بهبود کیفیت توان با جلوگیری از هارمونیک های جریان با استفاده از روش کنترل هیسترزیس

چکیده

اخیرا گسترش تجهیزات الکترونیک قدرت موجب افزایش اختلالات هارمونیکی در سیستم های قدرت شده است.بارهای غیر خطی باعث تولید هامونیک جریان می‌شود. هارمونیک های جریان توسط بارهای غیر خطی مانند درایوهای با سرعت قابل تنظیم، منابع تغذیه استاتیک و UPS تولید می‌شوند. بنابراین برای جلوگیری از عواقب ناشی از هارمونیک ها، جبران کامل مورد نیاز است. برای غلبه بر مشکلات ناشی از هارمونیک، فیلتر توان اکتیو شنت (SAPF) به طور گسترده در نظر گرفته شده است. جبرانساز هارمونیک SAPF نسبت به روش‌های دیگری که برای حل مشکلات مربوط به هارمونیک مطرح شده‌اند بهتر هستند. عملکرد SAPF بستگی به استراتژی کنترل، متفاوت است.در این مقاله، تجزیه و تحلیل عملکردSAPF تحت مهمترین استراتژی کنترل یعنی روش توان اکتیو و راکتیو آنی(P-Q)برای استخراج جریان‌های مولفه اصلی فیلتر اکتیو شنت در شرایط بار نامتعادل نشان داده شده است.شبیه سازی دقیق با توجه به این استراتژی کنترل انجام شده ونتایج کافی ارائه شده است.این نتایج شبیه سازی اهمیت استراتژی کنترل آنی توان اکتیو و راکتیو در دستیابی به جبرانساز هامونیکی موثردر شرایط بار نامتعادل را نشان می‌دهد. در این مقاله، استراتژی کنترل هارمونیک برای جبران هارمونیک های جریان در سیستم استفاده می‌شود. یک مطالعه دقیق در مورد روش های کنترل هارمونیک با استفاده از روش فیلتر فعال موازی(شنت) استفاده شده است.

1.مقدمه

از آنجا صنعت نیمه هادی الکترونیک قدرت به طور سریع توسعه یافته، این دستگاه های الکترونیک قدرت در صنعت برق و الکترونیک مورد بهره برداری قرار گرفتند.این دستگاه ها همچنین منبع اصلی تولید هارمونیک در سیستم قدرت می باشند.این هارمونیک های قدرت که آلودگی الکتریکی نامیده می شوند باعث کاهش کیفیت منبع تغذیه می شود. در نتیجه، فرآیند فیلتر کردن، برای این هارمونیک ها به منظور بهبود کیفیت منبع تغذیه مورد نیاز است.بنابراین، در حال حاضر به نظر می رسد فیلتر توان اکتیو جایگزین مناسبی برای بهبود توان با کنترل سطح هارمونیک در سیستم های قدرت می باشد.ولتاژ در باسهای مختلف شبکه قدرت انحراف می یابند. هارمونیکهای قدرت ناشی از دستگاه های اشباع شده هستند که عمدتا به دلیل حالت های عملکرد ترانسفورماتور و ماشین آلات ایجاد می شوند.از سوی دیگر، اعوجاج جریان ناشی از لامپ فلورسنت مربوط می شوند به آرک و بالاست های مغناطیسی. هر دو جریان ناشی از این دستگاه ها مقداری ماکزیمم دارند و سرشار از هارمونیک مرتبه سوم اند. دستگاه های الکترونیک قدرت، برای کنترل بارها با عبور توان وکنترل ولتاژها و جریان ها در فواصل معینی از پریود اصلی انجام می‌دهند.بنابراین، جریان کشیده شده توسط بار سینوسی است اما به نظر می‌رسد که شکل موج قطعه قطعه شده ویا صاف و مسطح شده است. فیلترهای توان اکتیوی که بیشتر انعطاف پذیر و قابل دوام باشد محبوبیت بیشتری دارد.اصول جبران فیلتر توان اکتیو در سال 1970پیشنهاد شد.این فیلترهای توان اکتیو توانایی جبران هارمونیک به طور پیوسته و بدون تغییر در بار اعمالی را دارند.بنابراین، پیکربندی فیلترهای توان اکتیو بسیار پیچیده و نیاز به دستگاه‌های کنترل مناسب برای کار و بهره برداری را دارند. همانطور که توپولوژی مختلف فیلترتوان اکتیو وجود دارد، پژوهش‌ها در جهت طراحی و توسعه بهتر استراتژی‌های کنترل و پیکربندی فیلتر در حال انجام است.

2.موضوع کیفیت توان

یکی از مهمترین نگرانی‌های امروزی سیستم‎‌های قدرت مربوط به مسئله کیفیت توان می‌باشد. استفاده گسترده از تجهیزات الکترونیکی، مانند تجهیزات فناوری اطلاعات، الکترونیک قدرت مانند درایوهای با سرعت قابل تنظیم (ASD)، کنترل کننده های منطقی قابل برنامه ریزی (PLC)، نور با انرژی کارآمد،منجر به تغییر کامل طبیعت بارهای الکتریکی شده‌اند.این بارها قربانیان اصلی مسائل کیفیت توان هستند.بدلیل خاصیت غیر خطی شان تمام این بارها با پیشرفت تکنولوژی باعث اختلال در شکل موج ولتاژ می شوند. افزایش حساسیت اکثریت قریب به اتفاق فرآیندهای (صنعتی، خدمات و حتی مسکونی) به مسائل PQ ،در دسترس گذاشتن توان الکتریکی با کیفیت می‌تواند باعث ایجاد رقابت در بین تولیدکنندگان و فروشندگان برق شود.

1.2مسائل کیفیت توان

درایوهای AC و DC سرعت متغیر به کار گرفته شده در جرثقیل ها به دلیل تولید هامونیک جریان و ولتاژ اعوجاجی بسیار قابل توجه اند. در حالی که کنترل فاز SCR ضریب توان متوسط مطلوبی را تولید می‌کند، درایوهای DC SCR در کمتر از این عمل می‌کنند. علاوه براین، شکاف خطی اتفاق می‌افتد زمانیکه SCR’sجریان را هدایت می‌کنند، باعث ایجاد ولتاژهای پیک گذرا که می تواند 3تا4 برابر ولتاژ نامی بسته به امپدانس سیستم و اندازه درایو می‌باشد.زمانیکه درایوهای DC در سرعت کند و یا در طی افزایش و یا کاهش سرعت کار می‌کنند دارای ضریب توان کمی می‌باشند.بالاتر از سرعت مبنا ضریب توان ثابت باقی می‌ماند.متاسفانه جرثقیل ها می‌توانند زمان قابل توجهی در سرعت های پایین کار کنند.ضریب توان پایین بارها می‌تواند روی پایداری ولتاژ تاثیر گذار باشند که در نهایت می‌تواند روی عمر تجهیزات حساس الکترونیکی تاثیر بگذارد.

3.فیلتر اکتیو شنت

فیلتر اکتیو موازی (APF) دستگاهی است که به صورت موازی متصل می‌شود با حذف جریان هارمونیکی از بارهای غیرخطی استفاده می‌شوند.جریان کل گرفته شده از منبع AC به صورت سینوسی می شود. در حالت ایده آل ،APF تنها نیاز به تولید جریان هارمونیک و راکتیو کافی برای جبران بار غیر خطی در خط دارد.در یک APF که در شکل 1 نشان داده شده است یک اینورتر کنترل کننده جریان منبع ولتاژ برای تولید جریان جبران کننده(ic) مورد استفاده قرار گرفته که به شبکه اصلی تزریق می‌کند.که این هارمونیک تولیدی بار غیر خطی را حذف می‌کند و جریان خط(Is) سینوسی باقی می‌ماند.



 شکل 1. فیلتر توان اکتیو شنت

روشهای گوناگونی برای شناسایی هارمونیک جریان لحظه ای در فیلتر اکتیو شنت مورد استفاده قرار می‎گیرد که از جمله FFT(fast Fourier technique)(روش تبدیل فوریه سریع)، نظریه p-q لحظه‌ای، تئوری قاب مرجع d-q سنکرون، و یا با استفاده از آنالوگ مناسب.در این مقاله، تئوری قاب مرجع d-q سنکرون مبتنی بر الگوریتم ارائه شده است. فیلتر اکتیو شنت برای جبران هارمونیک های جریان یک جریان برابر اما در جهت خلاف جریان هارمونیکی تزریق می کند. دراین حالت فیلتر اکتیو شنت بعنوان یک منبع جریان مولفه های هارمونیکی شبیه هارمونیک های تولید شده توسط بار را تزریق می‌کنند اما با اختلاف فاز 180 درجه.

4.توپولوژی‌های فیلتر توان اکتیو

هدف اصلی از نصب فیلتر توان اکتیو توسط تک تک مصرف کنندگان برای جبران و حذف هارمونیک های جریان و یا نامتعادلی جریان ناشی از تولید بارهای خود مصرف کننده می باشد.علاوه براین، هدف از نصب فیلتر توان اکتیو توسط بهره بردار سیستم برای جبران هارمونیک های ولتاژ سیستم ،نامتعادلی ولتاژ و یا تولید ضریب دمپ هارمونیک برای سیستم های شبکه توزیع می باشد.



شکل 2. اصول اساسی جبران هارمونیک جریان

جبران جریان هامونیکی توسط فیلتر هارمونیکی در یک روش حلقه بسته کنترل می‌شوند.فیلتر اکتیو که خاستار تزریق جریان جبران کننده Ic\* بر اساس تغییرات بار در سیستم قدرت می باشد.جریان منبع برابر است با جمع جریانهای فیلتر اکتیو و بار می باشد که رابطه آن بقرار زیر است:

 **(1) IL+IC\*=IS**

5. تئوری توان اکتیو و راکتیو لحظه ای

نظریه p-q شامل یک تبدیل جبری (تبدیل کلارک) از ولتاژ و جریان های سه فاز در مختصات a-b-c به مختصات α-β-0 که از محاسبات تئوری p-q توان لحظه ای پیروی می کند.تبدیل کلارک در شکل 3 نمایش داده شده است.

 

 شکل 3. تبدیل کلارک

رابطه تبدیل بین هر جز از سیستم توان سه فاز و مختصات متعامد در فضای برداری توسط معادلات زیر نشان داده شده است .

 (2) 

 (3) 

مختصات سه فاز دو به دو متعامد است.بنابراین توان مرسوم برای جریان های سه فاز را می توان با استفاده از روابط بالا مشتق گرفت.توان اکتیو لحظه ای مدار سه فاز را می توان توسط معادله زیر محاسبه کرد.

 (4) P=VaIa+VbIb+VcIc

به کمک این معادلات می توان توان لحظه ای را طبق رابطه زیر باز نویسی کرد.

 (5) 

بدلیل اینکه جبران کننده تنها برای جبران توان توان راکتیو لحظه ای است، توان اکتیو همیشه در مقدار صفر تنظیم می شود.توان راکتیو لحظه­ای ­در جهت مخالف بردارها به منظور حذف مولفه های راکتیو درون جریان خط ست می شود.بکمک رابطه 3 و 4 به رابطه 6 میرسیم.

 (6) 

از خروجی بدست آمده از این معادله می توان توان راکتیو جبران کننده را شناخت.جریان جبران شده هر فاز را با استفاده از تبدیلات متعامد معکوس که در رابطه 7 نشان داده شده نتیجه گرفت.

(7) 

این تئوری راکتیو لحظه ای به صورت آنی انجام می شود که به عنوان توان راکتیو شناخته شده بر اساس ولتاژ و جریان لحظه ای مدار سه فاز است.که این هارمونیک های جبران کننده بهتری را تولید می کند. استراتژی کنترل جریان نقش مهمی در پاسخ سریع اینورترهای کنترل جریان از قبیل فیلترهای توان اکتیو بازی می کنند.انواع مختلفی از کنترل کننده های جریان از جمله کنترل کننده های هیسترزیس سه امپدانسه، کنترل کننده های هیسترزیس وابسته، کنترل کننده های مقایسه کننده سطح شیب دار و کنترل کننده های پیش بینی وجود دارد. با این حال، روش کنترل جریان پسماند روشی است که بیشتر در حوزه زمان پیشنهاد می شود. این روش پاسخ اصلاح شده جریان لحظه ای، دقت خوب و پایداری مطلق را برای سیستم فراهم می کند.علاوه بر این، این روش مناسب ترین روش برای اینورتر های کنترل جریان محسوب می شود.

6. طرز کار کنترل کننده های هیسترزیس

کنترل جریان هیسترزیس روشی برای تولید پالس تریگر مورد نیاز که از طریق مقایسه سیگنال خطا با باند هیسترزیس که اینورتر منبع ولتاژ را کنترل می کند بنابراین جریان خروجی از طریق فیلتر تولید می شود که از شکل موج جریان مرجع پیروی می کند که در شکل زیر نشان داده شده است.



 شکل 4. کنترل هیسترزیس

این روش کنترل سوئیچ از ناهمزمانی اینورتر منبع ولتاژ با شیب جریان از طریق امپدانس بالا و پایین می رود، بنابراین از جریان مرجع پیروی می کند. کنترل جریان پسماند ساده ترین روش کنترل برای پیاده سازی در زمان واقعی است. شکل 5 نشان دهنده شیب جریان بین دو حد که بالایی حد هیسترزیس که از جمع جریان مرجع و ماکزیمم خطا و یا اختلاف بین حد بالایی و جریان مرجع و برای حد هیسترزیس پایین از تفریق مینیمم خطا و جریان مرجع بدست می آید.



شکل 5. باند هیسترزیس

با توجه به اصول کارکرد اینورتر ولتاژهای خروجی هر فاز برای پالس های سوئیچ در هر پایه قابل توجه است.بنابراین گیت سوئیچینگ برای فیلتر اکتیو را می توان بدست آورد. ولتاژ دوسر سلف فرکانس سوئیچینگ و فرکانسی که می تواند توسط عرض باند هیسترزیس تغییر کند را نشان می دهد.

7. نتایج شبیه سازی

بمنظور بررسی نتایج، شبیه سازی در محیط سیمولینک متلب انجام شده است. مدل روش ارائه شده در شکل 6 نشان داده شده است و شکل موج مربوطه به دست آمده است. پارامترهای سیستم در زیر آورده شدهاست.



شکل 6. مدل شبیه سازی کنترل جریان هیسترزیس

شکل موج های مختلف برای روش کنترل هیسترزیس در شکل های 7 -12 نشان داده شده است.شکل 7 منبع ولتاژ AC را نشان می دهد در حالیکه شکل 8 شکل موج ولتاژ و جریان بار را نشان می دهد. به منظور کاهش سطح هارمونیک در سیستم،در استاندارد،الگوریتم پیشنهادی بر اساس SAF در سیستم معرفی شده است.شکل 9 جریان خط اعوجاجی تولید شده توسط الگوریتم برای فیلتر کردن و همچنین جریان فیلتر واقعی در شکل 10 نشان داده شده است. با تزریق مقدار مورد نیاز جریان به سیستم، سیمولینک جریان منبع در شکل 11 نشان داده شده است. با الگوریتم کنترل پیشنهادی جریان منبع بهبود پیدا می کند به THD برابر 2.09% که در استاندارد مقداری مطلوب می باشد. بمنظور انجام عمل بالا ، ولتاژ خازن باید حفظ شود، وباید توسط الگوریتم تنظیم شود. الگوریتم پیشنهاد شده به درستی می تواند ولتاژ خازن را تنظیم کند.



شکل 7. شکل موج ولتاژ منبع



ولتاژ DC خازن

حالت-1 بار غیر خطی

بار غیر خطی متعادل با ضریب توان 5/0: در شرایط بار غیر خطی متعادل توان اکتیو 12 کیلو وات و توان راکتیو 2 کیلو وار با ضریب توان 5/0 در شکل زیر نشان داده شده است.



بار غیر خطی متعادل و جریان منبع



THD بار غیر خطی متعادل برابر 10.96% در4/0t= ثانیه



THD جریان منبع متعادل برابر 3.45%‌ در4/0t= ثانیه

2. بار غیر خطی نامتعادل با ضریب توان 5/0: در شرایط بار غیر خطی نامتعادل توان اکتیو 12 کیلو وات و توان راکتیو 2 کیلو وار با ضریب توان 5/0 در شکل زیر نشان داده شده است.



بار غیر خطی نامتعادل و جریان منبع



THD جریان بار غیر خطی نامتعادل برابر 10.3% در3/0t= ثانیه



THD جریان منبع نامتعادل برابر 4%‌ در3/0t= ثانیه

3. بار نامتعادل با ضریب توان برابر 9/0 (با باز شدن یکی از فازها): در این حالت نامتعادلی با نگه داشتن یک خط به صورت بازصورت می گیرد که نتایج شبیه سازی آن در شکل های زیر آورده شده است.سیستم پیشنهادی هارمونیک جریان بار را کاهش می دهد، بعنوان یک نتیجه جریان منبع سینوسی می شود با هارمونیک کم که در شکل زیر نشان داده شده است. جریان منبع خودش متعادل می شود به گونه ای که تمام اعوجاج هارمونیکی برابر 2.91% از 9.66% می شود.



جریان بار غیر خطی و جریان منبع سینوسی



مقدار THD جریان بار غیر خطی برابر 9.66% در44/0t= ثانیه



مقدار THD جریان منبع برابر 2.91% در44/0t= ثانیه

4. یک بار متفاوت (24 کیلو وات):نتایج شبیه سازی این بار در زیر آورده شده است.



محدوده نشان دهنده بار غیر خطی و جریان منبع



 مقدار THD بار غیر خطی برابر 8% در439/0t= ثانیه

 

مقدار THD جریان منبع خطی برابر 2.09% در439/0t= ثانیه

مقدار فرکانس کنترل کننده هیسترزیس در 50 هرتز نگه داشته می شود.این نتایج نشان می دهد که منبع همیشه سینوسی و کمتر از جریان های بار باقی می ماند. از شکل 9 واضح است که حتی اگر مقاومت بار تغییر کند، الگوریتم پیشنهادی قادر به کنار آمدن با تغییر در بار و عملکرد گذرای فیلتر اکتیو با طرح بسیار خوبی انجام می شود. مقدار THD از روش موجود به 2.09% کاهش می یابد.مشاهده می شود که مقدار THD داده شده سیستم کاهش می یابد و همچنین می توان از طیف هارمونیکی جریان مشاهده کرد که، الگوریتم پیشنهادی با توجه به استاندارد برای سطح هارمونیک در منبع جریان نامتعادل مناسب است و همچنین در شرایط متغیر بار.این الگوریتم همچنین توان راکتیو مورد نیاز بار را جبران می کند و ضریب توان سیستم را نیز بهبود می دهد.

8. بحث ونتیجه گیری

هدف از این مقاله دستیابی به کاهش مولفه های هارمونیکی یک سیستم قدرت که شامل یک با غیر خطی می باشد. این سیستم قادر به جبران هارمونیک ناشی از یکسوساز دیود سه فاز کنترل نشده است و نتایج مثبتی در جهت کاهش درصد THD جریان خط نشان می دهد.تئوری توان راکتیو در حذف هارمونیک ها و بهبود ضریب توان با کاهش ضریب THD جریان منبع اثبات می شود. با این حال، می تواند در انواع مختلفی از بارهای غیر خطی با افزایش انعطاف پذیری و استحکام سیستم را بهبود بخشد.

9. نتیجه

در این مقاله ما قادر به جبران هارمونیک ناشی از یکسو کننده دیود سه فاز کنترل نشده هستیم و با کاهش ضریب THD جریان خط نتیجه مثبت می دهد. در واقع، اعوجاج جریان منبع تغذیه به یک سطح رضایت بخشی با THD=2.09% کاهش یافته است. به عنوان یک نتیجه، هدف این مقاله دستیابی به کاهش مولفه های هارمونیکی یک سیستم قدرت شامل بار غیر خطی می باشد.