بررسی عملکرد فیلترهای اکتیو و پسیو و بهینه سازی آنها توسط فیلترهای هایبرید برای جبرانسازی هارمونیکها در سیستمهای HVDC

محسن صدیقی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه سمنان

محسن حسین زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد گناباد

کلمات کلیدی: فیلترهای پسیو ، اکتیو و هایبرید ، جبرانسازی، هارمونیکها ، HVDC

چکیده:

هارمونیکهای ایجاد شده توسط ادوات الکترونیک قدرت، بخاطر داشتن ذات غیرخطی و نیز عملکرد سوئیچینگ در سیستمهای قدرت تأثیرات نامطلوبی بر روی عناصر شبکه و کیفیت توان آن خواهد داشت. برای حذف این هارمونیکها می بایست از فیلترهای اکتیو و پسیو استفاده نمود که هرکدام دارای معایب و مزایایی می باشند.

در این مقاله به بررسی عوامل ایجاد هارمونیکها، روشهای حذف هارمونیکهای جریان و ولتاژ DC و AC در شبکه های HVDC ، بهبود کیفیت توان و نیز جبرانسازی بخشی از توان راکتیو مورد نیاز شبکه توسط فیلترهای پسیو، اکتیو و هایبرید میپردازیم. و مزایا و مشکلات، عملکرد و ساختار هر یک از انواع آنها را مورد بررسی قرار میدهیم.

فیلترهای هایبرید که ترکیب بهینه ای از فیلترهای پسیو و اکتیو میباشد در انواع جبرانسازیها عملکرد بسیار خوب و اقتصادی از خود نشان داده است، به همین دلیل امروزه این فیلتر در سیستمهای HVDC کاربرد بسیاری پیدا کرده است.

بررسی عملکرد فیلترهای اکتیو و پسیو و بهینه سازی آنها توسط فیلترهای هایبرید برای جبرانسازی هارمونیکها در سیستمهای HVDC

محسن صدیقی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه سمنان

محسن حسین زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد گناباد

کلمات کلیدی: فیلترهای پسیو ، اکتیو و هایبرید ، جبرانسازی، هارمونیکها ، HVDC

مقدمه

ادوات الکترونیک قدرت بخاطر داشتن ذات غیرخطی و نیز عملکرد سوئیچینگ (اغلب) باعث بوجود آمدن هارمونیکها میشوند که این اختلال هارمونیکی باعث کاهش کیفیت توان میگردد، که در این میان اختلالات هارمونیکی جریان را شاید بتوان به عنوان اصلی ترین عامل مخرب قلم داد کرد. و امروزه مجامع بین المللی استانداردهائی را در خصوص سقف مجاز تولید هارمونیکها وضع کرده اند،از آنها میتوان به مراجع معتبری چون استاندارد IEEE Std 519-1992 و IEC1000-3-2 اشاره کرد. در این راستا سیستمهایی که بتوانند هارمونیکها را جبران کرده و باعث افزایش کیفیت توان گردند(فیلترها) درخور توجه میباشد.که مانیز در اینجا میخواهیم به معرفی فیلترهای اکتیوپسیو و هایبرید بپردازیم.

عوامل ایجاد هارمونیکهای جریان

در بسیاری از موارد عملی و صنعتی منبع تحریک یک ولتاژ سینوسی خالص (تقریباً) است. بنابراین هارمونیکهای جریان اند که بطور عمده باعث بوجود آمدن بار هارمونیکی میشوند. بطور عمده دو عامل بارهای غیرخطی و بارهای متغیر با زمان (عمدتاً بارهای سوئیچینگ) باعث ایجاد جریان هارمونیکی میشود.

بارهای غیرخطی حتی با تحریک سینوسی خالص ولتاژ باعث پیدایش هارمونیک جریان می شوند. یکی از عمده ترین انواع بارهای غیرخطی که به وفور مورد استفاده قرار میگیرد، انواع یکسوسازهای دیودی میباشد، که باعث پیدایش هارمونیکهای شدیدی در جریان میشوند.

زیانبار بودن هارمونیکها وجود هارمونیکها در سیستم چه از نوع ولتاژ یا جریان میتوانند باعث بروز مشکلات و نیز به لحاظ اقتصادی زیانبار باشند. زیانبار بودن هارمونیکها را میتوان به سه دسته تقسیم کرد :

1. به لحاظ اقتصادی: وجود هارمونیکها باعث ایجاد توان راکتیو میشود که کاربر باید هزینهٔ این توان را پرداخت کند.

2. آسیب رساندن به سایر ادوات: آسیب رسانی به خطوط انتقال نیرو در اثر عبور جریانهای هارمونیکی که به دلیل افزایش تلفات مسیر در اثر افزایش مقاومت پوستی خطوط نیرو می باشد. همچنانکه مشخص است اثر پوستی ونیز اثر نزدیکی با افزایش فرکانس، افزایش می یابد. این افزایش مقاومت در طول مسیر باعث افزایش تلفات مدار می شود که نهایتاً منجر به افزایش گرما در خطوط انتقال خواهدشد.

3. اختلال در عملکرد سایر ادوات: چند نمونه از اختلالاتی که ممکن است در اثر وجود هارمونیکها بروز کند، عبارتند از؛ ایجاد خطا در وسایل اندازه گیری و سنسورها، بروز اختلال در وسایل الکترونیکی ولتاژ پائین، بروز اختلال در خطوط ارتباطی و مخابراتی، ایجاد لرزش در موتورهای القائی.

روشهای حذف هارمونیکها DC و AC

برای از بین بردن کامل و یا کاهش اثرات هامونیکهای تولیدی در سیستمهای قدرت می بایست از فیلترها استفاده کرد، که از روی ادوات استفاده شده، ونوع عملکرد آنها به دو دستهٔ فیلترهای اکتیو(فعال) و پسیو(غیر فعال) تقسیم میشوند.

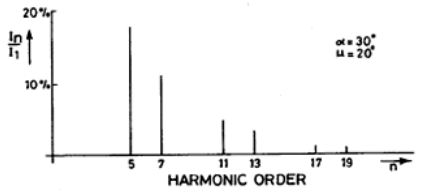
سیستم انتقال توان HVDC که امروزه به منظور افزایش توان انتقالی، افزایش پایداری و اتصال با شبکه های AC فرکانسهای مختلف به یکدیگر استفاده می شود از مبدلهای الکترونیک قدرت تشکیل شده است و تولید جریان های هارمونیکی می کنند، که یکی از عوامل اصلی ایجاد هارمونیکها هستند.مرتبهٔ هارمونیکها ایجاد شده در یک مبدل P پالسه در آنها به صورت زیر است:

سمت AC: هارمونیک های جریان از مرتبهٔ $Pk \pm 1$ ایجاد میشود. (هارمونیک های فرد جریان)

سمت DC: هارمونیکهای ولتاژ از مرتبهٔ Pk ایجاد می کند. (هارمونیکهای زوج ولتاژ)

این هارمونیکها به عنوان هارمونیکهای مشخصه تعریف مـی شـوند. البتـه وجـود شـرایط نامتقـارن و غیرایـده آل باعـث ایجـاد هارمونیکهایی از مرتبه های دیگر نیز می شود که تحت عنوان هارمونیکهای غیرمشخصه شناخته می شوند.

در شکل(1) مقادیر نمونهٔ هارمونیکهای جریان را بصورت درصدی از مؤلفهٔ اصلی برای یک مبدل6 پالسه نشان میدهد.



زاویهٔ کنترل $\alpha = 30°$ و زاویهٔ همپوشانیِ $u = 20°$

شکل(1): درصد هارمونیکهای جریان یک مبدل 6 پالسه

I. فیلترهای passive (غیر فعال)

فیلترهای پسیو از اولین انواع فیلتر بوده که در سیستمهای قدرت مورد استفاده قرار گرفتند. این فیلترها تشکیل شده اند از سلفها و خازنهایی که بصورت ترکیبهای مختلف سری و موازی در مسیر هارمونیکها قرار میگیرند. که در فرکانس هارمونیکها یا با یک امپدانس سری زیاد از عبور آنها جلوگیری میکنند و یا اینکه با امپدانس موازی کم آنها را منحرف میکنند، و یا میتوان از هر دو حالت سری و موازی با هم استفاده نمود.

فیلتر پسیو سری: این فیلتر می بایست تمام جریان مدار اصلی خط را از خود عبور دهد، و به همین دلیل عایق بندی آنها باید برای کل ولتاژ فاز نسبت به زمین در نظر گرفته شود. (هزینهٔ بالا)

فیلتر پسیو موازی: این فیلتر از یک سمت زمین شده و نیز فقط هارمونیکهای جریان را که برای آن تنظیم شده بعلاوهٔ جریان هارمونیک اصلی که خیلی کوچکتر از مقدار آن در مدار اصلی است را از خود عبور میدهد.

بنابراین یک فیلتر موازی در مقایسه با فیلتر سری با همان تأثیر خیلی ارزانتر خواهد بود. به همین دلیل فیلترهای موازی رایجتر می باشند، و آنها فقط در سمت ac مورد استفاده قرار میگیرند. فیلترهای پسیو را به دو روش تک تنظیمی و فیلتر بالاگذر طراحی میکنند.

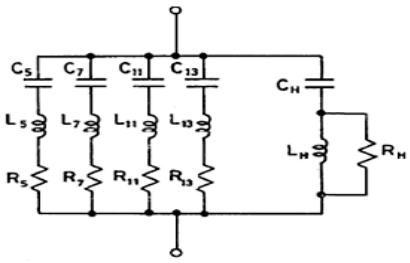
فیلتر تک تنظیمه: فیلتر تک تنظیمه از یک مدار RLC سری تشکیل شده که برای یک فرکانس مشخص با مرتبهٔ پایین رزونانس کرده و یک مسیر با امپد انس کم برای جریان هارمونیکی ac ایجاد می نماید.

در شبکه HVDC ذکر شده بوسیلهٔ 4 فیلتر تک تنظیمه هارمونیکهای مرتبهٔ 5،7،11،13 (مرتبه های پایین) رزونانس میشوند.که فرکانس رزونانس فیلتر تک تنظیمه برابر است با:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

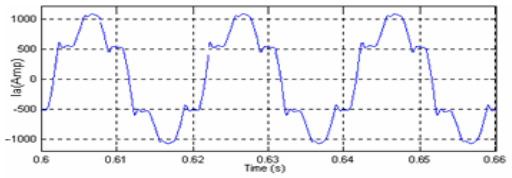
فیلتر بالاگذر: فیلتر بالاگذر تشکیل شده است از یک مدار RL که با یک خازن سری شده. که در فرکانس اصلی خود یک راکتانس خازنی قابل ملاحظه را نشان میدهد و برای مجموعهٔ وسیعی از هارمونیک های مرتبهٔ بالا امپدانس کوچک و عمدتاً مقاومتی را ارائه میکند. ساختار و پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر مرتبهٔ دوم، که نسبت به آرایش های دیگر دارای خاصیت فیلتری مناسب تر و تلفات قابل قبول تری است. که در اینجا برای هارمونیک مرتبهٔ 17 و بالاتر استفاده میشود.

در شکل (2) آرایش فیلتر پسیو طراحی شده برای شبکهٔ HVDC ذکر شده آمده است که از 4 فیلتر تک تنظیمه و 1 فیلتر بالاگذر تشکیل شده است.



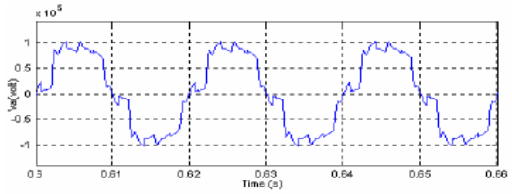
شکل (2): آرایش فیلترهای AC پسیو

شکل موج جریان AC بدون نصب فیلترهای هارمونیکی بصورت شکل (3)در می آید. مشاهده میشود که شکل موج جریان از حالت سینوسی خارج شده و دارای هارمونیک های بسیاری میباشد.



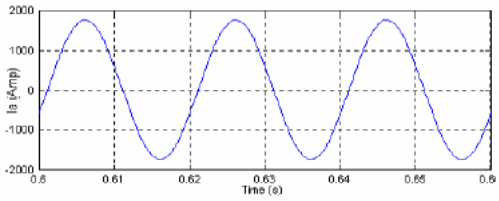
شکل(3): شکل موج جریان AC قبل از نصب فیلتر

و این هارمونیک های جریان که به شبکه تزریق شده و باعث اعوجاج ولتاژ نیز می شوند. شکل موج ولتاژ شبکه و طیف هارمونیکی آن قبل از نصب فیلتر در شکل(4) نشان داده شده است.

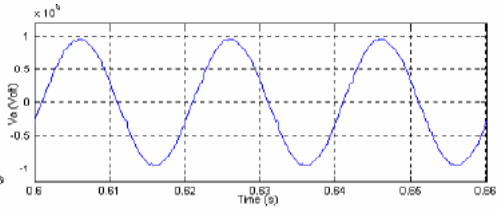


شکل (4): شکل موج ولتاژ AC قبل از نصب فیلتر

حال بعد از نصب فیلترهای پسیو، مشاهده میشود که شکل موجهای جریان و ولتاژ AC تا حد زیادی سینوسی شده و درصد بالایی از هارمونیکها حذف میشوند که شکل موجهای آنها بعد از نصب فیلترهای پسیو طراحی شده در شکلهای (5) و (6) آمده است.



شکل(5): جریان AC بعد از نصب فیلتر پسیو



شکل (6): ولتاژ AC قبل از نصب فیلتر پسیو

لازم بذکر است که فیلترها علاوه برحذف هارمونیکهای جریان،توان راکتیو شبکه وهارمونیکهای ولتاژ راهم جبران میکنند.

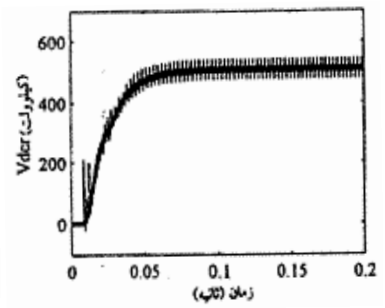
فیلترهای سمت DC

همانطور که گفته شد، در سمت DC ، مبدل ولتاژ از مرتبهٔ KP وجود دارد که این ولتاژهای هارمونیکی، با توجه به امپدانس خط انتقال و همچنین سلف سمت DC ، یک جریان هارمونیکی را تولید میکنند که این جریانهای هارمونیکی در عبور از خط انتقال DC ، ایجاد یک میدان الکترومغناطیسی در اطراف خود میکنند، که این میدان بصورت نویز به روی سیستمهای مخابراتی اطراف خط تأثیر نامطلوبی میگذارد.

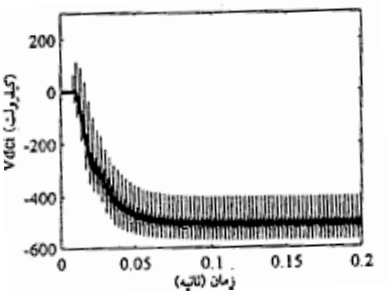
فیلترهای سمت DC ، اغلب از نوع بالاگذر می باشند و یک مسیر با امپدانس کوچک، در مسیر جریاتهای هارمونیکی سمت DC بوجود می آورند، و باعث میشوند که جریان بدون هارمونیک وارد خط انتقال DC شود. که اغلب یک راکتور dc بصورت یک المان سری، بسته به نوع فیلتر، تمام یا قسمتی از این فیلترهای dc را تشکیل میدهند.

البته بیشتر سعی شده که بجای نصب فیلتر در سمت DC، در سیستم مخابراتی دست کاری شود، زیرا اقتصادی تر میباشد.

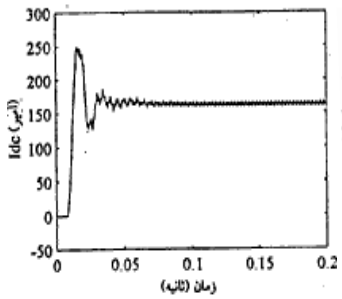
در شکلهای(7)،(8)و(9) شکل موجهای جریان و ولتاژDC قبل و بعداز نصب فیلترdc آمده است.



شکل(7): ولتاژDC سمت یکسوساز
نازک: برای قبل از نصب فیلترdc
ضخیم: برای بعد از نصب فیلترdc



شکل(8): ولتاژDC سمت اینورتر
نازک: برای قبل از نصب فیلترdc
ضخیم: برای بعد از نصب فیلترdc



شکل(9): جریان سمت DC ،
بعد از نصب فیلترdc

II. فیلترهای active (فعال)

روش معمول در جبرانسازی هارمونیکی استفاده از فیلتر پسیو موازی بوده است. در کنار مزایایی همچون سادگی، هزینه پایین و بازده بالا; مشکلاتی از قبیل اینکه، فقط هارمونیکهای معینی را حذف می کنند وابستگی مشخصه فیلترینگ به امپدانس منبع، امکان ایجاد رزونانس سری و موازی بین فیلتر پسیو و امپدانس منبع و شبکه، ونیز حجم بزرگ المانهای آنها، در رابطه با استفاده از این فیلترها وجود دارد. از این رو برای حل مشکلات موجود در استفاده از فیلترهای پسیو راه حل های دینامیکی و قابل تنظیم مطرح شدند که بطور کلی تحت عنوان فیلترهای اکتیو شناخته می شوند.

فیلترهای اکتیو همانند منابع جریان کنترل شده عمل نموده و با مقایسه جریان بار، جریان و یا ولتاژ منبع; با شکل موجهای سینوسی، جریانهای هارمونیکی را با همان اندازه و اختلاف فاز $180°$ به مدار تزریق میکنند تا شکل موجهای شبکه توزیع سینوسی گردد. آنگاه مجموعهٔ بار با جبرانساز از دید منبع مانند یک مقاومت خالص است و در نتیجه جریان راکتیو (هارمونیکها) از منبع نمی گذرد. به عبارت دیگر منبع، توان اکتیو مورد نیاز و فیلتر اکتیو (APF) توان راکتیو مورد نیاز بار را فراهم می آورند؛ لذا ضریب توان منبع واحد می شود.

فیلترهای اکتیو مشخصه فیلترینگ بهتری نسبت به فیلترهای پسیو دارند. و نیز میتوانند هارمونیکهای متعددی را با هم از بین ببرند و مشکلات ایجاد رزونانس با شبکه نیز در آنها وجود ندارد.

عمدتاً این فیلترها برای جبرانسازی توان راکتیو هارمونیکی طراحی شده اند ولی میتوان فیلتر را به گونه ای طراحی کرد که علاوه بر توان راکتیو هارمونیکی، توان راکتیو شبکه را نیز جبران کنند. فیلترهای اکتیو را میتوان برای موارد زیر طراحی کرد:

1. جبران هارمونیکهای جریان (اصلی ترین هدف)
2. جبران توان راکتیو جابجائی و اصلاح ضریب قدرت
3. جبران هارمونیکهای ولتاژ منبع وبهبود کیفیت ولتاژ بار
4. ایجاد تعادل بار در سیستمهای نامتعادل سه فاز

حال به بررسی انواع فیلترهای اکیو میپردازیم:

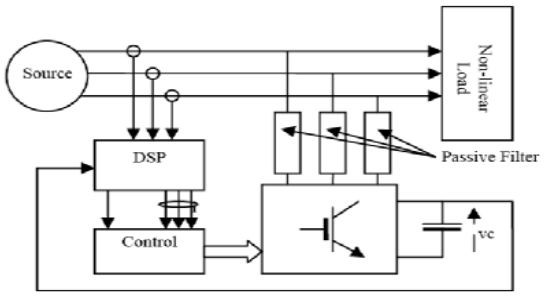
فیلتر اکتیو موازی

این فیلترها توسط یک ترانسفورماتور به شبکه وصل میشود. در این حالت جریان خط، مجموع جریان بار و جریان فیلتر میباشد. که هدف اصلی آن هم جبرانسازی هارمونیکهای جریان بارهای غیر خطی است. ودر صورت نیاز میتوانند بعنوان جبرانساز توان راکتیو و متعادل کردن جریانهای نامتعادل هم مورد استفاده قرار گیرند.

چگونگی عملکرد سیستم را میتوان بصورت زیر خلاصه کرد:

1. استخراج جریان هارمونیکی منبع به عنوان جریان مرجع
2. ساخت جریانی برابر جریان مرجع ولی با $180°$ اختلاف فاز و تزریق آن به شبکه جهت جبرانسازی جریانهای هارمونیکی بار
3. کنترل سیستم داخلی جهت ارضاء شرط کنترل پذیری

ساختار کلی یک فیلتر اکتیو قدرت موازی جهت جبرانسازی هارمونیکهای جریان در شکل (10) نشان داده شده است.



شکل (10): ساختار کلی یک فیلتر اکتیو موازی

فیلتر اکتیو سری

این فیلترها توسط یک ترانسفورماتور بطور سری به شبکه متصل میشوند و با افزودن ولتاژ تولیدی خود به ولتاژ شبکه، مولفه های هارمونیکی ولتاژ را حذف میکنند.و در اینحالت، ولتاژ دو سر بار بصورت سینوسی و بدون اعوجاج باقی میماند.

فیلترهای اکتیو سری- موازی

این نوع فیلتر را که فیلتر فعال جامع هم می نامند، دارای قابلیت حذف هارمونیکهای ولتاژ و جریان، تنظیم ولتاژ ترمینال، متعادل کردن ولتاژ ترمینال و جبرانسازی توالی منفی ولتاژ میباشد.

فیلترهای اکتیو هایبرید

فیلتر اکتیو هایبرید قادر به حذف هارمونیکهای ولتاژ و تنظیم ولتاژ با قیمت مناسب می باشد.

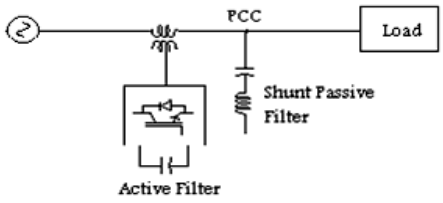
لازم به ذکر است که بکار بردن فیلتر اکتیو به تنهایی در شبکه هزینه های زیادی را به همراه دارد. برای کاهش این هزینه ها با حفظ مشخصه فیلترینگ،و جلوگیری از امکان ایجاد رزونانس سری و موازی بین فیلتر پسیو و امپدانس منبع و شبکه، از ترکیب هر دو این فیلترها (اکتیو و پسیو) که فیلترهای هیبرید نامیده میشوند، استفاده میشود. فیلترهای هیبرید به دلیل استفاده از فیلتر اکتیو با ظرفیت کوچک (بدلیل صرف هزینهٔ کمتر) مورد توجه بسیاری واقع شده است.

در فیلترهای هیبرید با استفاده از یک فیلتر اکتیو با ظرفیت بسیار کوچک مشخصه فیلترینگ فیلتر پسیو بهبودمی یابد، که در نتیجه مشکلات فیلتر پسیو را بهبود بخشیده شود ولی با استفاده از فیلتر اکتیو با ظرفیت بسیار کوچک. سعی ما بر این است که همواره میزان جریان عبوری از فیلتر اکتیو حداقل گردد، تا هزینه به میزان چشمگیری کاهش یابد. (طراحی نقطهٔ بهینهٔ فیلتر هیبرید)

در هردو این فیلترهای هیبرید سری و موازی قسمت پسیو آنها بصورت موازی با شبکه قرار میگیرد و فقط فیلتر اکتیو آنهاست که با شبکه موازی ویا با فیلتر پسیو سری میشود.

الف) فیلتر هایبرید سری

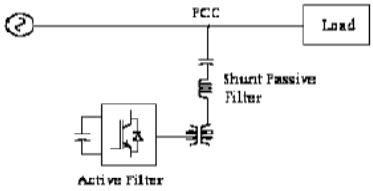
در این ساختار که در شکل(11) نشان داده شده است، فیلتر اکتیو سری با ایجاد یک مسیر امپدانس بالا از جریان یافتن هارمونیکهای بار به سمت منبع جلوگیری کرده و آنها را به فیلتر پسیو روانه میکند. امپدانس بالای ایجاد شده بوسیلهٔ فیلتر اکتیو سری با تولید ولتاژ هارمونیکی با همان فرکانس هارمونیکهای جریان بار که باید حذف شوند توسط فیلتر اکتیو حاصل می شود.



شکل(11): فیلتر هیبرید سری

ب) فیلتر هایبرید موازی

فیلتر هایبرید موازی با استفاده از ترکیب سری فیلتر اکتیو و پسیو در شکل(12) نشان داده شده است. در این ساختار فیلتر اکتیو به طور مستقیم در جبرانسازی شرکت نمی کند، بلکه فیلتر اکتیو به بهبود مشخصه جبرانسازی فیلتر پسیو کمک میکند..



شکل(12): فیلتر هیبرید موازی

مقادیر عناصر فیلتر پسیو آن با مشخص بودن اندازه خازن، ضریب کیفیت و مرتبه هارمونیکی فیلتر کاملا تعیین میشوند. اغلب فیلتر اکتیو به گونه ای کنترل می شود که به صورت یک منبع ولتاژ کنترل شده با جریان هارمونیکی منبع عمل کند، و در واقع به صورت یک مقاومت k اهمی در فرکانس هارمونیکها عمل می کند.

نتیجه گیری

مزایای فیلتر پسیو عبارتند از: سادگی، هزینه پایین و بازده بالا می باشد. ولی در عین حال دارای مشکلاتی که: فقط هارمونیکهای معینی را حذف می کنند، وابستگی مشخصه فیلترینگ به امپدانس منبع، امکان ایجاد رزونانس سری و موازی بین فیلتر پسیو و امپدانس منبع و شبکه، ونیز حجم بزرگ المانهای آنها، در رابطه با استفاده از این فیلترها وجود دارد.

به همین دلیل با استفاده از فیلترهای اکتیو مشکلات فوق را بر طرف کرده اند و برای اقتصادی تر شدن جبرانسازی از ترکیب ایندو (فیلتر اکتیو هایبرید) استفاده میشود. که در طراحی فیلتر هایبرید به دلیل بالا بودن هزینهٔ جبرانسازی فیلتر اکتیو همواره سعی میشود که استفاده از آن min باشد.

حال به مقایسهٔ بین انواع فیلترهای اکتیو در جبرانسازی هرکدام از مولفه های نامطلوب در سیستمهای قدرت میپردازیم. که در جدول شمارهٔ 1 که در ضمیمه آمده است، برای فیلترهای فعال:سری، موازی، هیبرید و سری - موازی بیان شده است.

جدول(1)دسته بندی فیلتر های فعال برای جبرانسازی (x مؤثر - xx بسیار مؤثر - xxx شدیداً مؤثر)

کد کاربرد	کاربرد جبرانسازی برای ...	فیلتر های فعال			
		سری	موازی	هایبرید	سری-موازی
A	هارمونیک‌های جریان		xx	xxx	x
B	توان راکتیو		xxx	xx	x
C	متعادل کردن بار		xx		x
D	حذف جریان توالی صفر		xx	x	
E	هارمونیک‌های ولتاژ	xxx		xx	x
F	تنظیم ولتاژ	xxx	x	xx	x
G	متعادل کردن ولتاژ	xxx		xx	x
H	حذف فلیکر ولتاژ	xxx	xx		x
I	کمبود ولتاژ	xxx	x	xx	x
J	(A+B)		xxx	xx	x
K	(A+B+C)		xx		x
L	(A+B+C+D)		x		
M	(E+F)	xx			x
N	(E+F+H+L)	xx			x
O	(E+A)			xx	x
P	(E+F+A+B)			x	xx
Q	(F+G)	xx		x	
R	(B+C)		x		
S	(B+C+D)		x		
T	(A+B+G)		xx	x	
U	(A+C)		x		
V	(A+G+D)		x	xx	

منابع

[1]. El-Habrouk M., Darwish M.K. and Mehta P., "Active Power Filter: A Review", *IEE Proc.-Electr. Power Appl.,Vol.147, No.5, Sep.2000.*

[2]. Mohammad M.Saied, Sami .A.Khader, "Optimal design of AC filter circuits in HVDC converter stations", 0-7803-3008-0/95 $4.00-1995 IEEE

[3]. D. Rivas, L. Moran, J. Dixon, J.R. Espinoza, "Improving passive filter compensation performance with active techniques", IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 50, No. 1, pp. 161-170, Febuary 2003.

[4]. Esther T. and Pomilio A., "Shunt Active Power Filter Synthesizing Resistive Loads", *IEEE Trans. on Power Electr., Vol.17, No.2, Mar.2002.*

[5]. F. Z. Peng, H. Akagi, A. Nabae, "A New Approach to Harmonic Compensation in Power System-A Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters", *IEEE Trans. Ind. Appl*., Vol. 26, No. 1990 ,pp . 983–990.

[6]. H. Fujita, H. Akagi, "Design Strategy for the Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters",*Industry Applications SocietyAnnul Meeting,*1991, pp.898– 903

[7]. Basic Duro, V.S , Rmsden, Peeter Muttik, "Minimization of Active Filter Rating in High Power Hybrid Filter Systems", *International Conference on Power Electronics and Drive System*s *PEDS'99*, 1999, pp. 104.3 – 1048.

[8]. L. Chen, A.V. Jouanne, "A comparison and assessment of hybrid filter topologies and control algorithms", IEEE 32nd Conf. on Power Electronics Specialists, Vol. 2, pp.565-570, June 2001.

[9]. Y.Wang, Z.Wang, J.Yang, J.Liu, Z.Fu, Y.Duan, "A new hybrid parallel active filter",IEEE 34th Conf. on Power Electronics Specialist,Vol.3, pp.1049-1054,June 2003.