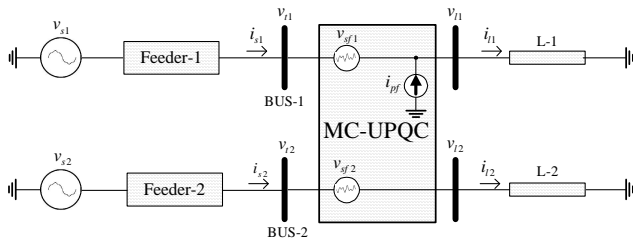


معرفی ساختار جدید جبران ساز یکپارچه کیفیت توان با قابلیت جبران سازی همزمان در فیدرهای مجاور

حمیدرضا محمدی، علی یزدیان ورجانی و حسین مختاری



شکل 1: دیاگرام تک خطی MC-UPQC متصل شده به سیستم توزیع مورد مطالعه.

می شود اما چنانچه ولتاژ شبکه نیاز به جبران داشته باشد، باید از فیلتر اکتیو سری استفاده نمود [3]. در سالیان اخیر با الهام گیری از عملکرد تجهیزات انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)، تجهیزات جدیدی برای جبران مشکلات کیفیت توان ابداع شده اند. از آن جمله می توان به جبران ساز یکپارچه کیفیت توان (UPQC) اشاره نمود. UPQC، اولین بار در سال 1996 با هدف ارتقای کیفیت توان در شبکه های توزیع، معرفی گردید [4]. UPQC ترکیب فیلتر اکتیو سری و موازی برای جبران همزمان ولتاژ و جریان می باشد [5] تا [7]. این وسیله در شبکه های توزیع و در مجاورت بارهای غیر خطی حساس، که عامل تولید هارمونیک بوده و خود به اغتشاشات ولتاژ حساس می باشند، به کار گرفته می شود.

همان طور که اشاره شد می توان از فیلتر اکتیو سری برای جبران کمبود و بیشبود ولتاژ (sag/swell) استفاده نمود، به شرطی که برای تنظیم ولتاژ باس DC تمهیدی اندیشه شود. زیرا در این حالت به دلیل تبادل توان حقیقی، ولتاژ خازن کاهش و یا افزایش خواهد یافت. چنانچه از پل دیودی برای تنظیم ولتاژ خازن استفاده کنیم فقط قادر به جبران کمبود ولتاژ خواهیم بود و در صورت نیاز به جبران بیشبود ولتاژ، باید از یک یکسوساز اکتیو برای تنظیم ولتاژ خازن بهره گرفت که در واقع استفاده از UPQC را تداعی می کند. چنانچه بار مورد نظر، بار حساسی است که به هیچ وجه نباید تغذیه آن قطع شود یا به عبارت دیگر علاوه بر کمبود و بیشبود ولتاژ، جبران قطعی ولتاژ نیز لازم باشد، در این صورت باید از باتری و یا دیگر وسایل ذخیره کننده انرژی در سمت DC استفاده نمود. از جمله محدودیت های این روش، ظرفیت محدود ذخیره انرژی و در نتیجه محدودیت در جبران قطعی های طولانی مدت می باشد.

در این مقاله یک ساختار جدید با عنوان جبران ساز یکپارچه کیفیت توان با چندین مبدل (Multi Converter - UPQC; MC - UPQC) ارائه می گردد که ارتقایافته جبران ساز یکپارچه کیفیت توان به منظور جبران سازی همزمان ولتاژ و جریان در دو فیدر مجاور است. در ساختار ارائه شده، با افزودن یک مبدل سری در فیدر مجاور که از یک منبع جداگانه تغذیه می شود، می توان علاوه بر جبران سازی همزمان ولتاژ و جریان در فیدر اصلی، کلیه مشکلات ولتاژ و به خصوص قطعی ولتاژ در فیدر مجاور را نیز جبران نمود. دیاگرام تک خطی سیستم توزیع مورد مطالعه که از MC-UPQC استفاده می کند، در شکل 1 نشان داده شده

چکیده: در این مقاله یک ساختار جدید برای جبران ساز یکپارچه کیفیت توان ارائه خواهد شد. در این ساختار جدید با اضافه کردن یک مبدل سری در فیدر مجاور، که از طریق منبع جداگانه تغذیه می شود، قابلیت های جبران ساز یکپارچه کیفیت توان ارتقا یافته است. به نحوی که علاوه بر جبران همزمان ولتاژ و جریان در یک فیدر، توانایی حفاظت از بار حساس و بحرانی موجود در فیدر مجاور، در مقابل کلیه اغتشاشات ولتاژ و به خصوص قطعی ولتاژ را دارا می باشد. در ساختار ارائه شده تمامی مبدل ها از نوع منبع ولتاژ بوده و در سمت DC به یک خازن مشترک متصل شده اند. محاسن ساختار ارائه شده عبارتند از: (1) انتقال توان از یک فیدر به فیدر مجاور برای جبران قطعی ولتاژ و (2) استفاده از تنها یک مبدل موازی برای جبران سازی جریان و تنظیم ولتاژ خازن مشترک باس DC بین هر سه مبدل. نتایج شبیه سازی انجام گرفته با نرم افزار PSCAD/EMTDC، در یک سیستم مطالعاتی نمونه متشکل از دو باس و دو فیدر، مؤید قابلیت های ساختار ارائه شده و سیستم کنترل آن بوده است.

کلید واژه: جبران ساز یکپارچه کیفیت توان، فیلتر اکتیو، کیفیت توان، PSCAD/EMTDC.

1- مقدمه

در سالیان اخیر برای دستیابی به راندمان بالاتر و بهره وری بیشتر، استفاده از تجهیزات سوئیچینگ به طور گسترده ای مورد توجه واقع شده اند، به طوری که کاربرد آنها رو به افزایش است. با گسترش کاربرد این گونه تجهیزات، مشکلات کیفیت توان نیز به طور فزاینده ای در حال افزایش می باشند. همچنین عوامل سنتی بروز مشکلات کیفیت توان از قبیل اصابت صاعقه با خطوط انتقال، کلیدزنی بانک های خازنی بزرگ و وقوع خطاهای مختلف نیز با توجه به گسترش شبکه های قدرت، در حال افزایش می باشند.

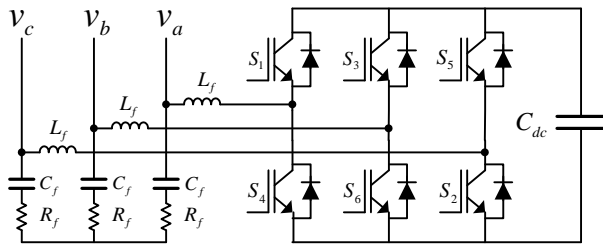
از سوی دیگر با توجه به پیشرفت روزافزون سیستم های کنترل الکترونیکی، دامنه کاربرد تجهیزات حساس به اغتشاشات ولتاژ نیز افزایش یافته است [1]. لذا برای جبران مشکلات کیفیت توان و کاهش اغتشاشات به زیر حد مجاز مشخص شده در استانداردهای موجود، نیاز به جبران سازی همزمان ولتاژ و جریان خواهد بود. روش های مدرن بهبود کیفیت توان به صورت فیلترهای اکتیو عمل می کنند [2]. فیلتر اکتیو موازی برای جبران اثرات منفی بار غیر خطی بر روی شبکه استفاده

این مقاله در تاریخ 31 مرداد ماه 1386 دریافت و در تاریخ 14 خرداد ماه 1387 بازنگری شد.

حمیدرضا محمدی، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان (email: mohammadi@kashanu.ac.ir).

علی یزدیان ورجانی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، صندوق پستی 14115-349 (email: yazdian@modares.ac.ir).

حسین مختاری، دانشکده برق، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، (email: mokhtari@sharif.edu).



شکل 3: ساختار مبدل منبع ولتاژ (VSC).

(VSC) با نام‌های VSC-1، VSC-2 و VSC-3 استفاده شده است که همگی در سمت DC به یک خازن مشترک متصل شده‌اند.

در این سیستم VSC-1 به صورت سری با باس 1، VSC-2 به صورت موازی با بار L-1 و VSC-3 به صورت سری با باس 2 متصل شده‌اند. هر یک از این مبدل‌ها شامل یک مبدل پل سه‌فاز و یک فیلتر پایین‌گذر در خروجی آن می‌باشند. فیلتر پایین‌گذر خروجی، برای جلوگیری از ورود هارمونیک‌های مراتب بالا ناشی از کلیدزنی قرار داده شده است. ساختار یک مبدل نمونه در شکل 3 نشان داده شده است.

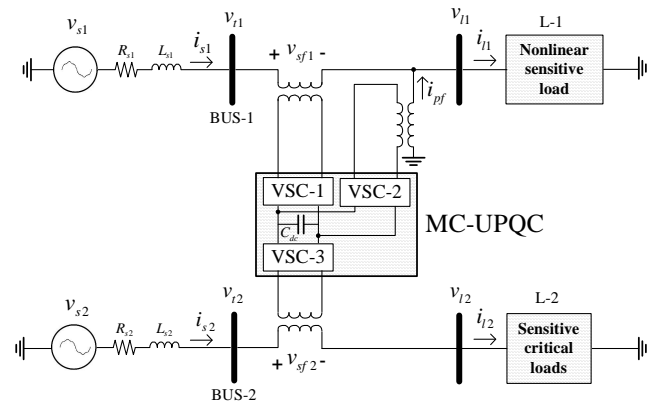
همان‌طور که از ساختار MC-UPQC در شکل 2 ملاحظه می‌شود، هر 3 مبدل در سمت DC به یک خازن مشترک، و در سمت AC نیز هر کدام به یک ترانسفورماتور متصل می‌باشند. ثانویه ترانسفورماتورهای متصل شده به مبدل‌های سری مستقیماً به صورت سری با باس‌های 1 و 2 و ثانویه ترانسفورماتور متصل شده به مبدل موازی به صورت موازی با بار L-1 متصل می‌شوند. ضمناً هر یک از این 3 مبدل به صورت کاملاً مستقل از یکدیگر کنترل می‌شوند. اهداف به‌کارگیری MC-UPQC در سیستم فوق را می‌توان به صورت زیر تشریح نمود:

- 1) تنظیم ولتاژ باس 1 در مقابل کمبود، بیشبود و اغتشاشات ولتاژ به منظور تأمین ولتاژ مورد نیاز برای عملکرد صحیح بار غیر خطی و حساس L-1.
 - 2) تنظیم ولتاژ باس 2 در مقابل کمبود، بیشبود و اغتشاشات ولتاژ و به‌ویژه جریان قطعی ولتاژ به منظور تأمین ولتاژ مورد نیاز برای عملکرد صحیح بار حساس و بحرانی L-2.
 - 3) جبران اغتشاشات جریان بار در فیدر 1 به‌گونه‌ای که جریان ابتدای فیدر کاملاً متعادل، سینوسی و فاقد مؤلفه راکتیو باشد.
- به منظور دستیابی به اهداف فوق، مبدل‌های سری به روش کنترل ولتاژ SPWM و مبدل موازی به روش کنترل جریان هیستریزس کنترل می‌شوند. همان‌طور که در قسمت‌های قبل اشاره شد فرض بر این است که ولتاژ باس‌های 1 و 2 حاوی هارمونیک، کمبود و بیشبود ولتاژ می‌باشند. شکل موج ولتاژ باس‌های 1 و 2 در شکل 4 و همچنین جریان بار فیدر 1 نیز در شکل 5 نشان داده شده‌اند.

لازم به ذکر است که به منظور سادگی در کلیه شکل‌ها، مگر مواردی که نمایش شکل موج سه‌فاز ضرورت داشته باشد، فقط شکل موج فاز a نشان داده شده است. در ادامه نشان داده خواهد شد که چگونه می‌توان با به‌کارگیری MC-UPQC، مشکلات کیفیت توان را اعم از اغتشاشات ولتاژ و جریان در فیدر 1 و اغتشاشات ولتاژ در فیدر 2 جبران نموده و شکل موج ولتاژ دو سر بار و جریان منبع را بهبود بخشید.

3- استراتژی کنترل MC-UPQC

همان‌طور که در شکل 2 نشان داده شده است، ساختار ارائه شده برای MC-UPQC از دو مبدل سری و یک مبدل موازی تشکیل شده است. تکنیک کنترل مبدل‌های سری، کنترل ولتاژ SPWM و تکنیک کنترل



شکل 2: ساختار داخلی MC-UPQC متصل شده به سیستم توزیع مورد مطالعه.

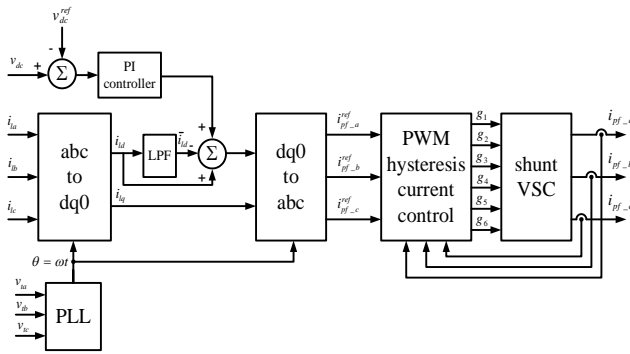
است. این سیستم از دو فیدر، که توسط منابع جداگانه تغذیه می‌شوند، تشکیل شده است و هر یک از فیدرها بار جداگانه‌ای را تغذیه می‌کنند. در این سیستم، MC-UPQC بین باس‌های 1 و 2 که ولتاژ آنها به ترتیب با v_{11} و v_{12} نشان داده شده‌اند و همچنین بار غیر خطی L-1 که جریان آن با i_{11} نشان داده شده است، متصل شده است. سایر پارامترهای سیستم فوق عبارتند از: i_{s1} و i_{s2} جریان فیدرهای 1 و 2، i_{11} و i_{12} جریان بارهای L-1 و L-2، v_{sf1} و v_{sf2} ولتاژ دو سر بارهای L-1 و L-2، i_{pf} به ترتیب ولتاژ سری تزریق شده در فیدر 1، ولتاژ سری تزریق شده در فیدر 2 و جریان موازی تزریق شده توسط مبدل‌های سری و موازی در ساختار MC-UPQC می‌باشند.

در سیستم فوق فرض بر این است که ولتاژ باس‌های 1 و 2 (v_{11} و v_{12}) حاوی اغتشاشات ولتاژ از جمله هارمونیک، کمبود و بیشبود ولتاژ می‌باشند. از طرف دیگر بار L-1 یک بار غیر خطی و حساس می‌باشد که اگرچه خود جریان هارمونیک به شبکه تغذیه می‌کند، اما برای عملکرد صحیح نیازمند یک ولتاژ سینوسی خالص با دامنه مشخص می‌باشد. در نهایت بار L-2 نیز یک بار حساس و بحرانی است که علاوه بر اغتشاشات ولتاژ، بایستی در مقابل قطعی ولتاژ نیز به‌طور کامل محافظت شود. این‌گونه بارها شامل خطوط تولید مکانیزه در کارخانجات صنعتی مهم و همچنین مراکز خدماتی مهم از جمله مراکز درمانی، فرودگاه‌ها و ایستگاه‌های مخابراتی می‌باشند به طوری که قطع برق در این‌گونه سیستم‌ها می‌تواند خسارات جانی و مالی فراوانی را به همراه داشته باشد. عملکرد MC-UPQC در سیستم فوق را می‌توان به‌طور خلاصه، جبران‌سازی هم‌زمان سری و موازی در فیدر 1 و همچنین جبران‌سازی سری در فیدر 2 در نظر گرفت. از جمله محاسن ساختار ارائه شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- 1) انتقال توان از یک فیدر به فیدر دیگر برای جبران قطعی ولتاژ.
 - 2) استفاده از تنها یک مبدل موازی برای جبران‌سازی جریان و همچنین تنظیم ولتاژ خازن مشترک باس DC بین هر سه مبدل.
- با استفاده از نرم‌افزار PSCAD/EMTDC سیستم توزیع مورد مطالعه تحت شرایط مختلف اعم از وجود اغتشاشات هارمونیک، کمبود و بیشبود ولتاژ در فیدرهای 1 و 2، قطعی ولتاژ در فیدر 2 و تغییر ناگهانی بار شبیه‌سازی شده و قابلیت‌های ساختار ارائه شده برای جبران‌سازی هم‌زمان ولتاژ و جریان در سیستم فوق نشان داده خواهد شد.

2- ساختار و نحوه عملکرد MC-UPQC

ساختار داخلی MC-UPQC متصل شده به سیستم توزیع مورد مطالعه در شکل 2 نشان داده شده است. در این ساختار از 3 مبدل منبع ولتاژ



شکل 6: بلوک دیاگرام سیستم کنترل میدل موازی.

با توجه به اینکه $i_s = i_l - i_{pf}$ ، چنانچه جریان مرجع میدل موازی به صورت زیر در نظر گرفته شود

$$\begin{cases} i_{pf_d}^{ref} = \tilde{i}_{l_d} \\ i_{pf_q}^{ref} = i_{l_q} \end{cases} \quad (4)$$

در این صورت مؤلفه‌های جریان فیدر مورد نظر در محورهای d-q به صورت زیر در خواهند آمد

$$\begin{cases} i_{s_d} = \tilde{i}_{l_d} \\ i_{s_q} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

در واقع جریان فیدر فوق فاقد هرگونه مؤلفه هارمونیک و راکتیو پس از جبران‌سازی خواهد بود. یکی دیگر از وظایف میدل موازی تنظیم ولتاژ خازن مشترک باس DC می‌باشد. لازم به ذکر است که تلفات سوئیچینگ باعث کاهش ولتاژ خازن شده و همچنین اغتشاشاتی از قبیل تغییرات ناگهانی بار می‌تواند باعث نوسان ولتاژ خازن گردند. برای جلوگیری از نوسانات ولتاژ خازن، از یک کنترل‌کننده PI استفاده می‌شود. ورودی این کنترل‌کننده خطای بین ولتاژ خازن با یک ولتاژ مرجع بوده و خروجی آن نیز با Δi_{dc} نمایش داده می‌شود. برای تنظیم ولتاژ خازن، خروجی کنترلر PI با مؤلفه d جریان مرجع میدل موازی، جمع شده و به عنوان مقدار مرجع جدید در نظر گرفته می‌شود. در این صورت تبادل توان حقیقی لازم برای تنظیم ولتاژ خازن، از طریق میدل موازی صورت پذیرفته و ولتاژ خازن در مقدار مرجع آن تنظیم می‌گردد. بنابراین مؤلفه‌های d-q جدید برای جریان مرجع میدل موازی عبارت خواهند بود از

$$\begin{cases} i_{pf_d}^{ref} = \tilde{i}_{l_d} + \Delta i_{dc} \\ i_{pf_q}^{ref} = i_{l_q} \end{cases} \quad (6)$$

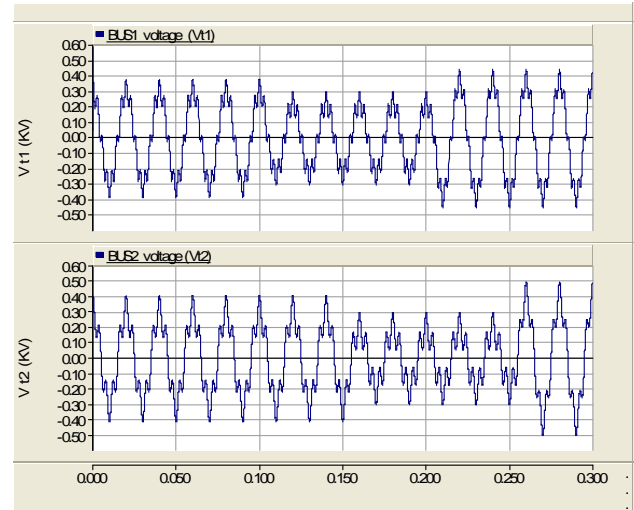
همچنان که در شکل 6 نشان داده شده است، با انتقال مقادیر مرجع از چارچوب مبنای سنکرون (dq0) به چارچوب مینا (abc) و استفاده از تکنیک کنترل جریان هیستریزس، جریان‌های جبران‌سازی لازم توسط میدل موازی ایجاد خواهند شد

$$i_{pf_abc}^{ref} = T_{dq0}^{abc} i_{pf_dq0}^{ref} ; T_{dq0}^{abc} = (T_{abc}^{dq0})^{-1} \quad (7)$$

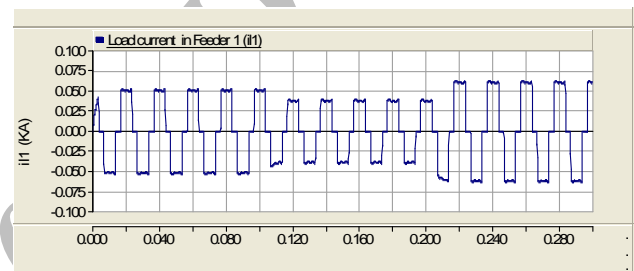
2-3- کنترل میدل‌های سری

وظایف میدل‌های سری عبارتند از: (1) جبران کمبود و بیشبود ولتاژ، (2) جبران مؤلفه‌های هارمونیک و نامتعادلی ولتاژ و (3) جبران قطعی ولتاژ در فیدر 2 (این قسمت از وظایف میدل سری در فیدر 2 می‌باشد).

بلوک دیاگرام سیستم کنترل میدل‌های سری در شکل 7 نشان داده شده است. در این روش ابتدا ولتاژ باس اندازه‌گیری شده و با استفاده از خروجی حلقه قفل فاز (PLL) به چارچوب مبنای سنکرون (dq0) انتقال



شکل 4: شکل موج ولتاژ باس‌های 1 و 2.



شکل 5: شکل موج جریان بار در فیدر 1.

میدل موازی، کنترل جریان هیستریزس می‌باشد. بر طبق استراتژی کنترل طراحی شده، میدل‌های سری و موازی هر یک وظایف متفاوتی دارند. در ادامه وظایف و الگوریتم کنترل میدل‌ها با استفاده از روش d-q [8]، تشریح خواهند شد.

3-1- میدل موازی

وظایف میدل موازی عبارتند از: (1) جبران مؤلفه راکتیو جریان بار $(L-1)$ ، جبران مؤلفه‌های هارمونیک و نامتعادلی جریان بار $(L-1)$ و (3) تنظیم ولتاژ خازن مشترک باس DC.

بلوک دیاگرام سیستم کنترل میدل موازی در شکل 6 نشان داده شده است. در این روش ابتدا جریان فیدر تغذیه‌کننده بار غیر خطی $(L-1)$ ، اندازه‌گیری شده و با استفاده از خروجی حلقه قفل فاز (PLL) به چارچوب مبنای سنکرون (dq0) انتقال داده می‌شود

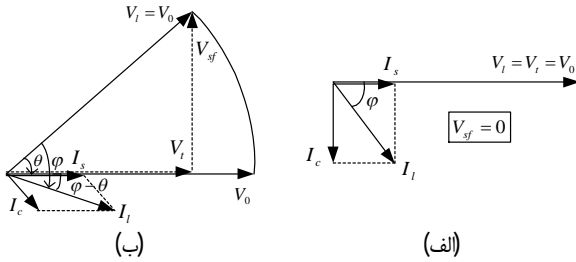
$$i_{l_dq0} = T_{abc}^{dq0} i_{l_abc} \quad (1)$$

ماتریس تبدیل abc به dq0 به صورت (2) می‌باشد

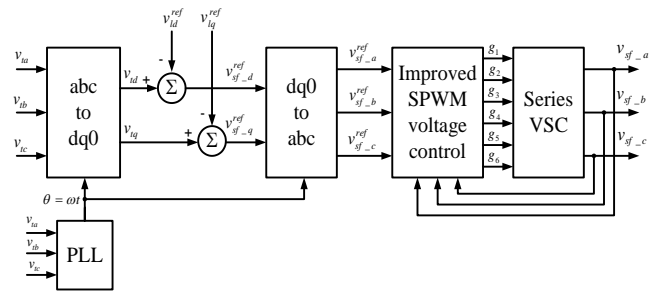
$$T_{abc}^{dq0} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos(\omega t - 120^\circ) & \cos(\omega t + 120^\circ) \\ -\sin(\omega t) & -\sin(\omega t - 120^\circ) & -\sin(\omega t + 120^\circ) \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

با این تبدیل، مؤلفه‌های ترتیب مثبت فرکانس اصلی به مقادیر DC در محورهای d-q تبدیل شده و به راحتی توسط یک فیلتر پایین‌گذر جدا می‌شوند. همچنین تمامی مؤلفه‌های هارمونیک، با یک شیفت فرکانسی معادل فرکانس اصلی، به مؤلفه‌های ac تصویر می‌شوند

$$\begin{cases} i_{l_d} = \tilde{i}_{l_d} + \tilde{i}_{l_d} \\ i_{l_q} = \tilde{i}_{l_q} + \tilde{i}_{l_q} \end{cases} \quad (3)$$



شکل 9: دیاگرام فازوری روش جبران سازی متعامد (الف) بدون کمبود ولتاژ و (ب) با کمبود ولتاژ.



شکل 7: بلوک دیاگرام سیستم کنترل میدل سری.

3-3 تکنیک مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM) بهبودیافته

تکنیک کنترل ولتاژ SPWM به میدل سری این امکان را می‌دهد که ولتاژ غیر سینوسی مطابق با ولتاژ مرجع را ایجاد نماید. با توجه به اینکه دامنه و فرکانس شکل موج مرجع می‌تواند در رنج وسیعی تغییر نماید، لذا در این شرایط تکنیک SPWM معمولی، به دلیل تضعیف دامنه ذاتی، جوابگو نخواهد بود [9]. به علاوه فیلتر پایین گذر قرار گرفته در خروجی میدل، باعث ایجاد جابه‌جایی فاز در ولتاژهای خروجی خواهد شد. برای رفع مشکلات فوق می‌توان با فیدبک مقادیر خروجی واقعی میدل و مقایسه آنها با مقادیر مرجع، یک شکل موج مرجع جدید ایجاد نمود. بدین ترتیب خطای بین خروجی میدل و مقادیر مرجع کاهش خواهد یافت. بلوک دیاگرام تکنیک SPWM بهبودیافته در شکل 8 نشان داده شده است. در این روش خطای بین خروجی میدل و مقادیر مرجع در بهره K_v ضرب شده و با مقادیر مرجع جمع می‌شود تا بدین ترتیب مقادیر مرجع جدید حاصل گردد (13)

$$v_{sf_i}^{ref,new} = v_{sf_i}^{ref} + k_v(v_{sf_i}^{ref} - v_{sf_i}^{actual}) ; i = a, b, c \quad (13)$$

4- بررسی تحلیلی توان نامی MC-UPQC

توان نامی MC-UPQC یک عامل مهم در مشخص کردن ظرفیت، قیمت و همچنین صرفه اقتصادی به کارگیری آن می‌باشد. در این قسمت ضمن بررسی دو مدل مختلف ارائه شده برای UPQC، مدل مناسب برای به کارگیری در ساختار MC-UPQC را معرفی نموده و بر آن اساس توان نامی را محاسبه خواهیم نمود. دو مدل مختلف ارائه شده برای UPQC عبارتند از:

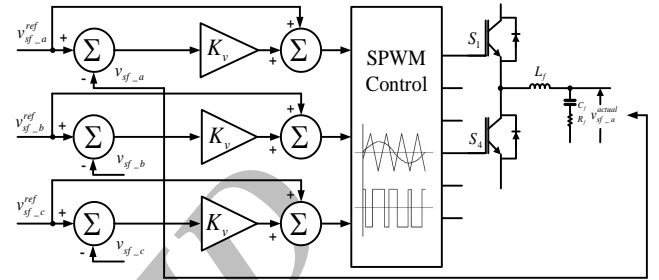
(1) جبران سازی متعامد (UPQC-Q).

(2) جبران سازی هم‌فاز (UPQC-P).

در جبران سازی متعامد ولتاژ خروجی میدل سری عمود بر جریان منبع تزریق می‌شود، به قسمی که در شرایط دائمی توان حقیقی میدل صفر می‌باشد. این عامل یک مزیت مهم برای UPQC به هنگام جبران کمبود ولتاژ می‌باشد. ضمناً میدل سری بخشی از توان راکتیو مورد نیاز بار را، در مشارکت با میدل موازی تأمین می‌نماید به قسمی که توان مورد نیاز میدل موازی کاهش می‌یابد. شکل 9 دیاگرام فازوری این روش را برای فرکانس اصلی و یک ضریب توان بار به خصوص در دو حالت نشان می‌دهد:

(الف) ولتاژ شبکه برابر ولتاژ عادی بار می‌باشد (بدون کمبود ولتاژ).
(ب) وقوع کمبود ولتاژ.

در حالتی که ولتاژ شبکه برابر ولتاژ عادی بار می‌باشد، ولتاژ سری تزریق شده صفر بوده و داریم $V_i = V_r = V_0$ (شکل 9-الف). در این شرایط جریان بار با I_l نشان داده شده و میدل موازی مؤلفه راکتیو جریان بار (I_c) را جبران می‌نماید و لذا ضریب توان ورودی برابر یک خواهد بود.



شکل 8: بلوک دیاگرام تکنیک مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM) بهبودیافته.

داده می‌شود

$$v_{l_dq0} = T_{abc}^{dq0} v_{l_abc} = v_{l1p} + v_{l1n} + v_{l10} + v_{th} \quad (8)$$

در این رابطه

$$\begin{aligned} v_{l1p} &= [v_{l1p_d} \quad v_{l1p_q} \quad 0]^T \\ v_{l1n} &= [v_{l1n_d} \quad v_{l1n_q} \quad 0]^T \\ v_{l10} &= [0 \quad 0 \quad v_{l0}]^T \\ v_{th} &= [v_{th_d} \quad v_{th_q} \quad v_{th_0}]^T \end{aligned} \quad (9)$$

که v_{l10} و v_{l1n} به ترتیب مؤلفه‌های ترتیب مثبت، منفی و صفر فرکانس اصلی و v_{th} نیز مؤلفه‌های هارمونیک ولتاژ باس می‌باشند. بر طبق اهداف سیستم کنترل، ولتاژ دو سر بار بایستی یک ولتاژ سینوسی با دامنه ثابت باشد و به عبارت دیگر باید در چارچوب مبنای سنکرون (dq0) تنها یک مقدار داشته باشد

$$v_{l_dq0}^{exp} = T_{abc}^{dq0} v_{l_abc}^{exp} = \begin{bmatrix} V_m \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

در رابطه فوق

$$v_{l_abc}^{exp} = \begin{bmatrix} V_m \cos(\omega t) \\ V_m \cos(\omega t - 120^\circ) \\ V_m \cos(\omega t + 120^\circ) \end{bmatrix} \quad (11)$$

لذا ولتاژ مرجع برای میدل سری به صورت (12) خواهد بود

$$v_{sf_dq0}^{ref} = v_{l_dq0} - v_{l_dq0}^{exp} \quad (12)$$

رابطه فوق بدین معنی است که در (9) بایستی در مقدار V_m ثابت نگه داشته شود و مؤلفه‌های دیگر توسط ولتاژ سری تزریق شده به وسیله میدل سری حذف گردند. با انتقال ولتاژ مرجع به دست آمده در (12) به چارچوب مبنا (abc)، ولتاژ مرجع برای میدل سری به دست خواهد آمد. در نهایت با استفاده از تکنیک مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM) بهبودیافته، ولتاژ جبران سازی مورد نظر توسط خروجی میدل سری تأمین خواهد شد.

همچنین ضریب توان بار در فیدر 1 و 2 به ترتیب $\cos \varphi_1$ و $\cos \varphi_2$ بوده و درصد کمبود ولتاژ در فیدر 1 و 2 به ترتیب x_1 و x_2 می‌باشند. لازم به ذکر است که در محاسبات توان از تلفات صرف نظر شده و محاسبات برای بار خطی و فرکانس اصلی انجام می‌گیرد [11]. با توجه به این که توان مورد نیاز برای جبران قطعی ولتاژ بسیار بیشتر از توان مورد نیاز برای جبران سایر پدیده‌های کیفیت توان است، لذا صرف نظر کردن از مؤلفه‌های هارمونیک و خطی در نظر گرفتن بار تأثیر چندانی در محاسبات توان نخواهد داشت.

توان حقیقی مورد نیاز بار $L-1$ ثابت بوده و از طریق منبع تغذیه فیدر 1 تأمین می‌گردد. همچنین توان حقیقی مورد نیاز برای جبران کمبود و قطعی ولتاژ در فیدر 2 نیز توسط منبع تغذیه فیدر 1 و از طریق VSC-2 و VSC-3 تأمین می‌گردد. بر این اساس جریان فیدر 1 (I_{s1}) به صورت زیر تعیین می‌شود

$$V_{r1} I_{s1} = V_{r1} I_{r1} \cos \varphi_1 + V_{sf2} I_{l2} \cos \varphi_2 \quad (16)$$

$$(1-x_1)V_0 I_{s1} = V_0 I_{01} \cos \varphi_1 + x_2 V_0 I_{02} \cos \varphi_2 \quad (17)$$

$$(1-x_1)I_{s1} = I_{01} \cos \varphi_1 + x_2 I_{02} \cos \varphi_2 \quad (18)$$

$$I_{s1} = \frac{I_{01} \cos \varphi_1}{(1-x_1)} + \frac{x_2 I_{02} \cos \varphi_2}{(1-x_1)} \quad (19)$$

با توجه به شکل 9، ولتاژ سری تزریق شده توسط VSC-1 به صورت زیر بیان می‌شود

$$V_{sf1} = V_{r1} \tan \theta = V_0(1-x_1) \tan \theta \quad (20)$$

بنابراین توان مورد نیاز VSC-1 به صورت زیر محاسبه می‌گردد

$$\begin{aligned} VA_{series_VSC1} &= 3V_{sf1} I_{s1} \\ &= 3V_0(1-x_1) \tan \theta \left(\frac{I_{01} \cos \varphi_1}{1-x_1} + \frac{x_2 I_{02} \cos \varphi_2}{1-x_1} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

جریان مبدا موازی (VSC-2) را می‌توان به دو قسمت تقسیم کرد (1) قسمت اول که با I_{c1} نشان داده می‌شود، مؤلفه راکتیو جریان بار را جبران می‌نماید (البته برای بارهای غیر خطی علاوه بر مؤلفه راکتیو جریان بار، مؤلفه‌های هارمونیک جریان بار را نیز جبران می‌نماید). با توجه به شکل 9، I_{c1} به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\begin{aligned} I_{c1} &= \sqrt{I_{r1}^2 + I_{s1}^2 - 2I_{r1}I_{s1} \cos(\varphi_1 - \theta)} \\ &= \sqrt{I_{01}^2 + I_{s1}^2 - 2I_{01}I_{s1} \cos(\varphi_1 - \theta)} \end{aligned} \quad (22)$$

مقدار I_{s1} از (19) جایگذاری می‌گردد. این مؤلفه جریان مبدا موازی فقط تبادل توان راکتیو (Q) ایجاد می‌نماید.

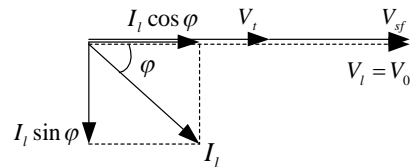
(2) قسمت دوم توان اکتیو (P) مورد نیاز برای جبران کمبود و یا قطعی ولتاژ در فیدر 2 را تأمین می‌نماید.

بر این اساس توان خروجی VSC-2 یک مؤلفه اکتیو و یک مؤلفه راکتیو دارد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد

$$\begin{aligned} VA_{shunt_VSC2} &= 3V_{r1} I_{pf} = 3\sqrt{Q^2 + P^2} \\ &= 3\sqrt{(V_{r1} I_{c1})^2 + (V_{sf2} I_{l2} \cos \varphi_2)^2} \\ &= 3V_0 \sqrt{I_{c1}^2 + (x_2 I_{02} \cos \varphi_2)^2} \end{aligned} \quad (23)$$

مقدار I_{c1} از (22) جایگذاری می‌گردد. در نهایت توان مورد نیاز VSC-3 نیز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد

$$VA_{series_VSC3} = 3V_{sf2} I_{l2} = 3x_2 V_0 I_{02} \quad (24)$$



شکل 10: دیاگرام فازوری روش جبران سازی هم فاز در شرایط وقوع کمبود ولتاژ.

البته برای بارهای غیر خطی، مبدا موازی نه تنها مؤلفه راکتیو جریان بار را، بلکه مؤلفه‌های هارمونیک جریان بار را نیز جبران خواهد نمود. بدین ترتیب تنها مؤلفه اکتیو جریان بار توسط شبکه تأمین می‌گردد.

چنانچه در اثر مشکلات شبکه کمبود ولتاژ رخ دهد، UPQC بایستی به قسمی عمل کند که این کمبود ولتاژ را جبران نموده و ولتاژ دو سر بار را به مقدار عادی آن برگرداند. همچنان که در شکل 9-ب آمده است، در این روش ولتاژ خروجی مبدا سری (V_{sf})، عمود بر ولتاژ شبکه (V_l) تزریق می‌شود. جریان بار با I_l مشخص شده و جریان تزریق شده توسط مبدا موازی (I_c) به قسمی است که جریان شبکه (I_s) هم فاز با ولتاژ شبکه (V_l) باشد. در این شرایط فقط توان اکتیو مورد نیاز بار توسط شبکه تأمین می‌گردد و لذا ضریب توان در سمت شبکه برابر واحد خواهد بود.

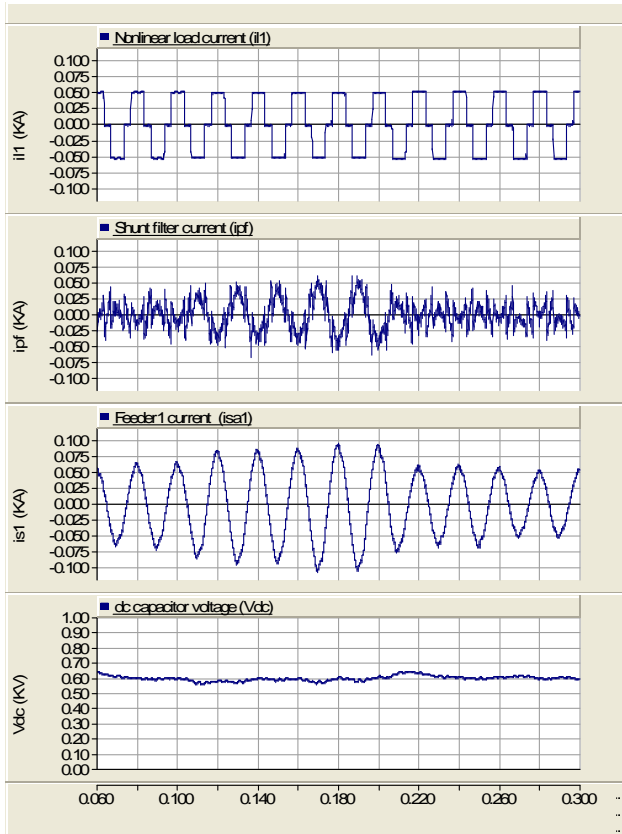
در روش جبران سازی هم فاز ولتاژ تزریق شده توسط مبدا سری، در شرایطی که شبکه متعادل باشد، هم فاز با ولتاژ شبکه می‌باشد. در این روش ولتاژ تزریق شده برای جبران کمبود ولتاژ مینیمم خواهد بود. دیاگرام فازوری این روش برای فرکانس اصلی در شکل 10 نشان داده شده است. در [10] بارگذاری مبدا سری، موازی و بارگذاری کل UPQC برای این دو روش در شرایط کاری مختلف مقایسه شده‌اند. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که بارگذاری مبدا موازی در جبران سازی متعادل کمتر از جبران سازی هم فاز بوده و همچنین برای ضریب توان کوچک تر یا مساوی 0.9، بارگذاری مبدا سری در جبران سازی هم فاز کمتر از جبران سازی متعادل است. همچنین نشان داده شده است که در شرایطی که توان راکتیو مورد نیاز بار زیاد باشد، بارگذاری کل UPQC برای جبران سازی متعادل کمتر از جبران سازی هم فاز می‌باشد.

همان طور که در قسمت قبل عنوان شد توان مورد نیاز برای جبران قطعی ولتاژ در فیدر 2 از طریق VSC-2 و VSC-3 تأمین می‌گردد. این مسئله نشان می‌دهد که باید توان نامی این دو مبدا نسبت به VSC-1 بیشتر انتخاب گردد. به همین دلیل اگر از جبران سازی متعادل در فیدر 1 استفاده نماییم، توان نامی VSC-2 کاهش خواهد یافت. همچنین چنانچه از جبران سازی هم فاز در فیدر 2 استفاده نماییم، توان نامی VSC-3 نیز کاهش خواهد یافت. این مسئله یک فاکتور مهم در طراحی می‌باشد زیرا در توان‌های بالا علاوه بر افزایش هزینه، محدودیت فرکانس سوئیچینگ نیز خواهیم داشت.

با در نظر گرفتن مباحث فوق می‌توان مقدار توان نامی هر یک از مبدا های MC-UPQC را محاسبه نمود. بدین منظور ابتدا پارامترهای شکل‌های 9 و 10 را به ترتیب با افزودن اندیس 1 و اندیس 2، که در واقع نشان دهنده فیدر 1 و فیدر 2 می‌باشد، تغییر می‌دهیم. در محاسبات توان فرض بر این است که ولتاژ دو سر بار بدون توجه به تغییرات ولتاژ شبکه در مقدار V_0 پریونیت ثابت نگهداشته می‌شود و جریان بارها در فیدر 1 و 2 نیز ثابت بوده و برابر مقادیر نامی آنها (I_{01}, I_{02}) می‌باشند

$$V_{r1} = V_{r2} = V_0 \quad (14)$$

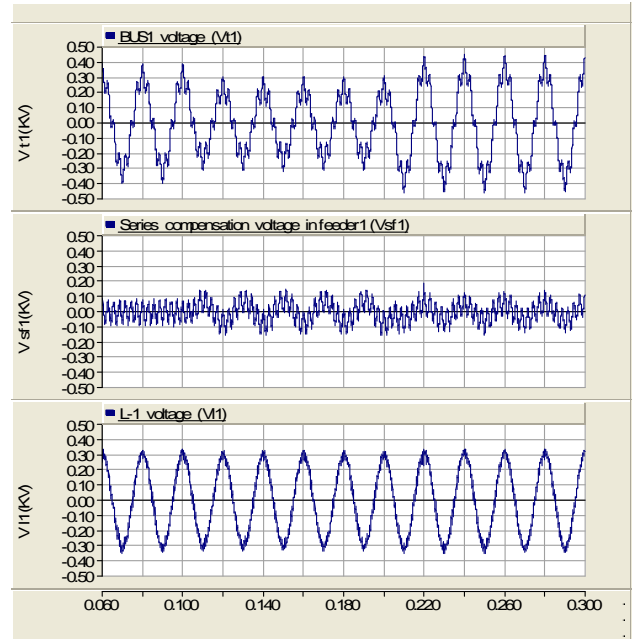
$$\begin{cases} I_{r1} = I_{01} \\ I_{r2} = I_{02} \end{cases} \quad (15)$$



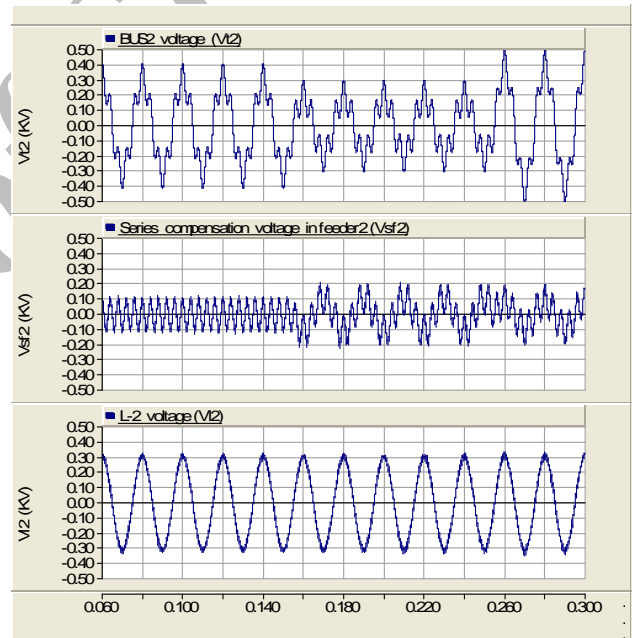
شکل 13: جریان بار غیر خطی $L-1$ ، جریان موازی تزریق شده توسط $VSC-2$ ، جریان فیدر 1 و ولتاژ خازن مشترک باس DC.

مرتبه 5 با دامنه 32% مؤلفه اصلی می‌باشند. برای ولتاژ باس 1 در محدوده زمانی $0.1 < t < 0.2$ Sec، 25% کمبود ولتاژ و در محدوده زمانی $0.2 < t < 0.3$ Sec، 20% بیشبود ولتاژ داریم. همچنین برای ولتاژ باس 2 در محدوده زمانی $0.05 < t < 0.25$ Sec، 35% کمبود ولتاژ و در محدوده زمانی $0.25 < t < 0.3$ Sec، 30% بیشبود ولتاژ داریم. شکل موج ولتاژ باس‌های 1 و 2 در شکل 4 نشان داده شده‌اند. بار $L-1$ ، یک یکسوساز پل سه فاز دیودی با بار RL ($R = 10\Omega$ و $L = 20mH$) می‌باشد که جریان آن در شکل 5 نشان داده شده است. بار $L-2$ نیز یک بار RL متعادل با مقادیر $R = 10\Omega$ و $L = 20mH$ می‌باشد. سایر پارامترهای شبیه سازی عبارتند از: خازن لینک DC برابر $C_{dc} = 2000\mu F$ و ولتاژ مرجع آن برابر $V_{dc.ref} = 600V$ می‌باشند. همچنین امپدانس شبکه در هر دو فیدر سلفی و برابر $L_{s1} = L_{s2} = 1mH$ بوده و گام زمانی شبیه سازی نیز برابر $t_s = 50\mu s$ می‌باشد. در $MC-UPQC$ ، $t = 0.02$ Sec راه اندازی می‌شود. نتایج شبیه سازی ولتاژ باس 1، ولتاژ سری تزریق شده توسط $VSC-1$ و ولتاژ بار $L-1$ ، در شکل 11 نشان داده شده‌اند. همچنین ولتاژ باس 2، ولتاژ سری تزریق شده توسط $VSC-3$ و ولتاژ بار $L-2$ نیز در شکل 12 نشان داده شده‌اند. نتایج شبیه سازی بیانگر دقت و سرعت سیستم کنترل پیشنهادی در جبران ولتاژ باس‌های 1 و 2 می‌باشند.

جریان بار غیر خطی $L-1$ ، جریان موازی تزریق شده توسط $VSC-2$ ، جریان فیدر 1 و نهایتاً ولتاژ خازن لینک DC نیز به ترتیب در شکل 13 آمده‌اند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهند که اغتشاشات هارمونیکی و مؤلفه راکتیو جریان بار در فیدر 1 به خوبی جبران شده‌اند. محاسبه اغتشاش هارمونیکی کل (THD) برای جریان شبکه نشان می‌دهد که مقدار آن از 27/3% به مقدار 4/3% کاهش یافته است. همچنین نتایج شبیه سازی نشان می‌دهند که حلقه کنترل ولتاژ خازن به خوبی عمل نموده و تحت شرایط مختلف، ولتاژ خازن را در مقدار مرجع 600 V تنظیم می‌نماید.



شکل 11: ولتاژ باس 1، ولتاژ سری تزریق شده توسط $VSC-1$ و ولتاژ بار $L-1$.



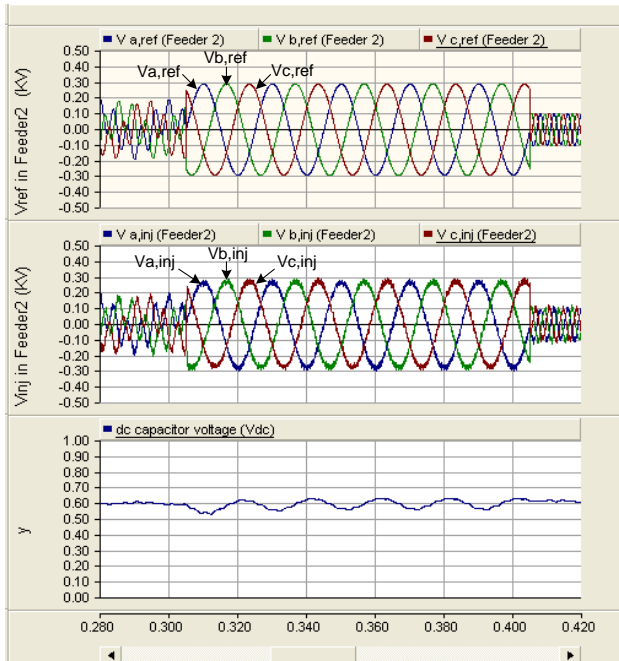
شکل 12: ولتاژ باس 2، ولتاژ سری تزریق شده توسط $VSC-3$ و ولتاژ بار $L-2$.

5- نتایج شبیه سازی

برای ارزیابی عملکرد $MC-UPQC$ در دست یابی به اهداف مورد نظر، یک سیستم مطالعاتی طبق شکل 2، تحت شرایط وقوع مشکلات مختلف کیفیت توان، توسط نرم افزار PSCAD/EMTDC شبیه سازی می‌گردد. نتایج شبیه سازی مؤید توانایی سیستم پیشنهادی در جبران همزمان پدیده‌های کیفیت توان و به خصوص قطعی ولتاژ در فیدر تغذیه کننده بار بحرانی می‌باشند.

1-5 وقوع اغتشاش هارمونیکی، کمبود و بیشبود در ولتاژ باس‌های 1 و 2

سیستم مطالعاتی مورد نظر مانند شکل 2 از دو سیستم سه فاز سه سیمه 380 V و 50 Hz تشکیل شده است. ولتاژ باس 1 حاوی مؤلفه هارمونیکی مرتبه 7 با دامنه 22% مؤلفه اصلی و ولتاژ باس 2 حاوی مؤلفه هارمونیکی



شکل 16: ولتاژهای مرجع سه فاز، ولتاژهای سه فاز تزریق شده توسط مبدل 3-VSC و ولتاژ خازن لینک DC در زمان وقوع قطعی ولتاژ در فیدر 2.

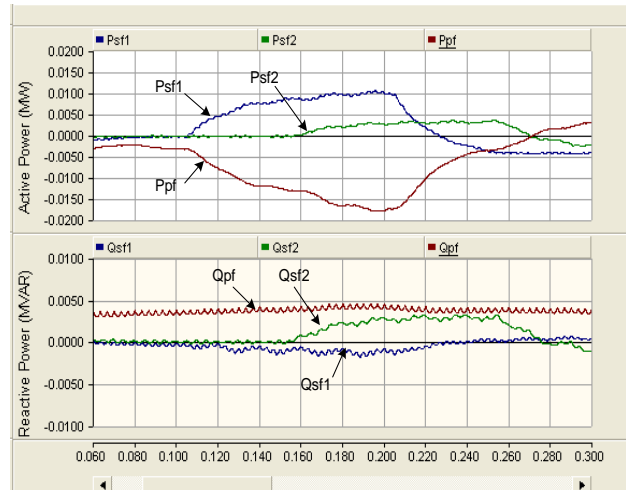
هزینه‌های اضافی را جبران نماید. در سیستم مطالعاتی مورد بحث، بار حساس و بحرانی موجود در فیدر 2، به طور کامل در مقابل اغتشاشات مختلف ولتاژ، من جمله قطعی ولتاژ محافظت شده است. لذا هزینه اضافی MC-UPQC می‌تواند با مزایای ناشی از جبران قطعی ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان در فیدر 2، برابری کند. در واقع بخشی از هزینه‌های اضافی MC-UPQC را می‌توان در طول چند سال با دریافت تعرفه بالاتر برای فیدر محافظت شده، جبران نمود. همچنین بارهای موجود در فیدر 1 نیز در مقابل اغتشاشات ولتاژ، کمبود و بیشبود ولتاژ محافظت شده‌اند. لذا مابقی هزینه‌ها را نیز می‌توان با ارائه تعرفه بالاتر برای این دسته از مشتریان، جبران نمود.

برای ارزیابی عملکرد MC-UPQC در جبران قطعی ولتاژ فیدر 2، در محدوده زمانی $0.3 < t < 0.4$ Sec یک خطای سه فاز به زمین ایجاد می‌شود. نتایج شبیه‌سازی برای ولتاژ باس 2، ولتاژ سری تزریق شده توسط VSC-3 و ولتاژ بار L-2 در شکل 15 نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که قطعی ولتاژ فیدر 2 به خوبی جبران شده و ولتاژ بار در مقدار نامی آن تنظیم شده است.

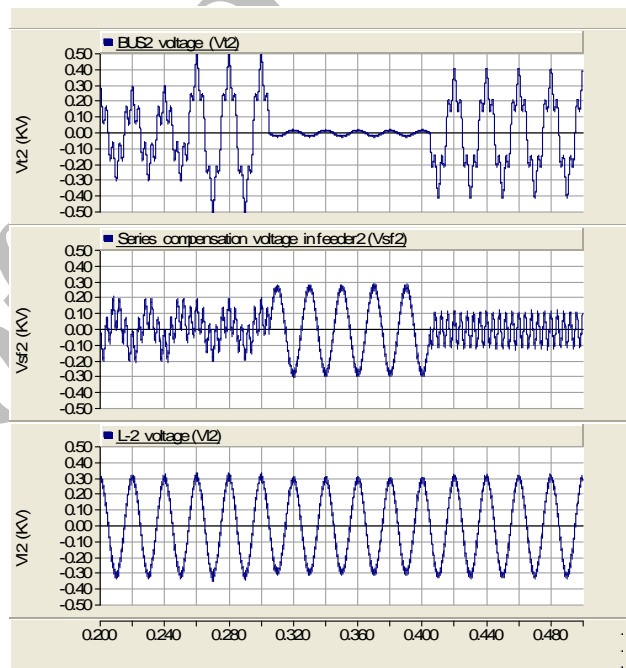
برای نمایش بهتر عملکرد ساختار ارائه شده در جبران قطعی ولتاژ در فیدر 2 و همچنین برای نشان دادن صحت عملکرد بلوک کنترل ولتاژ SPWM بهبودیافته، ولتاژ سه فاز مرجع تعیین شده توسط استراتژی کنترل، ولتاژ سه فاز تزریق شده توسط مبدل 3-VSC و در نهایت ولتاژ خازن لینک DC، در یک مقیاس زمانی بزرگ‌تر، در شکل 16 نشان داده شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی، عملکرد مناسب تکنیک کنترل ولتاژ SPWM بهبودیافته را در دنبال کردن شکل موج مرجع نشان می‌دهد.

3-5 تغییر ناگهانی بار

برای ارزیابی عملکرد سیستم پیشنهادی در شرایط گذرای تغییر بار، در $t = 0.5$ Sec با کاهش مقدار مقاومت بار غیر خطی L-1 به نصف مقدار قبلی، مقدار بار را 100% افزایش می‌دهیم. جریان بار غیر خطی، جریان فیدر 1، ولتاژ دو سر بار در فیدر 1 و 2 و در نهایت ولتاژ خازن مشترک باس DC در شکل 17 نشان داده شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر



شکل 14: توان اکتیو و راکتیو مبادله شده توسط مبدل‌ها.

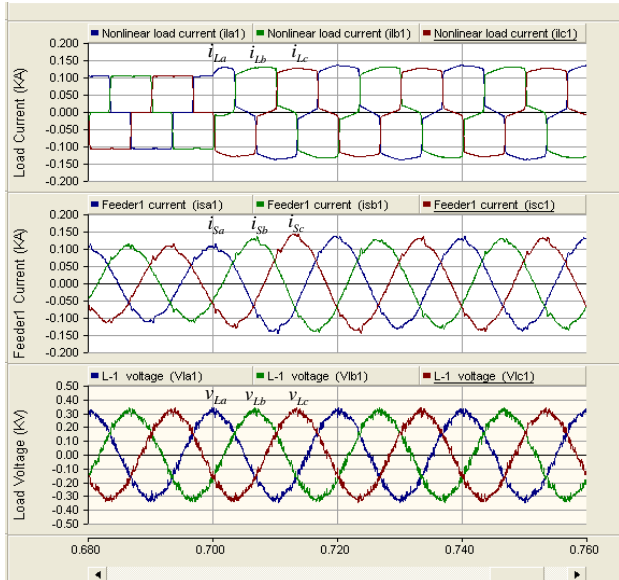


شکل 15: ولتاژ باس 2، ولتاژ سری تزریق شده توسط VSC-3 و ولتاژ بار L-2 در زمان وقوع قطعی ولتاژ در فیدر 2.

در استراتژی کنترل به کار گرفته شده در شرایط وقوع کمبود ولتاژ، توان اکتیو مورد نیاز از طریق مبدل موازی به خازن لینک DC انتقال یافته و از آنجا نیز از طریق مبدل سری به داخل خط تزریق می‌گردد. به عنوان مثال در بازه زمانی $0.15 < t < 0.2$ Sec که در هر دو باس کمبود ولتاژ رخ داده است، توان اکتیو مورد نیاز تزریق شده توسط هر دو مبدل سری، از طریق مبدل موازی تأمین می‌گردد. برای توجیه نحوه جبران‌سازی، شکل موج‌های توان اکتیو و راکتیو تزریق شده توسط مبدل‌ها در شکل 14 نشان داده شده است.

2-5 وقوع قطعی ولتاژ در فیدر 2

زمانی که خطایی در فیدر 2 رخ می‌دهد و یا تغذیه فیدر 2 کلاً قطع می‌شود، توان مورد نیاز بار L-2 توسط مبدل‌های VSC-2 و VSC-3 تأمین می‌گردد. لذا توان نامی سوئیچ‌های به کار رفته در این دو مبدل بایستی طوری انتخاب شوند که توانایی عبور این توان را داشته باشند که این مسئله باعث افزایش قیمت مبدل‌ها خواهد شد. البته باید به این موضوع نیز توجه داشت که مزایای استفاده از ساختار فوق، می‌تواند



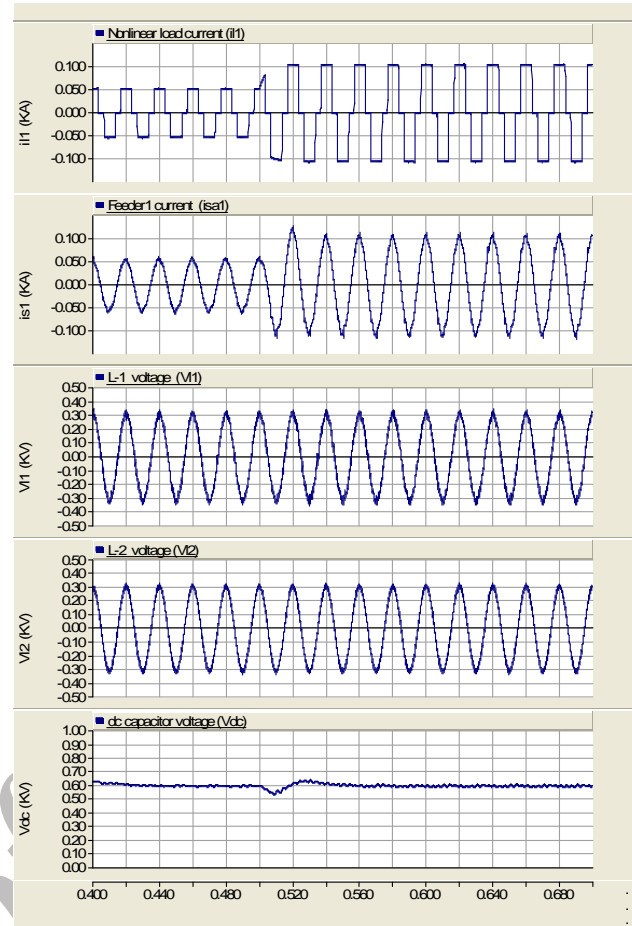
شکل 18: جریان بار، جریان منبع و ولتاژ بار فیدر 1 در شرایط وجود بار نامتعادل.

6- نتیجه گیری

در این مقاله یک ساختار جدید برای جبران سازی همزمان ولتاژ و جریان در فیدرهای مجاور با نام MC-UPQC معرفی گردید. ساختار معرفی شده علاوه بر قابلیت های UPQC در جبران همزمان ولتاژ و جریان در یک فیدر، قادر به حفاظت از بار حساس و بحرانی موجود در فیدر مجاور در مقابل کلیه اغتشاشات ولتاژ و به خصوص قطعی ولتاژ می باشد. کارایی MC-UPQC در شرایط مختلف ارزیابی گردید و نشان داده شد که علاوه بر عملکرد مطلوب در جبران همزمان ولتاژ و جریان در فیدر 1، در شرایط وقوع کمبود و یا قطعی ولتاژ در فیدر 2، انتقال توان از فیدر 1 به فیدر 2 صورت پذیرفته و ولتاژ باس 2 تنظیم می گردد. به علاوه می توان سیستم فوق را با افزودن یک مبدل سری در هر یک از فیدرهای مجاور که تغذیه مجزا دارند، گسترش داده و برای جبران کامل اغتشاشات ولتاژ در یک سیستم چندباسه/چندفیدره به کار گرفت.

مراجع

- [1] D. Sabin and A. Sundaram, "Quality enhances reliability," *IEEE Spectrum*, vol. 33, no. 2, pp. 34-41, Feb. 1996.
- [2] M. Rastogi, R. Naik, and N. Mohan, "A comparative evaluation of harmonic reduction techniques in three phase utility interface of power electronic loads," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 30, no. 5, pp. 1149-1155, Sep/Oct. 1994.
- [3] F. Z. Peng, "Application issues of active power filters," *IEEE Ind. Applicat. Magazine*, vol. 4, no. 5, pp. 21-30, Sep/Oct. 1998.
- [4] H. Akagi, "New trends in active filters for power conditioning," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 32, no. 6, pp. 1312-1322, Nov./Dec. 1996.
- [5] H. Fujita and H. Akagi, "The unified power quality conditioner: the integration of series and shunt active filters," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 13, no. 2, pp. 315-322, Mar. 1998.
- [6] A. Ghosh and G. Ledwich, "A unified power quality conditioner (UPQC) for simultaneous voltage and current compensation," *Electric Power Systems Research*, vol. 59, no. 1, pp. 55-63, 31 Aug. 2001.
- [7] M. Aredes, *Active Power Line Conditioner*, Ph.D. Thesis, Department of Electric Engineering, Technical University of Berlin, Berlin, Germany, 1996.
- [8] M. Hu and H. Chen, "Modeling and controlling of unified power quality compensator," in *Proc. 5th Int. Conf. on Advances in Power System Control, Operation, and Management, APSCOM'00*, vol. 2, pp. 431-435, Hong Kong, Oct. 2000.



شکل 17: جریان بار غیر خطی، جریان فیدر 1، ولتاژ دو سر بار در فیدرهای 1 و 2 و ولتاژ خازن مشترک باس DC.

ناگهانی بار، ولتاژ دو سر بار در هر دو فیدر بدون تغییر می ماند. همچنین عملکرد حلقه کنترل ولتاژ خازن بسیار عالی بوده و ولتاژ خازن حدوداً در 2 سیکل به مقدار تنظیم شده قبلی برگردانده می شود. عملکرد مبدل موازی در جبران جریان بار غیر خطی نیز مطلوب می باشد.

4-5 جبران نامتعادلی

استراتژی کنترل مبدل موازی ارائه شده در بخش 3-1، علاوه بر جبران مؤلفه های هارمونیک و مؤلفه راکتیو جریان بار، قادر به جبران نامتعادلی جریان نیز می باشد. به همین ترتیب استراتژی کنترل مبدل های سری ارائه شده در بخش 3-2، علاوه بر جبران مؤلفه های هارمونیک و کمبود و بیشبود ولتاژ، قادر به جبران نامتعادلی ولتاژ نیز می باشد.

برای اثبات این ادعا و نشان دادن عملکرد مناسب سیستم فوق در جبران نامتعادلی، در لحظه $t = 0,7 \text{ Sec}$ ، یک بار RL نامتعادل (فاز a: $R_a = 8,2 \Omega$ و $L_a = 6,4 \text{ mH}$ ، فاز b: $R_b = 12,2 \Omega$ و $L_b = 8,3 \text{ mH}$ و فاز c: $R_c = 16,2 \Omega$ و $L_c = 10 \text{ mH}$) را به موازات بار L-1 اضافه می کنیم. این بار نامتعادل باعث تزریق جریان نامتعادل به شبکه شده و در صورت عدم جبران، عبور این جریان از داخل امپدانس شبکه نامتعادلی ولتاژ را نیز پدید خواهد آورد.

نتایج شبیه سازی جریان بار، جریان منبع و همچنین ولتاژ بار فیدر 1، در شرایط وجود بار نامتعادل، در شکل 18 نمایش داده شده اند. نتایج شبیه سازی مؤید قابلیت ساختار ارائه شده در جبران نامتعادلی می باشد و همان گونه که مشاهده می شود پس از حدود 1 سیکل، نامتعادلی جریان بار جبران شده است.

علی یزدیان ورجانی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق در سال 1368 از دانشگاه صنعتی شریف و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق بترتیب در سالهای 1373 و 1377 از دانشگاه ولنگونگ استرالیا به پایان رسانده است و هم اکنون عضو هیئت علمی بخش برق دانشگاه تربیت مدرس می باشد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: طراحی و کنترل ادوات FACTS و کاربرد آنها در سیستم های قدرت، طراحی و کنترل فیلترهای اکتیو و حفاظت شبکه های قدرت.

حسین مختاری در سال 1368 مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشکده فنی دانشگاه تهران دریافت نمود. در سال 1371 جهت ادامه تحصیل به کشور کانادا سفر کرد. دکتر مختاری در سال 1373 مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه نیوبرانزویک در کانادا دریافت نمود و پس از آن در سال 1378 موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق از دانشگاه تورنتو در کانادا گردید. ایشان در حال حاضر دانشیار دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف می باشد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: کیفیت توان، الکترونیک قدرت و کاربرد آن در سیستم های قدرت.

- [9] M. Boost and P. D. Ziogas, "State-of-the-art PWM techniques: a critical evaluation," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 24, no. 2, pp. 271-280, Mar./Apr. 1988.
- [10] M. Basu, S. P. Das, and G. K. Dubey, "Comparative evaluation of two models of UPQC for suitable interface to enhance power quality," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, no. 7, pp. 821-830, May 2007.
- [11] M. Basu, *Some Investigations on Unified Power Quality Conditioner*, Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering, IIT-Kanpur, India, 2003.

حمیدرضا محمدی در سال 1372 مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی شریف و در سال 1374 مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه تبریز دریافت نمود. از سال 1374 الی 1382 به تدریس دروس رشته مهندسی برق در دانشگاه های مختلف اشتغال داشت و پس از آن به دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه تربیت مدرس وارد شده و در سال 1387 موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق از دانشگاه مذکور گردید. ایشان از سال 1387 در دانشکده مهندسی دانشگاه کاشان مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این دانشکده می باشد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شناسایی و تخمین پدیده های کیفیت توان، طراحی و کنترل فیلترهای اکتیو و مبدل های الکترونیک قدرت.

Archive of SID