

طراحی فیلتر فعال قدرت تحت کنترل تک قطبی جهت کاهش تلفات

عبدالحسین طحانی

دانشگاه مازندران

A.Tahani@umz.ac.ir

ساسان ذبیحی

دانشگاه مازندران

SasanZabihi@yahoo.com

واژه‌های کلیدی: فیلتر فعال قدرت، مبدل منبع ولتاژ، باند هیستریزس، سوئیچینگ، کنترل تک‌قطبی

چکیده

حساسیت فزاینده مصرف‌کنندگان به کیفیت برق لزوم بهره‌گیری از ادوات به‌ساز کیفیت توان را بیش از پیش مطرح ساخته است. فیلترهای فعال قدرت از جمله جبران‌سازهای جریان می‌باشند که کاربرد مؤثر و گسترده‌ای در حذف هارمونیکها و تأمین توان راکتیو بار دارند. برای کنترل آنها ابتدا سیگنالهای مبنای جبران‌سازی از روی سیگنالهای اندازه‌گیری شده و با توجه به اهداف جبران‌سازی استخراج می‌شوند. سپس این سیگنالها توسط مبدل‌های منبع ولتاژ یا جریان تولید و به خط تزریق می‌شوند. در این مقاله با استفاده از روش تشخیص قاب مرجع سنکرون $d-q-o$ جریانهای مرجع شناسایی و توسط سه مبدل تک‌فاز که تحت عملکرد تک‌قطبی با تعریف باندهای هیستریزس دوگانه کنترل می‌شوند تولید می‌گردند. بدلیل سوئیچینگ دو کلید بجای چهار کلید طی هر نیم‌سیکل ولتاژ منبع، تلفات مبدل کاهش می‌یابد. و در نتیجه راندمان آن در مقایسه با عملکرد دوقطبی مبدل بالاتر است.

در انتها با استناد به نتایج شبیه‌سازی انجام شده با **Simulink** صحت عملکرد روش کنترلی مورد بحث در دستیابی به اهداف جبران‌سازی با حداقل تلفات نشان داده شده است.

۱- مقدمه

در سالهای اخیر با مطرح شدن مسئله خصوصی‌سازی در صنعت برق، کیفیت برق بیش از پیش مورد توجه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان برق در کشورهای متعددی قرار گرفته است. تجهیزات نوین الکتریکی به کار گرفته شده در شبکه‌ها شامل ترانسفورمرها و مبدل‌های الکترونیک قدرت و کاربرهای جدید (بارهای غیر خطی) نظیر کامپیوترها، عناصر نیمه هادی سیستم‌های تغذیه و کنترل الکتروموتورها و فرایند تولید در کوره‌های القایی، لامپ‌های کم‌مصرف و غیره از یک سو حساسند و به توان الکتریکی با کیفیت مطلوب نیاز دارند و از طرفی خود منشاء برخی پدیده‌های مخل کیفیت توان مانند هارمونیک‌ها هستند. هارمونیکها عامل ایجاد ایرادات

پیشنهادی برای مبدل‌های تک‌فاز و ارائه بلوک کنترلی مدار فرمان، به پایداری و جبران‌سازی بهتر همراه با کاهش تلفات و افزایش راندمان در مقایسه با کنترل دوقطبی (Bipolar) منجر شده است. دیگر مزیت این روش حذف سطح dc موجود در کنترل دوقطبی است.

همانطور که در شکل ۱ میتوان دید اجزاء این فیلترها عبارتند از: نمونه‌گیرهای جریان که معمولاً از CT ها و سنسورهای اثر هال استفاده می‌شود. یک بلوک کنترلی که با استراتژی مشخصی اغتشاشات موجود را از جریان پایه جداسازی می‌کند و بلوک دیگری که با تولید پالس‌های آتش برای گیت‌های یک مبدل منبع ولتاژ یا جریان سه فاز یا مجموعه‌ای از مبدل‌های تک‌فاز وظیفه تولید شکل موج شناسایی شده اغتشاش را به عهده دارد.

در فیلتر پیشنهادی که جبران‌سازی جریان راکتیو و حذف هارمونیک‌های یک پل یکسوساز دیودی با بار اهمی را به عهده دارد از مجموعه‌ای از مبدل‌های تک‌فاز منبع ولتاژ به جای مبدل سه‌فاز بهره گرفته‌ایم.

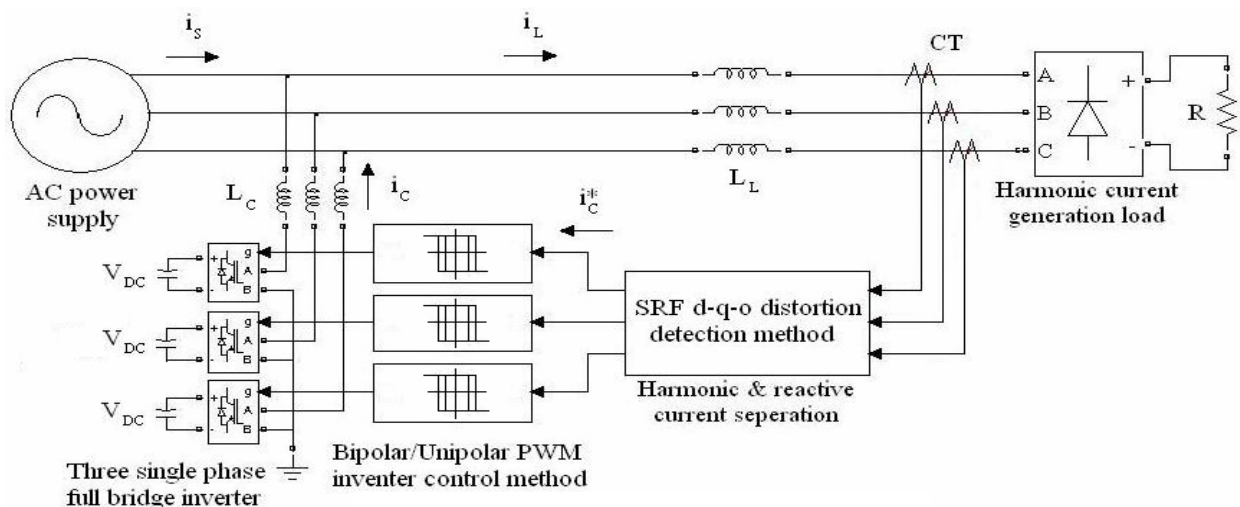
در این گزارش پس از مروری کلی بر روش‌های تشخیص جریان مرجع، روش تشخیص قاب مرجع در بخش ۲ و کنترل جریان بوسیله باندهای هیستریزس در بخش ۳ آورده شده است. در بخش ۴ مبدل تک‌فاز تحت کنترل دوقطبی و تک‌قطبی بطور کامل معرفی و مقایسه می‌شوند و سپس مدار فرمان مورد استفاده در این مدل شرح داده شده است. در انتها نتایج شبیه‌سازی به همراه مزایای مدل آمده است.

APF ادواتی هستند که امروزه نقش

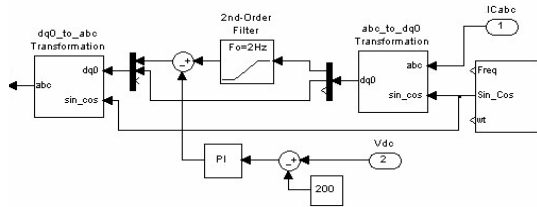
مؤثری در تشخیص و حذف اغتشاشات به عهده دارند. و در صورت اتصال موازی به شبکه بسته به نوع استراتژی تشخیص هدفهایی چون حذف هارمونیک‌ها، تأمین توان راکتیو مورد نیاز بار (اصلاح ضریب توان) و یا جبران عدم تعادل در شبکه را دنبال می‌کنند [۱].

در اغلب سیستم‌های پیشنهادی، جهت تعریف سیگنال مرجع کنترلی مبدل برای محاسبه هارمونیک‌ها و تأمین توان راکتیو، به نمونه‌برداری از جریان بار و ولتاژ ورودی نیاز می‌باشد. پیاده‌سازی این روش‌های کنترلی به بلوک‌های سریع و همزمان محاسباتی نظیر میکروپروسورها و A/D های با قابلیت بالا نیاز دارد که منجر به پرهزینه و پیچیده شدن مدار همراه با کاهش پایداری سیستم خواهد شد.

سیستم کنترلی پیشنهادی در این مجموعه کاملاً ساده‌تر شده گرچه همچنان به ضرب‌کننده‌ها و سنسورهای جریان نیازمند است. استراتژی تشخیص مورد استفاده براساس اهداف جبران‌سازی بسیار کارآمد و ساده‌تر از روش‌های متناظر می‌باشد. بکارگیری کنترل تک‌قطبی (Unipolar)



شکل ۱: شماتیک فیلتر فعال قدرت



شکل ۲: الگوریتم تشخیص قاب مرجع $d-q-o$

در نتیجه جریانهای با فرکانس پایه که متغیر با زمان هستند پس از انتقال بصورت مقادیری ثابت درمی آیند. لیکن هارمونیکها که سرعت زاویه ای متفاوت از سرعت زاویه ای چرخش این چارچوب دارند در این مختصات همچنان متغیر با زمان باقی می مانند. بدینصورت جریانهها در این قاب مرجع همزمان به دو کمیت DC و AC تجزیه می شوند.

$$i_d = \bar{i}_d + \tilde{i}_d \quad (3)$$

$$i_q = \bar{i}_q + \tilde{i}_q \quad (4)$$

عناصر AC و DC را می توان توسط یک فیلتر بالاگذر HPF (یا پایین گذر LPF) از هم تفکیک نمود. در آن صورت:

$$\tilde{i}_d(z) = HPF(z) \cdot i_d(z) \quad (5)$$

$$\tilde{i}_q(z) = HPF(z) \cdot i_q(z) \quad (6)$$

$$\bar{i}_d(z) = i_d(z) - \tilde{i}_d(z) \quad (7)$$

$$\bar{i}_q(z) = i_q(z) - \tilde{i}_q(z) \quad (8)$$

$$HPF(z) = HPF(s) \Big|_{s=\frac{2}{T} \frac{1-Z^{-1}}{1+Z^{-1}}} = \frac{s}{s + \omega_c} \Big|_{s=\frac{2}{T} \frac{1-Z^{-1}}{1+Z^{-1}}} = \frac{2(1-Z^{-1})}{(2 + \omega_c T) - (2 - \omega_c T)Z^{-1}} \quad (9)$$

در این مدل براساس زمان قرار و خطای حالت دائمی از فیلتر درجه ۲ با فرکانس قطع ۲ هرتز استفاده شده است. فرکانس قطع با زمان قرار نسبت معکوس و با خطای حالت دائمی نسبت مستقیم دارد در نتیجه انتخاب بهینه صورت می گیرد و سیستم پس از ۰/۴ ثانیه به حالت ماندگار می رسد.

۲- تشخیص اغتشاشات به روش قاب مرجع $d-q-o$

روشهای متعددی جهت شناسایی و استخراج اغتشاشات مورد استفاده قرار می گیرند که به روشهای حوزه فرکانس، زمان و زمان-فرکانس تقسیم می شوند. در این بین روشهای تبدیل فوریه سریع (FFT) [۲] و شبکه عصبی و فقی (ANN) [۳] در حوزه فرکانس، تئوری قاب مرجع $d-q-o$ (SRF) [۴] و تئوری توان اکتیو و راکتیو لحظه ای (pqr) [۵]. در حوزه زمان و روشهای دیگری نظیر تکنیک موج کوچک و کنترل سیکل منفرد و یا جداسازی بوسیله فیلترهای مناسب آنالوگ یا دیجیتال [۶] کاربردهای متنوعی دارند.

در ساختار مورد بحث الگوریتم قاب مرجع (SRF) بدلیل سادگی محاسبات و پیاده سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

در این روش جریانههای سه فاز بار پس از اندازه گیری توسط تبدیل پارک از مختصات a-b-c به مختصات d-q-o منتقل می شوند.

$$(1)$$

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \sin \theta & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{a} \\ i_{b} \\ i_{c} \end{bmatrix}$$

$$\theta = \theta_0 + \int_0^t \omega t dt \quad (2)$$

قاب مرجع چارچوبی است که با سرعت زاویه ای برابر سرعت زاویه ای جریانههای پایه در حال چرخش می باشد.

همانگونه که در ساختار شکل ۲ مشخص شده جریانهای مبنای جبرانسازی با اعمال تبدیل معکوس پارک بر مؤلفه AC محور d و کل جریان محور q شناسایی می شوند که انتظار می رود پس از ردیابی و بازسازی به شبکه تزریق شوند. جریان محور 0 نیز در صورت نامتعادلی ولتاژ سه فاز یا خرابی شکل موج ولتاژ ایجاد می شود که در این گزارش مورد بررسی نبوده است.

$$\begin{bmatrix} i_{Ca}^* \\ i_{Cb}^* \\ i_{Cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_d \\ \tilde{i}_q + \bar{i}_q \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$i_L = i_g + i_{apf} \quad (11)$$

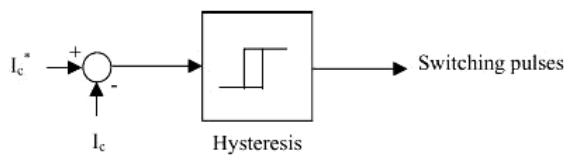
بدلیل تلفات ناشی از هدایت و کلیدزنی دیودها و سوئیچ های مبدل نوسانات ولتاژی برای خازن ذخیره کننده انرژی ایجاد می شود که منجر به بروز اختلالاتی در عملکرد مطلوب مبدل می گردد. اثر این نوسانات توسط فیدبکی که اختلاف ما بین ولتاژ خازن DC با ولتاژ مبنا را پس از عبور از یک کنترلر تناسبی انتگرالی PI به جریان استخراج شده محور d اعمال می کند کنترل می شود. یکی از مزایای طرح پیشنهادی استفاده از یک خازن DC مشترک به عنوان منبع ولتاژ برای سه مبدل تک فاز است که حلقه کنترل ولتاژ DC را با مقتضیات روش SRF منطبق می نماید.

3- روش کنترل جریان باند هیستریزس

پس از تعیین جریانهای مرجع باید اقدام به ساخت آنها نمود که این امر توسط مبدل های DC به AC محقق می شود. یکی از روشهای کنترل جریان مبدلها، استفاده از باند هیستریزس است که پهنای پالس آتش برای گیت های مبدل را تعیین می کند. از شاخصهای این روش کنترل جریان، پایداری مناسب، پاسخ بسیار سریع، دقت بالا، پیاده سازی آسان، قابلیت ذاتی محدودسازی پیک جریان و

عدم حساسیت به تغییرات پارامترهای بار می باشد. مزایای انکار ناپذیر این روش آن را به مطلوب ترین روش کنترل جریان برای مبدل های منبع ولتاژ تک فاز و سه فاز تبدیل کرده است. در این روش سیگنال خطای حاصل از مقایسه جریان مرجع و جریان تولیدی توسط مبدل مطابق بلوک شکل ۳ در بین یک باند کنترلی فرضی که جریان مرجع را در بر گرفته است کنترل می شود.

$$e = i_c^* - i_{apf} \text{ (actual)} \quad (12)$$



شکل ۳: نحوه کاربرد بلوک محدود کننده هیستریزس

از نقاط ضعف این روش می توان به افزایش تلفات در توانهای بالا و فرکانس کلیدزنی متغیر که باعث ایجاد نویزهای صوتی و هارمونیکهای کلیدزنی در خروجی مبدل می شود اشاره کرد. اندازه باند هیستریزس، اندوکتانس مابین مبدل و شبکه و ولتاژ خازن DC در تعیین فرکانس سوئیچینگ نقش مؤثری ایفا می کنند. این نقص با تعریف باندهای وفقی قابل رفع می باشد [۷].

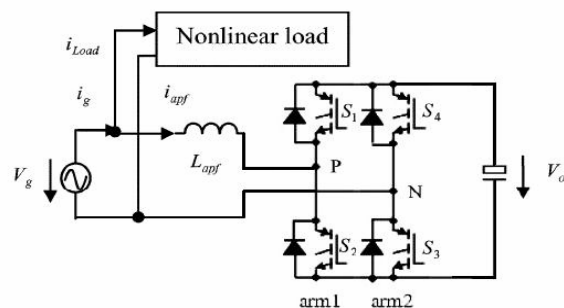
بالاترین فرکانس کلیدزنی براساس [۸] عبارتست از:

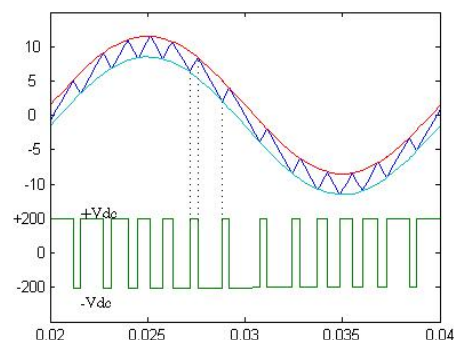
$$f_{sw(max)} = \frac{V}{9HB.L} \quad (13)$$

که HB حد هیستریزس و L مقدار اندوکتانسی است که جریان بوسیله آن تزریق می شود.

۴- کنترل دو قطبی، تک قطبی و مقایسه آنها با

یکدیگر





شکل ۵: کنترل جریان به روش باند هیستریزس برای کنترل دوقطبی

در شکل ۴ شماتیک یک مبدل تک فاز تمام پل که بصورت موازی به یک بار غیرخطی متصل است مشاهده می شود. این مبدل به دو صورت دوقطبی و تک قطبی قابل کنترل می باشد.

۴-۱- کنترل دو قطبی

در کنترل دوقطبی سوئیچها به صورت قطری (S_3, S_1) یا (S_4, S_2) و هماهنگ در یک زمان خاموش و روشن می شوند و سوئیچهای هر پایه مانند (S_2, S_1) و (S_4, S_3) بصورت مکمل یکدیگر فعالیت می کنند.

همانگونه که در شکل ۵ می توان دید شیب صعودی و نزولی خطا با اعمال ولتاژ $+V_o$ و $-V_o$ مابین نقاط P و N ایجاد می شود.

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (|V_g| + V_o) \quad (14)$$

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (|V_g| - V_o) \quad (15)$$

مشاهده می شود اختلاف ولتاژ اعمالی به اندوکتانس در طی دو نیم سیکل سوئیچینگ برابر $2V_o$ می باشد

$$\Delta V_{bipolar} = |V_g| + V_o - (|V_g| - V_o) = 2V_o \quad (16)$$

که با نرخ تماس سیگنال خطا با باندها (فرکانس سوئیچینگ) نسبت مستقیم دارد [۹].

شکل ۶: کنترل جریان به روش باند هیستریزس دوگانه برای کنترل

تک قطبی

۴-۲- کنترل تک قطبی

در این روش ۴ حالت اتصال در مبدل وجود دارد. در کنترل تک قطبی هرگاه $V_g > 0$ (جریان مرجع در شیب صعودی قرار دارد $\frac{di_c}{dt} > 0$) سوئیچ S_3 در طول نیم سیکل روشن بوده، S_1 و S_2 بصورت متناوب در طول هر سیکل کلیدزنی روشن و خاموش می شوند و بدین ترتیب ولتاژهای $+V_o$ و صفر بین نقاط P و N ایجاد می شوند

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (|V_g| + V_o) \quad (17) \text{ نیم سیکل اول سوئیچینگ}$$

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (|V_g|) \quad (18) \text{ نیم سیکل دوم سوئیچینگ}$$

درست در لحظه تغییر شیب جریان مرجع (پیک جریان) که $\frac{di_c}{dt} \leq 0$ همانطور که در شکل ۶ می توان دید سیگنال

خطا پس از تماس با باند بالا با ولتاژ اعمالی برای شیب کم مواجه می شود. اما به دلیل تغییر جهت باندها این ولتاژ برای ننگ داشتن سیگنال خطا ما بین باند کافی نیست و از آن خارج می شود. در این زمان نیاز به تعریف باند دیگریست که کنترلر پس از تماس خطا با آن کلید S_3 را قطع و کلید S_4 را وصل می کند. در نتیجه برآیند ولتاژ منفی بزرگی بر روی اندوکتانس مسیر ایجاد و شیب خطا منفی شده و دوباره به درون باند اول برمی گردد و در اثر سوئیچینگ کلیدهای S_1 و S_2 ولتاژ $-V_o$ و صفر بین نقاط P و N ایجاد می شود. تغییرات جریان ساخته شده

۵- نتایج شبیه سازی

شبیه سازی این مدل با استفاده از جعبه ابزار Sim Power System در محیط Simulink نرم افزار MATLAB 7 انجام گرفته است.

این شبیه سازی برای یک بار یکسوساز پل سه فاز دیودی با بار اهمی صورت گرفته است که یک بانک اینورتری شامل سه مبدل تک فاز منبع ولتاژ، جریان مرجع شناسایی شده را تولید و به خط تزریق می کند. هر اینورتر شامل چهار سوئیچ IGBT می باشد. مشخصات مدل در جدول ۱ آمده است.

فرکانس سوئیچینگ مبدل دو قطبی	13 kHz
فرکانس پایه	50 HZ
ولتاژ منبع AC	150 V
ولتاژ شاخه DC مبدل	200 V
مقاومت اهمی فازیکسو ساز	5Ω
اندوکتانس خط	1mH
اندوکتانس مابین مبدل و خط	2 mH
خازن DC مبدل	1000 μF
پهنای باند هیستریزس در کنترل دو قطبی	2 A
پهنای باند هیستریزس اول در کنترل تک قطبی	1.6 A
پهنای باند هیستریزس دوم در کنترل تک قطبی	2A

جدول ۱: مشخصات طراحی و پارامترهای مدل

با توجه به پاسخهای بدست آمده از شبیه سازی می توان ملاحظه نمود جزء اصلی توان راکتیو مورد نیاز بار از طریق فیلتر تأمین شده (شکل های ۸ و ۹) و تنها مقدار کمی از آن یعنی چیزی حدود ده درصد از منبع کشیده می شود (شکل ۱۰). که این موضوع مبین تصحیح بسیار خوب ضریب قدرت بار می باشد. توان حقیقی مصرفی مبدل بر اثر تلفات کلیدزنی ایجاد شده است که بوسیله رگولاتور DC ولتاژ خازن کنترل شده و توان اکتیو مورد نیاز بار نیز توسط منبع تأمین گشته است.

شکل ۱۱ (a) جریان بار، ۱۱ (b) جریان جبران سازی تولیدی توسط مبدل و ۱۱ (c) جریان کشیده شده از منبع پس از

$$(19) \frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (-|V_g| - V_o) \text{ نیم سیکل اول سوئیچینگ}$$

$$(20) \frac{di_c}{dt} = \frac{1}{L} (-|V_g|) \text{ نیم سیکل دوم سوئیچینگ}$$

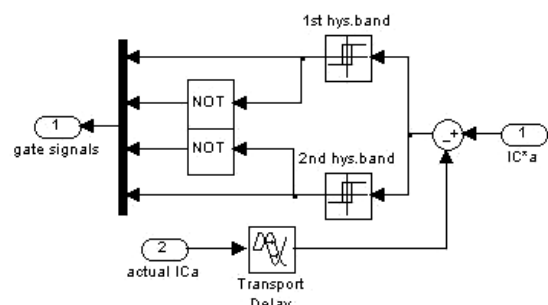
به دلیل اینکه V_{PN} در هر نیم سیکل جریان مرجع پلار تیه تک قطبی دارد این روش کنترل تک قطبی نام گرفته است.

$$\Delta V_{unipolar} = (|V_g| + V_o) - |V_g| / -|V_g| - (-|V_g| - V_o) = V_o \quad (21)$$

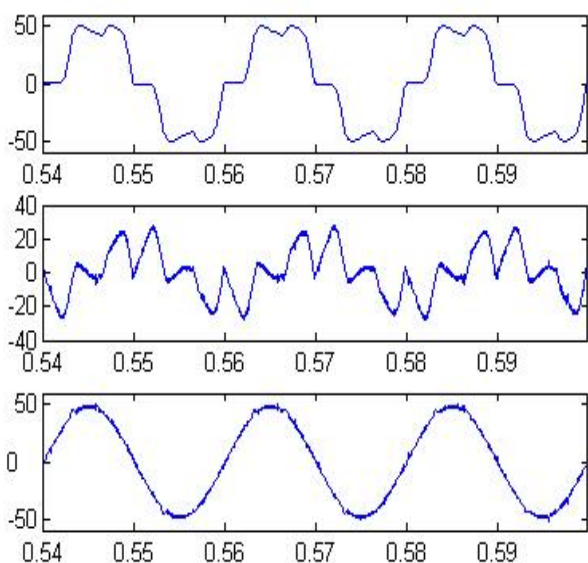
ملاحظه می شود اختلاف ولتاژ اعمالی به اندوکتانس در یک سیکل سوئیچینگ برابر V_o است که در مقایسه با کنترل دو قطبی ($+2V_o$) حکایت از طی مسیر جریان مرجع با حداقل کلیدزنی در نتیجه کمتر شدن فرکانس سوئیچینگ هر کلید دارد. علاوه بر این بدلیل عملکرد دو کلید به جای چهار کلید در هر نیم سیکل ولتاژ منبع، فرکانس کلیدزنی مجموعه نیز کاهش در نتیجه تلفات کلیدزنی بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. مزیت دیگر این روش نسبت به کنترل دو قطبی این است که در این روش بدلیل اینکه عملکرد نیم سیکل مثبت کاملاً قرینه نیم سیکل منفی است هیچ آفست dc در خروجی ظاهر نمی شود.

۳-۴- مدار فرمان

در طراحی مدار فرمان کنترل تک قطبی جهت تحقق اهداف یاد شده، دو کلید موجود در یک پایه مبدل با یک باند و دو کلید پایه دیگر با باند دوم کنترل می شود که در شکل ۷ می توان نحوه تولید پالس های آتش برای گیت های اینورتر را ملاحظه نمود.

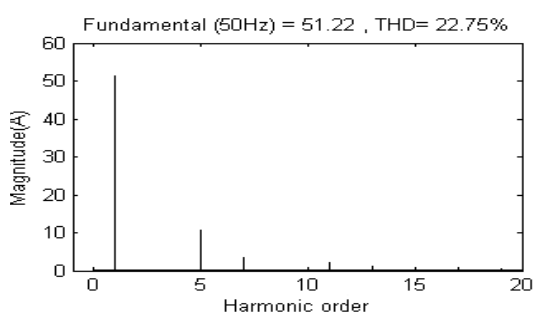


شکل ۷: مدار فرمان

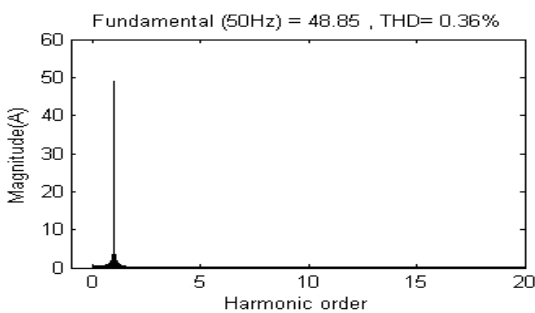


شکل ۱۱: (a) جریان مصرفی بار (b) جریان تولیدی فیلتر

(c) جریان منبع پس از جبران سازی

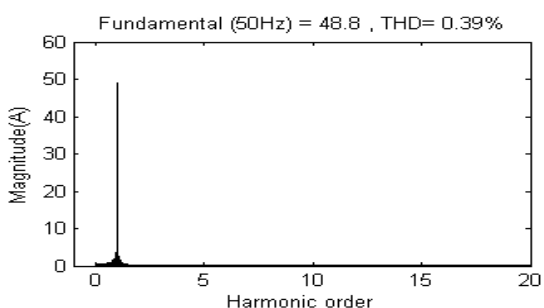


شکل ۱۲: طیف هارمونیکي جریان بار



شکل ۱۳: طیف هارمونیکي جریان منبع جبران سازی شده

توسط فیلتر تحت کنترل دو قطبی

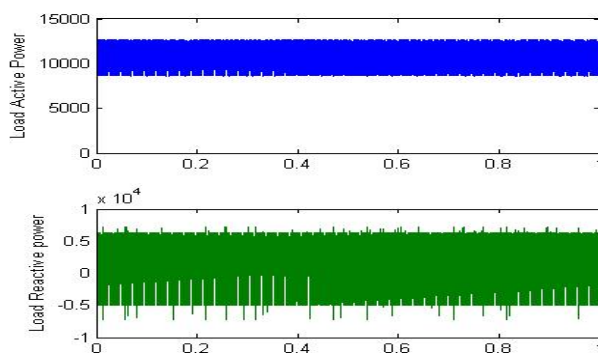


شکل ۱۴: طیف هارمونیکي جریان منبع جبران سازی شده توسط

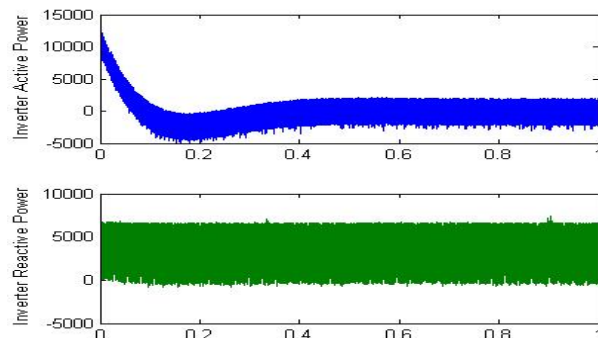
فیلتر تحت کنترل تک قطبی

با مقایسه طیف فرکانسی جریان بار و جریان منبع ملاحظه می شود THD از ۲۲/۷۵٪ در جریان بار به ۰/۳۶٪ و ۰/۳۹٪ در جریان منبع جبران سازی شده توسط مبدل های تحت کنترل دو قطبی و تک قطبی کاهش یافته است.

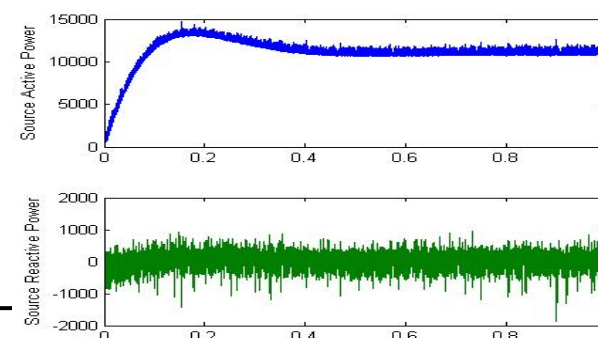
شکل (۱۵) ولتاژ دو سر خازن DC و عملکرد رگولاتور ولتاژ در حفظ ثبات ولتاژ شاخه DC را نشان می دهد. در مورد عملکرد مبدل ها و پاسخ سیستم کنترلی، مقایسه بین شکل موج مرجع و شکل موج تولیدی توسط مبدل در شکل (۱۶) آمده است که اختلاف ناچیز حکایت از ردیابی دقیق جریان توسط مبدل می کند.



شکل ۸: توان اکتیو و راکتیو مورد نیاز بار



شکل ۹: توان اکتیو و راکتیو تزریقی به خط از فیلتر



یازدهمین کنفرانس شبکه های توزیع برق - مازندران - ۲

کاملاً منطبق با استاندارد IEEE 519 می‌باشد.

۷- مراجع

[1] ذبیحی، ساسان "ارائه ساختار فنی بهساز یکپارچه کیفیت توان با عملکرد بهینه جهت بهبود کیفیت توان در شبکه توزیع" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، بهمن ۸۴

[2] Ametani, A. "Harmonic reduction in thyristor Converters by harmonic current injection". *IEEE Trans. Power, Appar. Syst.* 1976, 95, pp.441-449.

[3] Rukonuzzaman, M. and Nakaoka, M., "An advanced active power filter with adaptive neural network based harmonic detection scheme" *IEEE Power Electronics Specialist conference, PESC, Vancouver Canada, 2001*, pp. 1602 – 1607.

[4] Benhabib, M.C. and Saadate, S. "New Control approach for four-wire active power filter based on the use of synchronous reference frame" *ELSEVIER Electric power systems Research* 73, 2005, 353-362.

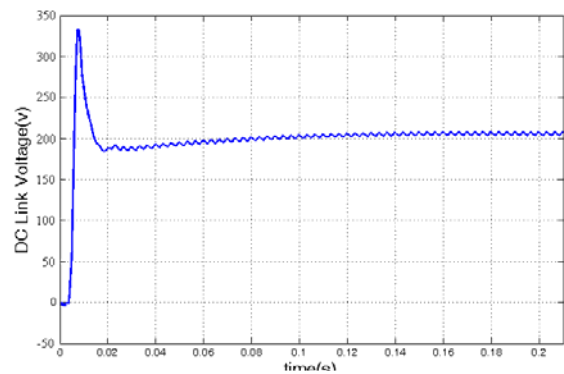
[5] Akagi, H. Kanazawa, Y. and Nahae, A. "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components". *IEEE Trans. Ind. Appl.* 1984, 20, pp. 625-630.

[6] Kwan, T. and Martin, K. "Adaptive detection and enhancement of multiple sinusoids using a cascade of IIR filters". *IEEE Trans. Circuits Syst.* 1989, 36, pp. 936-947.

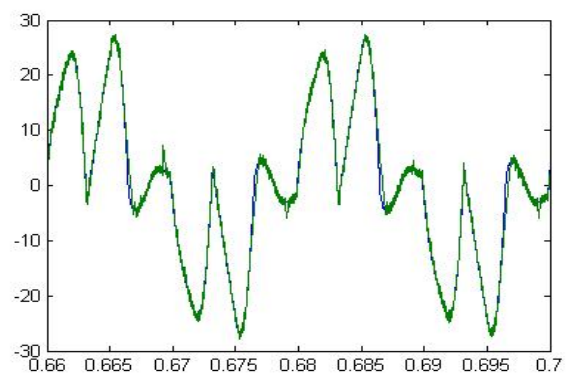
[7] Kale, Murat, Ozdemir, Engin, "An adaptive hysteresis band current Controller for shunt active power filter". *ELSEVIER Electric Power Systems Research* 73(2005) pp.113-119.

[8] Rukonuzzaman, M. and Nakaoka, M. "Single-phase shunt active power filter with harmonic detection" *IEE proc. Electr. Power Appl. Vol. 149, No.5, September 2002.*

[9] Qiao, chongming. and Smedley. Keyue. Ma. "Three phase bipolar mode active power fillers" *IEEE Trans. Ind. Appl. vol.38, No.1, Jan./Feb. 2002, pp.144-158.*



شکل ۱۵: ولتاژ شاخه DC



شکل ۱۶: مقایسه بین جریان مرجع و جریان ساخته شده توسط مبدل

۶- نتیجه گیری

تفاوت اصلی این روش با کنترل دوقطبی کاهش فرکانس سوئیچینگ و در نتیجه کاهش تلفات ناشی از سوئیچینگ می‌باشد. در حالیکه THD جریان منبع تقریباً برابر است فرکانس سوئیچینگ مبدل‌های تک قطبی نصف فرکانس سوئیچینگ مبدل‌های دو قطبی است. حال آنکه هیچگونه آفستی در خروجی مبدل بوجود نمی‌آید.

با بهره‌گیری از روش کنترل مدولاسیون پهنای پالس تک قطبی در فیلترهای قدرت بهسازی کیفیت جریان در شبکه‌های توزیع با کیفیتی بالا و حداقل تلفات امکان‌پذیر می‌باشد. فیلتر فعال موازی طرح شده در این مقاله جهت انسداد و جداسازی مؤلفه‌های هارمونیک و غیرحقیقی جریان و عاری‌سازی شبکه‌های بالا دستی از این اختلالات کاملاً مؤثر عمل کرده و نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها

