هشتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران
۳۰ و ۳۱ اردیبهشت ۱۳۸۲

مروری بر فیلترهای فعال قدرت و بررسی موارد کاربردی آنها در شبکه‌های توزیع ژاپن

رضا نوروزیان مهرداد عابدی گئورگ قره‌پتیان سید حمید فتحی

دانشکدهٔ برق-دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(قطب علمی قدرت)
تهران-ایران

واژه‌های کلیدی: کیفیت توان، شبکه‌های توزیع، فیلترهای فعال قدرت، CUPS

چکیده

این مقاله مروری بر کاربرد فیلترهای فعال قدرت-APF (Active Power Filter) در شبکه‌های توزیع داشته است. ابتدا پس از بیان ضرورت کاربرد این ادوات در شبکه‌های توزیع، به موارد کاربرد این فیلترها در کشور ژاپن پرداخته است. با توجه به روند گسترش موضوع در ژاپن امکان کاربرد فیلترهای فعال در ایران را مورد بررسی قرار داده است.

۱- مقدمه

امروزه، با توجه به کاربرد وسیع بارهای غیر خطی و حساس در شبکه‌های توزیع، از جمله این بارها می‌توان به یکسوکننده‌های دیودی و تریستوری، سیکلوکانورتورها و راه‌اندازهای AC و DC و از مجموعه وسائل حساس الکترونیکی می‌توان به کامپیوتر، تجهیزات بیمارستانی و PLC اشاره نمود[۱].

مسئله کیفیت توان بیشتر از هر زمان دیگر مورد توجه قرار گرفته است. اکثر بارهای حساس، جهت عملکرد مناسب به منابع ولتاژ سینوسی نیاز دارند. از طرفی رعایت کیفیت توان در محدوده استاندارد (IEEE-۵۱۹) الزامی است[۲]. در نتیجه برای مقابله با اغتشاشات و بهبود کیفیت توان، در سالهای اخیر روشهای زیادی پیشنهاد شده است یکی از این روشها مبتنی بر تکنولوژی ادوات الکترونیک قدرت می‌باشد.

این تکنولوژی جدید در شبکه‌های توزیع تحت عنوان CUPS[۱] مطرح شده است که مفهوم آن « **بکارگیری کنترل کننده‌های الکترونیک قدرت در سیستم‌های توزیع، جهت بالا بردن کیفیت توان و قابلیت اطمینان مشترکین** » است[۳]. باید توجه داشت که کاربرد و نحوه کنترل این تجهیزات کاملاً متفاوت از به کارگیری کنترل‌کننده‌های مورد استفاده در سیستم‌های انتقال تحت عنوان ادوات FACTS[۲] خواهد بود. استفاده از ادوات CUPS در شبکه‌های توزیع برای بالابردن قابلیت اطمینان و کیفیت برق می‌باشد. این ادوات شامل بهسازهای سری، موازی و سری-موازی می‌باشند[۴ و ۵].

فیلترهای فعال قدرت بعنوان زیر مجموعهٔ ادوات کنترل پذیر پیوسته CUPS جهت بهسازی و جبرانسازی هارمونیکها و کاهش اعوجاج شکل موجهای جریان و ولتاژ شبکه استفاده می‌شوند. این فیلترها با تولید جریان و ولتاژ مناسب و تزریق آنها به شبکه، عمل جبرانسازی را انجام می‌دهند. در ادامه به معرفی فیلترهای فعال قدرت (APF) می‌پردازیم.

۱- CUstom Power Systems

۲- Flexible AC Transmission System

۲-فیلترهای فعال قدرت

مفهوم استفاده از فیلترهای فعال قدرت برای اولین بار در دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی جهت بهبود مشکلات کیفیت توان در نقطه اتصال به شبکه توزیع پیشنهاد شد. ولی بکارگیری عملی این ادوات در دهه ۸۰ میلادی مسیر گشت[۶].

هم اکنون افزایش تناسبی بارهای غیرخطی در شبکه‌های توزیع باعث ایجاد اعوجاجات در شبکه گشته است. بکارگیری فیلترها نه تنها در صنعت و سیستم قدرت افزایش یافته بلکه در مناطق مسکونی، بیمارستانها، نیروگاه‌های آبی و کارخانجات نورد نیز نصب شده است.

فیلتر های فعال زیر مجموعه ادوات کنترل پذیر پیوسته CUPS می‌باشند. فیلترهای فعال فقط محدوده کوچکی از مسائل کیفیت توان را پوشش می‌دهند که همان حذف نویزها یا هارمونیک‌های شکل موج‌های جریان و ولتاژ شبکه می‌باشند. در حالی که تنوع اغتشاشات سیستم توزیع همانطور که ذکر آن خواهد رفت گستره وسیعی را شامل می‌شود که برای حل این پدیده ها باید چاره جست. برای حل این مشکل یک Custom Power Park پیشنهاد شده است در این پارک ترکیبی از ادوات کنترل پذیر پیوسته با توجه به قابلیت حذف اغتشاشات استفاده می‌شود[۳].

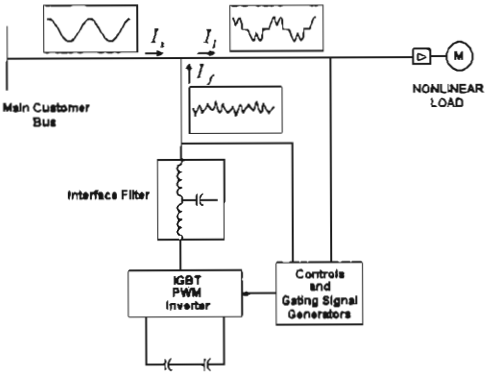
فیلترهای فعال در ساختار مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند:

- فیلتر های فعال سری
- فیلتر های فعال موازی
- بهساز یکپارچه کیفیت توان (ترکیب فیلترهای فعال سری و موازی)
- فیلتر های هایبرید (ترکیب فیلترهای فعال سری با فیلترهای پسیو موازی)

فیلترهای فعال مشخصه فیلتری بهتری نسبت به فیلترهای پسیو دارند اما هزینه فیلترهای فعال بیشتر از فیلترهای پسیو است. فیلترهای هایبرید که شامل فیلترهای فعال سری با فیلترهای پسیو موازی‌اند عملکرد مطلوبی از خود نشان می‌دهند. فیلترهای نوع هایبرید در سال ۱۹۸۸ برای کاربردهای توان بالا پیشنهاد شده‌اند[۶]. مبدل‌های منبع ولتاژ و جریان با اتصال سری و موازی خود اساس، ساختار فیلتر های فعال را تشکیل می‌دهند. فیلتر فعال موازی توسط یک ترانسفورمر به شبکه وصل می‌شود در این حالت جریان خط، مجموع جریان بار و جریان فیلتر می‌باشد. هدف اصلی یک فیلتر فعال موازی جبرانسازی هارمونیک‌های جریان یک بار غیر خطی است. در صورت نیاز فیلترهای فعال موازی می‌توانند جبرانسازی توان راکتیو (همانند D-STATCOM) و متعادل کردن جریانهای نامتعادل را به انجام برسانند. شکل (۱) طرز عملکرد فیلتر فعال موازی را نشان می‌دهد[۷]. برای حذف نوسانات کلید زنی از یک فیلتر پسیو بالا گذر درجه دوم $L-C$ و یا درجه اول $R-C$ استفاده می‌شود.

فیلترهای فعال سری، مبدل الکترونیک قدرت، توسط یک ترانسفورمر، بطور سری به شبکه متصل می‌شود و با افزودن ولتاژ تولیدی خود به ولتاژ شبکه، جبرانسازی مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ شبکه به انجام می‌رساند[۸]. در این حالت ولتاژ دو سر بار بصورت سینوسی و بدون اعوجاج باقی می‌ماند. در صورت نیاز این جبرانساز می‌تواند جبرانسازی توالی منفی ولتاژ، تنظیم ولتاژ ترمینال، جبرانسازی فلیکر ولتاژ را نیز به عهده گیرد. فیلترهای سری-موازی که آن را فیلتر فعال جامع می‌شناسند، دارای قابلیت حذف هامونیک‌های ولتاژ و جریان، تنظیم ولتاژ ترمینال، متعادل کردن ولتاژ ترمینال و جبرانسازی توالی منفی ولتاژ می‌باشند. این فیلترها قیمت‌گران و مدارکنترلی پیچیده‌ای دارند[۹]. عنصر ذخیره کننده لینک DC (خواه سلف یا خازن) ما بین دو مبدل ولتاژ و جریان قرار می‌گیرد.

فیلتر هایبرید قادر به حذف هارمونیک‌های ولتاژ و تنظیم ولتاژ با قیمت مناسب می‌باشد. قسمت موازی حذف هامونیک های مرتبه پائین را انجام می‌دهد. بعلت استفاده از قطعات نیمه هادی در فیلترفعال سری قیمت و اندازه فیلتر (تا حدود ۵٪ اندازه بار) کاهش می‌یابد[۹]. جدول (۱) توانائی انواع فیلترهای فعال قدرت در حذف مشکلات کیفیت توان را دسته بندی کرده است.



شکل (۱) فیلتر فعال موازی با شکل موج‌های نشان دهنده جبرانسازی هارمونیک برای یک بار ASD[۳]

۳- Adjustable Speed Drive

جدول(۱)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	

۳- استراتژی کنترلی فیلترهای فعال

کنترل فیلترهای فعال در دو حوزهٔ زمان و فرکانس انجام می‌شود. کنترل در حوزهٔ زمان، ولتاژ و جریان (آلودهٔ به هارمونیک) با سیگنال مرجع مقایسه می‌شود و سیگنال خطا به عنوان سیگنال ورودی، مدار کنترلی استفاده می‌شود. تئوری توان لحظه‌ای، تئوری قاب مرجع همزمان و بالانس توان لحظه‌ای در بدست آوردن سیگنال‌های مرجع جبرانساز استفاده می‌شود [۱۰]. استراتژی کنترل اصلی حوزهٔ فرکانس با آنالیز فوریه کار می کند[۹].

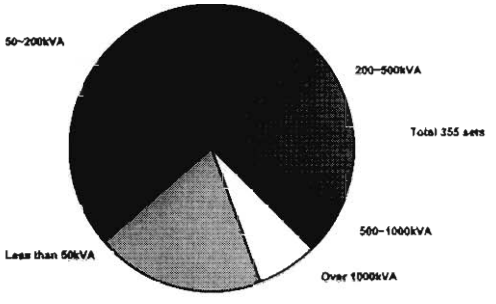
اجرای استراتژی کنترلی در فیلترهای فعال در سه مرحله انجام می‌شود:

- در قدم اول، سیگنال های ولتاژ و جریان توسط ترانسفورهای ولتاژ (PT's) و جریان (CT's) و سنسورهای اثر هال اندازه‌گیری می‌شوند.
- در قدم دوم، فرمانهای جبرانسازی در سطوح ولتاژ و جریان به وسیلهٔ یکی از روشهای کنترلی ارائه شده در [۱۰] استخراج می‌شوند.
- در قدم آخر، سیگنال‌های آتش برای کلید های نیمه هادی به وسیلهٔ PWM، هیسترزیس، روش

کنترل منطق فازی ویا مود لغزشی تولید می‌شود. فیلترهای فعال توسط قطعات دیجیتال یا قطعات میکروالکترونیک پیشرفته کنترل می‌شوند.

۴- مروری بر کاربرد فیلترهای فعال قدرت در ژاپن

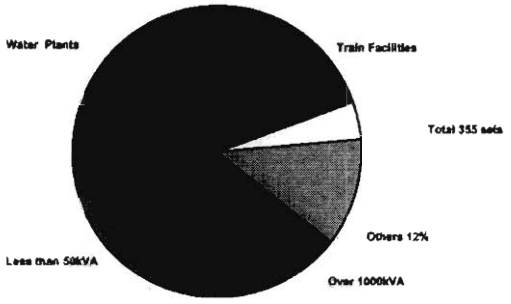
بعد از سال ۱۹۸۳، فیلترهای فعال قدرت زیادی در کاربردهای عملی در ژاپن نصب شده‌اند. شکل (۲) توزیع تعداد فیلترهای فعال قدرت نصب شده از ژوئن سال ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ را نشان می‌دهد. طبق تحقیق و بررسی که توسط موسسهٔ مطالعاتی IEEJ[۴] بر روی سیستم‌ها و مدارت تبدیل انرژی با استفاده از فیلترهای فعال قدرت انجام شده است[۱۱]. تعداد APFهای نصب شده در فاصله زمانی این سال‌ها ۳۵۵ دستگاه است. در حدود ۶۹٪ از این دستگاه‌ها ظرفیت نامی کمتر از ۲۰۰ kVA دارند. تعداد APFهای با ظرفیت نامی کمتر از ۵۰ kVA در فاصله زمانی این سال‌ها برای جبرانسازی هارمونیکی بسرعت افزایش یافته است. نتیجه توجه به این نکته اولین فیلتر اکتیو نصب شده در پست مترو Sapporo در سال ۱۹۸۳ می‌باشد.



شکل (۲) توزیع تعداد فیلترهای فعال قدرت نصب شده از سال ۱۹۹۱ الی ۱۹۹۵ با توجه به رنج قدرت آنها

طبق تحقیق و بررسی دیگری، بطور تقریبی ۱۰۰ دستگاه APF در فواصل سال‌های ۱۹۸۳ الی ۱۹۹۱ نصب شده است[۱۱] بنابراین جمعاً در حدود ۴۵۰ APF از سال‌های ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۵ نصب شده است. طبق بررسی و تحقیق‌های دیگری مشخص شده است که بعد از سال ۱۹۹۶ در حدود ۱۰۰ دستگاه فیلتر فعال قدرت دیگر در ژاپن نصب شده است. بنابراین تعداد کل فیلترهای فعال قدرت نصب شده در کشور ژاپن تا آوریل ۱۹۹۸ به بیش از ۵۵۰ دستگاه می‌رسد. این روند در سال‌های اخیر روبه رشد است.

شکل (۳) توزیع انواع کاربردهای عملی فیلترهای فعال قدرت در کشور ژاپن را نشان می‌دهد. بطور تقریبی بیش از ۴۰٪ تعداد کل فیلترها جهت جبرانسازی هارمونیک‌های ناشی از تنظیم کننده سرعت موتورهای پمپ در نیروگاه آبی استفاده گردیده است. در حدود ۱۵٪ از تعداد کل فیلترهای فعال جهت جبرانسازهای توان راکتیو استفاده شده است. دیگر کاربردها برای کارخانجات و مناطق مسکونی است.



شکل (۳) توزیع انواع کاربرد فیلترهای فعال قدرت با توجه به رنج قدرت آنها

۳۵۱ عدد تا از ۳۵۵ دستگاه فیلتر فعال موازی و ۴ عدد از آنها فیلتر فعال سری با فیلترهای پسیو LC است. در نتیجه بیش از ۹۸٪ نوع موازی و کمتر از ۲٪ از نوع سری است. طبق این تحقیق تا بحال فیلتر فعال یکپارچه (UPQC) نصب نشده است.

اگرچه مبدل اولین فیلتر فعال از نوع منبع جریان با کلیدهای GTO می‌باشد. ولی در کاربردهای اخیر با توجه مزایای مبدل منبع ولتاژ از قبیل تلفات کمتر و هزینه پایین‌تر، از این مبدلها با کلیدهای GTO و یا IGBT استفاده شده است. با پیشرفت در تکنولوژی ادوات نیمه هادی انتظار می‌رود برای کاربرد توان بالا در حد MW ساخته شود.

شرکت‌های معتبر ژاپنی زیادی از قبیل Toshiba، Mitsubishi، Fuji Electric و Meidensha در زمینه تکنولوژی ساخت فیلترهای فعال قدرت فعالیت داشته‌اند. بطور نمونه تنها شرکت Meidensha صد دستگاه فیلتر فعال موازی در محدودهٔ ظرفیتی ۵۰ kVA تا ۱۴/۴ MVA برای سالهای ۱۹۹۶ الی۱۹۹۷ فروخته است[۶].

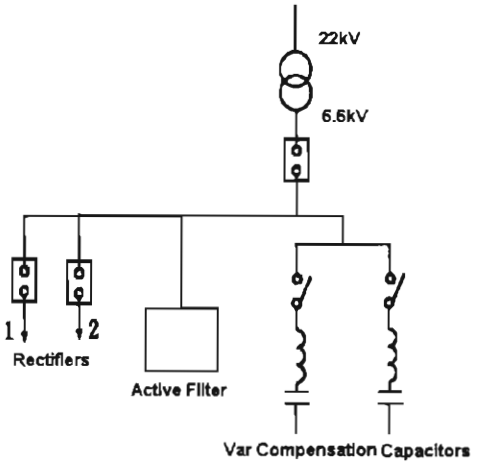
۴- Institute of Electrical Engineers of Japan

۵- نمونه هایی از کاربرد عملی فیلترهای فعال قدرت در ژاپن

در پاراگراف‌های زیر به بررسی خصوصیات کلی نمونه‌هایی از کاربردهای عملی فیلترهای فعال خواهیم پرداخت:

الف-کاربرد در یک پست مترو در Sapporo (شکل (۴)) [۱۱].

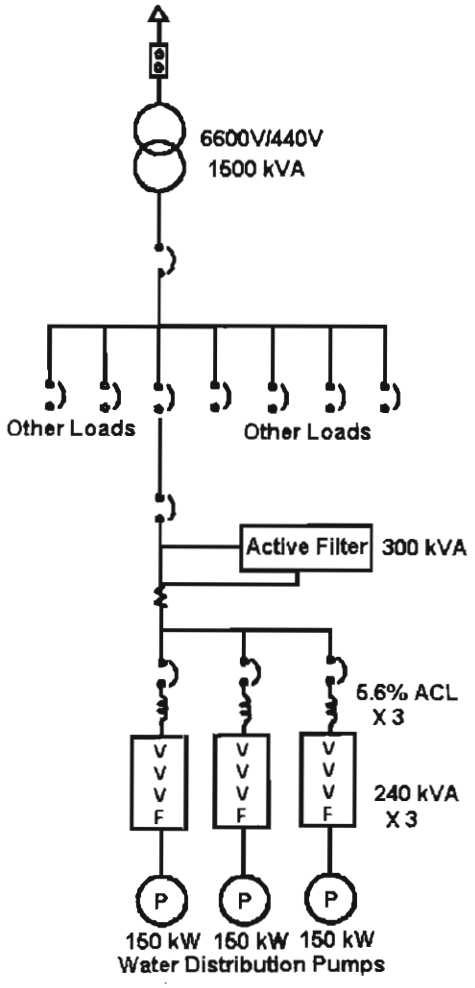
- اولین کار عملی در ژاپن در سال ۱۹۸۳
- مبدل منبع جریان با کلیدهای الکترونیک قدرت GTO
- ظرفیت جبرانسازی ۲۰۰ kVA
- جهت جبرانسازی هارمونیک‌های غیرمشخصه مرتبه چهارم ناشی از یکسوسازهای کنترل شده نیم پل تمام موج سه فاز استفاده شده است.



شکل (۴) فیلتر فعال قدرت در یک پست مترو

ب-کاربرد در نیروگاه آبی (شکل (۵)) [۱۱].

- جهت بهسازی هارمونیک‌های ناشی از یکسوساز دیودی مربوط به تنظیم کننده‌های سرعت موتور پمپ‌های نیروگاه آبی
- فیلتر فعال موازی با ظرفیت ۳۰۰ kVA بر سر سه مبدل VVVF[۵] نصب شده است. این مبدل‌ها برای راه‌اندازی و تنظیم سرعت (ASD) استفاده می‌شوند.



شکل (۵) فیلتر فعال موازی در یک نیروگاه آبی

ج-کاربرد در مناطق مسکونی (شکل (۶)) [۱۱]

- فیلتر فعال موازی با ظرفیت ۲۰۰ kVA برای بارهای مسکونی ۲۰۰۰ kW
- اعوجاج هارمونیکی مجموع THD جریان ورودی ساختمان‌ها از ۱۰٪ به ۲٪ کاهش می‌دهد.

د-کاربرد برای تنظیم ولتاژ (شکل (۷)) [۱۲]

- جبرانسازی فلیکر برای کوره‌های قوسی
- فیلتر فعال با ظرفیت ۲۰ MVA جبرانسازی توان راکتیو
- سطح ولتاژ نصب شده ۲۲ kV است.
- مبدل فیلتر از نوع منبع ولتاژ با کلیدهای GTO، ۳ kA و ۴/۵ kV.

---

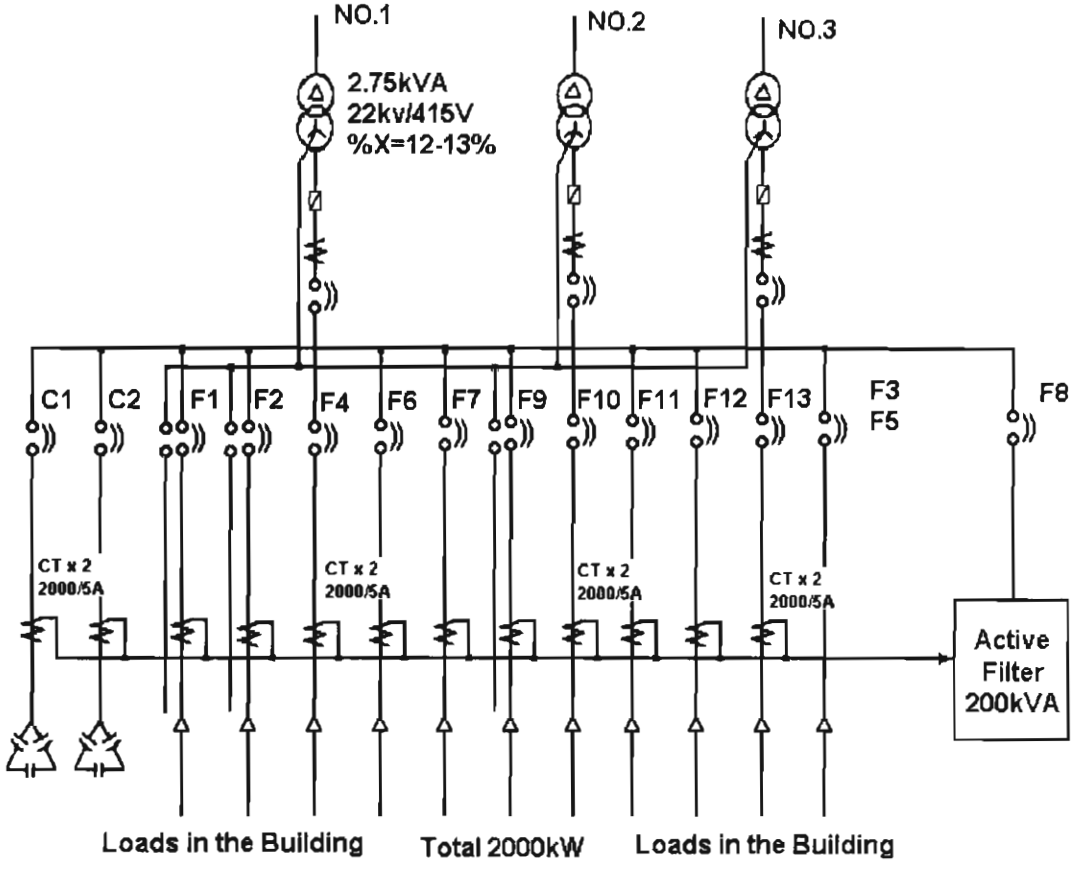
[۵]- Variable Voltage Variable Frequency

ه- کاربرد فیلتر فعال موازی در پست قطار برقی Shintakatsuki (شکل (۸))[۱۳]

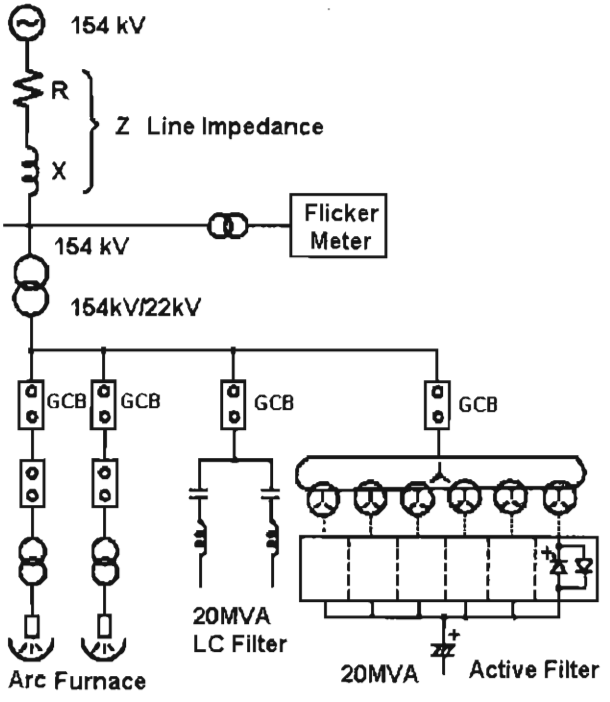
- جبرانسازی نوسانات توان راکتیو و مولفه‌های منفی جریان
- ظرفیت فیلتر فعال موازی MVA ۴۸ شامل سه مبدل منبع ولتاژ MVA ۱۶ با کلیدهای الکترونیک قدرت GTOتوسط شرکت توشیبا نصب شده است.
- قطار برقی سرعت بالا از طریق یک ترانسفورماتور اسکات توان MVA ۱۲ را از شبکه می‌کشد عبور بیش از ۲۰ قطار برقی سرعت بالا در هر روز موجب به وجود آوردن نامتعادلی، نوسانات و افت ولتاژ در ترمینال kV ۱۵۴ سیستم قدرت می‌شود. برای راحتی دیگر مشترکین در پست مربوطه، فیلتر فعال برای بهبود کیفیت توان نصب شده است.
- کنترل فیلتر بر اساس تئوری توان لحظه‌ای در حوزه زمان انجام یافته است.

و- کاربرد فیلتر فعال هایبرید در خط تست Yamanashi برای قطارهای Magnet-levitation سرعت بالا (شکل (۹))[۱۴]

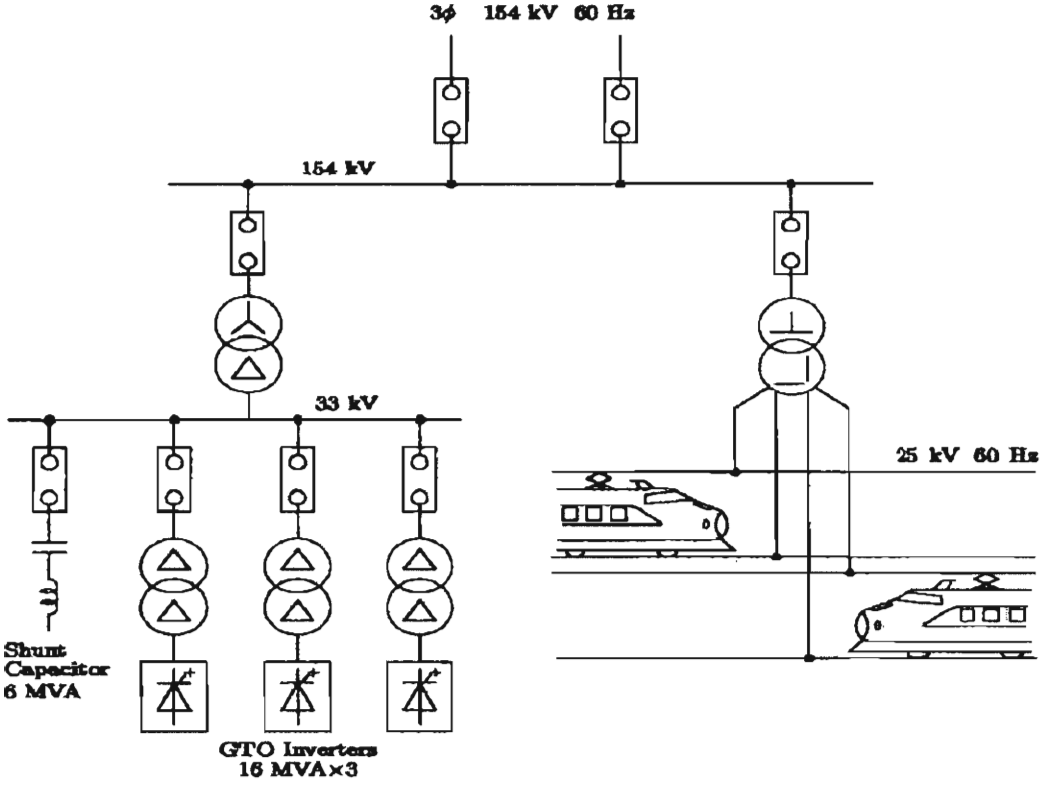
- محدود کردن دامنه اضافه جریان ناشی از تشدید (تشدید بین فیلترهای پسیو LC و امپدانس اتصال کوتاه از دید دو سر بار تولید می‌شود.)
- این فیلتر فعال قدرت در برابر هارمونیک‌های فرکانس بالا همانند مقاومت عمل می‌کند.
- فیلتر هایبرید شامل فیلتر فعال سری MVA ۵ و فیلتر پسیو موازی MVA ۲۵ است.



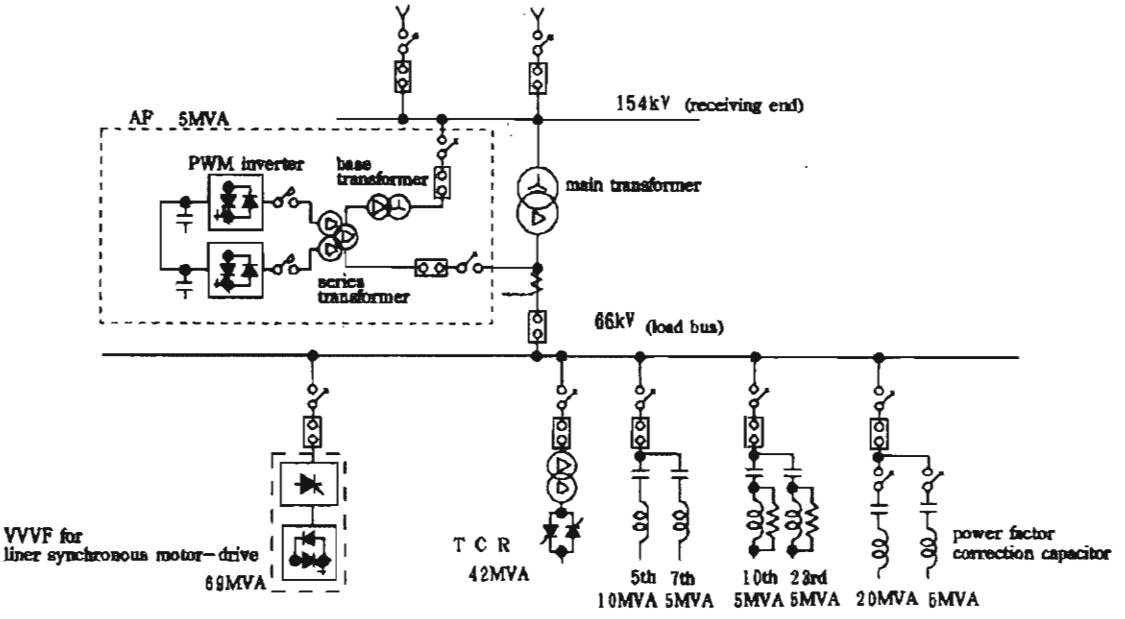
شکل (۶)



شکل (۷)



شکل (۸) فیلتر فعال موازی در پست Shintakatsuki



شکل (۹) کاربرد فیلتر فعال سری در خط تست Yamanashi

همانگونه که گفته شد کاربرد APF از نوع موازی در ژاپن بیشتر مطرح بوده است. جدول (۲) بطور خلاصه فیلترهای فعال موازی به کار گرفته شده در ژاپن دسته بندی کرده است.[۱۳].

جدول (۲) سرویس تجارتی فیلترهای فعال موازی در ژاپن

هدف	ظرفیت نامی	کابرد ها
جبرانسازی توان راکتیو، جریان توالی منفی، هارمونیک‌ها	۵۰kVA-۱۰۰۰KVA	یکسوسازهای تریستوری و دیودی و سیکلوکانورتورها در بارهای صنعتی
جبرانسازی فلیکر ولتاژ	۵MVA-۵۰MVA	کوره های قوسی
تنظیم ولتاژ	۴۰MVA-۶۰MVA	قطارهای برقی در sinkansen ژاپن

۶- نتیجه گیری

با توجه روند رشد کاربرد فیلترهای فعال قدرت در ژاپن، (که از حدود ۲۰ سال پیش شروع شده است) جای آن دارد که بحث بکارگیری فیلترهای فعال جهت مقابله با اغتشاشات کیفیت توان در ایران نیز مطرح گردد.

با به راه افتادن خط مترو در تهران و کرج نصب فیلترهای فعال موازی جهت جلب رضایت مشترکین نزدیک خط مترو پیشنهاد می‌شود.

با وجود گسترش کارخانجات نورد فلزات بکارگیری این ادوات همراه با SVC جهت جبرانسازی هارمونیکهای تزریقی توسط کارخانه و خود SVC پیشنهاد می‌گردد.

برای کارخانجات بزرگی همچون شرکت ایران خودرو جهت جبرانسازی هارمونیک‌های ناشی از دستگاه‌های جوش و نوسانات ولتاژ ناشی از راه‌اندازی موتورهای القایی کارخانه نصب این ادوات از بروز خسارات گوناگون می‌تواند جلوگیری بعمل آورد. در ضمن از انتقال اغتشاشات به شبکه مجاور جلوگیری خواهد شد.

با توجه اینکه وزارت نیرو مؤکداً به موضوع کیفیت توان اهمیت داده است و همچنین با توجه به اینکه مشترکین برق به مزایای مربوط به بهبود کیفیت توان و کاهش خسارتهای ناشی از کمبود آن پی برده‌اند انتظار می‌رود که در آینده نزدیک شاهد حضور APFها در شبکه‌های توزیع برق ایران باشیم. البته با توجه به بررسی‌های انجام شده در ژاپن پیش بینی مشابه‌ای می‌توان از لحاظ اهمیت دادن به کاربرد APFهای موازی مجهز به IGBT برای کشور داشت. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که تمرکز فعالیت‌های تحقیقاتی و مشاوره‌ای بر روی APFهای موازی مجهز به IGBT صورت پذیرد.

مراجع

[١] G. Jianjun, X. Dianguo, L. Hankui, G. Manozhong, "Unified Power Quality Conditioner (UPQC): the Principl, Control and Application", IEEE PCC-Osaka ٢٠٠٢.

[٢] D. Graovac, V. Kati, A. Ruf, "Unified Power Quality Conditioner Based on Current Source Converter Topology", EPE ٢٠٠١–Graz.

[٣] N.G. Hingorani, "Overview of Custom Power Application", EEE PES SM'٩٨, San Diego, ١٩٩٨.

[٤] E. Acha, V.G. Agelidis, O. Anaya-Lara, T.J.E. Miller, "Power Electronic Control in Electrical Systems", MPG Books Ltd, BODMIN, Cornwall, Frist Publised ٢٠٠٢.

[٥] D.A. Taylor, "Power Quality Hardware Solutions For Distribution System: Custom Power", Reliability, Security and Power Quality of Distribution Systems, ١٩٩٢, IEE North Eastern Centre Power Section Symposium.

[٦] H. Akagi, "Active Filter and Energy Storage Systems Operated under Non-Periodic Conditions", Power Engineering Society Summer Meeting, ٢٠٠٠. IEEE ,Vol. ٢, ٢٠٠٠.

[٧] Mark McGranaghan, "Active Filter Design and Specification for Control of Harmonics in Industrial and Commercial Facilities", Electrotek Concepts, Inc. Knoxville TN, USA.

[٨] M. Aredes, "Active Power Line Conditioner" Dr.-Ing. Thesis, Technische Universität Berlin, Berlin, Germany, March ١٩٩٦.

[٩] B. singh, AL. Haddad and A. Chandra, "A Review of Active Filter For Power Quality Improvement", IEEE Trans. Ind. Electronics, Vol.٤٦,No.٥,October ١٩٩٩.

[١٠] G.W. Chang, T.-C. Shee, "A comparative study of active power filter reference compensation approaches", Power Engineering Society Summer Meeting, ٢٠٠٢ IEEE , Volume: ٢, ٢٠٠٢ Page(s): ١٠١٧–١٠٢١.

[١١] "CUSTOM POWER-STATE OF THE ART", Report by CIGRE WG١٤.٣١.

[١٢] T. Aritsuka, M. Takeda, "Practical applications of active filters for power conditioning in distribution networks", Harmonics And Quality of Power, ١٩٩٨. Proceedings. ٨th International Conference on, Volume: ١, ١٤-١٨ Oct ١٩٩٨ Page(s): ٣٠٤-٣٠٩ vol.١.

[١٣] H. Akagi, "New Trends in Active Filters for Improving Power Quality", Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, ١٩٩٦., Proceedings of the ١٩٩٦ International Conference on, Volume: ١, ١٩٩٥, pp٤١٧–٤٢٥.

[١٤] H. Ikeda, I. Kawaguchi, J.-I. Kitano, H. Morita, Y. Ogihara, M. Syogaki, "Novel active filter system composed of inverter bypass circuit for suppression of harmonic resonance at the Yamanashi Maglev test line", Power Conversion Conference-Nagaoka ١٩٩٧., Proceedings of the, Volume: ١, ٣-٦ Aug ١٩٩٧ Page(s): ١٧٥-١٨٠ vol.١.