۳۸۳) و کارشناسی ارشد و دکتری تخصصی مهندسی برق از دانشگاه تربیت مدرس تهران (به ترتیب در سالهای ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹) سپری کرده است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت میباشد. فعالیتهای پژوهشی ایشان در زمینه بهره برداری سیستم های قدرت، قابلیت اطمینان سیستم های قدرت و تنظیم سیستمهای توزیع برق میباشد.



مهدی نفر در مرودشت متولد شد (۱۳۵۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق-قدرت از دانشگاه امیرکبیر تهران (۱۳۸۱) و کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه تربیت مدرس تهران (۱۳۸۳) و دکتری تخصصی برق از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۹۰) سپری کرده است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت میباشد. فعالیتهای پژوهشی ایشان در زمینه حالات گذرای سیستم قدرت، حفاظت صاعقه و بهینه سازی سیستم های قدرت میباشد.

---

[1] Voltage Sag
[2] Dynamic Voltage Restorer (DVR)
[3] Photovoltaic Array (PV)
[4] Sinusoidal PWM (SPWM)
[5] Voltage Source Converter (VSC)
[6] Interleaved Boost Converter (IBC)
[7] Hysteresis Voltage Control
[8] Total Harmonic Distortion (THD)
[9] Synchronous Reference Frame Theory
[10] Phase Lock Loop (PLL)

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020

Power Quality Improvement of Power Distribution Systems Using Improved DVR-PV Hybrid Scheme Based on Interleaved Chopper and Hysteresis Modulation

Hamid Karimi[1], Mohsen Simab[2*], Mehdi Nafar[3]

1- Ph.D Student, Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran¸ karimi.hamid@miau.ac.ir

2- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran¸ msimab@miau.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, College of Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran¸ mnafar@miau.ac.ir

Abstract: Dynamic Voltage Restorer (DVR) is one of the voltage compensation equipment. Voltage quality injected by of this equipment depends on the quality of DC link voltage and the type of control system modulation. The photovoltaic array can be used to store the DC link of this equipment. To increase the output voltage of the photovoltaic array to the required DC voltage level, a standard boost chopper is used which reduces the quality of the compensator voltage due to the high voltage ripple. Using well-designed choppers such as interleave can in addition to increasing the photovoltaic array voltage, reduce the ripple DC link voltage and thus the harmonic content of the voltage injected by the compensator. Applying appropriate pulse bandwidth modulation to the control system of this equipment can also be effective in reducing harmonic content and improving voltage quality. In this paper, in order to reduce the total harmonic distortion (THD) of the compensator injected voltage and consequently to improve the load voltage quality, the interleave boost converter at DC compensator link and the hysteresis modulation in the controller scheme of this hybrid compensator are used and the simulation results are presented. The result of the proposed system is compared with the results of the hybrid compensator based on conventional boost chopper and sinusoidal modulation.The simulations are done using Matlab/Simulink.

Keywords: Power Quality, Photovoltaic Array (PV), Interleaved Converter, Hysteresis Modulation, Dynamic Voltage Restorer (DVR).

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1398.8.4.4.1]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 8-No. 4- Winter 2020