دانشگاه زنجان
دانشکده مهندسی
گروه برق

پایان نامه کارشناسی
گرایش الکترونیک

فیلترهای اکتیو قدرت

استاد راهنما:
مهندس شایسته فرد

نگارش:
یحیی شهسواری
آبان ۸۷

چکیده

کلمات کلیدی: هارمونیک ها،فیلتر اکتیو قدرت،استراتژی PWM،مبدل چندگانه

امروزه با بکارگیری روز افزون صنعت برق حساسیت ها نسبت به کیفیت آن نیز افزایش یافته است.تنوع مصرف کننده ها،که هر یک با خصوصیات وشکل موج منحصر به خود کار می کنند باعث شده است که مقوله کیفیت توان نیز پیچیده شود.بارهای غیر خطی با تزریق هارمونیک های مختلف به شبکه موجب اخلال در کارکرد شبکه و تجهیزات آن می گردند..هارمونیک های مختلف دلایل و اثرات جداگانه ای در شبکه دارند وبرای بررسی و تشریح آنها شاخص ها و استاندارد های مختلفی بکار گرفته می شوند.

پس از بررسی و شناسایی هارمونیک ها نوبت به مطالعه روشهای کنترل آنها می رسد.کنترل هارمونیک ها عموما به سه طریق استفاده از فیلترهای پسیو،فیلترهای اکتیو و ایجاد آرایش مناسب برای اولیه و ثانویه ترانسفور ماتورهای قدرت یا تلفیقی از این روشها انجام می شود که روش سوم فقط در کنترل هارمونیک های مرتبه سوم موثر است و روش اول نیز با مشکلات فراوانی روبه رو است.امروزه بهترین روش کنترل هارمونیک ها بر فیلترهای اکتیو مبتنی است که در مقایسه با روشهای دیگر یک روش نسبتا جدید می باشد.تمامی اشکالاتی که در فیلترهای پسیو وجود داشته اند در فیلترهای اکتیو برطرف شده اند.فیلترهای اکتیو نیز به نوبه خود با توپولوژی های مختلف وجود دارند که هر یک داری مزایا و معایبی می باشند.توپولوژی های قدیمی تر فیلتر های اکتیو اغلب بر مبنای اینورترهایی است که ازاستراتژی مدولاسیون PWM در مدار آتش سوئیچ های انها استفاده شده است،لیکن امروزه توپولوژی های جدید تری نیز ابداع شده اند که دارای کیفیت بهتر نسبت به مورد اخیر می باشند.در این پایان نامه کوشیده شده است که اهم شاخص ها و نیز استانداردهای مربوط به هارمونیک ها و همچنین اثرات مخرب آنها تشریح شده و پس از آن فیلترهای فعال به عنوان کارآمد ترین ابزار کنترل هارمونیک ها معرفی شود.در ادامه اشکالات فیلتر پسیو و همچنین نحوه عملکرد،محدودیت ها،روش های بکار گیری، مزایای فیلتر اکتیو و استراتژی کنترل این فیلترها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.همچنین تئوری توان لحظه ای به عنوان تئوری اصلی به کار رفته در استراتژی کنترل این فیلترها آورده شده است و نحوه جبرانسازی بر اساس این تئوری در شرایط منبع متعادل و نامتعادل مورد بحث قرارگرفته است.این روش یک روش نسبتا سنتی در طراحی فیلترهای فعال می باشد که در اینجا روش جدیدتر مبتنی بر مبدل چند سطحی مورد بحث قرار گرفته و مزایای آن نسبت به تکنولوژی قدیمی تر تشریح شده است.همچنین نتایج شبیه سازی انجام شده آورده شده است.

فهرست مطالب

فصل اول:بررسی و شناسایی هارمونیک ها

۱-۱مقدمه ۴
۱-۲ انواع تجهیزات در سیستمهای قدرت ۵
۱-۳ شناخت و بررسی هارمونیک ها ۵
۱-۳-۱ نحوه تولید هارمونیک از دیدگاه ریاضی و مداری ۶
۱-۳-۲منابع تولید هارمونیک ۸
۱-۳-۲)اعوجاج ولتاژ و جریان ۹
۱-۳-۳ هارمونیک های جریان ۹
۱-۳-۳-۱-۱) منابع تولید جریان هارمونیکی ۱۰
۱-۳-۳-۲)هارمونیک های ولتاژ ۱۱
۱-۳-۳-۲) منابع تولید کننده ولتاژ هارمونیکی ۱۲
۱-۳-۵)اثرات اعوجاجات هارمونیکی ۱۳
۱-۳-۶) روابط ولتاژ،جریان و توان در شرایط هارمونیکی ۱۴
الف)سری فوریه ۱۴
ب) سری فوریه گسسته (DFT) ۱۵
ج) تبدیل فوریه سریع(FFT) ۱۶
۱-۳-۷)تعاریف مرتبط با پارامترهای هارمونیکی ۱۷
الف) مقدار RMS یک موج بر حسب سری فوریه ۱۷
ب)توان ظاهری ۱۸
ج) توان اکتیو ۱۹
د)تعریف دیگر از توان ظاهری ۲۰
۱-۳-۸) مقادیر موثر و اعوجاج هارمونیک کلی ۲۲
۱-۳-۹)اقدرت و ضریب قدرت ۲۴
۱-۳-۱۰) هارمونیک های مرتبه ۳ ..... ۲۶
۱-۳-۱۱)تداخلات مخابراتی ۲۷
۱-۳-۱۲)استانداردهارمونیک ها در ایران ۲۸
۱-۳-۱۳ حدود مجاز اعوجاج جریان برای هر مشترک ۲۸

فصل دوم : تجهیزات کنترل و حذف هارمونیک ها

۱-۲)مقدمه ۳۰

۲-۲ فیلترها ۳۰
۲-۲-۱ فیلتر پسیو(غیر فعال) ۳۰
۲-۲-۱-الف)محدودیت فیلترهای غیر فعال ۳۱
۲-۲-۲ فیلترهای فعال ۳۱
۲-۲-۲-الف) رفتار فیلتر اکتیو موازی در مواجه با منبع تولید کننده هارمونیک ۳۲
۲-۲-۲-ب) رفتار فیلتر اکتیو موازی در مواجه با بار سلفی ۳۳
۲-۲-۲-ج) رفتار فیلتر اکتیو موازی در مواجه با بار اهمی ۳۴
۲-۲-۳)تئوری توان اکتیو و راکتیو لحظه ای ۳۵
۲-۲-۴) محاسبه جریانهای منبع و جبرانسازی ۳۷
۲-۲-۵)جبرانسازی تحت شرایط نامتعادلی منبع ۳۸
۲-۲-۶)استراتژی کنترل فیلترهای سری و موازی ۳۹
۲-۲-۶-الف)فیلتر اکتیو سری ۳۹
۲-۲-۶-ب)مدار همزمان ساز(PLL) ۴۱
۲-۲-۶-ج)فیلتر اکتیو موازی ۴۳
۲-۲-۶-د)رگولاتور ولتاژ DC ۴۵

فصل سوم :توپولوژی مبتنی بر مبدل چهارگانه چند سطحی

۳-۱-الف)ساختار مبدل ۴۶
۳-۲) توزیع توان ۵۰
۳-۳ پیکربندی ۵۱
۳-۴) کنترل ۵۳
۳-۵)نتایج شبیه سازی ۵۵
۳-۶) مقایسه ۵۸
نتیجه گیری ۶۰
۵-۲)مراجع ۶۱

فصل اول

شناخت و بررسی هارمونیک ها

۱-۱مقدمه

در مراکز تولید توان در شبکه های بزرگ قدرت،توانی که با هدف رسیدن به مصرف کننده تحویل شبکه داده می شود کاملا سینوسی است.لیکن به دلیل فاصله اغلب طولانی بین نیروگاه و مصرف کننده و نیز از آنجایی که در این مسیر تجهیزات زیادی اعم از کنترلی،حفاظتی و مصرفی وجود دارند، و با توجه به عملکرد غیر خطی این تجهیزات و نیز با عنایت به وقایع غیر مترقبه که در شبکه حادث می شوند،انتظار داریم تغییراتی را در شکل موج و کیفیت توان رسیده به مصرف کننده شاهد باشیم.وقتی استفاده از مبدلهای الکترونیک قدرت در اواخر دهه ۱۹۷۰ معمول گردید توجه بسیاری از مهندسین شرکتهای برق را در مورد توانایی پذیرش اعوجاج هارمونیکی توسط سیستم های قدرت را برانگیخت.بررسی هارمونیک ها منجر به تحقیقاتی گردید که نتیجه آن بدست آوردن نقطه نظرات بسیاری در خصوص کیفیت برق بود.به نظر برخی محققین اعوجاج هارمونیکی هنوز مهمترین مساله کیفیت برق می باشد.[۱۱]مسایل هارمونیکی با بسیاری از قوانین معمولی طراحی سیستم های قدرت و عملکرد آن تحت فرکانس اصلی مغایر است.بنابراین در این زمینه با پدیده های نا آشنایی روبه رو خواهیم شد که نیاز به ابزار پیچیده و تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات و تجزیه و تحلیل آنها دارد.

۱-۲ انواع تجهیزات در سیستمهای قدرت

همانطور که گفته شد،بخش اعظم هارمونیک ها ناشی از تجهیزات موجود در سیستم قدرت می باشد.برای مطالعه در این مورد می توان ادوات موجود در سیستم قدرت را به دوسته تقسیم نمود:

الف)وسایلی که تولید هارمونیک های ولتاژ یا جریان می نمایند.

ب)وسایلی که در اثر وجود هارمونیک عملکرد یا کارآیی آن تغییر می کند.

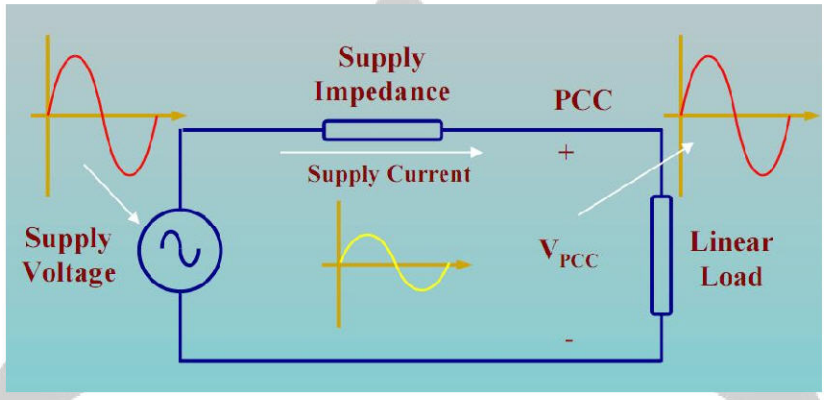
البته برخی وسایل وجود دارند که می توانند همزمان در هر دو گروه باشند.

۱-۳ شناخت و بررسی هارمونیک ها

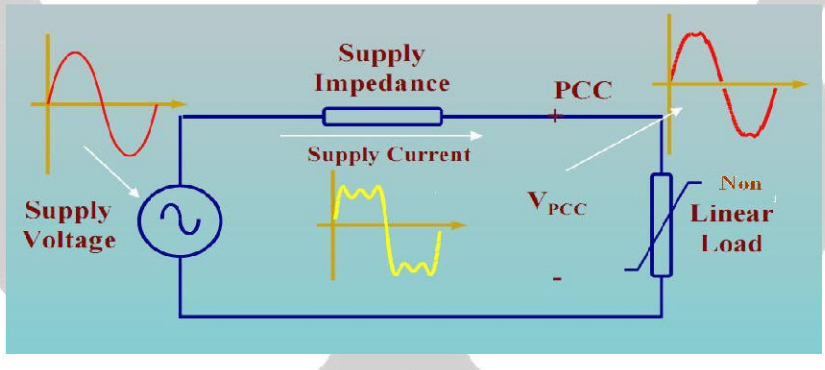
اعوجاجات تولید شده در شبکه قدرت بیشتر منشا داخلی دارند.برای مثال ژنراتورها ،ترانسفورماتورها،و تجهیزات تایرستوری کنترل شده مانند پستهای تبدیل که در سیستم HVDC استفاده می شوند می توانند باعث اعوجاجات هارمونیکی گردند.اعوجاجات هارمونیکی باعث ایجاد مسائل خاص در شبکه های قدرت می شوند.از جمله این مسایل می توان به عملکرد نامناسب تجهیزات و نیز کاهش عمر و پایین آمدن راندمان دستگاهها اشاره نمود که این مساله در این شرایط مقوله کیفیت برق است.در چنین حالتی مطالعه هارمونیک ها و ارائه یک سری قوانین و مقررات اجتناب ناپذیر خواهد بود.محدود نمودن اعوجاجات هارمونیکی هم از نظر شرکتهای برق و هم از نظر مشترکین لازم می باشد.شرکتهای برق باید تمهیداتی را ارائه نمایند تا از آسیب دیدگی تجهیزات مشترکین اعم از مشترکین خانگی و صنعتی جلوگیری شود.از طرف دیگر با توجه به این که ایجاد یک موج کاملا سینوسی از طرف شرکتهای برق نمی تواند تضمین شود لذا مشترکین باید اعوجاجات تولید شده توسط تجهیزات خود را مسدود نمایند.در این خصوص استاندارد های مختلفی تهیه شده است که از جمله می توان به استاندارد هارمونیک های مجاز وزارت نیرو تهیه شده توسط مهندسین مشاور نیرو [۵]و نیز استانداردهای بین المللی IEC و IEEEاشاره نمود[۱۱].شرکتهای برق فرض می کنند که موج ولتاژ سینوسی تولید شده در مراکز تولید انرژی بدون هارمونیک است.در اغلب مواقع اعوجاج ولتاژ در سیستم های انتقال کمتر از ۱ درصد است.به هر حال هرچه به سمت مصرف کننده نزدیکتر شویم میزان اعوجاج بیشتر می گردد.از سویی دیگر در بعضی بارها شکل موج جریان کاملا از حالت سینوسی خارج شده و دارای اعوجاج زیادی می گردد.مبدلهای الکترونیک قدرت شکل موج جریان را به شکل دلخواه درمی آورند.حالتهای مختلفی وجود دارد که اعوجاج در سیستم به صورت تصادفی بوده و دارای پاسخ گذرا می باشد.لیکن اغلب اعوجاجات به صورت پریودیک می باشند.بدین معنی که سیکلهای متوالی تقریبا شبیه هم بوده و ممکن است به آرامی تغییر کنند.این مفهوم در اصل همان واژه هارمونیک را توصیف می کند.

۱-۳-۱ نحوه تولید هارمونیک از دیدگاه ریاضی و مداری

اعوجاج هارمونیکی در سیستم های قدرت ناشی از عناصر غیر خطی می باشد.عنصر غیر خطی عنصری است که جریان آن متناسب با ولتاژ اعمالی نمی باشد.شکل ۱-۱ (ب)جریان غیر سینوسی یک مقاومت غیر خطی در حالی که ولتاژ اعمالی به آن سینوسی است نشان می دهد.در این گونه بارها افزایش چند درصدی ولتاژ ممکن است باعث چند برابر شدن جریان شده و نیز موج جریان شکل دیگری را به خود می گیرد.



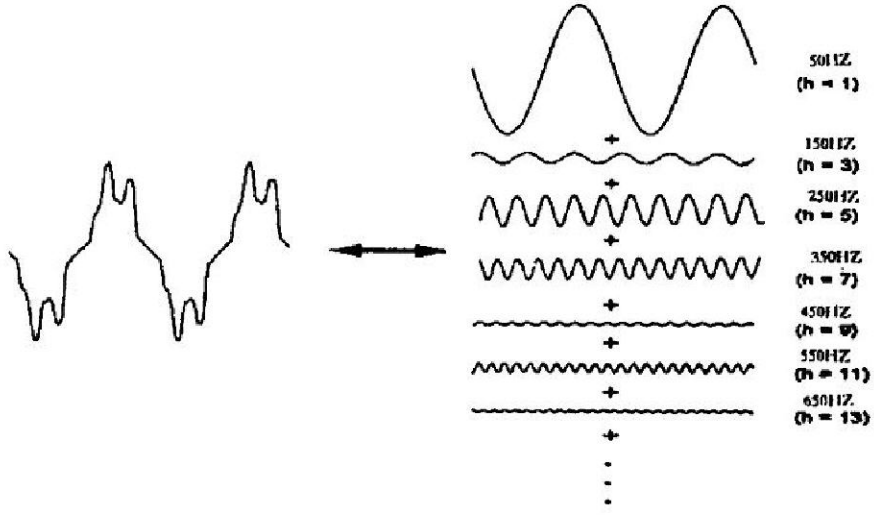
(الف)



(ب)

شکل ۱-۱(الف)ولتاژ و جریان در یک شبکه شامل یک بار خطی،(ب)شبکه شامل یک بار غیر خطی

همانطور که در شکل ۱-۲ دیده می شود هر شکل موج اعوجاجی پریودیک را می توان به صورت جمع موجهای سینوسی بیان نمود.یعنی وقتی که شکل موج از یک سیکل به سیکل دیگر تغییر نکند این موج را می توان به صورت جمع امواج سینوسی خالص که در آن فرکانس هر موج مضرب صحیحی از فرکانسهای اصلی می باشند بیان کرد.هر یک از این امواج را هارمونیکی از مولفه اصلی گویند.جمع این موج های سینوسی سری فوریه را بدست خواهد داد.



شکل ۱-۲ :بیان یک سیگنال اعوجاجی بصورت سری فوریه

مزیت استفاده از سری فوریه در نمایش شکل موج های اعوجاجی سادگی بدست آوردن پاسخ سیستم به یک ورودی غیر سینوسی است.همچنین در این حالت تکنیک های معمولی حل شبکه در حالت مانا نیز قابل استفاده خواهد بود.در این روش پاسخ سیستم برای هر هارمونیک جداگانه بررسی شده و سپس خروجی ها در هر فرکانس ترکیب می گردد تا سری فوریه جدید بدست آید.با استفاده از این سری می توان شکل موج خروجی را محاسبه نمود که در اغلب موارد دامنه هارمونیک برای ما جالب خواهد بود.

باید دانست که هرگاه هردونیم سیکل مثبت و منفی یک شکل موج شبیه هم باشند سری فوریه فقط شامل هارمونیک های فرد است.این مطلب مطالعه برروی سیستم های قدرت را آسان می کند.زیرا اغلب وسایلی که تولید هارمونیک می کنند رفتار یکسانی را در برابر هر دو نیم سیکل مثبت و منفی از خود نشان می دهند.در حقیقت وجود هارمونیک زوج اغلب نشان دهنده وجود اشکالی در سیستم است.این اشکال می تواند ناشی از بار یا ترانس دیوسری که برای اندازه گیری استفاده شده است باشد.استثنائاتی در این مورد مانند یکسو کننده های نیم موج و کوره های قوس الکتریکی که در آن قوس به طور اتفاقی زده می شود نیز وجود دارد.معمولا هارمونیک های مرتبه بالا (بالاتر از مرتبه پنجم) در سیستم های

قدرت ناچیز می باشند.در حالیکه این هارمونیک ها سبب تداخل با وسایل الکتریکی با قدرت پایین می شوند،لیکن معمولا آسیبی به سیستم های قدرت وارد نمی کنند.[۱۰]از سویی دیگر جمع آوری اطلاعات کاملا دقیق در این فرکانس ها به منظور مدل سازی سیستم های قدرت مشکل می باشد.اگر سیستم قدرت را به عناصر سری و موازی (همچنانکه در عمل هستند)تقسیم کنیم بخش عمده ای از عناصر غیر خطی در سیستم قدرت جزو عناصر موازی محسوب می شوند.امپدانس های سری در سیستم های قدرت (امپدانس اتصال کوتاه بین منبع و بار)معمولا خطی می باشند.این جمله به آن معنا نیست که تمام مشترکین که اعوجاج هارمونیکی بر آنها اعمال می شود خود منبع مهم تولید هارمونیک هستند.بلکه باید گفت که اعوجاج هارمونیکی بعضی از بارهای مشترکین و یا ترکیبی از آنها معمولا می توانند عامل تولید هارمونیک باشند.

۱-۳-۲منابع تولید هارمونیک

بخش اعظم هارمونیک ها توسط موارد زیر تولید می شود:

- سیستم های HVDC به منظورارتباط بین دونقطه با فاصله طولانی
- تجهیزات مورد استفاده در کنترل کننده های سرعت ماشین های الکتریکی(نیمه هادی های الکترونیک قدرت)
- اتصال نیروگاه های خورشیدی و بادی به سیستم های توزیع
- کاربردSVC[1] به عنوان ابزار مهمی در کنترل توان راکتیو
- استفاده زیاد از یکسو کننده ها برای شارژ باطری ها

از سویی دیگر عوامل زیر را می توان به عنوان تولید کننده هارمونیک نیز در نظر گرفت:

- تولید شکل موج غیر سینوسی توسط ماشین های سنکرون که ناشی از وجود شیارها و عدم توزیع یکنواخت سیم پیچی های استاتور است.
- عدم یکنواختی در راکتانس ماشینهای سنکرون
- توزیع غیر سینوسی فوران مغناطیسی در ماشین های سنکرون
- جریان مغناطیسی در ترانسفورماتورها
- بارهای غیر خطی شامل دستگاههای جوشکاری
- کوره های الکتریکی و القایی

همچنین از نظر صنایع و کارخانجات ،صنایع زیر را می توان از جمله عوامل تولید هارمونیک در شبکه های الکتریکی محسوب نمود:

- صنایع شامل مجتمع های شیمیایی و نیز صنایع ذوب آلومینیوم که از یکسو کننده های پرقدرت برای تولید برق DC مورد نیاز انجام فرآیندهای شیمیایی و ذوب آلومینیوم استفاده می کنند.با

[1] Static Var Compensator-

توجه به قدرت بالایی که در این یکسو کننده ها استفاده می شود این یکسو کننده ها هارمونیک قابل ملاحظه ای را در شبکه به وجود می آورند.

- استفاده از سیستم های الکترونیک قدرت در سیستم های حمل و نقل برقی مانند اتوبوس های برقی و متروها باعث می شود که سطوح بالایی از هارمونیک ها به سیستم تزریق شود.
- بارهای غیرخطی مانند کوره های قوس الکتریکی که در صنایع ذوب آهن استفاده می شود از عوامل تولید هارمونیک در مقیاس بزرگ می باشند.

۱-۳-۲)اعوجاج ولتاژ و جریان

کلمه هارمونیک اغلب بدون هیچ توضیحی دیگر و به تنهایی استفاده می شود.برای مثال بسیار گفته می شود که یک محرکه موتور با قابلیت تنظیم سرعت یا یک کوره القایی بدلیل وجود هارمونیک ها به صورت مناسبی نمی تواند کار کند.سوال این است که چرا این مساله پدید آمده است؟جواب می تواند یکی از سه مورد زیر باشد:

۱-هارمونیک ولتاژ آنقدر زیاد است که سیستم کنترل زاویه آتش به خوبی عمل نمی کند.

۲-هارمونیک جریان زیادتر از ظرفیت بعضی از تجهیزات در سیستم تغذیه (مانند ترانسفورماتور و ماشین) است که باید در زیر قدرت نامی خود کار کند.

۳-هارمونیک ولتاژ زیاد است.زیرا هارمونیک جریان ناشی از آن وسیله زیاد می باشد.

همچنان که این موارد نشان می دهد دلایل و اثرات جداگانه ای برای هارمونیک های ولتاژ و جریان و همچنین روی بعضی روابط بین این دو وجود دارد.بنابراین واژه هارمونیک به تنهایی مبهم بوده و نمی توان به کمک آن صورت دقیق یک مساله را تعیین کرد.

۱-۳-۳-۱ هارمونیک های جریان

هارمونیک های جریان به طور کلی باعث خارج شدن جریان سیستم از حالت سینوسی می گردند در حالیکه ولتاژ هنوز سینوسی می باشد.این هارمونیک ها که ناشی از بارهای غیر خطی و دیگر منابع تولید هارمونیک در بخشهای مختلف یک شبکه هستند،می توانند با هم جمع شده و اثر مضاعفی را داشته باشند.شکل۱-۳ شکل موج جریان برای دو نمونه بار متفاوت سلفی و خازنی نشان می دهد.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری

همانطور که دیده شد در این پایان نامه به یکی از مهمترین مشکلات موجود در شبکه های قدرت یعنی اعوجاجات هارمونیکی پرداخته شد.تعاریف و استانداردهای مرتبط با هارمونیک ها شرح داده و علل بوجود آورنده هارمونیک ها و همچنین تاثیرات مخرب هارمونیک ها با ذکر مثالهایی بررسی شد.پس از آن روشهای کنترل هارمونیک ها بررسی شد و در پایان این بحث فیلترهای اکتیو بر سایر ابزار کنترل ترجیح داده شد و روش PWM به عنوان متداول ترین استراتژ ی در فیلترهای اکتیو شرح داده شده و تئوری های لازم برای آن از جمله تئوری توان لحظه ای شرح داده شد.پس از آن در فصل سوم یک توپولوژی جدید برای فیلترهای اکتیو مبتنی بر مبدل چندگانه و همچنین ساز کار،عملکرد و نحوه کنترل آن شرح داده شد.مشاهده شد که این توپولوژی مزایای زیادی از جمله اقتصادی تر بودن و عدم داشتن نویز فرکانس بالا را نسبت مورد مشابه که از استراتژی PWM استفاده می کند دارد.

مراجع:

[۱] ذبیحی ساسان،طحانی عبدالحسین،"طراحی فیلتر فعال قدرت تحت کنترل تک قطبی جهت کاهش تلفات"یازدهمین کنفرانس شبکه های توزیع،دانشگاه مازندران،۱۳۸۵،

[۲] زارع کاظم،فتحی رضایی مهدی،حسینی دکتر سید حسین،"متعادل سازی بار در شبکه های توزیع نا متعادل با استفاده از فیلتر اکتیو"،نهمین کنفرانس شبکه های توزیع،دانشگاه زنجان،۱۳۸۳

[۳] قاضی رضا،"طراحی و ساخت فیلتر اکتیو قدرت جهت حذف هارمونیک"وزارت نیرو،شرکت برق منطقه ای خراسان،گزارش پروژه

[۴] عبدالله زاده سنگرودی حسین"پایان نامه کارشناسی..."دانشگاه زنجان،شهریور ۱۳۸۵صص:

[۵] استاندارد صنعت برق ایران،قسمت دوم،حدود مجاز هارمونیک ها،شرکت توانیر،چاپ اول،اردیبهشت ۱۳۸۱،صص:

[6] Ned Mohan,Tore M.Undeland,William P.Robbins,"Power Electronics,Converters,Applicattions and Design",Third edition,John Wiley & Sons.INC,New York,2003

[7] Effeut Of Harmonics on Equipment
IEEE Task Force On the on the effects of…
IEEE trars. on Power Pelivery vol-8,no.2 1993.

[8] H-Akagi "Instantaneous Ractive Power Compensator Comprising …"
IEEE Trans on Ind.App.vol.IA-20,no.3 1984.
[9]R.D Henderson and P.J Rose "Harmonics:The Effects on Pwer Quality and Transformers".

[10] Harmonics,Characterisitic Prameters,Metod of Study,Estimate of existing values in the network by:Working Group 36-05,electra No.77,1989.

[11] IEEE Std 1195-1995, "IEEE Recommended Practice forMonitoring Electric Power Quality "
IEEE Standard Coordinating Committee 22 on Power Quality , Approved June 14, 1995 .

[12] M. Machmoum, N. Bruyant, "Control Methods for Three-phase Active Power Filters under Non-ideal Mains Voltage ", in proceeding Power System Technology, Powercon 2000, International Conference on, Vol. 3,2000,pp. 1613-1618 .

[13] G.D. Marques, "A Comparison of Active Power Filter Control Methods in Unbalanced and
Non- Sinusoidal Conditions", IECON'98, August 31-September 4, pp. 444-449.

[14] V. Soares, P. Verdelho, G.Marques, "A Control Method for Active Power Filters under Unbalanced Non-Sinusoidal Conditions", in Proc. PEVD'96, 23-25 Sep. 1996, pp.120-
124.

[15] Shyh-Jier Huang, Jing-Chang wu, Hurng-Liang Jou, "A Study of Three-Phase Active Power Filters under Non-ideal Main Voltage", Electric Power Systems Research 49
(1999), pp. 129-137

[16] F.Z. Peng, J.S.Lai, "Generalizard Instantaneous Reactive Power Theory for Three –
Phase Power Systems", IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement Vol. 45,
no.1, 1996.

[17] Cheng-Che Chen, Yuan – Yih Hsu, "A Novel Approach to Design of a Shunt Active Filter for an Unbalanced Three-Phase Four – Wire System Under Non-Sinusoidal Conditions", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15, no. 4, October 2000, pp. 1258-1264.

[18] Micah Ortuzar, Rodrigo Carmi, Juan Dixon, Luis Moran ," Voltage Source Active Power Filter, Based on Multi-Stage Converter

anUltracapacitor DC Link."IEEE Transactions on Power Electronics (2003),pp.2300-2305

[19] M. D. Manjrekar and T. A. Lipo, "A hybrid multilevel inverter topology for drive applications", IEEE Applied Power Electronics Conference, 1998, pp.523-529.

[20] C. Sanka," POWER QUALITY"CRC Prees,New York 2002;

[21] Mauricio Aredes, Luis. F. C. Monteiro, Jaime M. Miguel," Control Strategies for Series and Shunt Active Filters" IEEE Transactions...,2003

[22] S. Fryze, "Wirk-, Blind- und Scheinleistung in elektrischen Stromkain-sen mitnicht-sinusf?migen Verlauf von Strom und Spannung," ETZ-Arch. Elektrotech., vol. 53, 1932, pp. 596-599, 625-627, 700-702.

[23] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits," in Proc. IPEC-Tokyo'93 Int. Conf. Power Electronics, pp. 1375-1386, Tokyo, 1983.