

کاهش هارمونیک در سیستم قدرت با استفاده از فیلتر پسیو تک تنظیمه

محمد علیزاده^۱، علی گودرزی^۲

Golmahalleh63@gmail.com

۱- مربی دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر

۲- مربی دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر

چکیده

یکی از آثار مخرب بارهای غیرخطی ایجاد هارمونیک می باشد که باعث به وجود آمدن مشکلات زیادی در سیستم های قدرت می شود. روش های گوناگونی جهت کاهش هارمونیک در مقالات مختلف پیشنهاد شده است. به منظور کاهش هارمونیک تولید شده توسط یکسو کننده ها که یکی از منابع مهم تولید هارمونیک در سیستم های قدرت می باشند از انواع مختلف فیلتر استفاده می شود. در این مقاله ضمن توصیف عملکرد فیلتر پسیو تک تنظیمه، روابط مورد نیاز برای تنظیم فیلتر پسیو تک تنظیمه کاملاً تشریح شده و با استفاده از شبیه سازی در محیط سیمولینک نرم افزار MATLAB تأثیر فیلتر پسیو در کاهش هارمونیک های جریان با مرتبه مشخص و بهبود کیفیت توان شبکه قدرت ارزیابی شده است.

واژه های کلیدی: هارمونیک، فیلتر پسیو تک تنظیمه، یکسو کننده، فرکانس تشدید

تاریخ دریافت مقاله : ۹۳/۰۷/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۴/۰۴/۳۰

۱- مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی و استفاده روزافزون از تجهیزات با تکنولوژی بالا مانند کامپیوترها و کنترل‌کننده‌های برنامه‌پذیر منطقی که وابستگی بیشتری به انرژی الکتریکی و کیفیت آن دارند، دیگر تنها استفاده از انرژی الکتریکی مورد پذیرش نبوده، بلکه کیفیت برق تحویلی نیز مهم است. از سوی دیگر گسترش روزافزون استفاده از تجهیزاتی مانند کنترل‌کننده‌های سرعت موتورهای الکتریکی و خازن‌هایی که برای جبران توان راکتیو به کار می‌روند همگی موجب کاهش کیفیت برق و ایجاد مشکلات متعددی برای تجهیزات الکترونیکی شده است [۱].

شبکه قدرت مطلوب شبکه‌ای است که در آن انرژی الکتریکی به صورت ولتاژ و جریان سینوسی در فرکانس ثابت و در سطوح ولتاژ مشخصی از نیروگاه‌ها به مراکز مصرف منتقل شوند اما در عمل وجود تجهیزاتی با مشخصه غیرخطی و بخصوص ادوات الکترونیک قدرت در بخش‌های مختلف تولید، انتقال و مصرف موجب پیدایش اعوجاج هارمونیک در شکل موج سینوسی جریان و ولتاژ در شبکه قدرت و در نتیجه افت کیفیت توان در سیستم قدرت می‌شود. اعوجاجات هارمونیک باعث ایجاد مشکلات خاصی در شبکه‌های قدرت می‌شوند که از جمله این مشکلات می‌توان به عدم عملکرد مناسب تجهیزات و نیز کاهش عمر و پایین آمدن راندمان دستگاه‌ها اشاره نمود.

لذا در این مقاله سعی شده تا برخی از روش‌های کاهش هارمونیک را مورد بررسی قرار داده و با شبیه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB، کارایی آنها ارزیابی شود.

۲- اعوجاج هارمونیک کل

اعوجاج هارمونیک در شبکه‌های قدرت ناشی از عناصر غیرخطی مانند ادوات الکترونیک قدرت است. چندین معیار عددی برای نشان دادن میزان هارمونیک‌های موجود در یک سیگنال وجود دارد. از معروف‌ترین آنها می‌توان به اعوجاج هارمونیک کل^۱ اشاره نمود:

$$THD = \frac{\sqrt{M_2^2 + M_3^2 + \dots + M_n^2}}{M_1} \quad (1)$$

که در آن THD اعوجاج هارمونیک کل، M_1 مقدار مؤثر مؤلفه اصلی و M_n مقدار مؤثر مؤلفه هارمونیک n ام کمیت M می‌باشد. THD معیار اندازه‌گیری مقدار مؤثر مؤلفه‌های هارمونیک موجود در یک سیگنال اعوجاجی است.

محدوده مجاز هارمونیک جریان با توجه به نسبت جریان اتصال کوتاه در نقطه اتصال بار به شبکه و ماکزیمم جریان بار تقاضا تغییر می‌کند که در جدول (۱) نشان داده شده است.

I_{sc} جریان اتصال کوتاه در نقطه اتصال بار به شبکه، h مرتبه هارمونیک، I_L ماکزیمم جریان بار و TDD اعوجاج تقاضای کل^۲ می‌باشد.

این بدان معنی است که بارهای کوچکتر محدوده جریان هارمونیک مجاز بیشتری نسبت به بارهای بزرگتر در سیستم قدرت دارند. هدف نهایی از تعیین جدول استاندارد برای هارمونیک جریان این است تا هارمونیک ولتاژ در نقطه اتصال بار به شبکه از $THD = 5\%$ تجاوز نکند.

۲-۱- منابع تولید هارمونیک در سیستم‌های قدرت

بارهای غیرخطی، منبع تولید هارمونیک‌های جریان هستند و باعث تزریق این هارمونیک‌ها به شبکه قدرت می‌شوند.

از عوامل مهم تولید هارمونیک در شبکه برق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

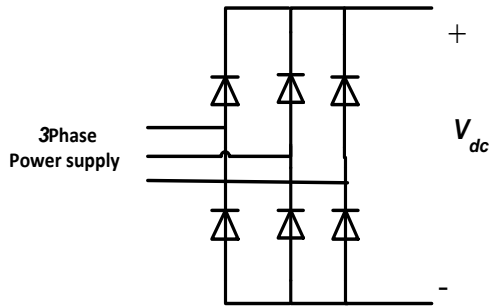
- جریان مغناطیسی ترانسفورماتورها
- کوره‌های قوس الکتریکی و القایی
- سیستم‌های HVDC^۳ (انتقال برق فشار قوی DC)
- تجهیزات بکار رفته در کنترل‌کننده‌های سرعت ماشین‌های الکتریکی.
- اتصال نیروگاه‌های خورشیدی و بادی به سیستم‌های توزیع.
- کاربرد SVC^۴ به‌عنوان کنترل‌کننده استاتیک توان راکتیو.
- در حال حاضر بارهای تغذیه‌شده از طریق مبدل‌های الکترونیک قدرت مانند یکسوکننده‌ها مهمترین بارهای غیرخطی را تشکیل می‌دهند.

2- Total demand distortion
3- high-voltage direct current
4- Static var. compensator

1- Total Harmonic Distortion

جدول (۱) ماکزیمم اعوجاج هارمونیک جریانی [۸]

اعوجاج تقاضای کل TDD	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	$\frac{I_{SC}}{I_L}$
۵	۰/۳	۰/۶	۱/۵	۲	۴	< 20
۸	۰/۵	۱	۲/۵	۳/۵	۷	$20 < 50$
۱۲	۰/۷	۱/۵	۴	۴/۵	۱۰	$50 < 100$
۱۵	۱	۲	۵	۵/۵	۱۲	$100 < 1000$
۲۰	۱/۴	۲/۵	۶	۷	۱۵	$1000 <$



شکل (۱) شماتیک یکسو کننده سه فاز

۴- فیلتر^۳

در سیستم قدرت به منظور حذف هارمونیک با فرکانسهای مشخص از فیلترهای الکتریکی استفاده می‌شود. فیلترها در حالت کلی از ۳ نوع عنصر مقاومت، سلف و خازن و با آرایشهای مختلف تشکیل می‌شوند. انواع فیلترها عبارتند از: فیلتر اکتیو^۴، فیلتر پسیو^۵، فیلتر هیبرید^۶. در این مقاله سعی شده است تا تأثیر فیلتر پسیو در کاهش هارمونیکهای شبکه مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴-۱- فیلتر پسیو

یکی از روشهای حذف هارمونیکها، استفاده از فیلترهای غیرفعال است. هدف اولیه از طراحی یک فیلتر غیرفعال، کاهش دامنه یک یا چند مؤلفه هارمونیک ولتاژ یا جریان است. چنانچه تنها مقصود از طراحی این فیلتر پیشگیری از نفوذ یک مؤلفه فرکانسی خاص به قسمت‌هایی از شبکه قدرت باشد، می‌توان از فیلتر نوع سری استفاده نمود که از ترکیب موازی یک خازن و سلف به دست آمده و در برابر فرکانسهای مربوطه امپدانس بزرگی را از خود نشان می‌دهد. معالوصف، در مورد مبدل‌های استاتیکی و ترانسفورمرهای متصل به آنها نمی‌توان از این روش استفاده کرد زیرا این تجهیزات برای عملکرد عادی خود ناگزیر به تولید شکل موجهای غیرسینوسی و به تبع آن هارمونیک می‌باشند. در

اعوجاجهای هارمونیک در سیستمهای قدرت مشکلات خاصی از قبیل گرمای بیش از حد ترانسفورماتورها، عملکرد نامناسب و پاسخ اشتباه رله‌ها، سوختن فیوزها، خراب شدن تجهیزات الکتریکی، ایجاد خطا در دستگاههای اندازه گیری، ایجاد نویز و تداخل با سیستمهای مخابراتی و^۱ PLC، افزایش توان راکتیو مصرفی، کاهش ضریب توان شبکه و افزایش تلفات را به دنبال دارند.

۳- یکسو کننده

یکسو کننده^۲ ولتاژ متناوب را به ولتاژ مستقیم تبدیل می‌کند و معمولاً از یک یا چند دیود تشکیل می‌شود. البته گاهی اوقات به جای دیود از وسایل دیگری مانند ترستورها نیز استفاده می‌شود. یکسو کننده تکفاز بسته به شیوه طراحی معمولاً شامل یک یا دو یا چهار نیمه‌رسانای یکسو ساز غیرقابل کنترل مانند دیود و یا یکسوساز قابل کنترل مانند ترستور است. استفاده از یکسو کنندههای چند فاز یکی از راههای کاهش نوسانات ناخواسته یا ریپل خروجی است. با اضافه شدن تعداد فاز، تعداد یکسو کنندههای نیمه‌هادی مدار هم اضافه خواهند شد و در نوع قابل کنترل، روش کنترل یکسو کنندهها نیز پیچیده تر می‌شود. یکسوساز سه فاز که ولتاژ سه فاز AC را به ولتاژ DC تبدیل می‌کند در شکل (۱) نشان داده شده است. یکسو کننده سه فاز از شش عدد دیود و یا ترستور تشکیل شده که هر دو دیود برای یکسوسازی یکی از فازها بکار برده می‌شوند.

3- Filter
4- Active Filter
5- Passive Filter
6- Hybrid Filter

1- Power Line Carrier
2- Rectifier

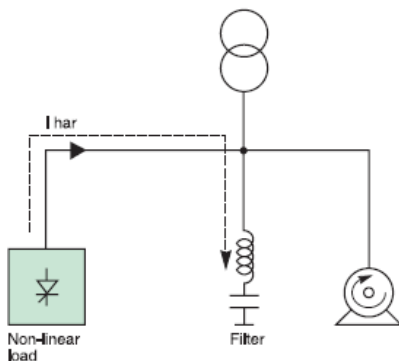
$$Z = R + j\omega_n L + \frac{1}{j\omega_n C} = R \quad (2)$$

Z امپدانس فیلتر، R اندازه مقاومت، L اندوکتانس سلف، C ظرفیت خازن و ω_n فرکانس تشدید فیلتر پسیو می‌باشد. به فرکانسی که در آن، مدار در حالت تشدید قرار می‌گیرد فرکانس تشدید^۵ می‌گویند و معمولاً بر حسب مرتبه هارمونیک بیان می‌شود [۳،۴،۵].

$$X_{Ln} = X_{Cn} \Rightarrow \omega_n L = \frac{1}{\omega_n C} \Rightarrow \omega_n = n\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

ω_0 فرکانس نامی سیستم و X_{Ln} و X_{Cn} راکتانس سلفی و خازنی فیلتر در فرکانس تشدید می‌باشند.

برای عملکرد مطلوب این فیلتر، نیاز به انتخاب دقیق مقادیر مقاومت، سلف و خازن می‌باشد تا در فرکانس هارمونیک معین عمل کرده و هارمونیک مربوطه را کاهش دهد. برای از بین بردن هارمونیک‌های هر مرتبه در مدار، از یک فیلتر پسیو تک تنظیمه با فرکانس تشدیدی برابر با فرکانس هارمونیک که قصد حذف آن را داریم استفاده می‌شود. در فیلتر پسیو تک تنظیمه در فرکانس هارمونیک موردنظر، مدار فیلتر به حالت تشدید می‌رود، نتیجه امپدانس آن بسیار کوچک شده و سیگنال با فرکانس هارمونیک مورد نظر را به سمت زمین هدایت و مانع از جاری شدن آن در سیستم قدرت می‌شود [۲]. عملکرد فیلتر پسیو تک تنظیمه در فرکانس تشدید در شکل (۴) نشان داده شده است:



شکل (۴) عملکرد فیلتر پسیو در فرکانس تشدید

فیلتر پسیو تک تنظیمه که روی فرکانس هارمونیک خاصی تنظیم شده است به صورت موازی با عنصری که موجب ایجاد اعوجاج هارمونیک شده است قرار می‌گیرد.

این حالت می‌توان با ایجاد مسیرهای موازی و درعین حال با امپدانس کم برای فرکانس‌های موردنظر، هارمونیک‌ها را به این مسیر هدایت کرده و از نفوذ آنها در سایر نقاط سیستم پیشگیری کرد. انواع فیلترهای پسیو عبارت‌اند از:

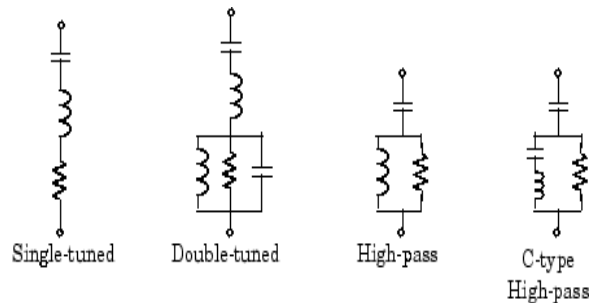
۱- فیلتر تک تنظیمه^۱

۲- فیلتر دو تنظیمه^۲

۳- فیلتر بالا گذر^۳

۴- فیلتر نوع C بالا گذر^۴

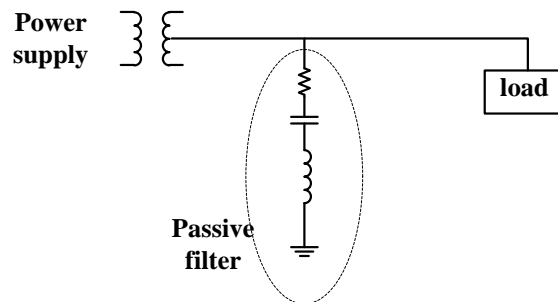
در شکل (۲) انواع مختلف فیلتر پسیو نشان داده شده است [۵]:



شکل (۲) انواع فیلترهای پسیو

۴-۱-۱- فیلتر پسیو تک تنظیمه

یکی از انواع فیلترهای پسیو، فیلتر پسیو تک تنظیمه است و همان‌گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است از اتصال سری مقاومت، سلف و خازن تشکیل شده و به صورت موازی به شبکه قدرت متصل می‌شود.



شکل (۳) فیلتر پسیو موازی با شبکه قدرت

در فیلتر پسیو تک تنظیمه، فرکانسی وجود دارد که در این فرکانس امپدانس خازن برابر امپدانس سلف بوده و لذا امپدانس فیلتر صرفاً مقاومتی خواهد بود.

- 1- Single-Tuned Filter
- 2- Double-Tuned Filter
- 3- High-Pass Filter
- 4- C-Type High Pass Filter

می‌شود. البته چون مقدار امپدانس سلفی و خازنی فیلتر در فرکانس تشدید با هم برابرند کیفیت را می‌توان به صورت نسبت امپدانس خازنی به مقاومت فیلتر تعریف کرد [۶].

ضریب کیفیت فیلتر پسیو تک تنظیمه از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$Q = \frac{X_{Ln}}{R} = \frac{X_{Cn}}{R} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (4)$$

که Q ضریب کیفیت، X_{Ln} و X_{Cn} به ترتیب راکتانس سلفی و خازنی فیلتر در فرکانس تشدید می‌باشند که از رابطه زیر به دست می‌آیند:

$$X_{Ln} = X_{Cn} = nX_L = \frac{X_C}{n} = \sqrt{X_L X_C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

که X_L راکتانس سلف در فرکانس پایه و X_C راکتانس خازن در فرکانس پایه می‌باشد. n مرتبه هارمونیک مورد نظر می‌باشد که فیلتر پسیو تک تنظیمه برای آن فرکانس تنظیم شده است و از رابطه (۶) به دست می‌آید:

$$w_n = nw_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow n = \frac{1}{w_0 \sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{X_L X_C}} \quad (6)$$

در مراجع مختلف، فیلترهای تک تنظیمه دارای ضریب کیفیت بالا (بین ۳۰ تا ۶۰) می‌باشند در حالی که کیفیت فیلترهای بالا گذر، پایین (بین ۵ تا ۱۵) می‌باشد [۶].

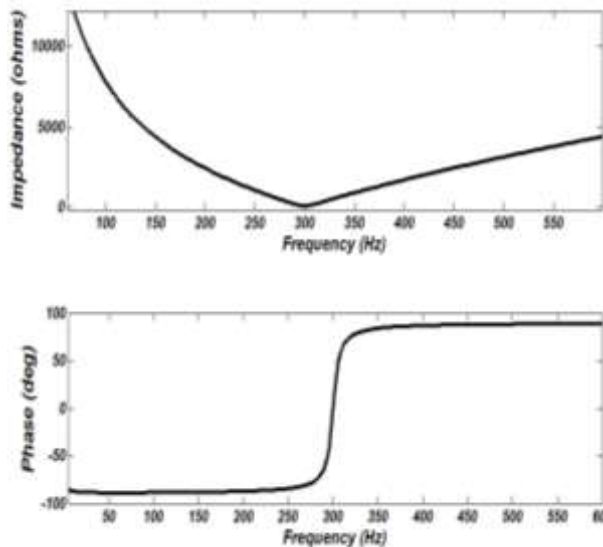
۴-۳- توان راکتیو تزریقی

مهمترین پارامتر فیلتر پسیو که در واقع اندازه فیلتر را مشخص می‌کند مقدار توان راکتیوی است که در فرکانس اصلی توسط فیلتر به شبکه تزریق می‌شود. با توجه به مشخصه امپدانس فیلتر می‌توان نتیجه گرفت که امپدانس خازنی در فرکانس اصلی بزرگتر از امپدانس سلفی آن خواهد بود. این بدان معنی است که فیلتر می‌تواند عمل یک بانک خازنی را نیز در فرکانس اصلی انجام دهد. توان راکتیو تولیدی خازن و توان راکتیو تولیدی فیلتر در فرکانس اصلی از رابطه (۷) و (۸) به دست می‌آیند که تقریباً با هم برابرند [۶]:

$$Q_C = \frac{V^2}{X_C} \quad (7)$$

$$Q_{filter} = \frac{V^2}{X_C - X_L} = \frac{V^2}{X_C - \frac{X_C}{n^2}} = \frac{n^2}{n^2 - 1} \cdot \frac{V^2}{X_C} = \frac{n^2}{n^2 - 1} Q_C \quad (8)$$

فیلتر، هارمونیک را بای‌پس کرده و مانع از جاری شدن هارمونیک به سوی منبع انرژی خواهد شد. مشخصه امپدانس و فاز فیلتر پسیو تک تنظیمه نسبت به فرکانس در شکل (۵) نشان داده شده است:



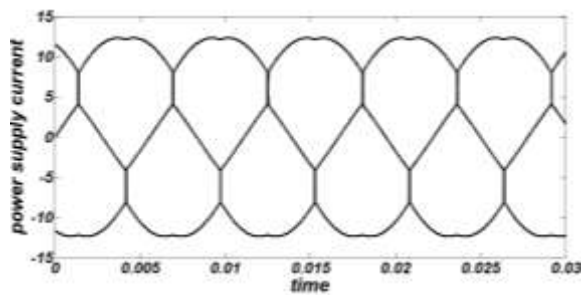
شکل (۵) مشخصه امپدانس و فاز فیلتر پسیو تک تنظیمه

همان‌گونه که از شکل (۵) مشخص است فیلتر پسیو در فرکانس هارمونیک تنظیم‌شده (مرتبه پنجم هارمونیک و فرکانس ۳۰۰ هرتز)، دارای امپدانس مینیمم و فاز صفر می‌باشد. همچنین با توجه به مشخصه فازی، فیلتر پسیو تک تنظیمه در فرکانس‌های قبل از فرکانس تنظیم‌شده دارای فاز -90° بوده و در نتیجه دارای خاصیت خازنی می‌باشد لذا فیلتر پسیو در فرکانس نامی سیستم، توان راکتیو تولید می‌کند و در حالت طبیعی به اصلاح و بهبود ضریب توان شبکه نیز کمک می‌کند.

۴-۲- ضریب کیفیت^۱

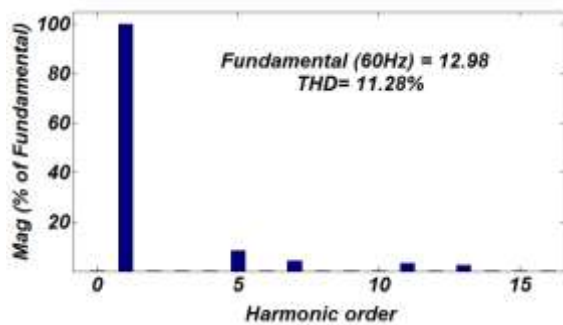
ضریب کیفیت فیلتر پسیو پارامتری است که تیزی مشخصه امپدانس فرکانس فیلتر را مشخص می‌نماید. فیلترهایی که دارای ضریب کیفیت بالا می‌باشند فقط برای حذف یک هارمونیک خاص طراحی می‌شوند. از طرف دیگر اگر فیلتر دارای ضریب کیفیت پایین باشد قادر خواهد بود علاوه بر هارمونیک مربوط به فرکانس تنظیم، تا حدی مؤلفه‌های هارمونیک مجاور را نیز تضعیف کند. کیفیت در مورد فیلترهای تک تنظیمه به صورت امپدانس سلفی فیلتر در فرکانس تشدید به مقاومت آن تعریف

1- Quality factor



شکل (۸) جریان منبع در صورت عدم استفاده از فیلتر پسیو

به منظور بررسی هارمونیک‌های موجود در جریان منبع در محیط MATLAB از روش تحلیل فوریه استفاده شده است. شکل (۹) طیف هارمونیک‌های جریان منبع را در حضور یک بار غیرخطی مانند یکسوکنده سه فاز نشان می‌دهد.



شکل (۹) طیف هارمونیک‌های جریان منبع در صورت عدم استفاده از فیلتر پسیو

با توجه به شکل (۹) جریان منبع دارای هارمونیک زیادی در حدود $THD = 11.28\%$ می‌باشد که بیشترین سهم این هارمونیک مربوط به مؤلفه پنجم هارمونیک جریان می‌باشد لذا به منظور کاهش هارمونیک مرتبه پنجم، فیلتر پسیو را روی فرکانس ۳۰۰ هرتز تنظیم می‌کنیم.

در این مقاله ضریب کیفیت برابر ۳۰ در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به مشخصات شبکه و طبق جدول (۱)، هارمونیک جریان باید کمتر از ۴٪ باشد بنابراین توان راکتیو تولیدی فیلتر پسیو تک تنظیمه برابر $13/5 \text{ MVAR}$ در نظر گرفته شده است تا هارمونیک جریان شبکه از ۴٪ افزایش نیابد.

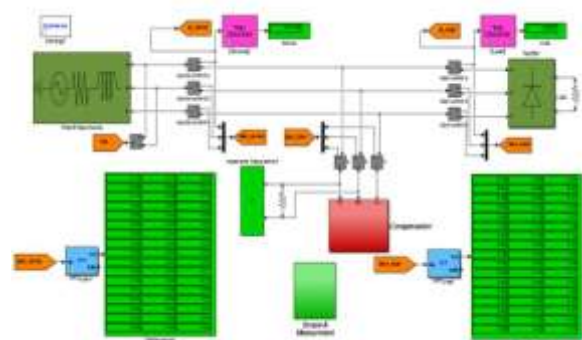
شکل موج‌های ولتاژ و جریان تولیدی فیلتر پسیو با تنظیمات ذکر شده در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده است.

که Q_C توان راکتیو تولیدی خازن، Q_{filter} توان راکتیو تولیدی فیلتر و V ولتاژ فیلتر می‌باشد.

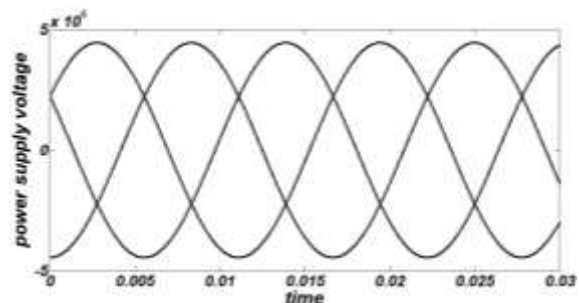
به منظور طراحی فیلتر تک تنظیمه، بایستی مقادیر سه پارامتر فرکانس تنظیم، ضریب کیفیت و توان راکتیو تزریقی فیلتر تعیین شوند که با استفاده از این سه پارامتر و روابط بیان شده در بخش‌های قبل می‌توان مقادیر L ، R و C را نیز محاسبه نمود.

۷- شبیه‌سازی

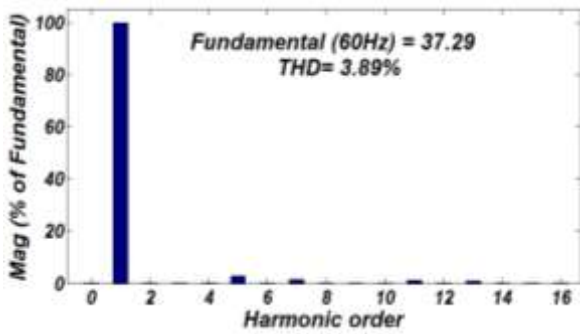
به منظور ارزیابی عملکرد فیلتر پسیو تک تنظیمه و درستی روابط ذکر شده از محیط سیمولینک نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. مدار مورد نظر به منظور ارزیابی عملکرد فیلتر پسیو تک تنظیمه در شکل (۶) نشان داده شده است. مدار طراحی شده شامل یک منبع ولتاژ ۳۱۵ کیلوولتی با فرکانس ۶۰ هرتز، خط انتقال ۳ فاز، یکسوکنده سه فاز و یک بار مقاومتی ۱۰۰ اهمی می‌باشد.



شکل (۶) اتصال فیلتر پسیو به صورت موازی با یکسوکنده شکل موج‌های ولتاژ و جریان منبع در شکل‌های (۷) و (۸) نمایش داده شده‌اند.



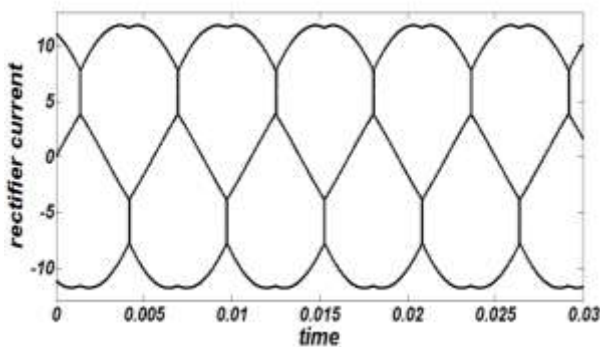
شکل (۷) ولتاژ منبع در صورت عدم استفاده از فیلتر پسیو



شکل (۱۴) طیف هارمونیک جریانی منبع در صورت استفاده از فیلتر پسیو

همان‌گونه که در طیف هارمونیک جریانی منبع در شکل (۱۴) نشان داده شده است مؤلفه پنجم هارمونیک جریانی که فرکانس تشدید فیلتر روی این فرکانس تنظیم شده بود کاهش یافته و اعوجاج هارمونیک کل جریانی شبکه در صورت استفاده از فیلتر پسیو تک تنظیمه از مقدار 11.28% به مقدار 3.89% کاهش یافته است که برابر جدول (۱) مقدار قابل قبولی است.

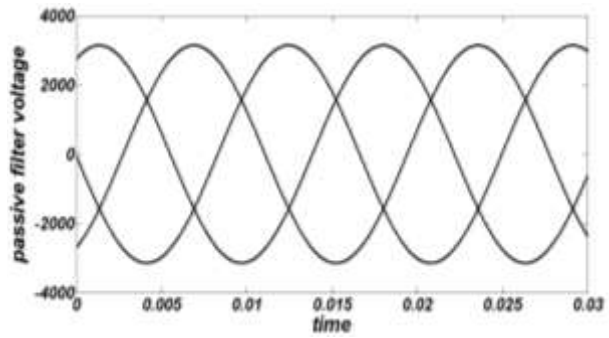
جریان بار (یکسوساز سه فاز) در صورت استفاده از فیلتر پسیو تک تنظیمه در شکل (۱۵) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است و انتظار نیز می‌رفت جریانی یکسوکندنده در صورت استفاده و یا عدم استفاده از فیلتر پسیو تفاوتی نمی‌کند.



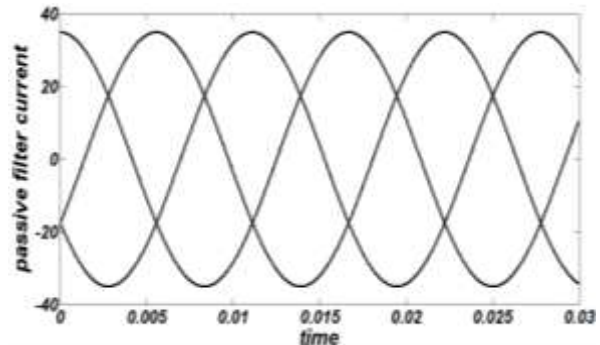
شکل (۱۵) جریانی یکسوکندنده در صورت استفاده از فیلتر پسیو

در بخش قبلی، تنظیم فیلتر پسیو تک تنظیمه با استفاده از سه پارامتر توان راکتیو تولیدی، ضریب کیفیت و فرکانس تشدید برای بلوک فیلتر پسیو تک تنظیمه انجام شد.

در گام بعدی، به منظور بررسی صحت روابط ذکر شده در بخش ۴-۱، فیلتر پسیو را با مقادیر محاسبه شده برای سه عنصر مقاومت، سلف و خازن تنظیم می‌کنیم. با توجه به تنظیمات در نظر گرفته شده در بخش قبل (فرکانس تشدید ۳۰۰ هرتز، توان راکتیو تولیدی فیلتر $13/5$ مگاوار

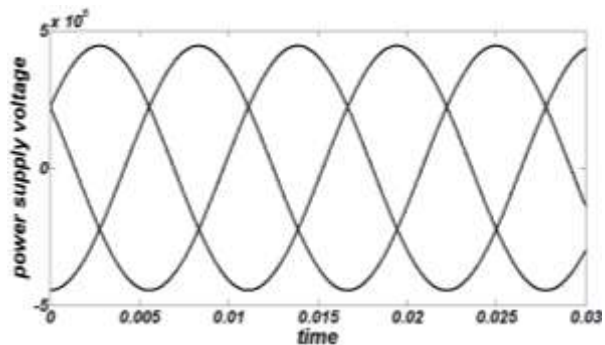


شکل (۱۰) ولتاژ فیلتر پسیو

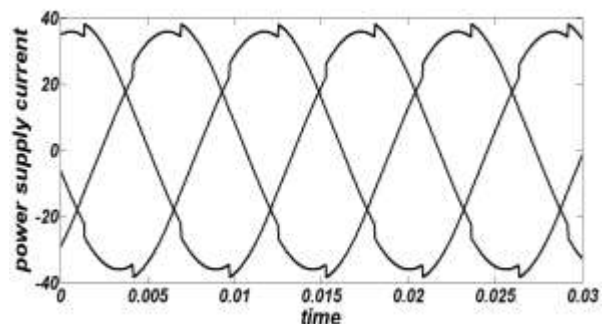


شکل (۱۱) جریانی فیلتر پسیو

هدف از کاربرد انواع فیلترها بهبود کیفیت توان شبکه است که یکی از مصادیق بارز افزایش کیفیت توان، کاهش هارمونیک‌های ولتاژ و یا جریانی می‌باشد، بنابراین شکل موج‌های مربوط به ولتاژ و جریانی منبع و طیف هارمونیک جریانی منبع در صورت اعمال فیلتر پسیو با تنظیمات ذکر شده در شکل‌های (۱۲) الی (۱۴) نشان داده است.



شکل (۱۲) ولتاژ منبع در صورت استفاده از فیلتر پسیو



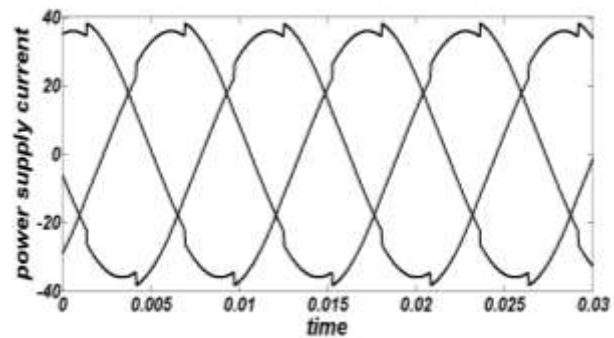
شکل (۱۳) جریانی منبع در صورت استفاده از فیلتر پسیو

صورت گرفته در محیط سیمولینک نرم افزار MATLAB کارایی این نوع فیلتر مورد ارزیابی قرار گرفت و کاهش قابل توجهی در THD سیستم ایجاد شد. همچنین روابط موجود در خصوص تنظیم دقیق فیلتر روی یک مرتبه هارمونیک خاص مورد ارزیابی قرار گرفت.

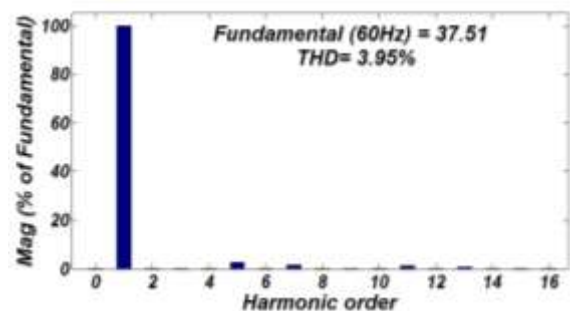
۹- مراجع

- [1] Karuppanan P and KamalaKanta Mahapatra, "Fuzzy logic controlled active power line conditioners for power quality improvement" , international conference on advances in energy conversation technologies, Jan. 2010
- [2] Olimpo Anaya-Lara and e Acha, "modeling and analysis of custom power systems by PSCAD/EMTDC" , IEEE trans. power delivery, vol.17, no.1, Jan.2002
- [3] Seema P. Diwan, Dr. H. P. Inamdar, and Dr. A. P. Vaidya, "Simulation Studies of Shunt Passive Harmonic Filters: Six Pulse Rectifier Load, Power Factor Improvement and Harmonic Control", ACEEE Int. J. on Electrical and Power Engineering, Vol. 02, No. 01, Feb. 2011
- [4] J. C. Das, "Passive Filter Potentialities and Limitations", IEEE Transactions on Industry Applications", Vol. 40 , No. 1, Feb 2000
- [5] C L Anooja, N Leena, "Passive Filter for Harmonic Mitigation of Power Diode Rectifier and SCR Rectifier Fed Loads", International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume. 4, Issue. 6, June .2013
- [6] Kuldeep Kumar Srivastava, Saquib Shakil, Anand Vardhan Pandey, "Harmonics & Its Mitigation Technique by Passive Shunt Filter", International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), Volume.3, Issue.2, May. 2013
- [7] Young-Sik Cho and Hanju Cha, " Single-tuned Passive Harmonic Filter Design Considering Variances of Tuning and Quality Factor" , Journal of International Council on Electrical Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 7-13, 2011
- [8] Thomas M. Blooming, Daniel J. Carnovale, "Application of IEEE STD 519-1992 Harmonic Limits" , Pulp and Paper Industry Technical Conference, June 2006.

و ضریب کیفیت ۳۰) ، طبق رابطه (۴) مقدار مقاومت برابر ۴۹ اهم، طبق رابطه (۵) و (۶) مقدار سلف برابر ۳۶۱ mH و ۷۷۹ و طبق رابطه (۷) و (۸) مقدار خازن برابر ۳۶۱ nF محاسبه و به دست آمده است که نتایج تحلیل با تنظیم فیلتر با مقادیر به دست آمده برای سه عنصر مقاومت، سلف و خازن در شکل های (۱۶) و (۱۷) نشان داده شده است.



شکل (۱۶) جریان منبع در صورت استفاده از فیلتر پسیو با مقادیر تنظیم شده برای R,L,C



شکل (۱۷) طیف هارمونیک جریان منبع در صورت استفاده از فیلتر پسیو با مقادیر تنظیم شده برای R,L,C

همان گونه که از شکل (۱۷) مشخص است در صورت تنظیم فیلتر پسیو تک تنظیمه با مقادیر محاسبه شده برای سه عنصر مقاومت، سلف و خازن، مقدار THD به حدود ۰.۴٪ کاهش یافته است که برابر THD جریان شبکه با تنظیم فیلتر برای سه پارامتر توان راکتیو تولیدی فیلتر، ضریب کیفیت و فرکانس تشدید می باشد لذا به این ترتیب درستی روابط ذکر شده در بخش ۴-۱ نیز تأیید می شود.

۸- نتیجه گیری

یکسوسازها یکی از منابع اصلی تولید هارمونیک در شبکه قدرت می باشند. به منظور کاهش هارمونیک و در نتیجه افزایش کیفیت توان تحویلی به مصرف کننده از انواع فیلترهای الکتریکی استفاده می شود. در این مقاله از فیلتر پسیو تک تنظیمه به منظور کاهش هارمونیک های موجود در جریان منبع استفاده شده است. با شبیه سازی های