



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده برق و رباتیک

پایان نامه:

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق کنترل

عنوان:

طراحی و شبیه سازی جبران کننده جامع کیفیت توان

Unified Power Quality Conditioner

استاد راهنما:

دکتر محمدعلی صدرنیا

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا رفیعی

پژوهشگر:

روح اله علومی دودران

شهریور ۸۶

تقدیم به روح پاک مادرم و پدر عزیزم

به آنها که وجودشان گرمی بخش زندگیم و گفتارشان راهگشای آینده‌ای روشن، آنان که در تمام مراحل زندگی با من بوده‌اند و همواره موفقیت در زندگی را مدیون آنها هستم.

تقدیر و تشکر

با تشکر از زحمات و همکاری‌های بی دریغ استاد ارجمند جناب آقای دکتر صدرنیا که در طی دوران تحصیل راهنمای علمی و امید بخش بنده بوده‌اند و با سپاس از نظرات ارزشمند جناب آقای دکتر محمدرضا رفیعی در بهبود کیفی پایان نامه.

چکیده:

جبران کننده جامع کیفیت توان Unified Power Quality Conditioner که به اختصار UPQC نامیده می‌شود یکی از جدیدترین تجهیزات جبران کننده کیفیت توان در شبکه‌های توزیع می‌باشد. شکل مدار قدرت متعارف سیستم جامع کیفیت توان از یک فیلتر اکتیو موازی و یک فیلتر اکتیو سری با لینک DC مشترک تشکیل شده است.

در این پایان نامه علاوه بر بررسی مسایل کیفیت توان و استانداردهای مختلف به معرفی انواع رایج جبران سازهای کیفیت توان پرداخته شده و با تشریح روش‌های مختلف جبران‌سازی روش جدید سوئیچینگ بهینه ارائه گردیده است.

با توجه به اینکه تغییر در استراتژی کنترلی بسیار ساده‌تر و ارزانتر از تغییر در ساختار مدار قدرت می‌باشد لذا تغییر در استراتژی کنترلی بهترین روش برای بهبود عملکرد جبران‌سازهای کیفیت توان می‌باشد. تا کنون استراتژی‌های کنترل زیادی برای جبران‌سازها ارائه گردیده است. استراتژی کنترل بهینه ارائه شده با استفاده از مدل ریاضی مبدل برای ایجاد جریان‌های مرجع با استفاده از ترکیب روش مولفه‌های متقارن و تئوری P-Q لحظه‌ای بدست آمده است. بهینه بودن روش جدید کنترلی در جبران‌سازی جریان بار راکتیو و هارمونیک‌دار با خطای کم در تعقیب جریان‌های مرجع تولیدی و فرکانس ثابت سوئیچینگ با روش متداول هیستریزس مقایسه شده است. که به دلیل داشتن فرکانس سوئیچینگ ثابت، سهولت شرح و اجرا، پاسخ سریع، تعداد سوئیچینگ کمتر در مقایسه با روش‌ها متداول موجود و ایجاد هماهنگی در سیستم سوئیچینگ سه فاز به عنوان روش جدید معرفی شده است. نتایج شبیه‌سازی آنها در محیط نرم افزار مطلب و مقایسه عملی نتایج نشانگر صحت عملکرد مدارات کنترل و مدل سازی انجام یافته در بخش محاسبه موج مرجع است.

کلمات کلیدی:

کیفیت توان - جبران ساز کیفیت توان - فیلتر اکتیو موازی - فیلتر اکتیو سری - کنترل بهینه

فهرست

فهرست مطالب

فصل اول: بررسی منابع و پیشینه پژوهش

- ۱-۱ کیفیت توان در شبکه های توزیع..... ۱
- ۱-۱-۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱-۱-۱ تعریف کیفیت توان ۲
- ۳-۱-۱-۱ حوادث مورد بحث در کیفیت توان..... ۳
- ۴-۱-۱-۱ گذرا ها ۷
- ۱-۴-۱-۱-۱ گذرای ضربه ای..... ۷
- ۲-۴-۱-۱-۱ گذراهای نوسانی..... ۸
- ۵-۱-۱-۱ کیفیت ولتاژ ۸
- ۱-۵-۱-۱-۱ تنزل ولتاژ (Voltage Sag)..... ۹
- ۲-۵-۱-۱-۱ افزایش ولتاژ (Voltage Swell)..... ۱۰
- ۳-۵-۱-۱-۱ قطعی ولتاژ ۱۱
- ۴-۵-۱-۱-۱ کاهش ولتاژ ۱۲
- ۵-۵-۱-۱-۱ اضافه ولتاژ ۱۲
- ۶-۵-۱-۱-۱ نامتعادلی ولتاژ..... ۱۳
- ۷-۵-۱-۱-۱ اعوجاج شکل موج ولتاژ..... ۱۴

- ۱۴-۱-۵-۷-۱- افست dc ۱۴
- ۱۴-۱-۵-۷-۲- هارمونیک های ولتاژ ۱۴
- ۱۵-۱-۵-۷-۳- میان هارمونیک ها ۱۵
- ۱۵-۱-۵-۷-۴- شکاف (Notching) ۱۵
- ۱۶-۱-۵-۷-۵- نویز ۱۶
- ۱۷-۱-۵-۸- نوسانات ولتاژ ۱۷
- ۱۷-۱-۶- تغییرات فرکانس قدرت ۱۷
- ۱۷-۱-۷- کیفیت جریان ۱۷
- ۱۸-۱-۷-۱- هارمونیک های جریان ۱۸
- ۱۸-۱-۷-۲- نامتعادلی جریان ۱۸
- ۱۸-۲- جبران سازهای کیفیت توان ۱۸
- ۲۰-۱-۲- سیستم های انتقال انعطاف پذیر ۲۰
- ۲۳-۱-۲- تجهیزات مورد استفاده در سیستمهای توزیع برای بهبود کیفیت توان ۲۳
- ۲۳-۱-۲-۱- دسته بندی ادوات CUPS ۲۳
- ۲۳-۱-۲-۱-۱- ادوات قطع و وصل ۲۳
- ۲۵-۱-۲-۲-۱- ادوات کنترل پذیر گسسته ۲۵
- ۲۷-۱-۲-۲-۱- ادوات کنترل پذیر پیوسته ۲۷
- ۲۷-۱-۲-۲-۱- D-STATCOM ۲۷
- ۲۸-۱-۲-۲-۱- مقایسه SVC با D-STATCOM ۲۸
- ۲۹-۱-۲-۲-۱- معرفی تجهیز DVR ۲۹
- ۳۱-۱-۲-۲-۱- فیلترهای اکتیو ۳۱
- ۳۲-۱-۲-۲-۱- معرفی تجهیز UPQC ۳۲
- ۳۴-۱-۳- نتیجه گیری ۳۴

فصل دوم: تئوری‌های و روش‌های کاربردی

- ۳۵-۱-۲- جبران کننده جامع توان مصرفی (UCPC).....
- ۳۶-۲-۲- توپولوژی و ساختار جبران کننده جامع توان مصرفی (UCPC).....
- ۳۸-۳-۲- استراتژی‌های کنترلی UCPC.....
- ۳۹-۴-۲- مروری بر تئوری P-Q.....
- ۴۱-۵-۲- مروری بر مولفه‌های متقارن.....
- ۴۲-۶-۲- کاربرد روش مولفه‌های متقارن برای تولید جریان‌های مرجع.....
- ۴۴-۷-۲- استراتژی‌های سوئیچینگ برای اکتیو فیلتر.....
- ۴۴-۱-۷-۲- استفاده از کنترل کننده جریان هیستریزس.....
- ۴۵-۲-۷-۲- روش کنترلر PI.....
- ۴۵-۳-۷-۲- تشریح روش کنترلر بهینه.....
- ۴۹-۴-۷-۲- مقایسه روش کنترلر بهینه با کنترلر باند هیستریزس.....
- ۵۱-۸-۲- UCPC بصورت جبران‌ساز سری.....
- ۵۲-۹-۲- UCPC بصورت کنترلر توان.....
- ۵۴-۱۰-۲- نتیجه‌گیری.....

فصل سوم: نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار مطلب و بحث

- ۵۵-۱-۳- نتایج شبیه‌سازی جبران‌ساز موازی به روش باند هیستریزس.....
- ۶۳-۲-۳- نتایج شبیه‌سازی جبران‌ساز موازی به روش PI کنترلر.....
- ۶۸-۳-۳- نتایج شبیه‌سازی جبران‌ساز موازی به روش کنترلر بهینه.....
- ۷۳-۴-۳- نتایج شبیه‌سازی برای جبران‌ساز سری.....
- ۷۸-۵-۳- نتایج شبیه‌سازی جبران کننده بصورت کنترلر توان.....

۸۱.....	۳-۶- نتیجه گیری کلی
۸۲.....	۳-۷- پیشنهادات
۸۳.....	مراجع
۸۵.....	چکیده انگلیسی

فهرست جداول

۵.....	۱-۱ دسته بندی پدیده‌های اصلی و مسبب اغتشاشات الکترومغناطیسی توسط
۷.....	۱-۲ اغتشاشات کیفیت توان و مشخصات آن بر اساس استاندارد IEEE ۱۱۵۹
۲۱.....	۱-۳ تقسیم‌بندی مهمترین تجهیزات FACTS

فهرست شکل‌ها

۴.....	۱-۱ اغتشاشات موثر در کیفیت توان
۱۰.....	۱-۲ کمبود ولتاژ لحظه‌ای ناشی از اتصال کوتاه خط به زمین
۱۱.....	۱-۳ افزایش ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه خط به زمین
۱۲.....	۱-۴ قطعی ولتاژ در لحظه ۰/۰۶ ثانیه
۱۶.....	۱-۵ شکاف ولتاژ ناشی از عملکرد یک مبدل
۲۰.....	۱-۶ محدوده کاری ادوات FACTS و CUPS
۲۲.....	۱-۷ انواع سه گانه ادوات FACTS
۲۵.....	۱-۸ ترکیب کلید نیمه‌هادی و D-STATCOM
۲۵.....	۱-۹ مثالی از کاربرد SSTS در شبکه توزیع
۲۶.....	۱-۱۰ دیاگرام تک خطی SVR با کلیدهای ایزوله و بای پس
۲۸.....	۱-۱۱ توابع اصلی D-STATCOM

۲۹.....	۱۲-۱ مشخصه SVC و D-STATCOM
۳۰.....	۱۳-۱ ساختار کلی DVR
۳۰.....	۱۴-۱ عملکرد DVR هنگام افت ولتاژ
۳۱.....	۱۵-۱ فیلتر فعال موازی
۳۲.....	۱۶-۱ ساختار UPQC
۳۳.....	۱۷-۱ نمایی از عملکرد UPQC
۳۷.....	۱-۲ ساختار اصلی UCPC
۳۸.....	۲-۲ UCPC به صورت کنترلر توان بین فازی
۴۲.....	۳-۲ بلوک دیاگرام مدار کنترل
۴۲.....	۴-۲ بلوک دیاگرام مدار کنترل
۴۳.....	۵-۲ مدار کنترل تنظیم ولتاژ لینک dc
۴۶.....	۶-۲ مدار قدرت ارائه شده برای کنترلر بهینه
۴۸.....	۷-۲ بلوک دیاگرام مربوط به محاسبه سیگنالهای سوئیچینگ
۴۹.....	۸-۲ جریان مرجع در فاز a و تعقیب آن توسط جبران‌ساز در روش بهینه
۵۰.....	۹-۲ سیگنال‌های سوئیچینگ در روش کنترلر بهینه
۵۰.....	۱۰-۲ سیگنال‌های سوئیچینگ در روش باند هیستریزس
۵۱.....	۱۱-۲ سیگنال‌های سوئیچینگ در روش باند هیستریزس با افزایش باند
۵۱.....	۱۲-۲ جریان مرجع در یک فاز و تعقیب آن توسط جبران‌ساز هیستریزس باند
۵۲.....	۱۳-۲ مدار کنترل تولید ولتاژهای مرجع
۵۳.....	۱۴-۲ مدار کنترل سیگنال‌های سوئیچینگ
۵۳.....	۱۵-۲ مدار کنترل کنترلر توان
۵۵.....	۱-۳ مدار قدرت شبیه‌سازی شده
۵۶.....	۲-۳ ولتاژهای سه فاز شبکه

- ۳-۳ جریان‌های سه فاز کشیده شده توسط بار ۵۷
- ۳-۴ جریان‌های مرجع جبران ساز سه فاز ۵۷
- ۳-۵ جریان‌های سه فاز کشیده شده از منبع شبکه ۵۸
- ۳-۶ جریان در سیم خنثی حاصل از مدار کنترل ۵۸
- ۳-۷ جریان‌های تزریقی به فازها توسط مدار قدرت ۵۹
- ۳-۸ جریان تزریقی به سیم خنثی توسط مدار قدرت ۵۹
- ۳-۹ جریان کشیده از منبع بعد از عملکرد جبران‌ساز ۶۰
- ۳-۱۰ ولتاژ خازن ۶۰
- ۳-۱۱ جریان سیم خنثی شبکه بعد از عملکرد جبران‌ساز ۶۱
- ۳-۱۲ مدار قدرت شبیه سازی شده برای جبران سازی به روش PI ۶۲
- ۳-۱۳ ولتاژهای طرف شبکه ۶۳
- ۳-۱۴ جریان‌های طرف بار ۶۳
- ۳-۱۵ جریان‌های مرجع جبران‌ساز از مدار کنترل ۶۴
- ۳-۱۶ جریان‌های طرف منبع از مدار کنترل ۶۴
- ۳-۱۷ جریان‌های تزریقی توسط مبدل ۶۴
- ۳-۱۸ جریان‌های طرف منبع ۶۵
- ۳-۱۹ ولتاژ خازن ۶۵
- ۳-۲۰ مدار قدرت شبیه سازی شده برای جبران ساز به روش کنترل بهینه ۶۸
- ۳-۲۱ جریان‌های متعادل توسط کنترلر ۶۹
- ۳-۲۲ جریان‌های طرف بار ۶۹
- ۳-۲۳ ولتاژهای طرف شبکه ۶۹
- ۳-۲۴ توان اکتیو و راکتیو ۷۰
- ۳-۲۵ جریان‌های طرف منبع از مدار کنترل ۷۰

- ۲۶-۳ جریان‌های مرجع جبران‌ساز از مدار کنترل ۷۰
- ۲۷-۳ جریان‌های تزریقی توسط مبدل ۷۱
- ۲۸-۳ جریان‌های طرف منبع ۷۱
- ۲۹-۳ مدار قدرت شبیه‌سازی شده برای جبران‌ساز سری ۷۳
- ۳۰-۳ ولتاژهای طرف شبکه ۷۴
- ۳۱-۳ ولتاژهای طرف بار از مدار کنترل ۷۴
- ۳۲-۳ ولتاژهای طرف بار بعد از جبران‌سازی ۷۴
- ۳۳-۳ ولتاژهای مرجع جبران‌ساز ۷۵
- شکل ۳-۳۴ ولتاژهای ترتیب مثبت ۷۵
- ۳۵-۳ ولتاژ تزریقی در فاز a ۷۵
- ۳۶-۳ ولتاژ تزریقی در فاز b ۷۶
- ۳۷-۳ ولتاژ تزریقی در فاز c ۷۶
- ۳۸-۳ توان اکتیو و راکتیو بار ۷۸
- ۳۹-۳ توان اکتیو و راکتیو شبکه ۷۸
- ۴۰-۳ جریان‌های طرف بار ۷۹
- ۴۱-۳ جریان‌های مرجع مبدل ۱ ۷۹
- ۴۲-۳ ولتاژ خازن ۷۹
- ۴۳-۳ جریان‌های طرف شبکه اصلی ۸۰
- ۴۴-۳ جریان‌های تزریقی به سمت شبکه اصلی ۸۰

فصل اول:

بررسی منابع و پیشینه پژوهش

۱-۱- کیفیت توان در شبکه‌های توزیع

۱-۱-۱- مقدمه

کیفیت توان از اواخر دهه ۱۹۸۰ برای شرکت‌های توزیع برق و مشترکین مصارف فشار ضعیف و متوسط اهمیت زیادی پیدا کرده است به طوری که بنا به درخواست مشترکین شرکت‌های برق درصدد بهبود کیفیت توان در شبکه‌های توزیع می‌باشند. عنوان کیفیت توان به صورت یک مفهوم کلی برای تمام اغتشاشات موجود در شبکه‌های توزیع به کار برده می‌شود. موضوعاتی که در این خصوص مطرح می‌شود لزوماً جدید نیستند بلکه هدف بهبود روش‌های کنترل و افزایش کیفیت توان به نحو مطلوب می‌باشد.

می‌توان دلایل عمده توجه روزافزون به مساله کیفیت توان را به شرح زیر برشمرد:

- ۱- افزایش هارمونیک‌های جریان و ولتاژ در سیستم‌های قدرت.
- ۲- توجه بیشتر مصرف کنندگان انرژی به مسائلی از جمله قطعی‌ها، کمبود ولتاژ و ...
- ۳- افزایش حساسیت تجهیزات الکتریکی در مقابل اغتشاشات موجود در شبکه‌های توزیع.
- ۴- بروز اشکال و بوجود آمدن آثار نامطلوب در صورت معیوب شدن یک عنصر به خاطر اتصال شبکه‌ها به یکدیگر و تشکیل شبکه‌های بزرگتر.

بنابراین انگیزه اصلی برای بهبود کیفیت توان افزایش بهره‌وری مشترکین است. کارخانجات تولیدی خواستار ماشین‌های سریعتر با بهره‌وری و راندمان بیشتر هستند و شرکت‌های برق هم خواستار سوق دادن کارخانجات تولیدی به این مساله هستند زیرا این عمل موجب بهره‌وری بیشتر

برای مشترکین و ثانیاً موجب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در سرمایه‌گذاری پست‌ها و مراکز تولید به خاطر استفاده کردن مشترکین از وسایل پربازده خواهد شد. نکته قابل توجه در این زمینه این است که دستگاه‌هایی که برای افزایش بهره‌وری بکار می‌رود اغلب نسبت به اغتشاشات کیفیت توان حساس هستند و گاهی اوقات این ادوات خود منشاء تولید مشکل کیفیت توان هستند.

۱-۲-۱- تعریف کیفیت توان

در تعریف کیفیت توان نظریات مختلفی وجود دارد. به‌عنوان مثال شرکت‌های برق کیفیت توان را مترادف با قابلیت اطمینان تعریف کرده‌اند ولی سازندگان تجهیزات الکتریکی کیفیت توان را به صورت کارکرد مناسب دستگاهها بر اساس مشخصات منبع تغذیه تعریف می‌کنند. بنابراین با توجه به اینکه توان تابعی از ولتاژ و جریان می‌باشد لذا کیفیت توان به دو مقوله کیفیت ولتاژ و جریان ارتباط پیدا می‌کند. هر گونه مشکلی که باعث تغییر در ولتاژ، جریان و فرکانس گردد و موجب خرابی و یا عملکرد نادرست تجهیزات مصرف کننده شود به‌عنوان مخرب کیفیت توان مورد بحث قرار می‌گیرد.

البته همیشه یک ارتباط نزدیک بین جریان و ولتاژ در هر شبکه قدرت وجود دارد. اگر چه ولتاژ تولیدی ژنراتورها اغلب سینوسی کامل می‌باشد ولی جریان عبوری از امپدانس شبکه می‌تواند موجب بروز اغتشاشات ولتاژی متعددی گردد. برای مثال:

- ۱- جریان حاصل از یک اتصال کوتاه موجب کاهش ولتاژ و یا صفر شدن آن می‌شود.
- ۲- جریان‌های ناشی از اصابت صاعقه موجب ولتاژهای ضربه‌ای بزرگ بر روی شبکه قدرت می‌شود که معمولاً باعث جرقه روی عایق‌ها شده و نهایتاً سبب اتصال کوتاه می‌گردد.
- ۳- جریان‌های اعوجاج یافته ناشی از بارهای هارمونیکی به هنگام عبور از امپدانس شبکه موجب اعوجاج شکل موج ولتاژ می‌شود لذا ولتاژ اعوجاج یافته‌ای را برای سایر مشترکین ایجاد می‌کند.

طبق استاندارد ۱۹۹۱-۱۱۰۰ IEEE اصطلاح کیفیت توان به صورت زیر تعریف می‌شود:

نحوه‌ی برق دار کردن تجهیزات الکتریکی را به‌گونه‌ای که برای عملکرد آنها و تجهیزات مجاور مناسب باشد کیفیت مطلوب توان گویند.

به نظر می‌رسد کیفیت توان را به‌صورت زیر هم می‌توان تعریف کرد:

هر گونه انحراف از شرایط ایده‌آل شبکه قدرت بگونه‌ای که موجب اختلال در عملکرد سیستم مورد نظر گردد را مشکل کیفیت توان گویند. یک شبکه ایده‌آل شبکه‌ای است که در آن شکل ولتاژ و جریان در تمامی نقاط شبکه سینوسی و هم‌فاز بوده و فرکانس و دامنه ولتاژ آن نیز ثابت باشد.

عدم کیفیت توان مشکلاتی عمده برای مصرف‌کنندگان ایجاد کرده است و خسارات زیادی به کارخانجات و مراکز صنعتی بزرگ وارد کرده است. به همین خاطر مصرف‌کنندگان عظیم مصارف صنعتی و کارخانجات، هزینه‌های زیادی را جهت جلوگیری از ضرر مالی ناشی از عدم کیفیت توان حاضرند بپردازند.

۱-۱-۳- حوادث مورد بحث در کیفیت توان

با توجه به مباحث ذکر شده در بخش قبلی، کیفیت ولتاژ و جریان نمی‌تواند مستقل از هم مورد بررسی قرار گیرد.

در شکل ۱-۱ اکثر اغتشاشات موثر در کیفیت توان نشان داده شده است.

جدول ۱-۱ دسته بندی پدیده‌های اصلی و مسبب اغتشاشات الکترومغناطیسی توسط IEC [۱]

هارمونیک ها، میان هارمونیک ها	پدیده‌های هدایتی فرکانس پایین
مولفه DC در شبکه AC	
سیستم های پیام رسانی (PLC)	
تغییرات ولتاژ	
فرو رفتگی ولتاژ و وقفه ها	
عدم تعادل ولتاژ	
تغییرات فرکانس پایین	
میدان مغناطیسی	پدیده‌های تشعشعی فرکانس پایین
میدان الکتریکی	
ولتاژ یا جریان القایی با شکل موج پیوسته	پدیده‌های هدایتی فرکانس بالا
گذرای یک جهته	
گذراهای نوسانی	
میدان مغناطیسی	پدیده‌های تشعشعی فرکانس بالا
میدان الکتریکی	
میدان الکترو مغناطیسی	
امواج پیوسته	
گذراها	
-	پدیده‌های تخلیه الکترواستاتیک
-	پالس الکترومغناطیسی ناشی از فعالیت‌های هسته‌ای

جدول ۲-۱ اغتشاشات کیفیت توان و مشخصات آن بر اساس استاندارد IEEE ۱۱۵۹ [۲]

گروه	مولفه طیفی	مدت زمان نامی	دامنه ولتاژ نامی
۱- حالت‌های گذرا			
۱-۱- گذاری ضربه‌ای			
۱-۱-۱- نانو ثانیه	زمان صعود ۵۰ns	< ۵۰ns	
۲-۱-۱- میکروثانیه	زمان صعود ۱μs	۵۰ns - ۱ms	
۳-۱-۱- میلی ثانیه	زمان صعود ۰,۱ms	> ۱ms	
۲-۱- گذرای نوسانی			
۱-۲-۱- فرکانس پایین	< ۵kHz	۰,۳ - ۵۰ms	۰ - ۴pu
۲-۲-۱- فرکانس متوسط	۵-۵۰۰kHz	۲۰μs	۰ - ۸pu
۳-۲-۱- فرکانس بالا	۰,۵-۵MHz	۵μs	۰ - ۴pu
۲- تغییرات کوتاه مدت			
۱-۲- آنی			
۱-۱-۲- وقفه		۰,۵ - ۳۰ period	< ۰,۱pu
۲-۱-۲- کمبود		۰,۵ - ۳۰ period	۰,۱ - ۰,۹pu
۳-۱-۲- بیشبود		۰,۵ - ۳۰ period	۱,۱ - ۱,۸pu
۲-۲- لحظه‌ای			
۱-۲-۲- وقفه		۳s - ۳۰ period	< ۰,۱pu
۲-۲-۲- کمبود		۳s - ۳۰ period	۰,۱ - ۰,۹pu
۳-۲-۲- بیشبود		۳s - ۳۰ period	۱,۱ - ۱,۸pu
۳-۲- موقتی			
۱-۳-۲- وقفه		۳s - ۱min	< ۰,۱pu
۲-۳-۲- کمبود		۳s - ۱min	۰,۱ - ۰,۹pu
۳-۳-۲- بیشبود		۳s - ۱min	۱,۱ - ۱,۸pu

گروه	مولفه طیفی	مدت زمان نامی	دامنه ولتاژ نامی
۳- تغییرات بلند مدت			
۱-۳- وقفه بادوام		$> 1 \text{ min}$	$0,0 \text{ pu}$
۲-۳- کاهش ولتاژ		$> 1 \text{ min}$	$0,8 - 0,9 \text{ pu}$
۳-۳- افزایش ولتاژ		$> 1 \text{ min}$	$1,1 - 1,2 \text{ pu}$
۴- عدم تعادل ولتاژ		حالت ماندگار	$0,5 - 2\%$
۵- اعوجاج شکل موج			
۱-۵- مولفه dc		حالت ماندگار	$0 - 0,1\%$
۲-۵- هارمونیک‌ها	$0 - 100 \text{ th}$	حالت ماندگار	$0 - 20\%$
۳-۵- میان هارمونیک‌ها	$0 - 6 \text{ kHz}$	حالت ماندگار	$0 - 2\%$
۴-۵- شکاف		حالت ماندگار	
۵-۵- نویز		حالت ماندگار	$0 - 1\%$
۶- نوسان ولتاژ	$< 25 \text{ Hz}$	دوره‌ای	$0 - 7\%$
۷- تغییرات فرکانس قدرت		$< 10 \text{ s}$	

۴-۱-۱- گذراها

از نظر کلی می‌توان گذراها را به دو دسته ضربه‌ای و نوسانی تقسیم کرد. این واژه‌ها در زیر شرح داده می‌شوند:

۱-۴-۱-۱- گذرای ضربه‌ای

یک گذرای ضربه‌ای، تغییر ناگهانی با فرکانسی غیر از فرکانس قدرت در حالت مانای ولتاژ، جریان و یا هردوی آنهاست که پلاریته آن در یک جهت مثبت و یا منفی است. گذرای ضربه‌ای معمولاً با زمان‌های صعود و نزول مشخص می‌شود. عامل اصلی ایجاد گذرای ضربه‌ای صاعقه است.

۱-۴-۲- گذراهای نوسانی

یک گذرای نوسانی تغییر ناگهانی با فرکانسی غیر از فرکانس قدرت در حالت مانای ولتاژ، جریان و یا هر دو آنهاست که هر دو پلاریته مثبت و منفی را داراست. گذرای نوسانی شامل شکل موجهای ولتاژ یا جریان است و مقدار لحظه‌ای آن سریعاً تغییر پلاریته می‌دهد. مشخصه‌های این پدیده توسط محتوای طیفی (فرکانس اصلی) طول دوره زمانی و دامنه تعیین می‌شود. گذرای نوسانی طبق جدول ارائه شده در بخش‌های قبلی به سه نوع شامل فرکانس بالا، متوسط و کم تقسیم شده است.

گذرای بالاتر از ۵۰۰ کیلو هرتز و تداوم زمانی در حدود چند میکرو ثانیه به عنوان گذرای نوسانی فرکانس بالا در نظر گرفته می‌شود.

گذرای نوسانی بین ۵ کیلو هرتز تا ۵۰۰ کیلو هرتز با تداوم چندین ده میکرو ثانیه گذرای فرکانس متوسط نامیده می‌شود. برق‌دار کردن خازن‌های پشت به پشت موجب گذرای در محدوده ده‌ها کیلو هرتز خواهد شد.

گذرای که مولفه اصلی فرکانس آن کمتر از ۵ کیلو هرتز و تداوم از $0/3$ تا ۵ میلی ثانیه داشته باشد گذرای فرکانس پایین تلقی می‌شود. یکی از عوامل بوجود آمدن این پدیده انرژی‌دار کردن بانک خازنی می‌باشد که موجب گذرای نوسانی ولتاژ با مولفه اصلی فرکانسی بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ هرتز می‌شود. این گذرا دارای دامنه پیک حدوداً $1/3$ تا $1/5$ پرینیت است که گاهی به ۲ پرینیت می‌رسد.

۱-۱-۵- کیفیت ولتاژ

از نقطه نظر کیفیت توان آنچه برای مصرف کننده اهمیت دارد کیفیت ولتاژ می‌باشد. ولتاژ زمانی برای مصرف کننده ایده‌آل است که منبع ولتاژ یک منبع دائمی سینوسی با دامنه و فرکانس

ثابت، عاری از هر گونه اعوجاج و امواج نامطلوب مغناطیسی باشد. برای مصرف کننده سه فاز لازم است که ولتاژها متعادل باشند. امروزه مرکز کنترل کیفیت ولتاژ (QCC) و نیز سیستم‌های هوشمند، مطمئن و قابل انعطاف در توزیع انرژی الکتریکی (FRIENDS) قادرند با عرضه سطوح متفاوت کیفیت ولتاژ، مشتری را در موقعیت انتخاب سطح مناسب کیفیت ولتاژ قرار دهند.

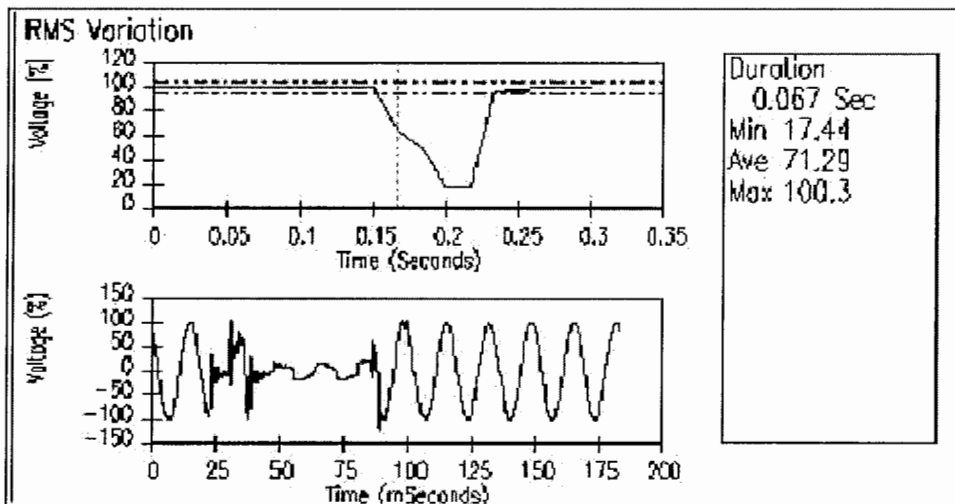
مباحث زیر در زمینه کیفیت ولتاژ مورد بحث قرار می‌گیرد :

۱-۱-۵-۱- تنزل ولتاژ (Voltage Sag)

طبق استانداردهای IEEE تنزل ولتاژ عبارت است از کاهش دامنه به ۱۰ تا ۹۰ درصد مقدار اسمی با مدت زمانی بین نیم سیکل تا یک دقیقه. اما در استاندارد IEC اصطلاح افت ولتاژ (Voltage Dip) برای توصیف این پدیده بکار رفته است. معمولاً بزرگی تنزل ولتاژ در ۶۰ درصد موارد بین ۰/۶ تا ۰/۹ پریونیت، در ۱۰ درصد از آنها کمتر از ۰/۶ پریونیت و در ۳۰ درصد مابقی موارد بیش از ۹۰ درصد ولتاژ اسمی می‌باشد.

مدت زمان تنزل ولتاژ در ۶۰ درصد موارد بین ۶ تا ۲۰ سیکل، در ۱۰ درصد موارد بالای ۲۰ سیکل و در ۳۰ درصد مابقی کمتر از ۶ سیکل است [۳].

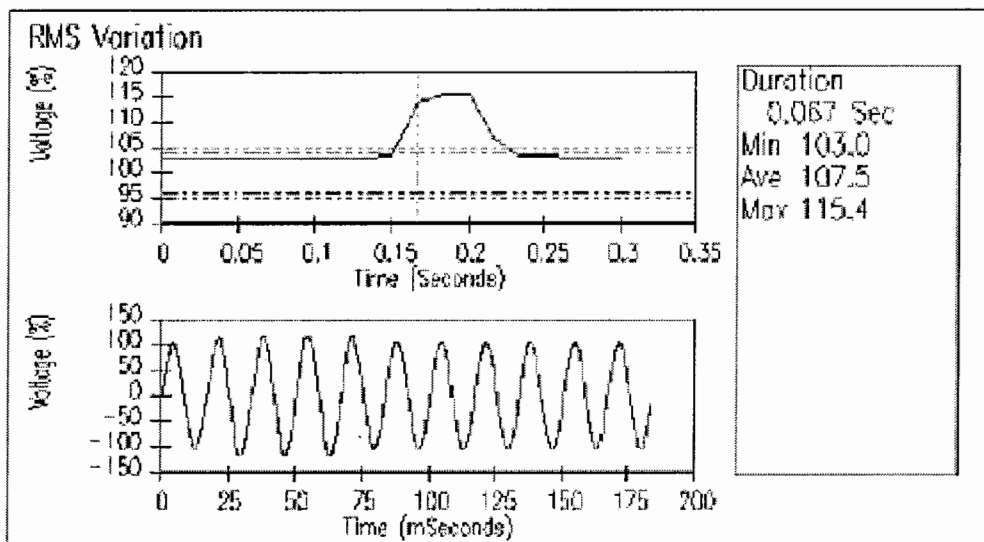
کامبود ولتاژ معمولاً با خطاهای اتصال کوتاه همراه است. البته کلیدزنی بارهای سنگین یا راه‌اندازی موتورهای پر قدرت هم می‌تواند موجب Sag گردد. یک موتور القایی در لحظه راه‌اندازی ۶ تا ۱۰ برابر جریان نامی از شبکه جریان می‌کشد که این جریان پس‌فاز موجب افت ولتاژ در دو سر امپدانس شبکه می‌گردد. شکل ۱-۲ یک تنزل ولتاژ را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ کمبود ولتاژ لحظه‌ای ناشی از اتصال کوتاه خط به زمین

۱-۱-۵-۲- افزایش ولتاژ (Voltage Swell)

طبق استاندارد IEEE ۱۱۵۹ افزایش مقدار موثر ولتاژ شبکه تا میزان $1/1$ تا $1/8$ ولتاژ اسمی در فرکانس اصلی و با مدت زمانی بین نیم سیکل تا یک دقیقه را افزایش ولتاژ می‌نامند [۴]. یک اضافه ولتاژ می‌تواند در اثر اتصال کوتاه تکفاز با زمین بوجود آید که موجب افزایش ولتاژ در فازهای سالم می‌گردد. همچنین می‌تواند قطع بارهای سنگین یا وارد شدن بانک خازنی از عوامل اضافه ولتاژ تلقی گردد. شکل ۳-۱ یک افزایش ولتاژ را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱ افزایش ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه خط به زمین

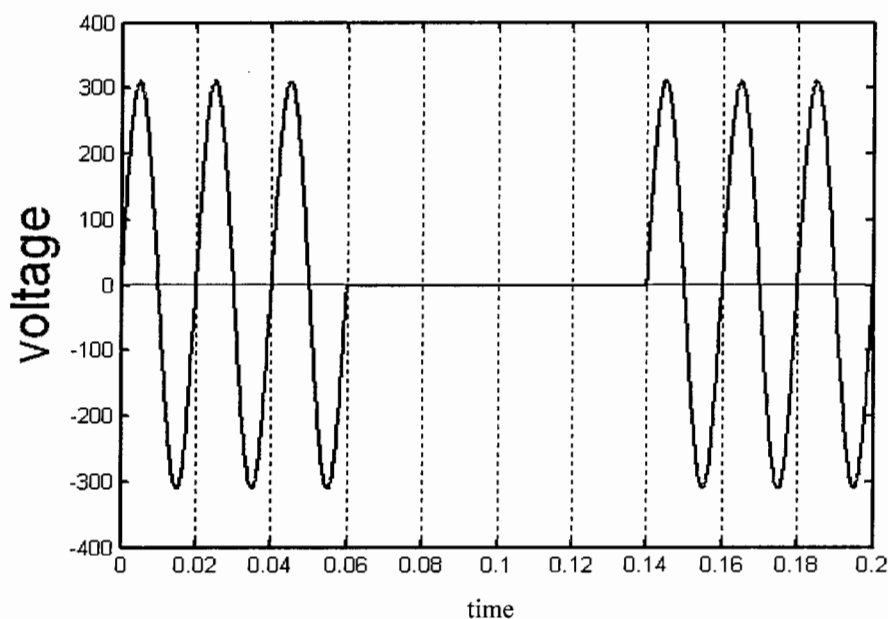
۱-۱-۵-۳- قطعی ولتاژ

طبق استاندارد IEEE ۱۲۵۰ وضعیتی است که در آن میزان ولتاژ مصرفی به صفر نزدیک شود. طبق تعریف IEC نزدیک شدن به صفر به معنای دامنه ولتاژ حدود یک درصد ولتاژ اسمی می‌باشد در حالیکه در IEEE به معنی ده درصد از ولتاژ اسمی عنوان شده است. از نقطه نظر کیفیت توان، قطعی بدترین حالت ممکن بشمار می‌رود. از مهمترین عوامل قطعی ولتاژ می‌توان به قطعی سیم‌ها، عدم عملکرد صحیح رله‌ها، اتصال کوتاه شدن مدارها و یا خطا در عملکرد اپراتور را اشاره نمود. انواع قطعی‌ها به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱- قطعی بلند مدت

۲- قطعی کوتاه مدت

در نوع اول قطعی بیش از ۳ دقیقه می‌باشد و اگر کمتر از ۳ دقیقه باشد کوتاه مدت می‌باشد [۵]. از مشکلات قطعی کوتاه مدت می‌توان به پاک شدن RAM کامپیوترها، افت سرعت موتورها و از کارافتادن تجهیزات اشاره کرد. شکل ۴-۱ یک قطعی ولتاژ را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴ قطعی ولتاژ در لحظه ۰/۰۶ ثانیه

۱-۱-۵-۴- کاهش ولتاژ

کاهش مقدار موثر ولتاژ متناوب به پایین تر از ۹۰ درصد ولتاژ اسمی در فرکانس قدرت که بیش از یک دقیقه به طول انجامد را کاهش ولتاژ گویند. کاهش ولتاژ در اثر عواملی همچون اتصال بار سنگین به شبکه، جدا نمودن بانک خازنی از شبکه، کاهش تولید برق، بار بیش از حد و افزایش بارهایی که قدرت راکتیو مصرف می کنند بوجود می آید.

۱-۱-۵-۵- اضافه ولتاژ

افزایش مقدار موثر ولتاژ متناوب به بالاتر از ۱۱۰ درصد ولتاژ اسمی در فرکانس قدرت که بیش از یک دقیقه به طول انجامد را افزایش ولتاژ گویند. اضافه ولتاژ می تواند در نتیجه کلید زنی (خارج شدن بارهای بزرگ) یا تغییرات جبران کننده های راکتیو موجود در سیستم (وارد شدن

بانک خازنی) بوجود آید. ظرفیت پایین سیستم تنظیم ولتاژ یا کنترل کننده‌ها موجب اضافه ولتاژ خواهد شد. همچنین تنظیم نامناسب تپ‌های ترانسفورمرها می‌تواند موجب اضافه ولتاژ گردد.

۱-۱-۵-۶- نامتعادلی ولتاژ

طبق استاندارد IEEE ۱۱۵۹ نامتعادلی ولتاژ در یک سیستم سه فاز عبارت است از ولتاژ موثر نا مساوی یا زاویه نامساوی بین ولتاژهای سه فاز می‌باشد.

نامتعادلی ولتاژ بر اساس نسبت مولفه‌های منفی و یا صفر به مولفه مثبت تعریف می‌شود. مولفه منفی و یا صفر ولتاژ در سیستم عموماً ناشی از بارهای نامتعادلی است که موجب عبور جریان‌های مولفه منفی و یا صفر می‌شود. نامتعادلی ولتاژ را می‌توان از سه دیدگاه تقسیم‌بندی کرد:

۱- نامتعادلی ترتیب منفی

۲- نامتعادلی دامنه

۳- نامتعادلی فاز

نامتعادلی ترتیب منفی عبارت است از نسبت ولتاژ توالی منفی به ولتاژ توالی مثبت.

نامتعادلی دامنه عبارت است از نسبت تفاضل حداکثر و حداقل دامنه ولتاژ به متوسط ولتاژی سه فاز.

نامتعادلی فاز عبارت است از اختلاف بین حداقل و حداکثر فاز در ولتاژهای سه فاز [۶].

از عواملی که باعث نامتعادلی ولتاژ در شبکه‌های سه فاز می‌شود می‌توان به ترن‌های برقی سه فاز، خطوط سه فاز جابجا نشده، کوره‌های القایی، قطعی یکی از فازهای مربوط به تجهیزات سه فاز و بارهای سنگین تکفاز اشاره کرد. مقادیر کم نامتعادلی ولتاژ منجر به مقادیر بالای نامتعادلی جریان می‌شود.

۱-۱-۵-۷- اعوجاج شکل موج ولتاژ

اعوجاج شکل موج در حالت مانا عبارت است از انحراف از یک موج سینوسی در فرکانس نامی که توسط محتوای طیفی آن موج مشخص می‌شود. پنج نوع اعوجاج در شکل موج را می‌توان به شرح زیر تشخیص داد :

۱- افست dc

۲- هارمونیک‌ها

۳- میان و زیر هارمونیک‌ها

۴- شکاف

۵- نویز

۱-۱-۵-۷-۱- افست dc

حضور یک ولتاژ (یا جریان) مستقیم در یک سیستم قدرت افست dc نامیده می‌شود. این پدیده می‌تواند در نتیجه اغتشاش میدان مغناطیسی زمین یا بر اثر مبدل‌های ولتاژ و جریان بوجود آید. وجود جریان مستقیم در یک شبکه متناوب می‌تواند آسیب‌های جدی از قبیل اشباع هسته ترانسفورماتورها، فشارهای اضافی روی عایق‌ها و دیگر اثرات مخرب گردد.

۱-۱-۵-۷-۲- هارمونیک‌های ولتاژ

هارمونیک‌ها، ولتاژهای (جریان‌های) سینوسی هستند که فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس اصلی شبکه می‌باشد. این هارمونیک‌ها با مولفه اصلی ولتاژ و یا جریان ترکیب شده و موجب اعوجاج در شکل موج ولتاژ یا جریان می‌شود.

سطح اعوجاج هارمونیکی را می‌توان توسط طیف کامل هارمونیکی با دامنه و زاویه فاز برای هر مولفه هارمونیکی مشخص کرد. همچنین می‌توان برای اندازه‌گیری اعوجاج هارمونیکی از یک

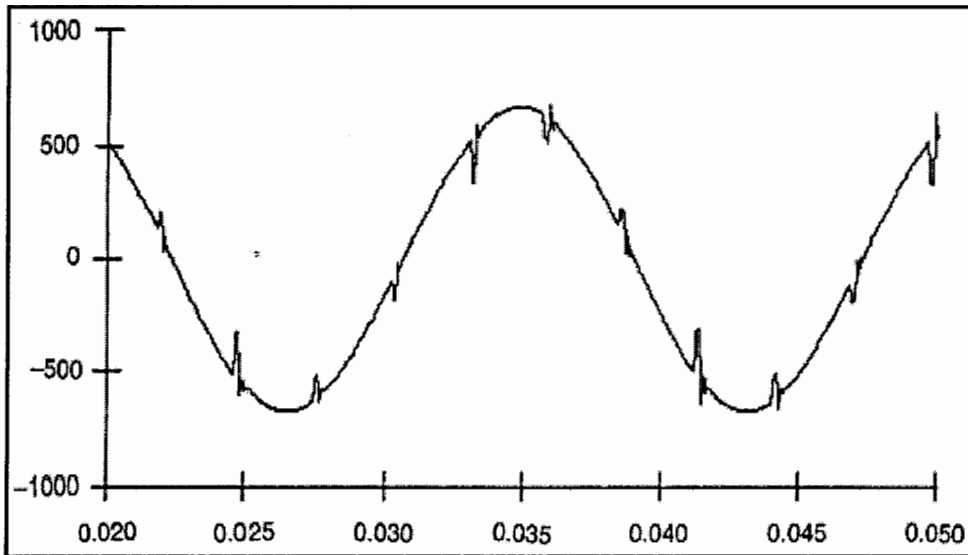
کمیت بنام اعوجاج هارمونیکی کل (Total Harmonic Distortion) THD استفاده کرد. هارمونیک‌های ولتاژ سبب کاهش کیفیت عملکرد موتورها، اختلال در مدارهای دیجیتال، اشتباه در عملکرد رله‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری می‌شود [۷].

۱-۱-۵-۷-۳- میان هارمونیک‌ها

ولتاژها یا جریان‌هایی که فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس مولفه اصلی نباشد را میان هارمونیک گویند. میان هارمونیک‌ها را در کلیه سطوح ولتاژ شبکه می‌توان مشاهده کرد. از عوامل اصلی ایجاد این هارمونیک‌ها می‌توان مبدل‌های فرکانسی استاتیک، سیکلو کانورترها، موتورهای القایی و دستگاه‌های تولید قوس الکتریکی را نام برد.

۱-۱-۵-۷-۴- شکاف (Notching)

شکاف اغتشاش ولتاژ منظمی است که به علت عملکرد دستگاه‌های الکترونیک قدرت به هنگام کموتاسیون جریان از یک فاز به فاز دیگر ایجاد می‌شود. طبق استاندارد ۱۱۰۰-۱۹۹۹ IEEE برش ولتاژ نوعی اختلال در شکل موج ولتاژ می‌باشد که مدت زمان آن کمتر از نیم سیکل فرکانس قدرت بوده و جهت اولیه آن بر خلاف جهت شکل موج ولتاژ باشد [۸]. از آنجا که شکاف به‌طور دائم اتفاق می‌افتد می‌توان آن را به‌صورت طیف هارمونیکی که روی ولتاژ اثر می‌گذارد شناسایی کرد. مولفه‌های فرکانسی مربوط به شکاف کاملاً بالاست و توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری معمولی که برای تحلیل هارمونیک‌ها بکار می‌رود قابل خواندن نیست. شکاف موقعی اتفاق می‌افتد که جریان کموتاسیون از یک فاز به فاز دیگر منتقل می‌شود و در این مدت یک اتصال کوتاه موقتی بین این دو فاز با امپدانس نزدیک به صفر رخ دهد. شکل ۱-۵ شکاف ولتاژ را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵ شکاف ولتاژ ناشی از عملکرد یک مبدل

۱-۱-۵-۷-۵- نويز

عبارت است از سیگنال‌های الکتریکی نامطلوب بر روی ولتاژ با فرکانس قدرت. فرکانس نویز ولتاژ معمولاً بین ۳ الی ۲۰۰ کیلو هرتز است. علت اصلی نویز در سیستم قدرت می‌تواند به علت کارکرد دستگاه‌های الکترونیک قدرت، دستگاه‌های قوس الکتریکی، بارهایی با یکسو کننده‌های استاتیک و منابع تغذیه قدرت با ساختار کلیدزنی باشد.

مشکلات ایجاد شده توسط نویز گاهی اوقات به علت سیستم زمین نامناسب است که موجب عدم خروج نویز از سیستم قدرت می‌شود. نویز موجب اختلال در دستگاه‌های الکترونیکی از قبیل میکرو کامپیوترها و کنترل کننده‌های قابل برنامه ریزی می‌شود. این مشکل را می‌توان با استفاده از فیلتر و ترانسفورماتورهای ایزولاتور برطرف کرد.

۱-۱-۵-۸- نوسانات ولتاژ

بر اساس تعریف ANSI C ۸۴,۱-۱۹۸۱ نوسانات ولتاژ عبارت است از تغییرات منظم پوش ولتاژ یا یک سری تغییرات ولتاژ تصادفی که دامنه آنها معمولاً از ۰/۹ تا ۱/۱ پریونیت باشد و یا تغییرات دوره‌ای پوش ولتاژ یا یک سری تغییرات تصادفی ولتاژ که دامنه آن از محدوده قابل قبولی که در استاندارد IEC ۳۸ به آن اشاره شده بالا نرود [۹]. نوسان ولتاژ منجر به نوسان قدرت هم می‌شود. معمولاً بر روی بارهای روشنایی اثر می‌کند و بارهای دیگر را تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. مهمترین منبع نوسان ولتاژ کوره‌های قوس، قوس الکتریکی و شروع بکار موتورهای بزرگ با بار سنگین می‌باشد البته کوره‌های قوسی بیشترین نقش را در تولید نوسان ولتاژ دارند [۱۰].

۱-۱-۶- تغییرات فرکانس قدرت

منظور از تغییر فرکانس قدرت انحراف فرکانس هارمونیک اصلی از مقدار نامی خود می‌باشد. فرکانس قدرت به سرعت گردش ژنراتورها در سیستم قدرت بستگی دارد. زمانی تغییرات فرکانس قدرت دامنه بزرگی دارد که قطع یا اتصال بار سنگین و یا خروج نیروگاه در کار باشد. تغییرات فرکانس معمولاً از $\pm 0/1$ هرتز بیشتر نیست. در سیستم‌های به هم پیوسته جدید تغییرات فرکانس چشمگیر و بسیار نادر است.

۱-۱-۷- کیفیت جریان

با توجه به اینکه اکثر بارهای مراکز صنعتی بارهای غیر خطی یا بارهایی می‌باشد که تاثیر آن بر شبکه نامطلوب می‌باشد بجز حالتی که بار مقاومتی است لذا لازم است که در شبکه برای بهبود کیفیت جریان اقداماتی انجام داد.

پدیده‌هایی از قبیل جریان‌های نامتعادل، هارمونیک‌های جریان، جریان‌های هجومی، جریان‌های جبران DC، جریان‌های عیب، جریان خنثی و حتی قدرت راکتیو وجود دارند که تنها به بار بستگی دارند و فاقد هر گونه ارتباط مستقیم با کیفیت منبع ولتاژ می‌باشند. لذا لازم است که برخی اصطلاحات در خصوص کیفیت جریان مورد بحث قرار گیرد.

۱-۷-۱-۱- هارمونیک‌های جریان

هارمونیک‌های جریان بحث جدیدی نیست و از همان ابتدا هارمونیک‌های جریان در ترانسفورماتورهای قابل اشباع و یکسوکننده‌ها اهمیت فراوان دارد. هارمونیک‌های جریان باعث کاهش عمر تجهیزات می‌شود.

۱-۷-۲- نامتعادلی جریان

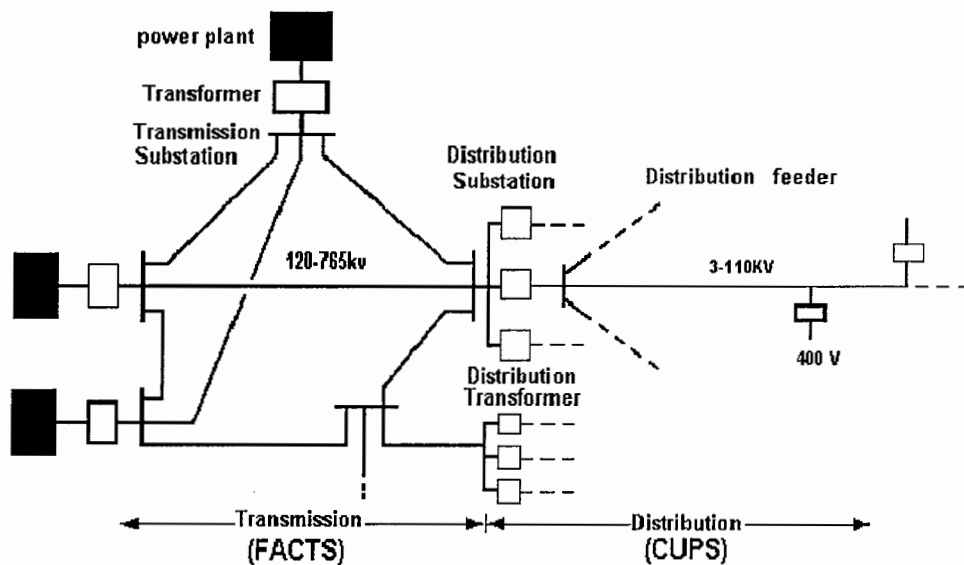
بارهای سه فاز یا تکفاز نامتعادل منجر به نامتعادلی جریان می‌شوند. که با توجه به امیدانس منبع نامتعادلی جریان منجر به نامتعادلی ولتاژ نیز می‌گردد. اگر نامتعادلی جریان دارای مولفه ترتیب صفر باشد سبب ایجاد جریان در سیم خنثی می‌گردد.

۱-۲- جبرانسازهای کیفیت توان

مسائل انتقال و توزیع انرژی الکتریکی از جنبه‌های فعال و رو به رشد مهندسی قدرت به شمار می‌آید. پیشرفت‌های تکنولوژی الکترونیک قدرت در دهه‌ی نود میلادی نیز نه تنها بر سرعت رشد آن افزوده است بلکه با بهره‌مندی سیستم‌های قدرت از تکنیک‌های مختلف کنترلی باعث محقق شدن ایده‌های نو در این زمینه شده است. با رشد مصارف صنعتی و گسترش سیستم‌های قدرت و نیز عدم امکان تولید انرژی مورد نیاز در نزدیکی محل مصرف، مساله انتقال انرژی در فواصل طولانی اهمیت زیادی پیدا کرده است. در نتیجه خطوط بلند بین ناحیه‌ای وظیفه انتقال

توان را بر عهده گرفتند و ناگزیر مسائل زیادی از قبیل قابلیت اطمینان، میزان بار گذاری خطوط و حفظ پایداری مطرح گردید.

عواملی از قبیل مسائل زیست محیطی و ملاحظات اقتصادی سیستم‌های انتقال را محدود می‌کنند. به منظور کنار زدن محدودیت‌های سیستم قدرت و استفاده بهتر از قابلیت‌های آن راه‌حل‌ها و تکنولوژی‌های جدید مورد نیاز است. سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر (FACTS) به عنوان یکی از تکنولوژی‌های جدید جهت بهره‌برداری بهتر از سیستم‌های انتقال قدرت ارائه شده‌اند. هر یک از ادوات FACTS جهت حل مشکل خاصی ارائه شده‌اند. از طرفی در شبکه‌های توزیع امروزه با کاربرد وسیع بارهای غیرخطی و حساس، از قبیل ادوات الکترونیک قدرت (مانند یکسوکننده‌های دیودی و تریستوری، سیکلوکانورترها و راه‌اندازهای موتور AC و DC) و مسائل حساس الکترونیکی روبرو هستیم که مساله کیفیت توان را بیشتر مورد توجه قرار می‌دهد. بارهای غیرخطی با کشیدن جریان غیرسینوسی از شبکه باعث کاهش کیفیت توان در شبکه‌های توزیع می‌شوند. از طرفی اعوجاج‌های ولتاژ و هارمونیک‌های ولتاژ در سیستم‌های قدرت جدی است. اکثر بارهای حساس جهت عملکرد مناسب به منبع ولتاژ سینوسی نیاز دارند. تحت این شرایط تجهیزات جدیدی که مشابه ادوات FACTS است برای شبکه‌های توزیع پیشنهاد شده است این تجهیزات با عنوان (CUPS (Custom Power System) مطرح شده‌اند. ولی کاربرد و نحوه کنترل آنها کاملاً متفاوت با ادوات FACTS است. شکل ۱-۶ محدوده کاربرد ادوات ذکر شده را نشان می‌دهد [۱۲و۱۱].



شکل ۱-۶ محدوده کاری ادوات FACTS و CUPS

۱-۲-۱- سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر (FACTS):

سیستم‌های انتقال انعطاف پذیر اولین بار توسط موسسه EPRI (Electrical Power Research Institute) در سال ۱۹۸۶ تحت عنوان FACTS مطرح گردید. بعد از آن دو موسسه IEEE و CIGRE به صورت مشترک تعریف زیر را برای FACTS ارائه دادند:

افزایش ظرفیت انتقال و بهبود کنترل پذیری سیستم‌های انتقال قدرت با مشارکت ادوات الکترونیک قدرت و دیگر کنترل کننده‌های استاتیکی.

با استفاده از ادوات FACTS می‌توان میزان بهره‌برداری از سیستم را افزایش داده و بدین ترتیب استفاده موثرتر اقتصادی از سیستم قدرت را به عمل آورد. ویژگی کاربرد ادوات FACTS در سیستم‌های انتقال:

-افزایش ظرفیت خطوط انتقال در حد ظرفیت حرارتی آن.

- تثبیت سطح ولتاژ در حالت مانا و کنترل پخش بار.

-افزایش پایداری سیستم (بهبود پایداری گذرا و مشخصه دینامیکی)

-راه حلی هوشمند برای تحویل بهینه توان.

این ادوات به سه گروه Advanced, Electronically Commutate, Conventional

تقسیم‌بندی شده است.

جدول ۱-۳ تقسیم‌بندی مهمترین تجهیزات FACTS

مخفف	نام کامل	نام گروه
MSBR	Mechanically Switch Breaking Resistance	ادوات گروه اول Conventional
MSR	Mechanically Switch Reactor	
MSC	Mechanically Switched Capacitor	
MSSR	Mechanically Switch Series Reactor	
MSSC	Mechanically Switch Series Capacitance	
PST	Phase Sifting Transformer	
VRPST	Voltage Regulating Phase Sifting Transformer	
TCBR	Thyristor Controlled Breaking Resistance	ادوات گروه دوم Electronically Commutate
SRD	Sub synchronous Resonance Damper	
TCVL	Thyristor Controlled Voltage Limiter	
TSR	Thyristor Controlled Reactor	
TSC	Thyristor Switched Capacitor	
TCR	Thyristor Switched Reactor	
SVC	Static Var Compensator	
TCSR	Thyristor Controlled Series Reactor	
TCSC	Thyristor Controlled Series Capacitor	
SCCL	Short Circuit Current Level	
LTC	Load Tap Changer	
TCPST	Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer	
IPC	Interphase Power Controller	
SMES	Supperconducting Magnetic Energy Storage	
BESS	Battery Energy Storage System	
HVDC	High Voltage Direct Current	
STATCOM	Synchronous Static Compensator	ادوات گروه سوم Advanced
SSSC	Synchronous Static Series Compensator	
UPFC	Universal Power Flow Controller	

در گروه اول از عناصر الکترونیک قدرت استفاده نشده است. المان‌های بکار رفته در این تجهیزات عبارتند از: مقاومت، راکتور، خازن، برقگیر و ترانسفورماتور تنظیم و جابجاگر فاز. در این گروه کنترل توان تنها به کمک سیستم مکانیکی صورت می‌گیرد. به عبارتی می‌توان این ادوات را نسل قدیمی سنتی نامگذاری کرد.

در گروه دوم ادوات FACTS از کلیدهای تریستوری به عنوان کلید نیمه‌هادی استفاده شده است. یکی از معایب این گروه عدم کنترل بر خاموش کردن آنهاست و در یک سیکل بیش از یکبار نمی‌توان آنها را کلیدزنی کرد. بجای کلیدهای مکانیکی گروه اول از کلیدهای الکترونیک قدرت استفاده شده است.

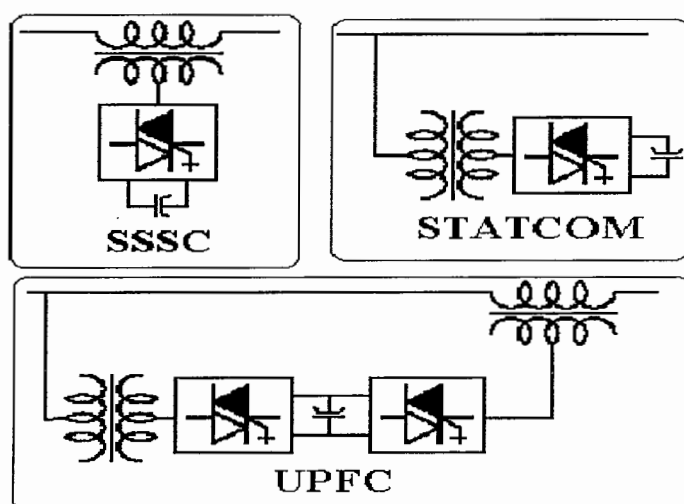
با پیشرفت تکنولوژی الکترونیک قدرت و پیدایش کلیدهای پر قدرت با قابلیت قطع و وصل بالا مانند GTO، IGBT و ... نسل جدید ادوات FACTS معرفی شدند. از دیدگاه مداری ادوات FACTS به‌طور عمده به سه دسته تقسیم می‌شوند:

ادواتی که به‌طور موازی به سیستم وصل می‌شوند.

ادواتی که به‌صورت سری به سیستم وصل می‌شوند.

ادواتی که به‌صورت سری موازی به سیستم وصل می‌شوند.

شکل زیر انواع سه گانه نسل جدید تجهیزات FACTS را که در ساختار آنها از مبدل‌های منبع ولتاژ استفاده شده است نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷ انواع سه گانه ادوات FACTS

۱-۲-۲- تجهیزات مورد استفاده در سیستم‌های توزیع برای بهبود کیفیت توان

با افزایش کاربرد بارهای غیرخطی و ادوات الکترونیکی در شبکه‌های توزیع مساله کیفیت توان مورد توجه بیشتر قرار گرفته است. تحت این شرایط ادواتی تحت عنوان Custom Power مطرح شده که در زیر تعریف می‌گردد:

بکارگیری کنترل کننده‌های الکترونیک قدرت در سیستم‌های توزیع جهت بالا بردن کیفیت توان و قابلیت اطمینان مشتری.

کاربرد ادوات (CUPS (Custom Power System یکی از دو راه بهبود کیفیت توان برای کارگاه‌ها و مراکز صنعتی و غیره می‌باشد. راه حل دیگر بهبود محصولات مصرفی در شبکه‌های توزیع توسط کارخانه‌های تولیدی این تجهیزات است.

۱-۲-۲-۱- دسته بندی ادوات CUPS

ادوات CUPS به سه دسته تقسیم می‌شود:

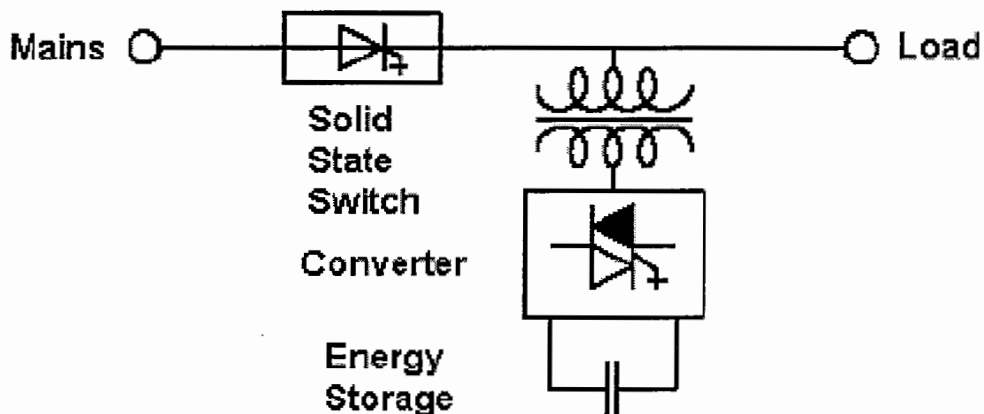
- ۱- ادوات قطع و وصل، کلیدهای الکترونیک قدرت (ON/OFF Apparatus, Switches)
- ۲- ادوات کنترل پذیر گسسته (Stepwise Controllable Apparatus)
- ۳- ادوات کنترل پذیر پیوسته (Continuously Controllable Apparatus)

۱-۲-۲-۱-۱- ادوات قطع و وصل

اکثراً در مکان‌های تجاری و صنعتی جهت سوئیچ کردن بارهای حساس از قبیل کامپیوترها، کنترل کننده‌های قابل برنامه ریزی و راه‌اندازهای تنظیم کننده سرعت مابین دو فیدر مستقل از هم کاربرد دارند. چون کلید زنی کلیدهای الکترومکانیکی از یک تا ده ثانیه به طول می‌انجامد در نتیجه این کلیدها چنان گند هستند که نمی‌توانند از بارهای حساس در مقابل اغتشاشات حفاظت

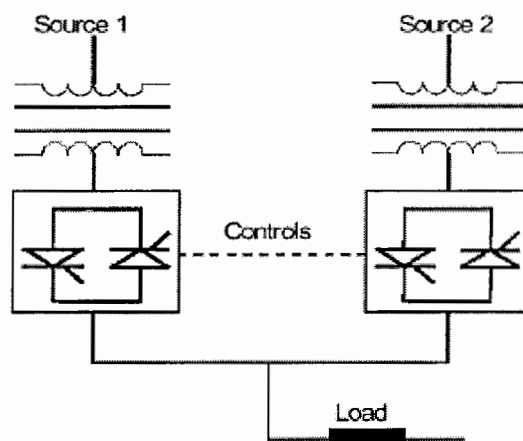
کنند. کلیدهای استاتیکی جفت تریستور یا GTOهای موازی معکوس (با مدارات اسنابر مناسب) جهت کلیدزنی سریع مناسب هستند. برای سطوح ولتاژ مورد نیاز این کلیدها به تعداد مورد نیاز به صورت سری وصل می‌گردند. در ترکیب تریستوری (SSB (Solid State Breakers) می‌توان در اولین لحظه‌ای که جریان مدار از صفر می‌گذرد کلید را با تاخیر چند میلی ثانیه قطع کرد که برای اکثر کاربردها مناسب است. اما اگر از GTO در ترکیب SSB استفاده شود می‌توان جریان را در هر زمان که لازم باشد قطع نمود.

شکل ۸-۱ ترکیب یک مدار شکن نیمه‌هادی با D-STATCOM را در ایزوله کردن یک بار حساس در مقابل اغتشاشات ناشی از طرف منبع را نشان می‌دهد. وقتی ولتاژ دچار مشکل گردد کلید استاتیکی باز می‌شود و توان اکتیو و راکتیو بار از D-STATCOM تامین می‌شود.



شکل ۸-۱ ترکیب کلید نیمه‌هادی و D-STATCOM

شکل ۹-۱ کاربرد کلید تبدیل استاتیکی (Solid State Transfer Switch) SSTS را در تغذیه بار حساس از دو فیدر مستقل را نشان می‌دهد. اگر کمبود ولتاژ و یا قطعی در یکی از منابع اتفاق افتد کلید تبدیل استاتیکی باز می‌شود و بار از فیدر دیگر تغذیه می‌گردد [۱۳].



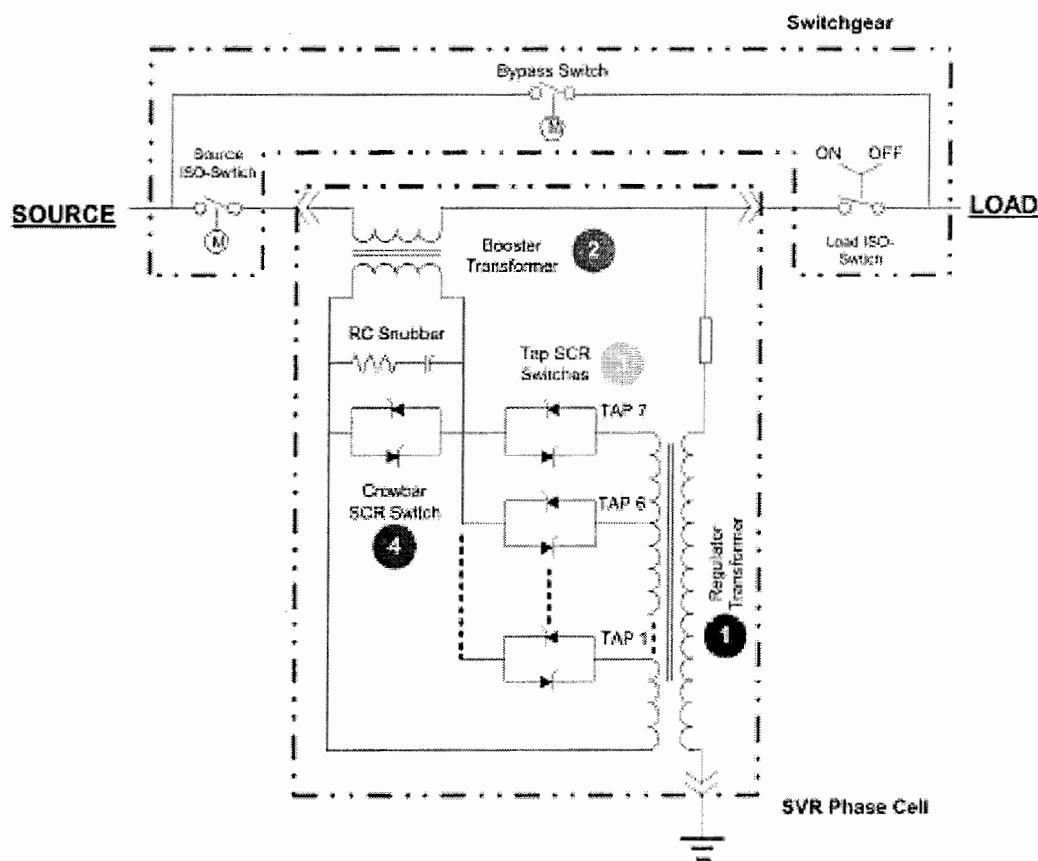
شکل ۹-۱ مثالی از کاربرد SSTS در شبکه توزیع

۲-۲-۱-۲-۱ ادوات کنترل پذیر گسسته

این ادوات با استفاده از تپ چنجرهای الکترونیکی یا با استفاده از کلید زنی خازن‌ها به صورت پله‌ای در TSC و جبران‌ساز استاتیکی توان راکتیو تثبیت ولتاژ را انجام می‌دهند. تپ چنجرها

نسبت به کلیدهای الکترومکانیکی به علت سرعت بالاتر، کارایی بیشتر و نگهداری ساده‌تر مزایایی دارند. این تپ چنجرها دارای دو عیب اساسی ساختار پیچیده و بروز جرقه در حین تعویض تپ می‌باشند. بنابراین اولاً نیاز به نگهداری و سرویس مداوم دارند ثانیاً تعداد دفعات مجاز تعویض تپ در آنها محدود می‌باشد ثالثاً سرعت تعویض تپ در آنها کم بوده لذا قابلیت تغییرات سریع ولتاژ را ندارند.

در رگولاتور ولتاژ استاتیکی (Static Voltage Regulator) SVR از تپ چنجرهای استاتیکی استفاده شده است. SVR شامل سلول‌های سه‌فاز و یک اطاقک کنترل و ارتباطی می‌باشد. دیاگرام تک خطی SVR همراه با کلیدهای ایزوله کننده و منبع و کلید بای‌پس در شکل ۱-۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱۰ دیاگرام تک خطی SVR با کلیدهای ایزوله و بای پس

SVR از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

۱- ترانسفورمر تنظیم کننده (Regulator Transformer) که سیم‌پیچی ثانویه آن به خط وصل شده و هر تپ آن به کلیدهای موازی معکوس تریستوری SCR وصل شده است.

۲- ترانسفورمر تقویت کننده (Booster Transformer) که ثانویه آن با خط توزیع سری شده است.

۳- تپ چنجر استاتیکی با کلیدهای تریستوری SCR.

۴- کلید تریستوری اهرمی اولیه ترانسفورمر بوستر را زمانیکه در مدار نیست اتصال کوتاه می‌کند.

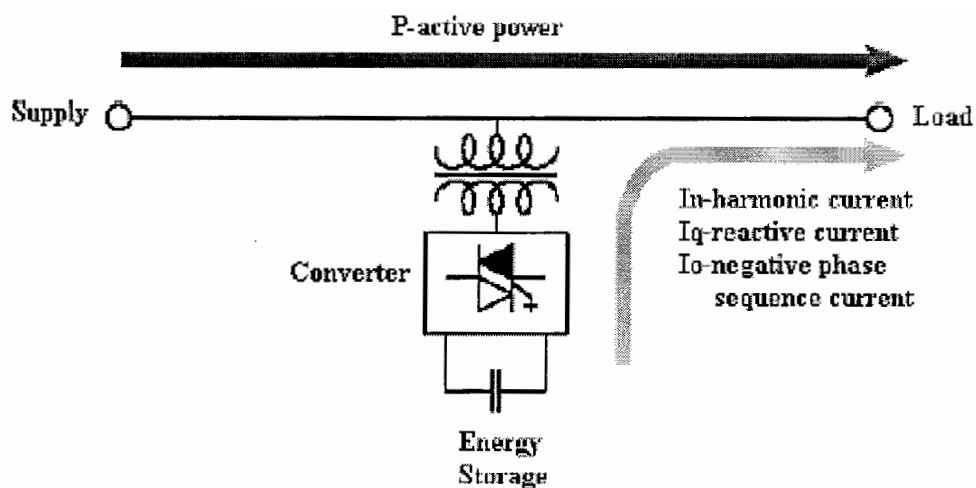
۱-۲-۲-۱-۳- ادوات کنترل پذیر پیوسته

ساختار اصلی این ادوات مبدل منبع ولتاژ (VSC (Voltage Source Converter) با استراتژی کنترلی مناسب می‌باشد. که شامل مبدل‌های سری، موازی و سری-موازی (یکپارچه) می‌باشد. D-STATCOM یک تجهیز موازی، DVR یک تجهیز سری و UPQC، UCPC از تجهیزات جامع می‌باشند که در قسمت‌های بعدی شرح داده می‌شود.

۱-۲-۱-۱-۳- D-STATCOM

برای جبران‌سازی توان راکتیو بکار می‌رود و دارای قابلیت تزریق جریان به‌صورت پیوسته به سیستم توزیع می‌باشد. ساختار اصلی D-STATCOM در شکل ۱-۱۱ نمایش داده شده است که دارای یک مبدل منبع ولتاژ می‌باشد همچنین یک خازن DC وظیفه تامین ولتاژ DC را بر عهده دارد [۱۳].

شکل ۱-۱۱ توابع اصلی D-STATCOM را نشان می‌دهد:



شکل ۱۱-۱ توابع اصلی D-STATCOM

اهداف زیر از D-STATCOM حاصل می‌شود:

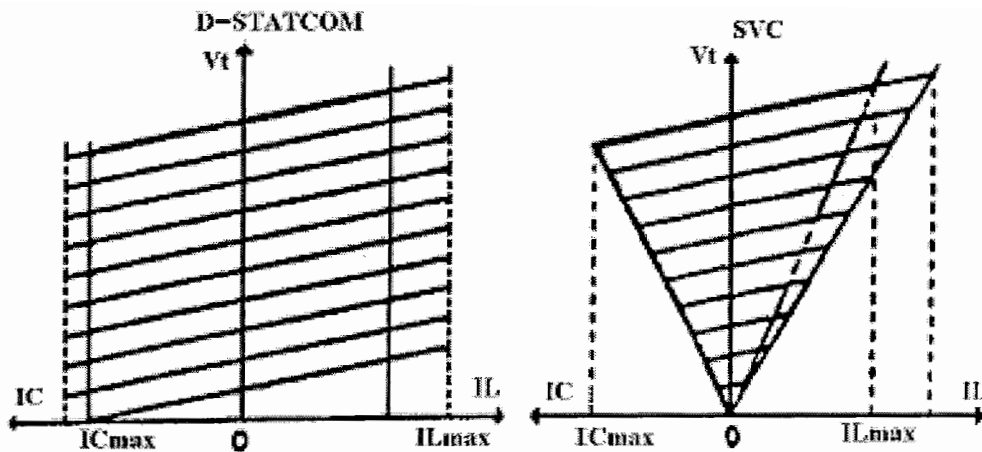
۱- تنظیم ولتاژ و جبران‌سازی توان راکتیو.

۲- تصحیح ضریب قدرت.

۳- حذف هارمونیک‌های جریان.

۱-۲-۳-۲- مقایسه D-STATCOM با SVC

D-STATCOM یک جبران‌کننده موازی توان راکتیو مانند SVC (Static Var Compensator) و از نسل جدید می‌باشد. در شکل ۱۲-۱ ناحیه کاری مربوط به مشخصه ولتاژ - جریان D-STATCOM و SVC نشان داده شده است. همان طوریکه از شکل ۱۲-۱ مشخص است در یک SVC با کاهش ولتاژ باس حد خروجی SVC نیز کاهش می‌یابد اما در مورد D-STATCOM این چنین نبوده و می‌تواند جریان نامی خود را در تمام ولتاژها ارائه دهد. بعبارت دیگر ارتباط ولتاژ و توان راکتیو در D-STATCOM خطی بوده ولی در SVC به صورت مجذور ولتاژ می‌باشد لذا D-STATCOM نسبت به SVC رفتار مناسب‌تری در تثبیت ولتاژ دارد [۱۵].

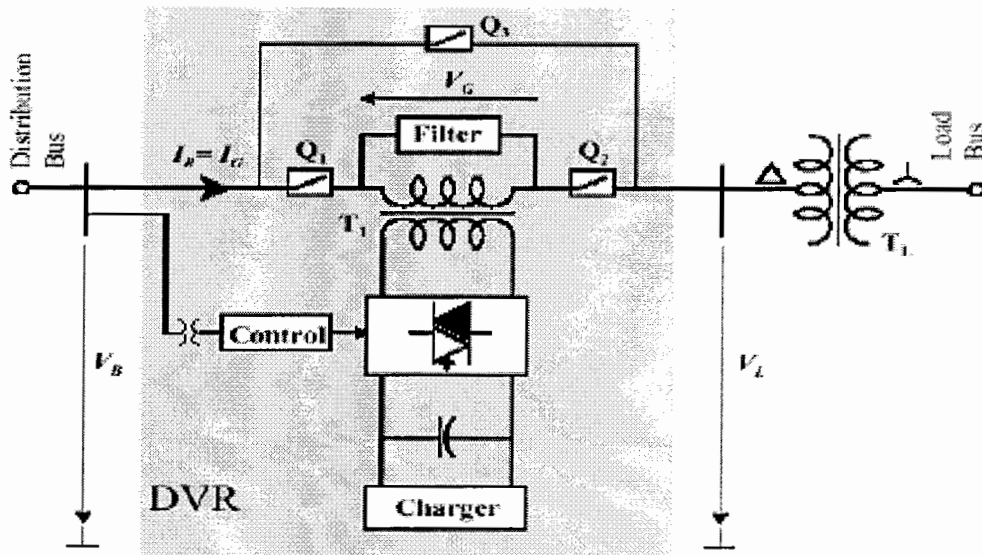


شکل ۱۲-۱ مشخصه SVC و D-STATCOM

۱-۲-۲-۱-۳- معرفی تجهیز DVR

این تجهیز اغلب مشکلات مربوط به کیفیت ولتاژ را حل می‌کند. یک DVR از یک اینورتر منبع ولتاژ یا جریان، یک ترانسفورمر سری و یک فیلتر برای جذب هارمونیک‌ها تشکیل یافته است. ساختار DVR مانند D-STATCOM می‌باشد با این تفاوت که ترانسفورمر تزویج به صورت سری با شبکه وصل گردیده است. مبدل منبع ولتاژ (VSC) یک خروجی ولتاژ که دامنه و فاز آن قابل کنترل می‌باشد تولید می‌کند. این ولتاژ به سیستم توزیع تزریق شده و مشکلات ولتاژ را حل می‌کند.

شکل ۱۳-۱ نمایی از یک DVR را نشان می‌دهد.

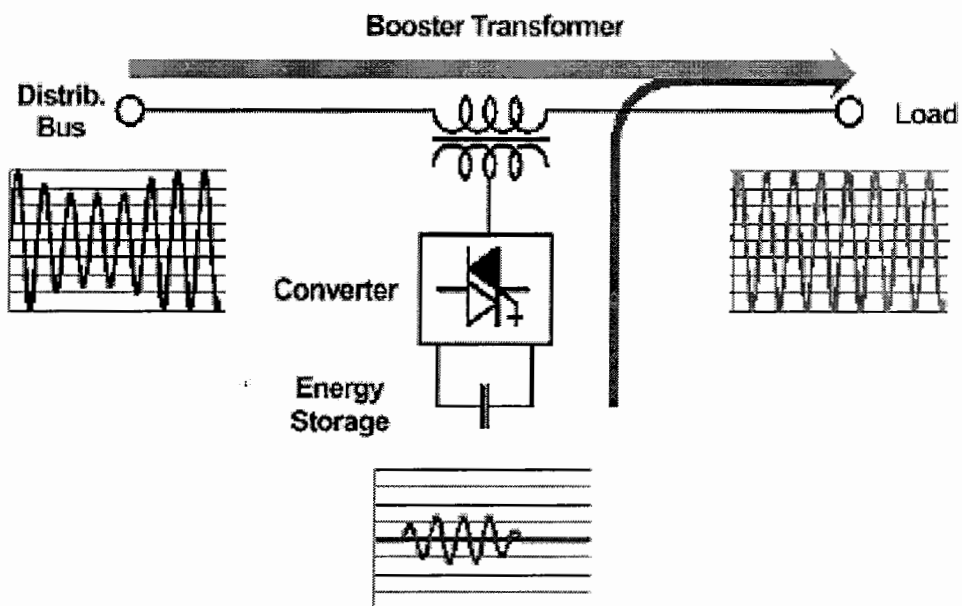


شکل ۱۳-۱ ساختار کلی DVR

شکل ۱۴-۱ عملکرد DVR را بر روی ولتاژ یک فاز در حین بروز یک افت ولتاژ (Sag) نشان

می‌دهد. پس توابع اصلی DVR عبارتند از:

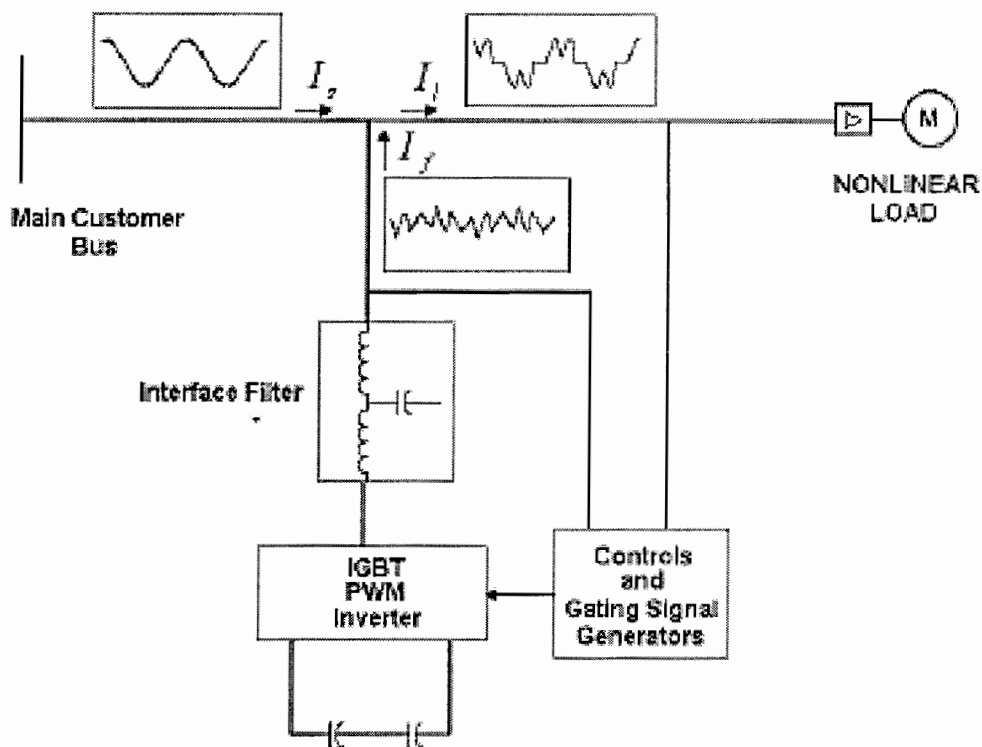
- ۱- حذف یا کاهش افت ولتاژ و افزایش ولتاژ دو سر بار.
- ۲- کاهش نامتعادلی ولتاژ دو سر بار و جبرانسازی هارمونیک‌های منبع ولتاژ.



شکل ۱۴-۱ عملکرد DVR هنگام افت ولتاژ

۱-۲-۲-۱-۳-۴- فیلترهای اکتیو

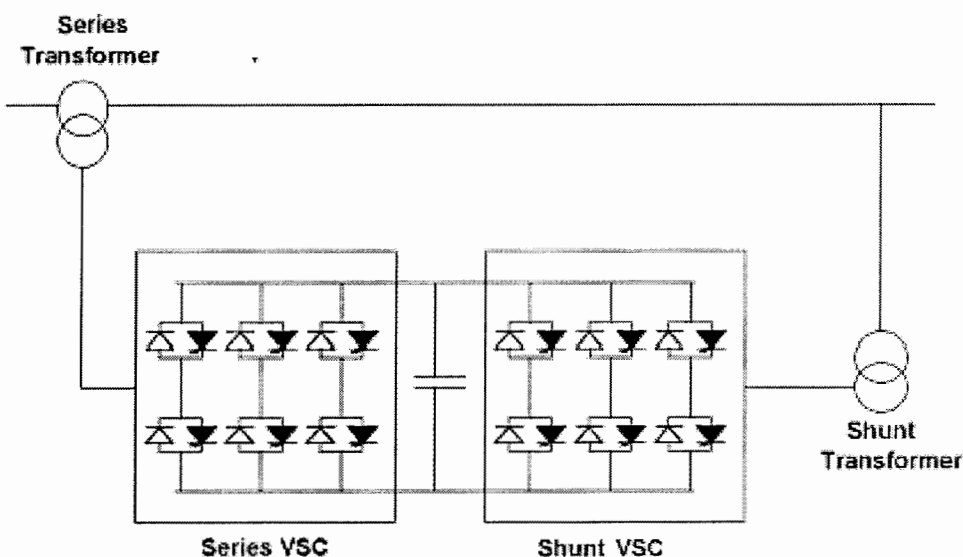
مفهوم استفاده از این فیلترها برای اولین بار در دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی ارائه گردید. فیلترهای اکتیو برای جبران هارمونیک‌های ولتاژ و یا جریان استفاده می‌شود. فیلترهای اکتیو برای جبران تغییرات سریع در جریان بار یا ولتاژ شبکه پاسخ قابل ملاحظه دینامیکی دارد. فیلترهای اکتیو منبع ولتاژ یا جریان می‌باشند که از طریق روش‌های مختلف کنترل از قبیل روش مقدار میانگین، استفاده از فیلترهای بالا گذر و استفاده از کنترل کننده PI شکل موج مطلوب جریان و ولتاژ را تولید می‌کنند. شکل ۱-۱۵ طرز عملکرد فیلتر فعال موازی را نشان می‌دهد. برای حذف نوسانات کلیدزنی از یک فیلتر پسیو بالاگذر درجه دوم LC و یا درجه اول RC استفاده می‌شود.



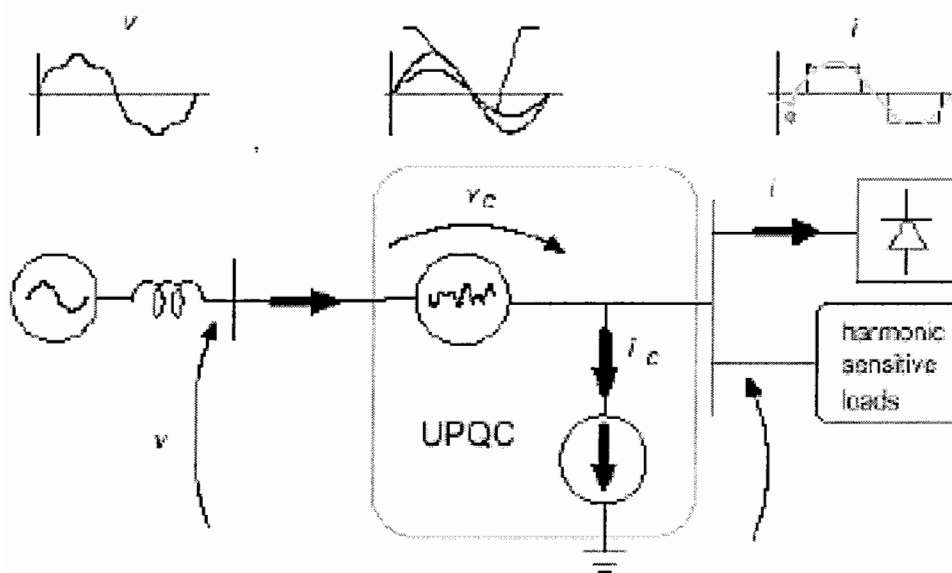
شکل ۱-۱۵ فیلتر فعال موازی

۱-۲-۲-۱-۳-۵- معرفی تجهیز UPQC (Unified Power Quality Conditioner)

با استفاده از این تجهیز می‌توان بر تمام مشکلات کیفیت ولتاژ و جریان به‌طور همزمان و لحظه‌ای فائق آمد. این سیستم به ویژه زمانی قابل استفاده است که گروهی از بارهای حساس به کیفیت ولتاژ در نزدیکی گروهی دیگر از بارهای مولد هارمونیک و یا بوجود آورنده نامتعادلی در کار باشد و در عین حال برخی مشکلات کیفیت ولتاژ در شبکه نیز وجود داشته باشد. UPQC از اتصال پشت به پشت دو اینورتر با منبع DC مشترک تشکیل شده است. یکی از اینورترها به‌طور موازی به شبکه وصل می‌شود (از طریق اندوکتور یا ترانسفورمر) و به‌عنوان فیلتر فعال موازی عمل می‌کند. این فیلتر فعال معمولاً مشکلات کیفیت جریان را جبران کرده و ولتاژ DC را نیز تنظیم می‌کند. اینورتر دوم به‌صورت سری با شبکه وصل شده و به‌عنوان فیلتر فعال سری برای جبران مشکلات ولتاژ عمل می‌کند. در شکل ۱-۱۶ ساختار UPQC نشان داده شده است. همچنین شکل ۱-۱۷ نمای ساده عملکرد UPQC را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۶ ساختار UPQC



شکل ۱۷-۱ نمایی از عملکرد UPQC

۱-۳- نتیجه‌گیری

در این فصل به بررسی موضوع کیفیت توان و انواع رایج جبرانسازهای کیفیت توان در شبکه‌های توزیع و انتقال پرداخته شده است. مباحث مربوط به کیفیت توان در دو بخش به صورت کیفیت ولتاژ و کیفیت جریان به‌طور مختصر شرح داده شده است. مباحث مربوط به کیفیت ولتاژ بر اساس استانداردهای معروف مرور شده است. از طرفی تجهیزاتی با عنوان CUPS که در سیستم‌های توزیع بکار می‌روند به‌طور مختصر بررسی شده است.

فصل دوم:

تئوری‌های و روش‌های کاربردی

۲-۱- جبران کننده جامع توان مصرفی

Universal Custom Power Conditioner (UCPC)

از زمانیکه Dr.N.G Hingorani مفهوم Custom Power را ارائه کرد بیشتر توجه‌ها به قابلیت اعتماد و کیفیت توان در سیستم‌های توزیع پرداخته شد [۱۶]. در سال‌های اخیر مشتریان تجاری و صنعتی یک سیر صعودی از عدم برقراری قابلیت اعتماد و کیفیت توان گزارش کرده‌اند. قابلیت اعتماد تغذیه توان بوسیله خرابی‌هایی همچون قطعی یا کاهش ولتاژ اتفاق افتاده بود در حالیکه کیفیت توان بوسیله حوادثی مانند هارمونیک‌ها و افزایش ولتاژها به مخاطره افتاده بود. استراتژی‌های کنترل تطبیقی برای قابلیت اعتماد برق از جمله نوسان ولتاژ، هارمونیک‌ها، کارکرد نامتقارن و قطع توان تغذیه، لازم است که بررسی گردد. در سال‌های اخیر تمام مسائل ذکر شده بالا به صورت منفرد و مستقل بحث شده‌اند. به‌عنوان مثال SVC، STATCOM و فیلترهای اکتیو و غیره [۱۷].

اگر چه تمام موارد فوق ابزار مهمی برای کاهش و جبران‌سازی موضوعات کیفیت توان هستند اما هر یک از ادوات ذکر شده تنها برای برطرف کردن مشکل خاصی طراحی شده بودند و آنها به صورت ترکیبی نمی‌توانند قابلیت اطمینان کیفیت توان را توسعه دهند. علاوه بر آن هزینه و کارایی آنها اغلب نیازهای کاربران را ارضا نمی‌کند.

در سال‌های نزدیک فیلترهای اکتیو (APF) برای ایزوله هارمونیک و حذف هارمونیک‌ها مورد توجه بیشتر قرار گرفته‌اند [۱۸]. علاوه بر آن با یک تاکید بیشتر بر روی کیفیت توان (UPFC) برای ایزوله هارمونیک به سیستم انتقال اعمال شده است. به عبارت دیگر یک سیستم ذخیره انرژی باتری (BESS) قابلیت تعویض سیستم بار از پیک‌های روزانه به پایین‌تر و کاربردهای چند منظوره

را فراهم کرده است. ظرفیت بالای BESS نزدیک مرکز بار با قابلیت چند ساعت تغذیه بار می‌تواند بسیار مفید باشد.

UCPC روی یک سری مبدل‌های منبع ولتاژ با یک سیستم ذخیره انرژی پایه ریزی شده است. هدف UCPC بکار گرفتن انرژی باتری برای به‌دست آوردن توابع جبران‌سازی ترکیبی مثل جبران‌سازی توان راکتیو، دمپینگ هارمونیک‌ها یا کنترل نامتعادلی، کنترل نوسان ولتاژ، حذف فلیکر ولتاژ و کنترل توان اکتیو در یک وسیله را بر عهده دارد. UCPC شکل کامل و مختلف UPFC و UPQC را دارد. UPFC یک رنج بالا از توان برای کنترل توان در خط انتقال را بر عهده دارد و UPQC که یک سیستم ترکیبی از فیلترهای اکتیو سری و موازی بدون سیستم BESS می‌باشد.

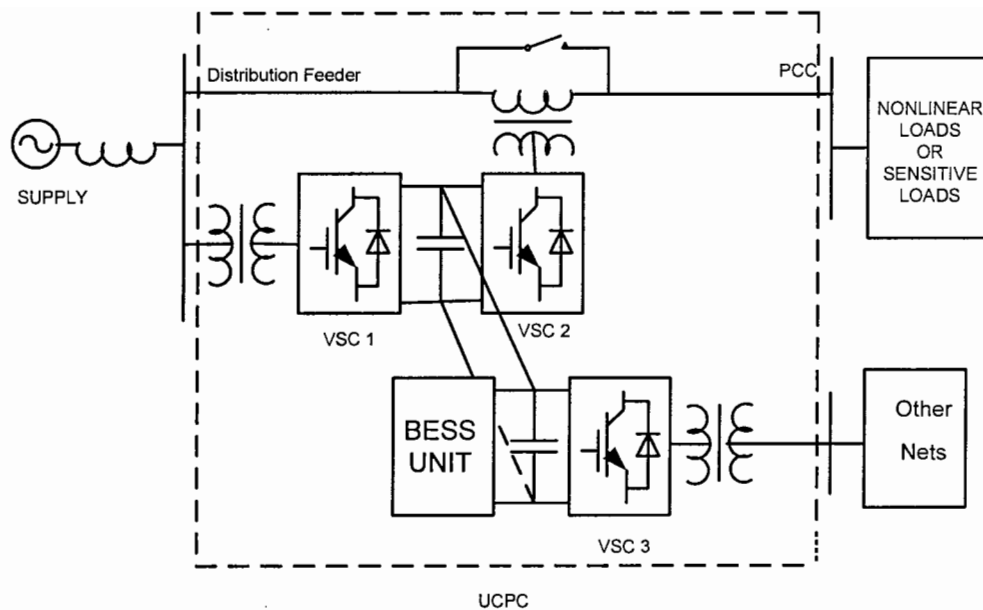
۲-۲- توپولوژی و ساختار جبران کننده جامع توان مصرفی (UCPC)

تصویر ۱-۲ ساختار اصلی یک UCPC را نشان می‌دهد. ساختار از دو فیلتر اکتیو موازی و یک فیلتر اکتیو سری با لینک DC مشترک تشکیل شده است. لینک DC به یک واحد ذخیره ساز انرژی مانند باطری متصل می‌باشد.

این ساختار برای اهداف زیر بکار می‌رود:

- ۱- جبران‌ساز سری (Series Power Conditioner)
- ۲- جبران‌ساز موازی (Shunt Power Conditioner)
- ۳- کنترل کننده توان بین فازی (Inter-Phase Power Controller)

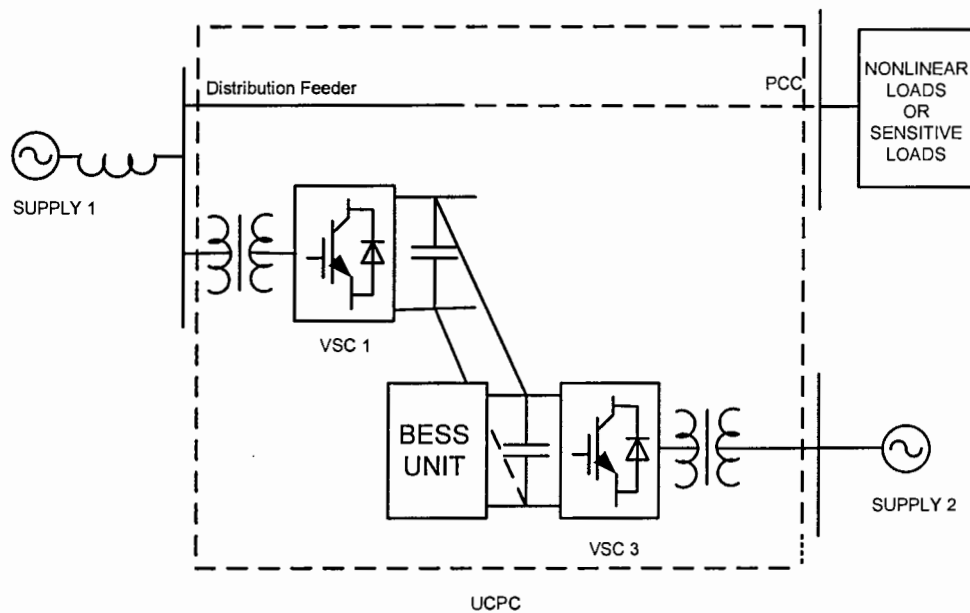
همانطوریکه در تصویر ۱-۲ نشان داده شده است یک مبدل به‌صورت سری برای جبران‌سازی هارمونیک‌های ولتاژ و مشکلات کیفیت ولتاژ عمل می‌کند. اکتیو فیلتر یک (VSC ۱) توان اکتیو را از شبکه جذب می‌کند و ولتاژ لینک DC را ثابت نگه می‌دارد. بنابراین در این قسمت UCPC به‌صورت یک جبران‌ساز سری برای کنترل ولتاژ و از بین بردن هارمونیک‌های ولتاژ بکار می‌رود.



شکل ۱-۲ ساختار اصلی UCPC

همانطوریکه در شکل ۱-۲ آمده است مبدل ۱ به صورت ترکیبی از STATCOM و APF می‌تواند برای کنترل تصحیح ضریب قدرت و حذف هارمونیک‌ها و کنترل شارژ باتری بکار برده شود.

در تصویر شماتیک ارائه شده ۲-۲، UCPC به صورت یک کنترلر توان بین فازی عمل می‌کند. دو نوع مختلف از شبکه می‌توانند توان اکتیو را از یکدیگر به هم انتقال دهند. اجزاء اصلی در این ساختار UCPC، مبدل‌های ۱ و ۳ هستند. کاربرد این سیستم زمانی است که یک منبع انرژی دیگر مانند انرژی حاصل از یک توربین بادی جهت شارژ و ذخیره انرژی و جهت انتقال توان اکتیو به سمت منبع اصلی و تغذیه بار در شرایط پیک بار بکار برده می‌شود.



شکل ۲-۲ UCPC به صورت کنترلر توان بین فازی

توابع اصلی جبرانسازی فیلتر اکتیو سری عبارتند از:

۱- جبرانسازی هارمونیک‌های ولتاژ شامل اجزاء مولفه‌های ترتیب منفی و صفر فرکانس

اصلی.

۲- کنترل تنزل و افزایش ولتاژ و فلیکر ولتاژ.

توابع اصلی جبرانسازی فیلتر اکتیو موازی عبارتند از:

۱- حذف یا جذب هارمونیک‌های جریان شامل اجزاء مولفه‌های ترتیب منفی و صفر فرکانس

اصلی.

۲- جبرانسازی توان راکتیو

۳- تنظیم یا کنترل ولتاژ لینک DC

۲-۳- استراتژی‌های کنترلی UCPC

با توجه به اینکه استراتژی کنترلی بهترین روش برای بهبود عملکرد جبرانسازهای کیفیت

توان می‌باشد لذا تا بحال استراتژی‌های کنترل زیادی برای جبرانسازها ارائه گردیده است. با توجه

به اینکه تغییر در استراتژی کنترلی بسیار ساده‌تر و ارزانتر از تغییر در ساختار مدار قدرت می‌باشد لذا استراتژی کنترلی از اهمیت خاصی برخوردار است.

استراتژی کنترلی برای ایجاد جریان‌های مرجع با استفاده از ترکیب روش مولفه‌های متقارن و تئوری P-Q لحظه‌ای به‌دست آمده است. استراتژی کنترلی سوئیچینگ برای ایجاد جریان‌های مرجع مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین استراتژی کنترلی برای تولید ولتاژهای مرجع با استفاده از مولفه‌های متقارن بحث شده است و در نهایت مبادله توان اکتیو و کمک به تغذیه بار به سمت منبع اصلی انجام شده است.

۲-۴- مروری بر تئوری P-Q

فیلترهای اکتیو یکی از مهمترین سیستم‌ها برای حل مشکلات مربوط به کیفیت توان هستند. شیوه‌های کنترلی متفاوتی برای فیلترهای اکتیو مطرح گردیده است. اما به نظر می‌رسد تئوری P-Q لحظه‌ای عمومی‌ترین و مهمترین روش برای جبران قدرت راکتیو در یک سیستم سه فاز متعادل باشد [۱۹]. طبق این تئوری ولتاژهای لحظه‌ای سه فاز شبکه و جریان‌های بار را از مختصات a-b-c به مختصات $\alpha\beta$ توسط رابطه (۲-۱) می‌توان تبدیل کرد:

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (۲-۱)$$

پس داریم :

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} v_a(t) \\ v_b(t) \\ v_c(t) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = [C] \begin{bmatrix} i_a(t) \\ i_b(t) \\ i_c(t) \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

که در این معادلات $v_a(t)$ ، $v_b(t)$ و $v_c(t)$ ولتاژهای فاز a ، b و c بوده و i_a ، i_b و i_c جریان‌های بار در فازهای a ، b و c می‌باشد. طبق تئوری P-Q لحظه‌ای، قدرت اکتیو لحظه‌ای $p(t)$ در مختصات $\alpha\beta$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$p(t) = v_\alpha(t) \cdot i_\alpha(t) + v_\beta(t) \cdot i_\beta(t) \quad (3-2)$$

و در مختصات abc این تعریف به صورت زیر می‌باشد:

$$p(t) = v_a \cdot i_a + v_b \cdot i_b + v_c \cdot i_c \quad (4-2)$$

همچنین قدرت راکتیو لحظه‌ای و مولفه ترتیب صفر توان را به صورت زیر تعریف کرد:

$$q(t) = -v_\beta \cdot i_\alpha + v_\alpha \cdot i_\beta$$

$$p_0(t) = v_0 \cdot i_0 \quad (5-2)$$

که $q(t)$ قدرت راکتیو لحظه‌ای و $p(t)$ مولفه ترتیب صفر توان می‌باشد. هر کدام از مقادیر $p(t)$ و $q(t)$ و $p_0(t)$ شامل اجزا ac و dc می‌باشند.

$$P(t) = \bar{p}(t) + \tilde{p}(t)$$

$$Q(t) = \bar{q}(t) + \tilde{q}(t) \quad (6-2)$$

$$P_0(t) = \bar{p}_0(t) + \tilde{p}_0(t)$$

در این معادلات $\bar{p}(t)$ ، $\bar{q}(t)$ اجزا dc و $\tilde{p}(t)$ ، $\tilde{q}(t)$ اجزا ac توان‌ها می‌باشند. حال برای جبران‌سازی توان راکتیو و حذف هارمونیک‌ها و با توجه به اینکه مولفه ترتیب صفر توان هرگز مولفه dc را بدون مولفه متناوبش نمی‌تواند تولید کند در نتیجه جبران‌ساز باید $p(t)$ را به طور کامل جبران کند زمانیکه آن به سیستم سه فاز چهارسیمه اعمال می‌شود. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} p_{control} &= p_0 + \tilde{p} \\ q_{control} &= \bar{q} + \tilde{q} \end{aligned} \quad (7-2)$$

حال جریان‌های جبرانساز را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$\begin{bmatrix} i_{comp\alpha} \\ i_{comp\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -p_{control} \\ -q_{control} \end{bmatrix} \quad (8-2)$$

حال اگر جریان‌های مرجع جبرانساز را از مختصات $\alpha\beta$ به مختصات abc تبدیل کنیم خواهیم

داشت:

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_{ca} \\ \dot{i}_{cb} \\ \dot{i}_{cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -0.5 & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -0.5 & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i_0 \\ i_{comp\alpha} \\ i_{comp\beta} \end{bmatrix} \quad (9-2)$$

که i_{ca}^* ، i_{cb}^* و i_{cc}^* جریان‌های مرجع هستند که اکتیو فیلتر باید این جریان‌های مذکور را

ایجاد نماید.

۲-۵- مروری بر مولفه‌های متقارن

مولفه‌های متقارن در واقع یک تبدیل قدرت ثابت و خطی می‌باشد که توسط فورتنسکیو ابداع

شده است. طبق این تبدیل یک سیستم سه فاز نامتقارن تبدیل به سه سیستم سه فاز متقارن

شامل اجزاء ترتیب مثبت، منفی و صفر می‌شود. اگر اپراتور a را به صورت رابطه (۲-۱۰) تعریف

کنیم:

$$a = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad (10-2)$$

ولتاژهای مولفه مثبت، منفی و صفر را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

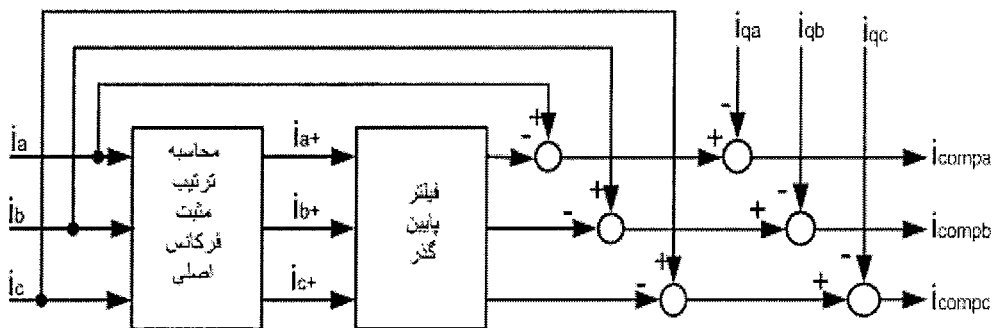
$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (11-2)$$

که در آن v_1 ، v_2 و v_3 به ترتیب نشان دهنده فازور ترتیب صفر، مثبت و منفی ولتاژ فازی در فاز a می‌باشد. مولفه‌های متقارن در عملکرد حالت دائمی سینوسی بکار می‌رود ولی محدود کردن این تکنیک به عملکرد حالت دائمی را به کمک روش بردارهای فضایی (Space Vector) می‌توان از بین برد.

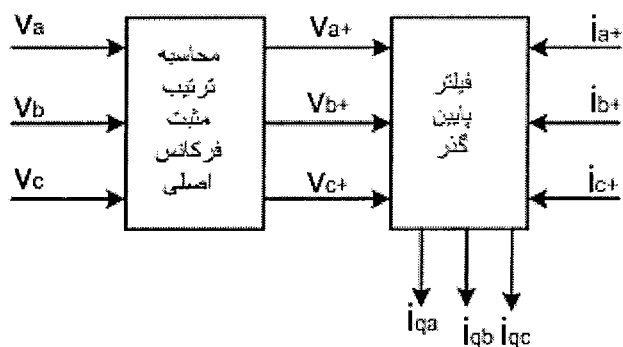
۲-۶- کاربرد روش مولفه‌های متقارن برای تولید جریان‌های مرجع

بلوک دیاگرام شکل‌های ۲-۳ و ۲-۴ ایجاد جریان‌های مرجع با استفاده از ترکیب تئوری P-Q

و روش مولفه‌های متقارن را نشان می‌دهد [۲۰ و ۲۱]:



شکل ۲-۳ بلوک دیاگرام مدار کنترل



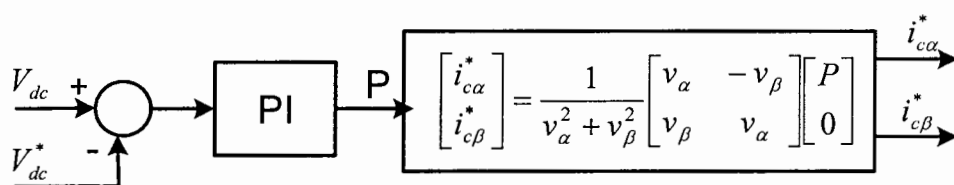
شکل ۲-۴ بلوک دیاگرام مدار کنترل

در شماتیک ارائه شده i_a ، i_b و i_c جریانهای بار و v_a ، v_b و v_c به ترتیب ولتاژهای شبکه در فازهای a، b و c می باشد. باتوجه به اینکه برای محاسبه مولفه ترتیب مثبت در فازهای a، b و c لازم است که اپراتورهای a و a^2 اعمال گردد. لذا برای محاسبه ترتیب مثبت جریان در فاز a خواهیم داشت:

$$i_{a+} = \frac{1}{3}(i_a + a.i_b + a^2.i_c) \quad (۱۲-۲)$$

تفریق مقادیر $i_a^+(t)$ ، $i_b^+(t)$ و $i_c^+(t)$ به ترتیب از جریانهای i_a ، i_b و i_c منجر به جریانهای جبران کننده مورد نیاز می گردد که اکتیو فیلتر برای جبران هارمونیکها و جریانهای نامتعادل بار و بدون در نظر گرفتن جبران قدرت راکتیو باید آنها را ایجاد کند. برای جبران سازی توان راکتیو از تئوری P-Q لحظه ای استفاده می گردد.

برای تنظیم ولتاژ DC اکتیو فیلتر موازی لازم است از مبدل شنت یک برای تثبیت ولتاژ DC استفاده کرد. برای این منظور کفایت توان اکتیو از شبکه توسط مبدل شنت یک جذب گردد. شکل ۵-۲ مدار کنترل تثبیت ولتاژ DC را نشان می دهد.



شکل ۵-۲ مدار کنترل تنظیم ولتاژ لینک dc

۷-۲- استراتژی‌های سوئیچینگ برای اکتیو فیلتر

با توجه به اینکه سیستم کنترل جریان، جزء اصلی در ساختار کنترل سیستم فیلتر سازی اکتیو فیلتر می‌باشد لذا متدهای مختلفی برای کنترل جریان مبدل منبع ولتاژ تا کنون ارائه گردیده است.

خصوصیات مهم این کنترل کننده‌ها در موارد زیر فرق می‌کند:

۱- پاسخ سریع

۲- آسانی و سهولت شرح و اجرا

۳- قابلیت جریان ماکزیمم

۴- حساسیت به پارامترهای شبکه و خط و غیره.

۵- تعداد سوئیچینگ.

حال برای ایجاد سیگنال‌های سوئیچینگ مناسب می‌توان روش‌های کنترل زیر را بکار برد

(برای ایجاد جریان‌های مرجع توسط اکتیو فیلتر):

۱- استفاده از باند هیستریزس

۲- استفاده از کنترلر PI

۳- استفاده از کنترلر بهینه

۷-۲-۱ استفاده از کنترل کننده جریان هیستریزس

کنترل کننده جریان هیستریزس (HCC(Hysteresis Current Controller) یک استراتژی

کنترلی معروف می‌باشد که در آن سه واحد مستقل برای هر فاز وجود دارد. برای هر فاز یک

کنترل کننده وجود دارد. خروجی از این مجموعه، به‌طور مستقیم به سوئیچ‌های مبدل‌های شنت

(VSC) اعمال می‌گردد. آشکار است که هیچ رابطه‌ای بین توابع سوئیچینگ سه فاز وجود ندارد.

این عدم هماهنگی بین فازها و عملکرد مستقل منجر به تعداد سوئیچینگ بالا می‌گردد. برای کاهش تعداد سوئیچینگ بردار سوئیچینگ صفر معرفی شده است [۲۳]. پیشرفت دیگر، کاربرد مدولاسیون بردار فضایی (SVM(Space Vector Modulation) برای کنترل جریان می‌باشد [۲۴]. این تکنیک مساله عدم هماهنگی روش HCC را با محاسبه بردار سوئیچینگ VSC پوشش می‌دهد. به عبارت دیگر تکنیک SVM نیاز به اطلاعاتی از ولتاژهای ترمینال مبدل VSC، مشتق جریان و پارامترهای خط دارد که مناسب برای سیستم توزیع نمی‌باشد چون پارامترهای شبکه ثابت نیستند و بارهای دینامیکی و ترانسفورماتور در شبکه وجود دارد.

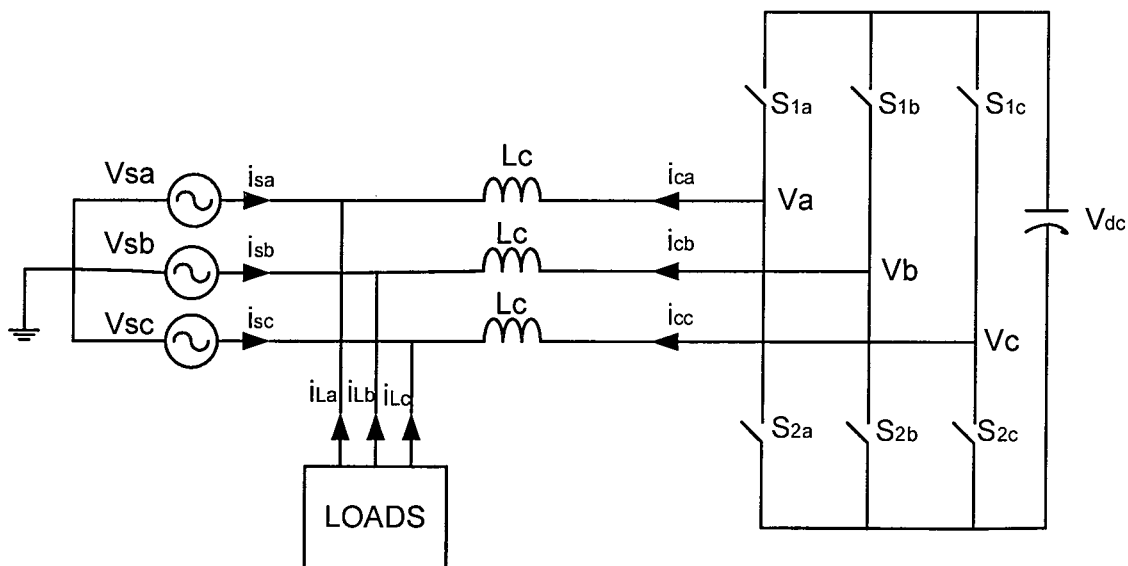
۲-۷-۲- روش کنترل PI

روش کنترلر PI نیز روش جالبی می‌باشد. در این روش جریان واقعی از جریان مرجع کم می‌شود و خطا وارد کنترلر PI می‌شود و سپس خروجی با یک شکل موج دندانه اری قطع داده می‌شود و مدولاسیون پهنای پالس صورت می‌گیرد و سیگنال‌های سوئیچینگ مناسب ایجاد می‌شود.

۲-۷-۳- روش کنترل بهینه (Optimal Controller)

برای این منظور لازم است که مدل ریاضی مبدل دوسطحه همراه با ساختار مدار قدرت آن به دست آید تا توسط آن معادلات حالت به دست آیند. سپس با تعریف تابع هدف (Objective Function) و اعمال آن به مدل و مینیم‌سازی تابع هدف، سیگنال‌های سوئیچینگ مناسب برای ایجاد جریان‌های مرجع به دست می‌آید.

ساختار مبدل دوسطحه منبع ولتاژ VSC به صورت جبرانساز کیفیت توان یعنی برطرف کردن مشکلات کیفیت جریان در تصویر ۲-۶ نشان داده شده است:



شکل ۶-۲ مدار قدرت ارائه شده برای کنترلر بهینه

هدف اصلی تزریق جریان‌های جبران‌ساز که با استفاده از مدار کنترل به دست آمده است برای جبران‌سازی هارمونیک‌های جریان ناشی از بارهای غیرخطی و جبران توان راکتیو می‌باشد. از تلفات سوئیچینگ سوئیچ‌ها و همچنین مدارهای اسنابر برای به دست آوردن مدار معادل صرف‌نظر شده است.

حال اگر توابع سوئیچینگ برای سوئیچ‌ها را به صورت زیر بیان کنیم:

$$S_i = \begin{cases} 1 & \text{if } S_{1i} \text{ is conducting} \\ 0 & \text{if } S_{2i} \text{ is conducting} \end{cases} \quad i = a, b, c \quad (13-2)$$

رابطه بین جریان جبران‌ساز (جریان‌های مبدل شنت) و ولتاژ ترمینال مبدل VSC طبق

تصویر ارائه شده در بالا (۹-۲) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$V_a = L_c \frac{di_{ca}}{dt} + V_{sa}$$

$$V_b = L_c \frac{di_{cb}}{dt} + V_{sb}$$

$$V_c = L_c \frac{di_{cc}}{dt} + V_{sc}$$

$$(14-2)$$

با استفاده از توابع سوئیچینگ رابطه بین ولتاژهای ترمینال v_a ، v_b و v_c مبدل و ولتاژ طرف

dc به صورت زیر به دست می آید:

$$\begin{aligned} V_a &= (S_a - \frac{S_a + S_b + S_c}{3})V_{dc} \\ V_b &= (S_b - \frac{S_a + S_b + S_c}{3})V_{dc} \\ V_c &= (S_c - \frac{S_a + S_b + S_c}{3})V_{dc} \end{aligned} \quad (15-2)$$

حال اگر متغیرهای حالت را به صورت زیر در نظر بگیریم:

$$\underline{x} = [i_{ca}(t) \quad i_{cb}(t) \quad i_{cc}(t)]^T \quad (16-2)$$

معادلات حالت طبق روابط (17-2) به دست می آید:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= \frac{1}{L_c}(v_a - v_{sa}) \\ \dot{x}_2(t) &= \frac{1}{L_c}(v_b - v_{sb}) \\ \dot{x}_3(t) &= \frac{1}{L_c}(v_c - v_{sc}) \end{aligned} \quad (17-2)$$

حال اگر s_a ، s_b و s_c را به عنوان سیگنال‌های کنترل ورودی تعریف کنیم باید کنترلر چنان سیگنال‌هایی را تولید کند که جریان‌های مبدل، جریان‌های مرجع را دنبال کند. حال اگر تابع هدف را به صورت زیر در نظر بگیریم:

$$J = \frac{1}{2} \|\underline{x}(k+1) - \underline{ref}(k)\|^2 \quad (18-2)$$

که $\underline{x}(k+1)$ بردار متغیرهای حالت (جریان‌های اینورتر) و $\underline{ref}(k+1)$ بردار جریان‌های مرجع جبران‌ساز می‌باشد. هدف مینیمم سازی تابع هدف J با اعمال ورودی‌های کنترلی مناسب می‌باشد. حال اگر بتوانیم مینیمم سازی را با اعمال سیگنال‌های سوئیچینگ مناسب انجام دهیم در این صورت متغیرهای حالت که همان جریان‌های VSC می‌باشد بردار جریان‌های مرجع را دنبال خواهد کرد.

برای محاسبه تابع هدف لازم است متغیرهای حالت را به حالت گسسته در آوریم. برای گسسته سازی از روابط زیر استفاده می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \underline{\dot{x}}(t) &= f(\underline{x}(t), \underline{s}(t)) \\ \underline{x}(t + \Delta t) &\cong \underline{x}(t) + f(\underline{x}(t), \underline{s}(t)) \cdot \Delta t \\ t &= k \cdot \Delta t \\ \underline{x}[(k+1) \cdot \Delta t] &\cong \underline{x}(k \cdot \Delta t) + f[\underline{x}(k \cdot \Delta t), \underline{s}(k \cdot \Delta t)] \cdot \Delta t \end{aligned} \quad (19-2)$$

حال با تعریف $\underline{x}(k) = \underline{x}(k \cdot \Delta t)$ و $\Delta t = Ts$ خواهیم داشت (Ts پریود سوئیچینگ می‌باشد)

$$\underline{x}(k+1) \cong \underline{x}(k) + f(\underline{x}(k), \underline{s}(k)) \cdot Ts \quad (20-2)$$

اگر معادلات حالت را طبق رابطه (20-2) به حالت گسسته در آوریم روابط زیر را خواهیم

داشت:

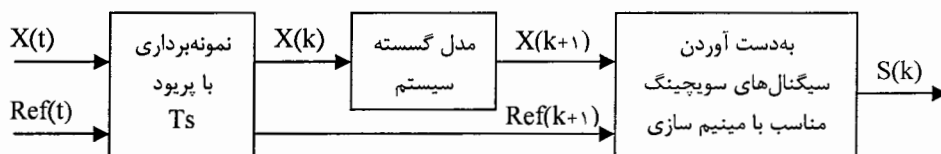
$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= x_1(k) + \frac{Ts}{L_c} \left[(S_a(k) - \frac{S_a(k) + S_b(k) + S_c(k)}{3}) \cdot V_{dc} - V_{sa}(k) \right] \\ x_2(k+1) &= x_2(k) + \frac{Ts}{L_c} \left[(S_b(k) - \frac{S_a(k) + S_b(k) + S_c(k)}{3}) \cdot V_{dc} - V_{sb}(k) \right] \quad (21-2) \\ x_3(k+1) &= x_3(k) + \frac{Ts}{L_c} \left[(S_c(k) - \frac{S_a(k) + S_b(k) + S_c(k)}{3}) \cdot V_{dc} - V_{sc}(k) \right] \end{aligned}$$

و بردار مرجع (ref) را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$ref^T = [i_{ca}^*(t) \quad i_{cb}^*(t) \quad i_{cc}^*(t)] \quad (22-2)$$

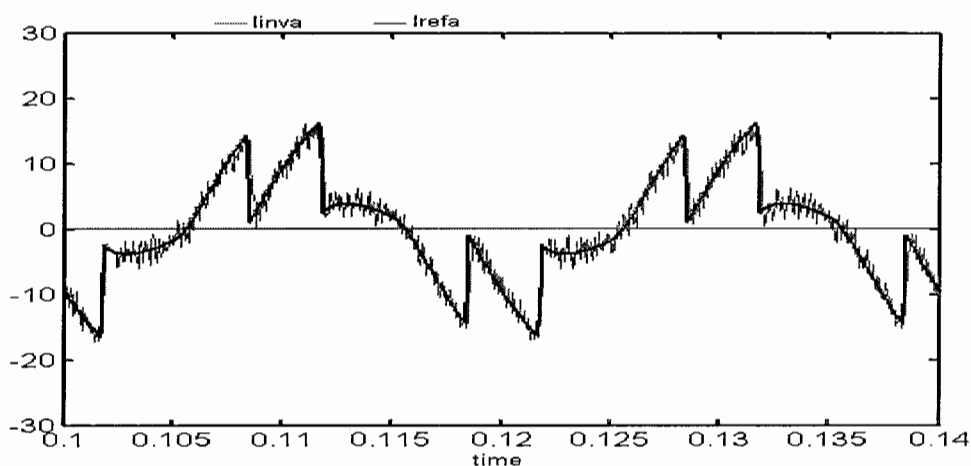
حال با مینیمم سازی تابع هدف بهترین حالت‌های سوئیچینگ را به دست می‌آوریم. که به طور

خلاصه بلوک دیاگرام شکل ۷-۲ استراتژی ذکر شده را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲ بلوک دیاگرام مربوط به محاسبه سیگنال‌های سوئیچینگ

مزیت روش ذکر شده نسبت به باند هیستریزیس؛ فرکانس سوئیچینگ ثابت است. شکل ۲-۸ جریان‌های مرجع و اینورتر را در فاز a نشان می‌دهد و واضح است که کنترلر بهینه توانسته به خوبی سیگنال‌هایی را ایجاد کند که جبران‌ساز جریان مرجع را به خوبی تعقیب کند.



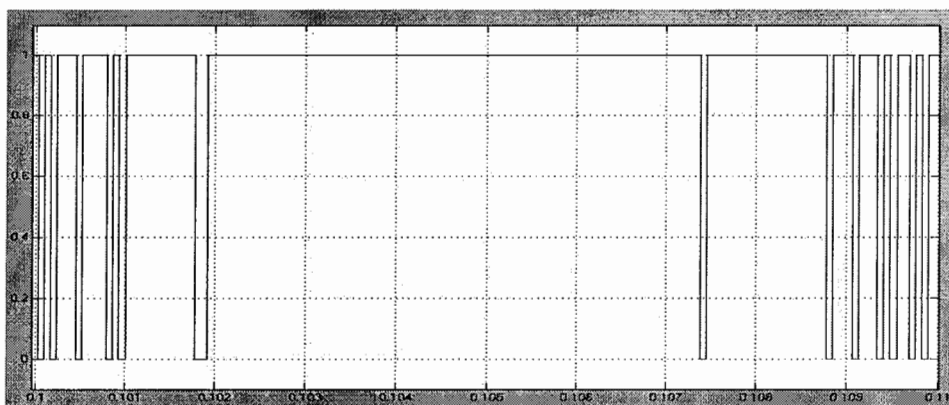
شکل ۲-۸ جریان مرجع در فاز a و تعقیب آن توسط جبران‌ساز در روش بهینه (ثانیه / آمپر)

۲-۷-۳- مقایسه روش کنترلر بهینه و کنترلر باند هیستریزیس

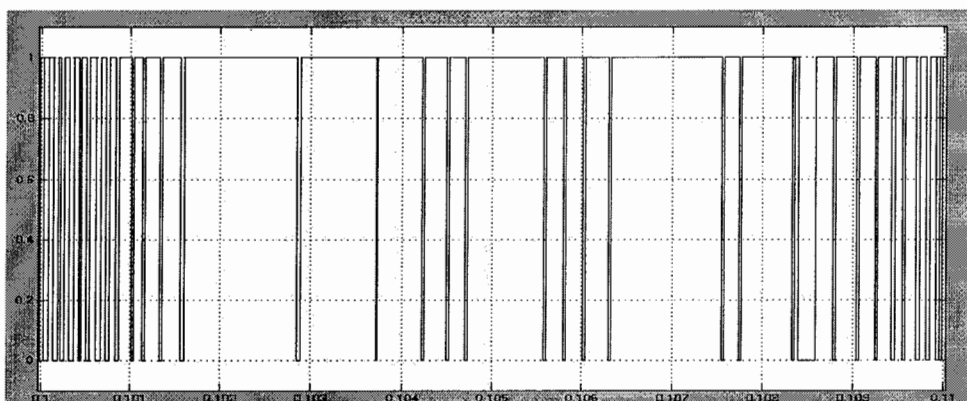
در باند هیستریزیس فرکانس سوئیچینگ متغیر و بستگی به انتخاب باریک باند، فرکانس سوئیچینگ بالا می‌رود که این امر منجر به تلفات سوئیچینگ بالا می‌شود. اما در کنترلر بهینه با زمان نمونه‌برداری ثابت و محاسبه تابع هدف در پرپود نمونه‌برداری و انتخاب کمترین مقدار برای تابع هدف و اعمال سوئیچ‌های مورد نظر برای حالت به‌دست آورده از مینیم سازی، به تعداد سوئیچینگ پایین دست خواهیم یافت که این امر منجر به تلفات پایین خواهد شد.

شکل ۲-۹ و ۲-۱۰ مقایسه دو روش ذکر شده را نشان می‌دهد. همانطوری که از اشکال پیداست در بازه زمانی ۰/۰۱ ثانیه تعداد سوئیچینگ در روش باند هیستریزیس بسیار بالاتر از روش کنترلر بهینه است. شکل ۲-۱۱ سیگنال‌های سوئیچینگ را با افزایش باند به منظور کاهش تعداد

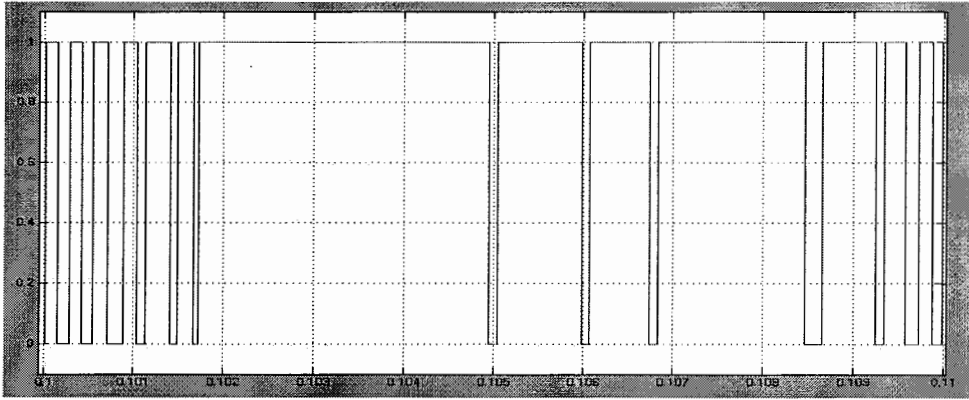
سوئیچینگ و در حدود تعداد سوئیچینگ در حد شکل ۹-۲ را نشان می‌دهد. شکل ۱۲-۲ تعقیب جریان مرجع در فاز a توسط جبرانساز و کنترلر با اعمال سیگنال‌های شکل ۲-۱۱ می‌باشد که نشان دهنده افزایش باند و خطا نسبت به روش کنترلر بهینه می‌باشد.



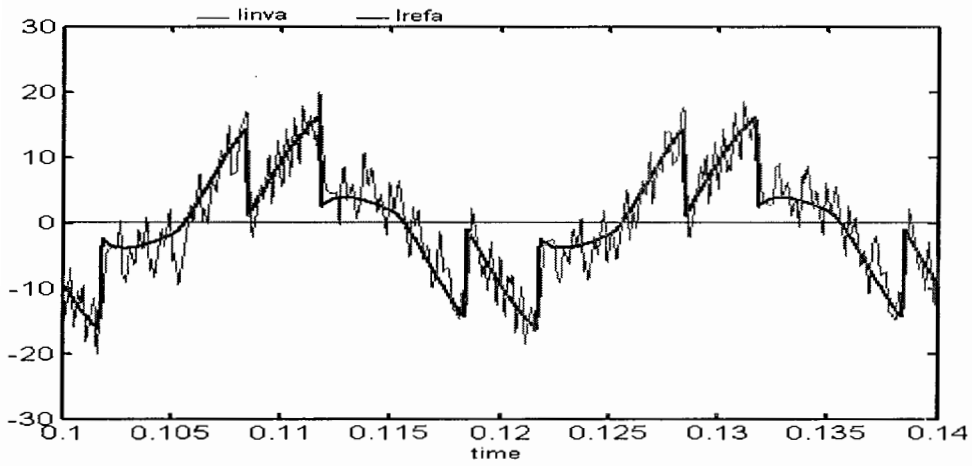
شکل ۹-۲ سیگنال‌های سوئیچینگ در روش کنترلر بهینه



شکل ۱۰-۲ سیگنال‌های سوئیچینگ در روش باند هیستریزس



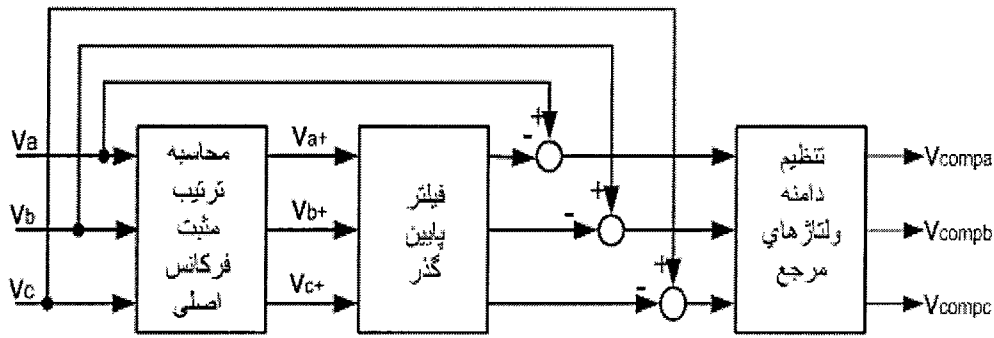
شکل ۱۱-۲ سیگنال‌های سوئیچینگ در روش باند هیستریزس با افزایش باند



شکل ۱۲-۲ جریان مرجع در فاز a و تعقیب آن توسط جبران‌ساز در روش باند هیستریزس (ثانیه / آمپر)

۲-۸- UPQC به صورت جبران‌ساز سری

برای محاسبه ولتاژهای مرجع جبران‌ساز از مدار کنترل شکل ۲-۱۳ استفاده می‌شود:



شکل ۲-۱۳ مدار کنترل تولید ولتاژهای مرجع

که V_{compa} ، V_{compb} و V_{compc} ولتاژهای مرجع جبران‌ساز می‌باشد. در تولید ولتاژهای مرجع سری باید این نکته را در نظر گرفت که این ولتاژها علاوه بر این که هارمونیک‌های ولتاژ شبکه و نامتعادلی ولتاژ را جبران کنند باید دامنه ولتاژ طرف بار نیز تنظیم گردد. با توجه به اینکه اگر v_{a+} ، v_{b+} و v_{c+} (ولتاژهای ترتیب مثبت شبکه) را از ولتاژهای شبکه یعنی v_a ، v_b و v_c کم کنیم ولتاژهای مرجع جبران‌ساز بدون در نظر گرفتن دامنه ولتاژ طرف بار به دست می‌آید. برای محاسبه v_m یعنی دامنه ولتاژهای ترتیب مثبت رابطه زیر را داریم:

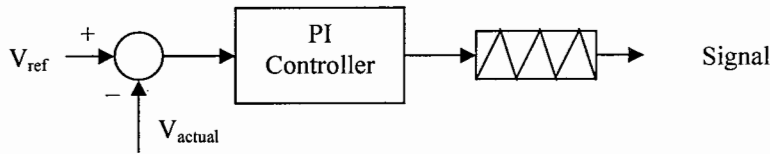
$$v_m(t) = \sqrt{\frac{2}{3}(v_{a+}^2(t) + v_{b+}^2(t) + v_{c+}^2(t))} \quad (2-23)$$

که v_m^* دامنه ولتاژ مورد نظر در فاز a می‌باشد. پس می‌توان نوشت:

$$v_{a+}(t) + v_{rega} = v_a(t)$$

$$v_{rega} = (v_m^* - v_m) \cdot \frac{v_{a+}}{v_m} \quad (2-24)$$

که v_{rega} دامنه ولتاژ فاز a را تصحیح می‌کند و هم‌فاز با آن تزریق می‌کند. برای فازهای دیگر هم می‌توان محاسبات فوق را اعمال کرد. مدار کنترل شکل ۲-۱۴ سیگنال‌های فرمان سوئیچ‌ها را شرح می‌دهد.

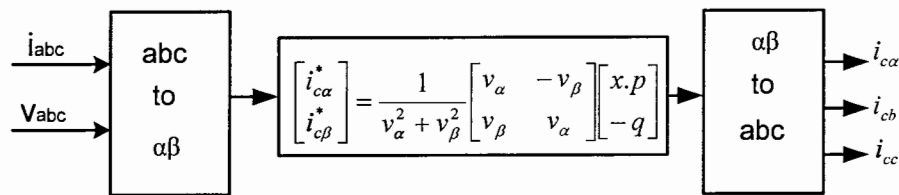


شکل ۲-۱۴ مدار کنترل سیگنال‌های سوئیچینگ

V_{actual}

۲-۹- UCPC به صورت کنترلر توان

همانطوری که قبلاً اشاره شد UCPC می‌تواند با استفاده از دو مبدل ۱ و ۳ توان اکتیو را از یک منبع انرژی دیگر به‌عنوان مثال انرژی حاصل از یک توربین بادی به سمت منبع اصلی و کمک به تغذیه بار انتقال دهد. کاربرد این سیستم زمانی موثر و مفید است که در شرایط پیک بار بخواهیم به منبع اصلی کمک کنیم. روش کنترل توان اکتیو همان تئوری P-Q می‌باشد. شکل ۲-۱۵ مدار کنترل را به اختصار نشان می‌دهد:



شکل ۲-۱۵ مدار کنترل کنترلر توان

که در شکل ۲-۱۵، ضربی از توان اکتیو بار در نظر گرفته شده است و توان راکتیو بار نیز خنثی شده است.

۲-۱۰- نتیجه گیری

در این فصل ابتدا ساختار جبران کننده جامع توان مصرفی بررسی و توانمندی این سیستم به عنوان یک سیستم جامع نشان داده شده است. پس از شرح اهداف جبران کننده جامع توان مصرفی، استراتژی‌های کنترلی شامل ایجاد جریان‌های مرجع به روش مولفه‌های متقارن و تئوری PQ لحظه‌ای به منظور بهبود مساله کیفیت جریان بررسی شده است.

استراتژی‌های کنترلی سوئیچینگ برای ایجاد جریان‌های مرجع تشریح گردیده است. روش کنترلر بهینه که روش جدید برای ایجاد جریان‌های مرجع می‌باشد به‌طور کامل فرموله و تشریح شده است. کارایی آن با نتایج شبیه‌سازی انجام شده در محیط شبیه سازی نرم افزار مطلب بررسی شده است. استراتژی کنترلی برای ایجاد ولتاژهای مرجع به روش مولفه‌های متقارن به‌دست آمده است.

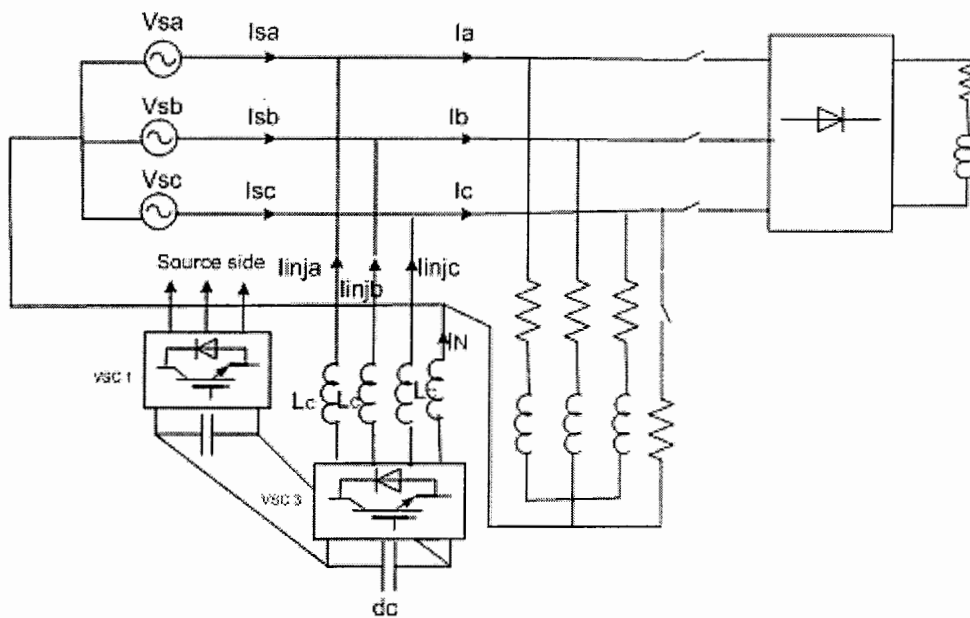
در فصل بعد کارایی روش‌های کنترل توسط روابط ریاضی و شبیه‌سازی بررسی خواهد شد. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی اعتبار و پاسخ دینامیکی قابل قبول روش‌های ذکر شده را نشان می‌دهد.

فصل سوم:

نتایج شبیه سازی در نرم افزار مطلب و بحث

۳-۱- نتایج شبیه سازی جبران ساز موازی به روش باند هیستریزیس:

مدار قدرت شبیه سازی در شکل زیر آمده است:



شکل ۳-۱ مدار قدرت شبیه سازی شده

در این شکل یک شبکه سه فاز چهار سیمه با ولتاژ موثر خط به خط ۳۸۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز و دو مبدل منبع ولتاژ دو سطحه که ولتاژ طرف DC آنها روی ۸۰۰ ولت تنظیم شده است یک بار متعادل سه فاز R-L (۱۵ اهم و ۳۰ میلی هانری) و یک بار یکسو ساز R-L (۳۵ اهم ۲۵ میلی هانری) که می توان توسط سوئیچ استاتیک قطع و وصل کرد و یک بار تکفاز اهمی ۲۰ اهمی را تغذیه می کند. این مدار دارای سه مرحله عملکرد به شرح زیر می باشد:

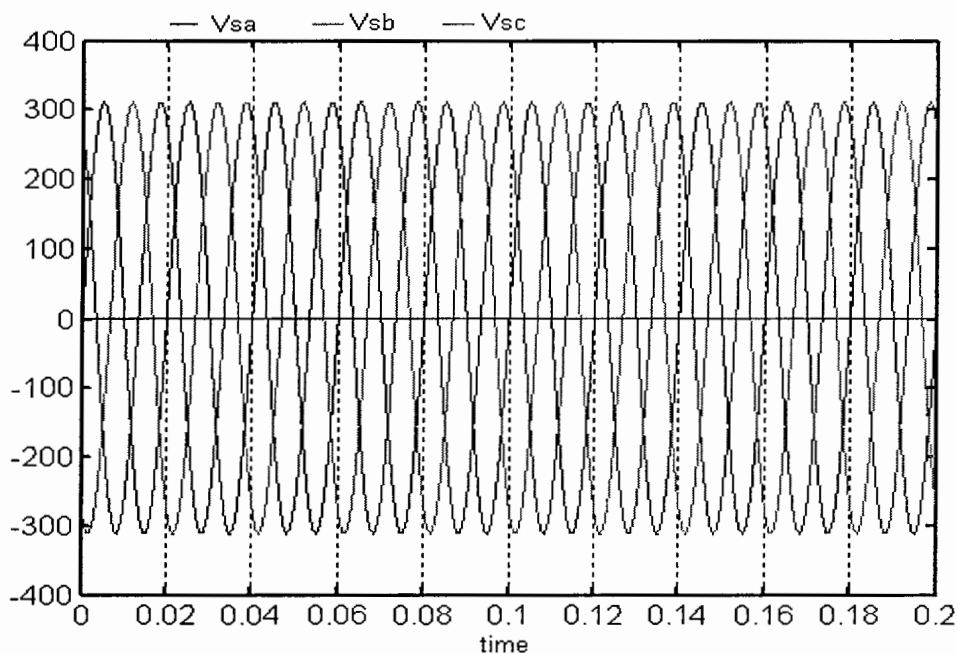
بار شبکه از لحظه صفر تا ۰/۰۵ فقط بار متعادل R-L می باشد.

یکسو ساز دیودی در لحظه ۰/۰۵ ثانیه توسط سوئیچ‌های استاتیک وصل شده و هارمونیک جریان تولید کرده و قدرت راکتیو را افزایش می‌دهد.
 بار مقاومتی تکفاز در لحظه ۰/۱ ثانیه توسط سوئیچ استاتیک برای ایجاد نامتعادلی به شبکه وصل می‌گردد.

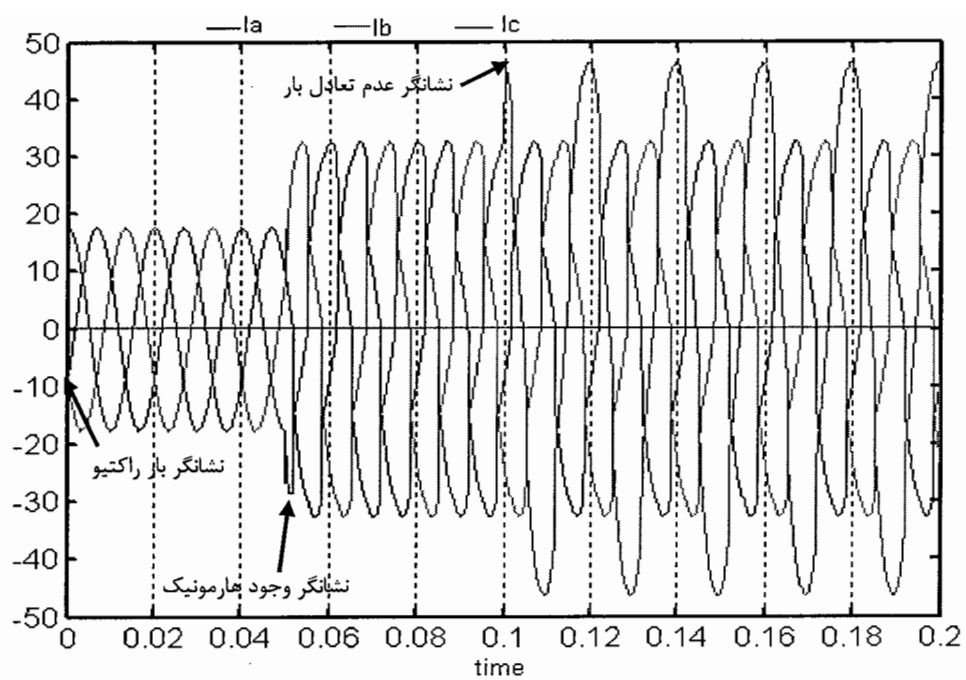
با توجه به اینکه شبکه چهار سیمه بوده و جریان‌های بار نامتعادل بوده لذا لازم است که جریان سیم خنثی را جبران کرد. در این حالت برای محاسبه جریان جبران کننده مرجع سیم خنثی قانون جریان کیرشهف را به صورت زیر نوشت:

$$i_{compN} = -(i_{compa} + i_{compb} + i_{compc}) \quad (1-3)$$

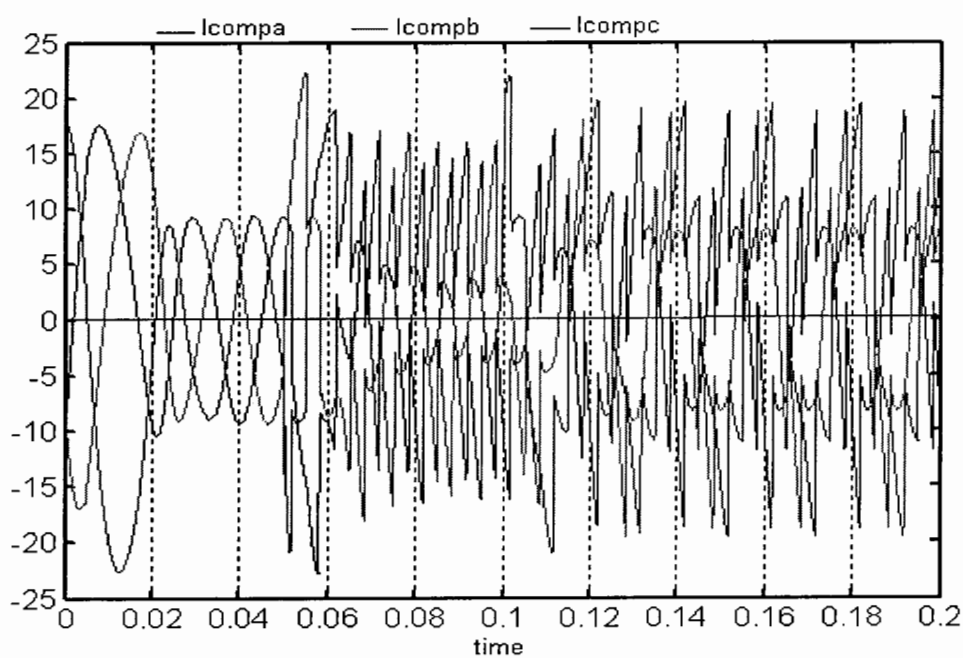
نتایج شبیه‌سازی در زیر آورده شده است.



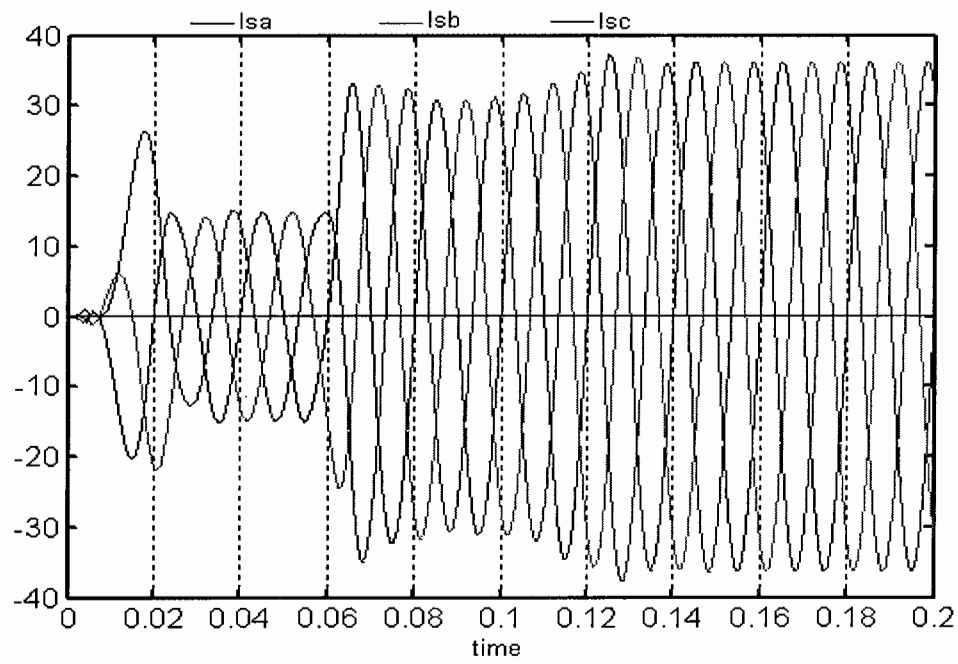
شکل ۲-۳ ولتاژهای سه فاز شبکه (ثانیه / ولت)



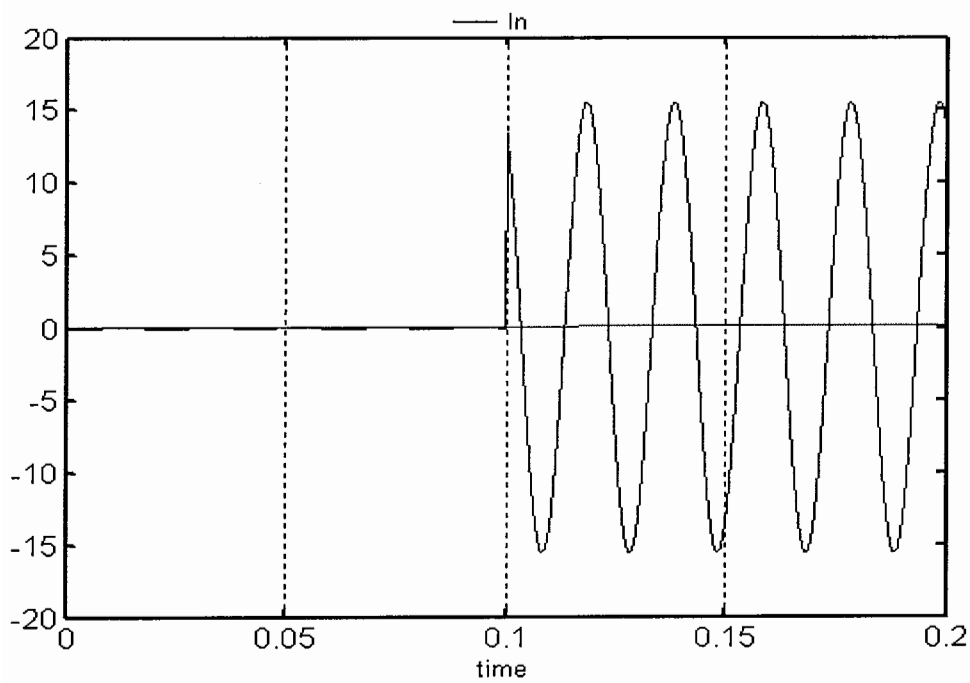
شکل ۳-۳ جریان‌های سه فاز کشیده شده توسط بار (ثانیه / آمپر)



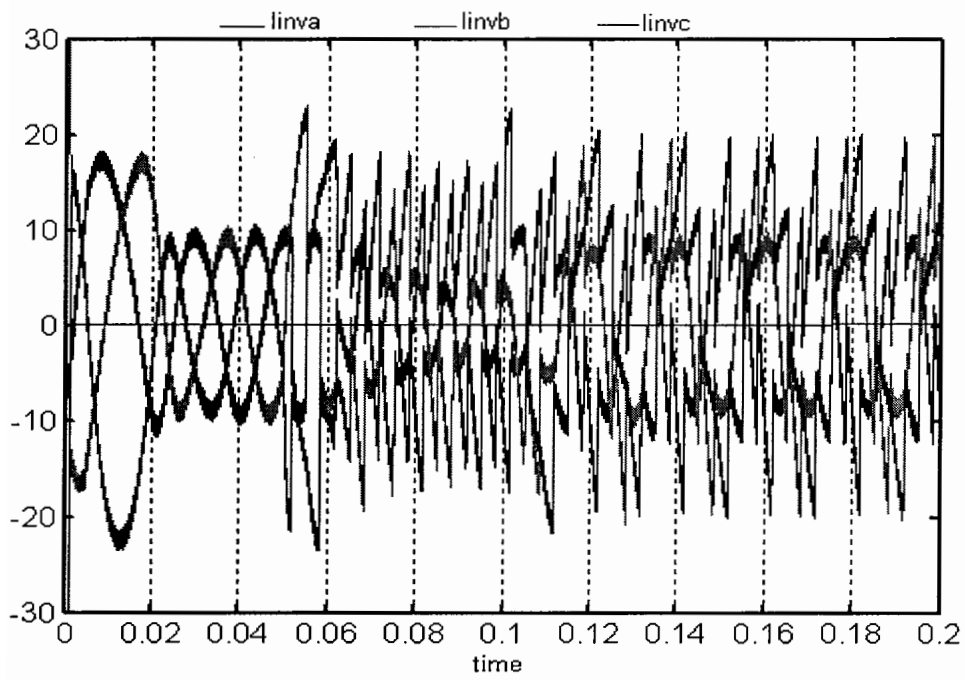
شکل ۳-۴ جریان‌های مرجع جبران ساز سه فاز (ثانیه / آمپر)



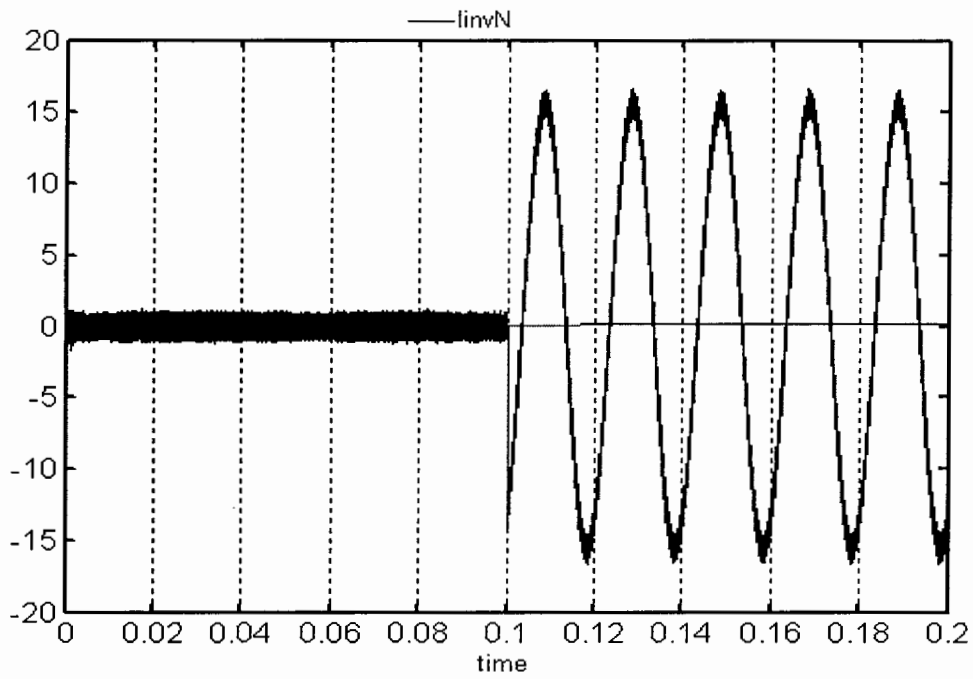
شکل ۳-۵ جریان‌های سه‌فاز کشیده شده از منبع شبکه (ثانیه / آمپر)



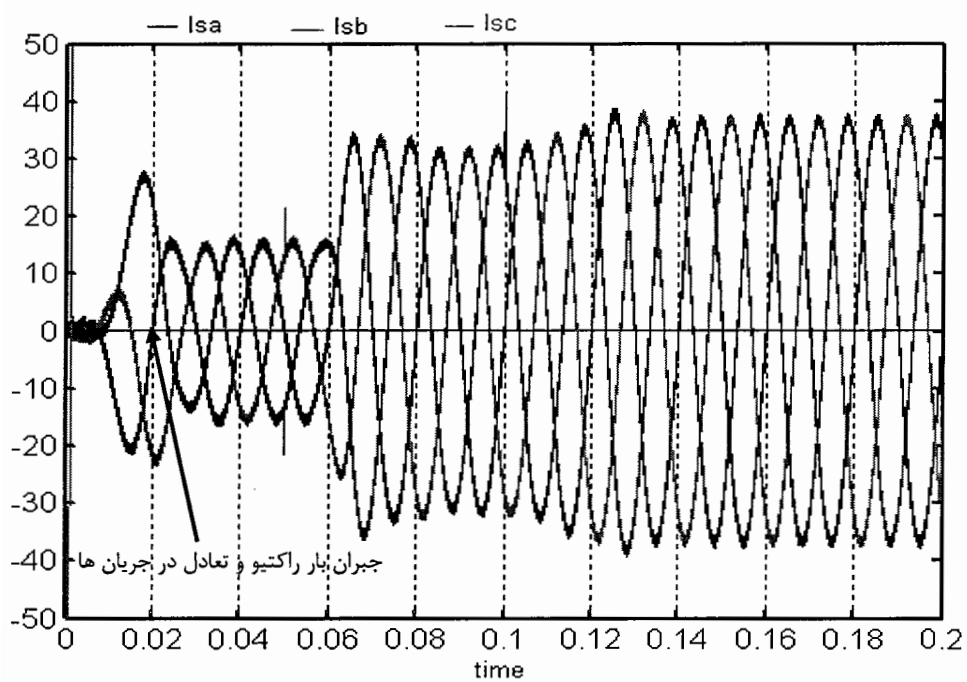
شکل ۳-۶ جریان در سیم خنثی حاصل از مدار کنترل (ثانیه / آمپر)



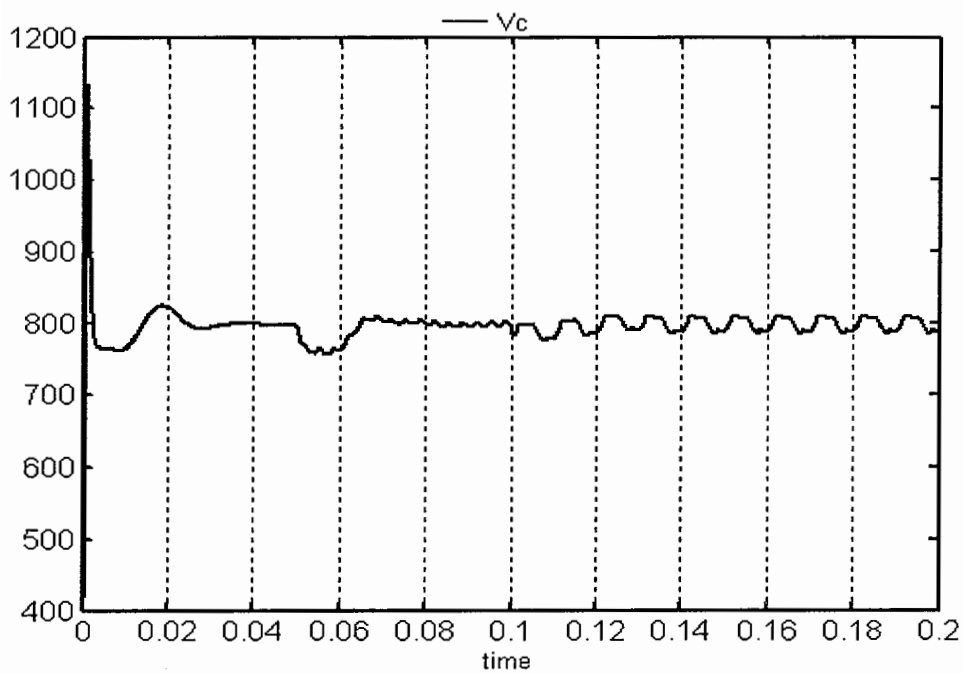
شکل ۳-۷ جریان‌های تزریقی به فازها توسط مدار قدرت (ثانیه / آمپر)



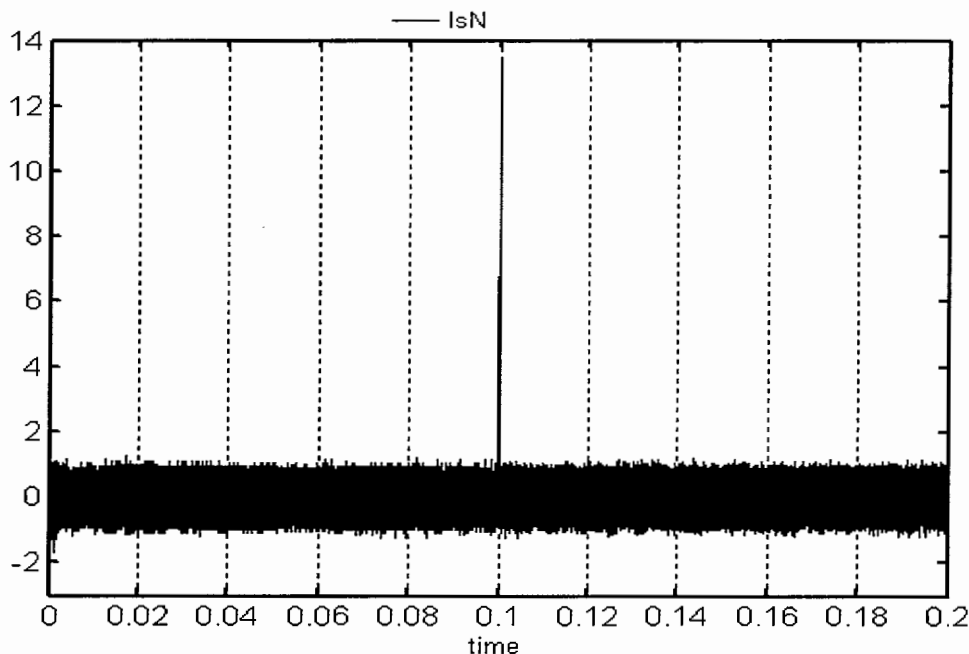
شکل ۳-۸ جریان تزریقی به سیم خنثی توسط مدار قدرت (ثانیه / آمپر)



شکل ۹-۳ جریان کشیده از منبع بعد از عملکرد جبران ساز (ثانیه / آمپر)



شکل ۱۰-۳ ولتاژ خازن (ثانیه / ولت)



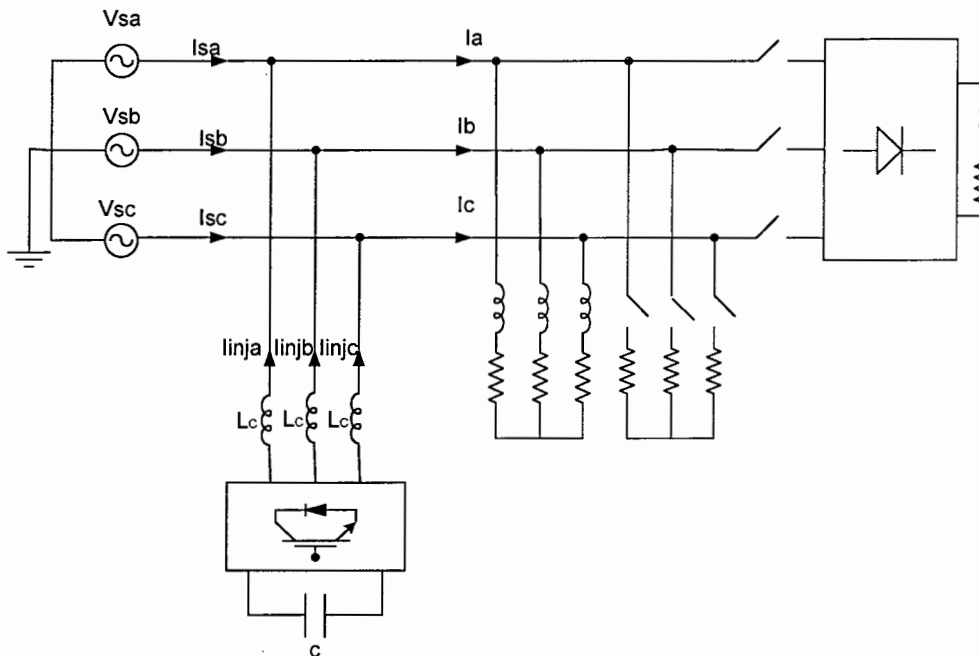
شکل ۳-۱۱ جریان سیم خنثی شبکه بعد از عملکرد جبران‌ساز (ثانیه / آمپر)

شکل ۳-۲ ولتاژهای شبکه و شکل ۳-۳ جریان‌های بار را نشان می‌دهد که نشان دهنده سه مشکل عمده است. عدم شروع شکل موج جریان بار از صفر ناشی از وجود بار راکتیو سلفی از اولین لحظه در مدار، در زمان $0/05$ ثانیه بار هارمونیکي موجب غیر سینوسی شدن شکل موج جریان و از لحظه $0/1$ ثانیه شاهد عدم تعادل شدید در بارها به دلیل اتصال بار تک فاز مقاومتی هستیم. شکل ۳-۴ نشانگر جریان‌های مرجع مورد نیاز مدار جهت جبران سازی را نشان می‌دهد که از محاسبات به دست آمده است. جهت اطمینان از صحت محاسبات، جریان مرجع محاسبه شده توسط سیستم کنترل با شکل موج کشیده شده از منبع جمع شده که نتیجه حاصل در شکل ۳-۵ نشانگر صحت محاسبات است زیرا توانسته به خوبی بار راکتیو، هارمونیک و عدم تعادل بار را جبران نماید. شکل ۳-۶ جریان سیم خنثی را که به دلیل عدم تعادل بار سه فاز را نشان می‌دهد که از زمان $0/1$ ثانیه شروع شده و ادامه پیدا کرده است. شکل ۳-۷ جریان‌های تزریقی توسط جبران‌ساز به روش باند هیستریزس با انتخاب پهنای باند $0/1$ نشان می‌دهد با توجه به شباهت شکل موج واقعی تزریقی به مدار با شکل موج مرجع می‌توان انتظار داشت جبران ساز بتواند جریان

کشیده شده از منبع را اصلاح نماید. شکل ۳-۸ جریان تزریقی به سیم خنثی را نشان می‌دهد که عکس شکل موج جریان کشیده شده توسط بار می‌باشد. شکل ۳-۹ جریان‌های طرف منبع را بعد از عملکرد جبران‌ساز نشان می‌دهد که جریان‌های سه فاز متعادل و همفاز با ولتاژهای شبکه می‌باشد. شکل ۳-۱۰ ولتاژ خازن را نشان می‌دهد که توسط مدار کنترل و مبدل منبع ولتاژ ۱ در ۸۰۰ ولت ثابت نگه داشته می‌شود چنانکه از این شکل پیداست خازن پس از شارژ اولیه در لحظه ۰/۰۵ ثانیه افت کمی پیدا کرده که به علت افزایش جریان تزریق و آمدن بار یکسوساز به شبکه در این لحظه بوده و کنترلر توانسته ولتاژ لینک DC را ثابت نگه دارد. شکل ۳-۱۱ جریان خنثی طرف منبع را بعد از عملکرد مدار کنترل نشان می‌دهد که به صفر نزدیک شده است.

۳-۲- نتایج شبیه سازی جبران ساز موازی به روش PI کنترلر

مدار قدرت شبیه سازی در شکل ۳-۱۲ آمده است.



شکل ۳-۱۲ مدار قدرت شبیه سازی شده برای جبران سازی به روش PI

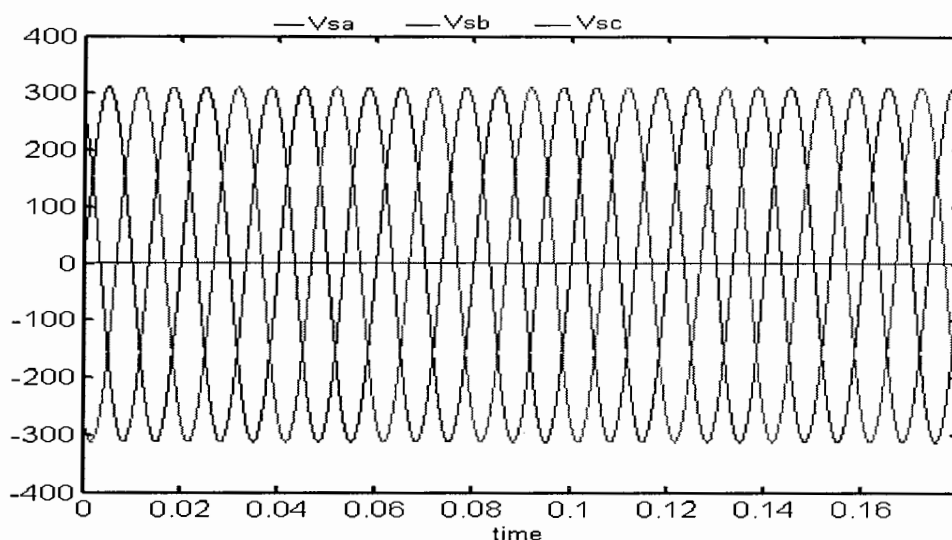
در این شکل یک شبکه سه فاز سه سیمه با ولتاژ موثر خط به خط ۳۸۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز و یک مبدل منبع ولتاژ دو سطحه که ولتاژ طرف DC آن روی ۸۰۰ ولت تنظیم شده است. مدار کنترل و مقادیر مربوط به کنترلر به روش سعی و خطا بدست آمده است. یک بار متعادل سه فاز R-L (۱۵ اهم و ۳۰ میلی هانری) و یک بار یکسو ساز R-L (۳۵ اهم، ۲۵ میلی هانری) که می توان توسط سوئیچ استاتیک قطع و وصل کرد و یک بار سه فاز اهمی نامتعادل (۱۶، ۲۰ و ۱۲ اهمی به ترتیب در فازهای a، b و c) را تغذیه می کند. این مدار دارای سه مرحله عملکرد به شرح زیر می باشد:

۱- بار شبکه از لحظه صفر تا ۰/۰۶ ثانیه فقط بار متعادل R-L می باشد.

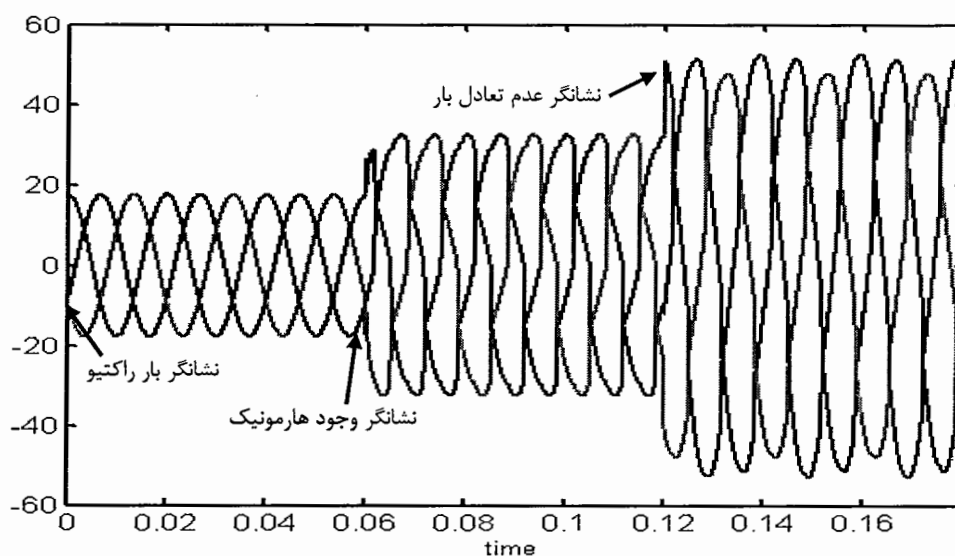
۲- یکسوساز دیودی در لحظه ۰/۰۶ ثانیه توسط سوئیچ‌های استاتیک وصل شده و هارمونیک جریان تولید کرده و قدرت راکتیو را افزایش می‌دهد.

۳- بار مقاومتی سه فاز نامتعادل در لحظه ۰/۱۲ ثانیه توسط سوئیچ استاتیک برای ایجاد نامتعادلی به شبکه وصل می‌گردد.

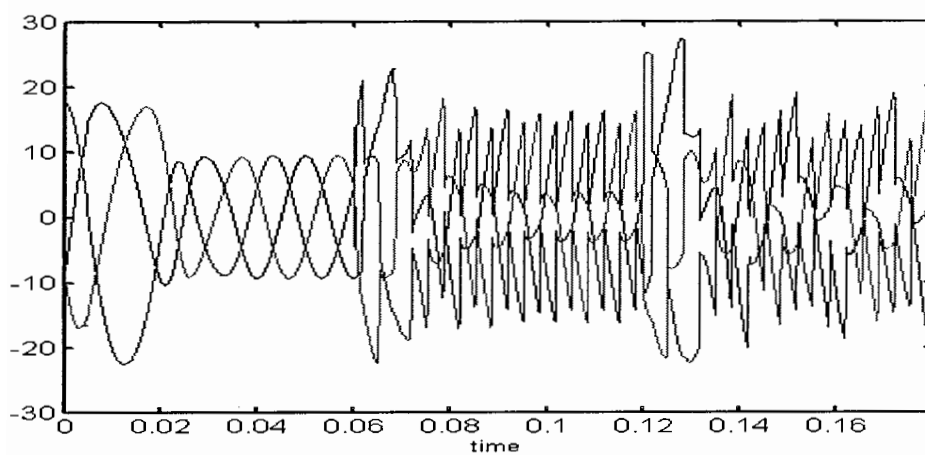
تعدادی از نتایج شبیه سازی در اشکال ۳-۱۳ تا ۳-۱۹ آورده شده است:



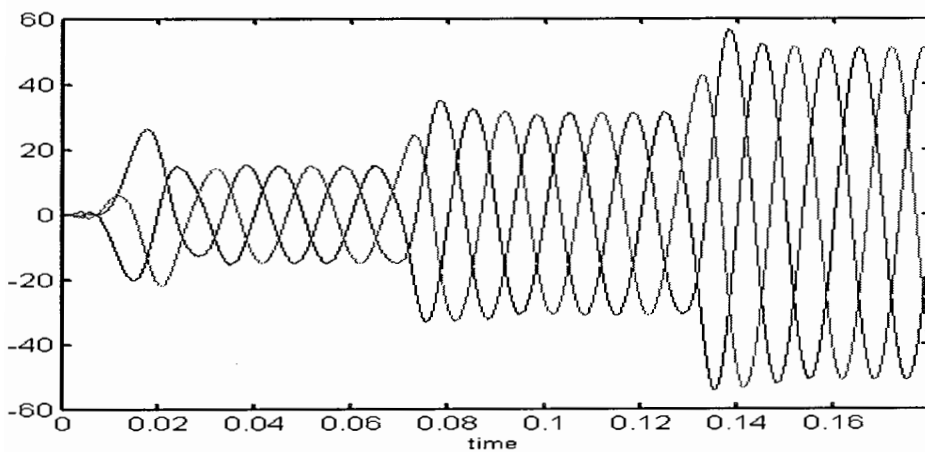
شکل ۳-۱۳ ولتاژهای طرف شبکه (ثانیه / ولت)



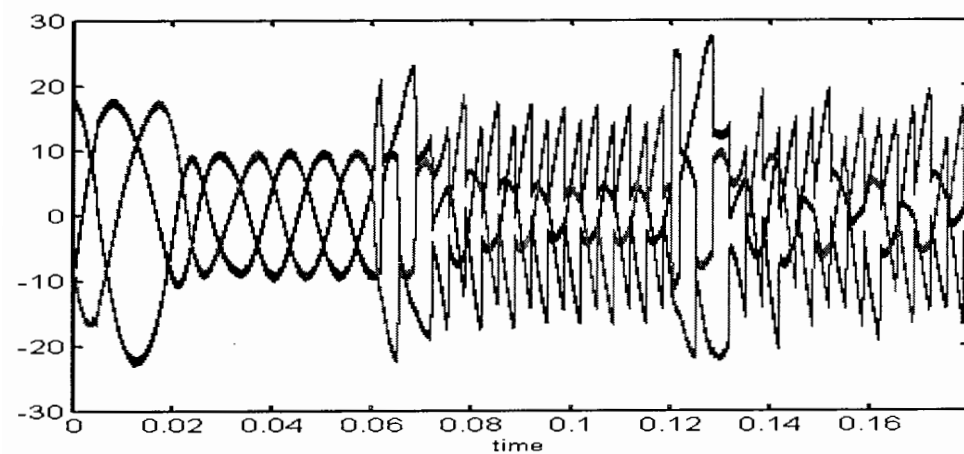
شکل ۳-۱۴ جریان‌های طرف بار (ثانیه / آمپر)



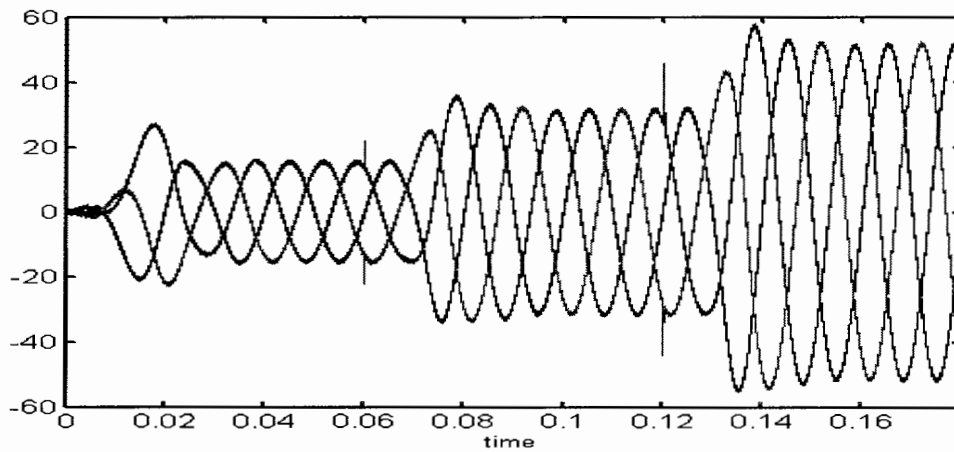
شکل ۳-۱۵ جریان‌های مرجع جبران‌ساز از مدار کنترل (ثانیه / آمپر)



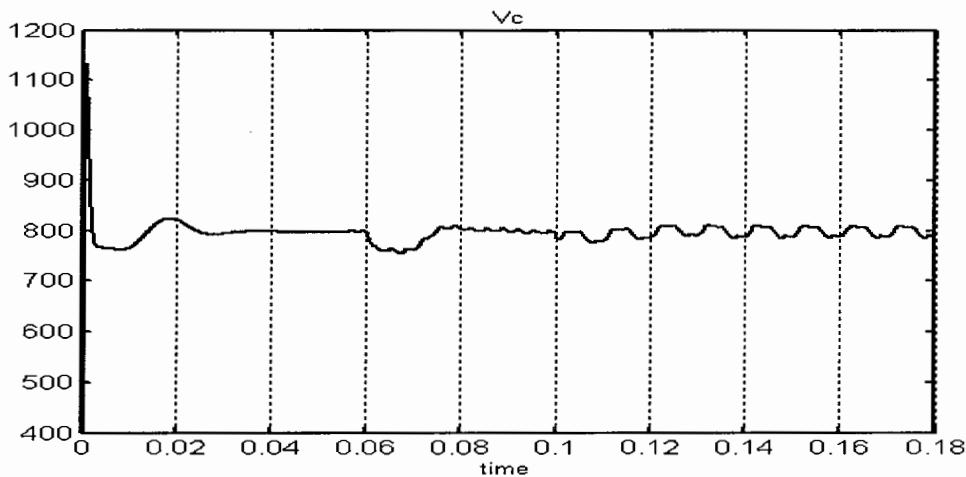
شکل ۳-۱۶ جریان‌های طرف منبع از مدار کنترل (ثانیه / آمپر)



شکل ۳-۱۷ جریان‌های تزریقی توسط مبدل (ثانیه / آمپر)



شکل ۳-۱۸ جریان‌های طرف منبع (ثانیه / آمپر)



شکل ۳-۱۹ ولتاژ خازن (ثانیه / ولت)

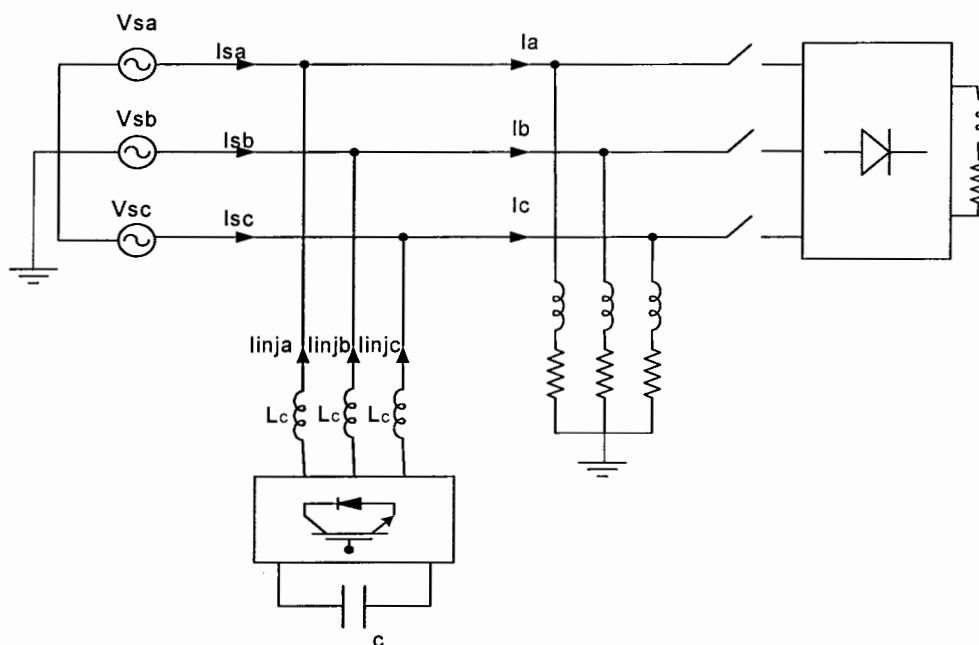
شکل ۳-۱۳ ولتاژهای شبکه و شکل ۳-۱۴ جریان‌های بار را نشان می‌دهد. مشابه شبیه سازی انجام شده برای جبران سازی به روش باند هیستریزیس سه مشکل در شکل جریان وجود دارد. عدم شروع از صفر نشانگر وجود جریان راکتیو بار، در 0.06 ثانیه شکل موج جریان از فرم سینوسی خارج شده که از بار یکسوساز ناشی شده و در نهایت از 0.12 ثانیه عدم تعادل بار سه فاز را داریم. شکل ۳-۱۵ جریان‌های مرجع جبران‌ساز سه فاز را که باید به مدار تزریق شود نشان می‌دهد و از محاسبات به دست آمده است. شکل ۳-۱۶ نشانگر حاصل جمع جریان مرجع جبران سازی با جریان بار است که شکل موج حاصل نشانگر توانایی جبران ساز جهت رفع مشکلات جریان ذکر

شده در بالاست، شروع شکل موج از صفر نشانگر جبران سازی جریان راکتیو، تکرار شکل موج سینوسی جریان با دامنه‌های یکسان در پرپود $0/02$ ثانیه نشان دهنده صحت محاسبات جریان مرجع است. شکل ۳-۱۷ جریان‌های تزریقی واقعی توسط جبران‌ساز به مدار است که مشابه شکل موج مرجع ارائه شده در بخش محاسبات است.

شکل ۳-۱۸ جریان‌های طرف منبع را بعد از عملکرد جبران‌ساز و مدار کنترل نشان می‌دهد که جریان‌های سه فاز متعادل و هم‌فاز با ولتاژهای شبکه می‌باشد. شکل ۳-۱۹ ولتاژ خازن را نشان می‌دهد که توسط مدار کنترل و مبدل منبع ولتاژ ۱ در ۸۰۰ ولت ثابت نگه داشته شود و کنترلر توانسته ولتاژ لینک DC را ثابت نگه دارد.

۳-۳- نتایج شبیه‌سازی جبران‌ساز موازی به روش کنترلر بهینه

روش ذکر شده در بخش ۲-۷-۲ توسط مدار قدرت شکل ۳-۲۰ آزمایش شده است.



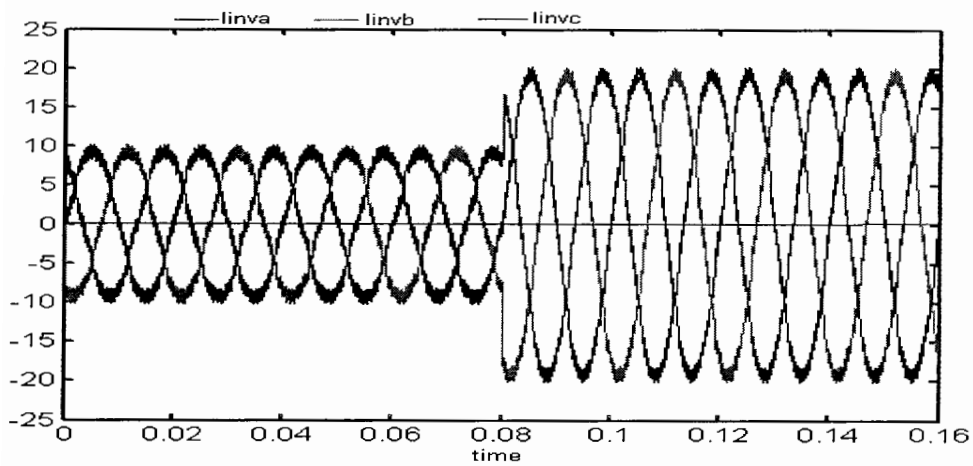
شکل ۳-۲۰ مدار قدرت شبیه‌سازی شده برای جبران‌ساز به روش کنترل بهینه

در این شکل یک شبکه سه فاز با ولتاژ موثر خط به خط ۳۸۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز و مبدل منبع ولتاژ دو سطحه که ولتاژ طرف DC آن روی ۶۳۰ ولت تنظیم شده است یک بار متعادل سه فاز R-L (۱۵ اهم و ۳۰ میلی‌هانری) و یک بار یکسوساز R-L (۳۵ اهم ۲۵ میلی‌هانری) که می‌توان توسط سوئیچ استاتیک قطع و وصل کرد را تغذیه می‌کند. این مدار دارای دو مرحله عملکرد به شرح زیر می‌باشد:

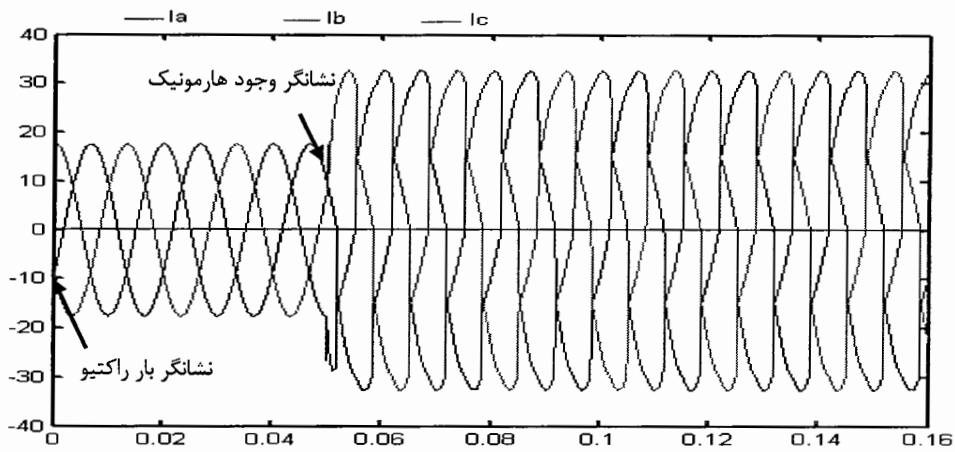
۱- بار شبکه از لحظه صفر تا ۰/۰۵ ثانیه فقط بار متعادل R-L می‌باشد.

۲- یکسو ساز دیودی در لحظه ۰/۰۵ ثانیه توسط سوئیچ‌های استاتیک وصل شده و هارمونیک جریان تولید کرده و قدرت راکتیو را افزایش می‌دهد.

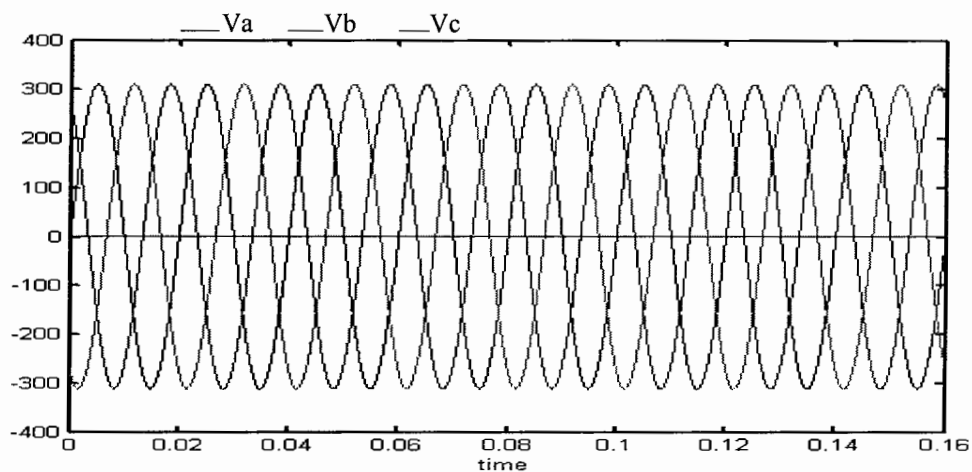
تعدادی از نتایج شبیه‌سازی در اشکال ۳-۲۱ تا ۳-۲۸ آورده شده است:



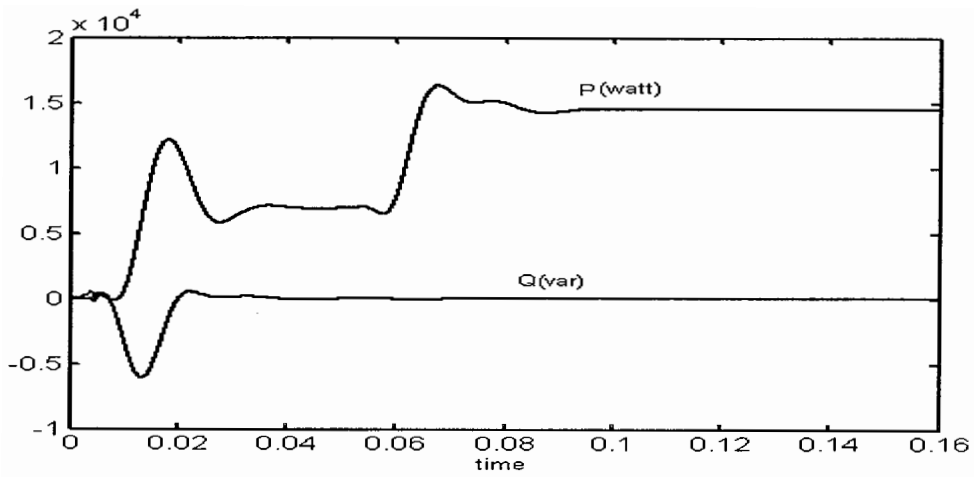
شکل ۲۱-۳ جریان‌های ایجاد شده توسط مبدل با تغییر بار (ثانیه / آمپر)



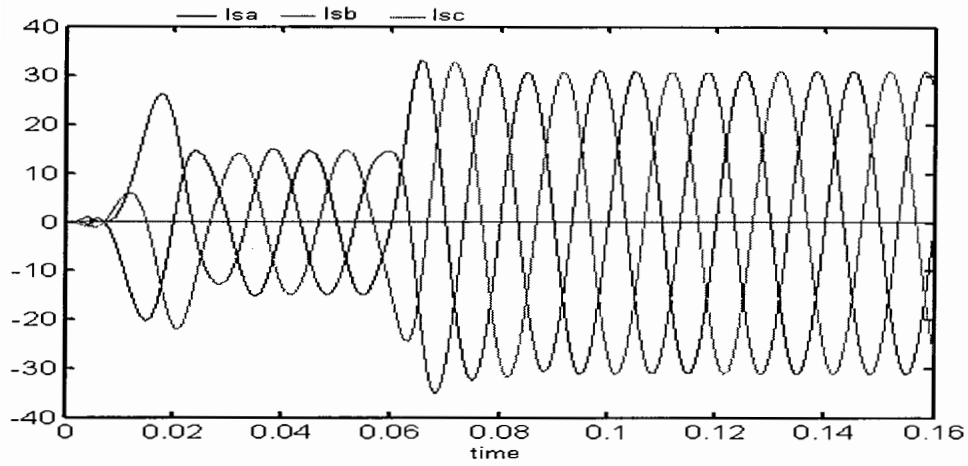
شکل ۲۲-۳ جریان‌های بار (ثانیه / آمپر)



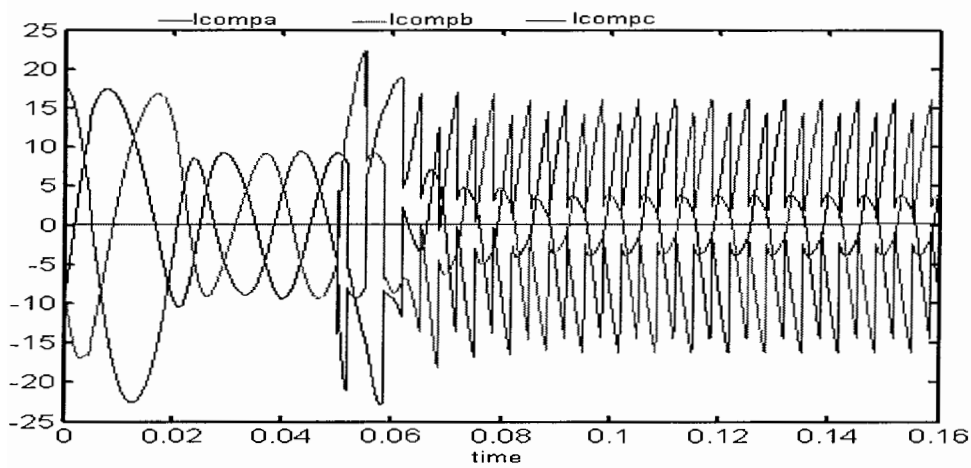
شکل ۲۳-۳ ولتاژهای طرف شبکه (ثانیه / ولت)



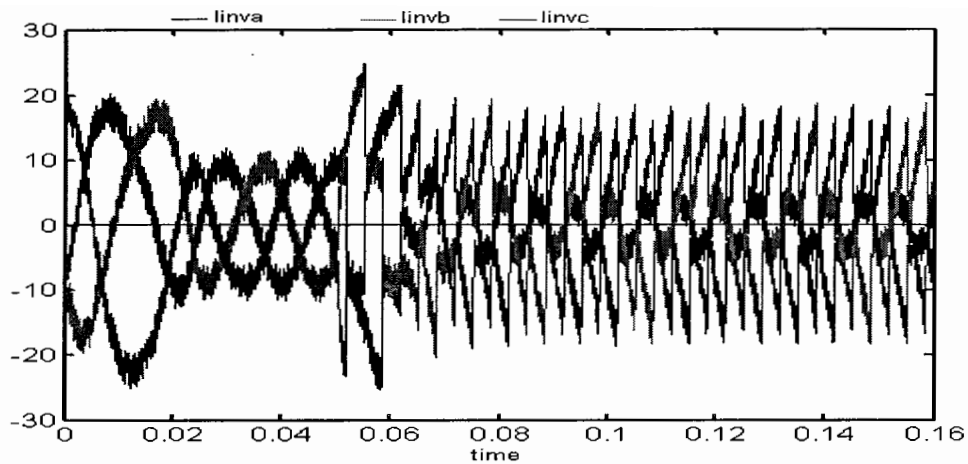
شکل ۳-۲۴ توان اکتیو و راکتیو (ثانیه / وار- وات)



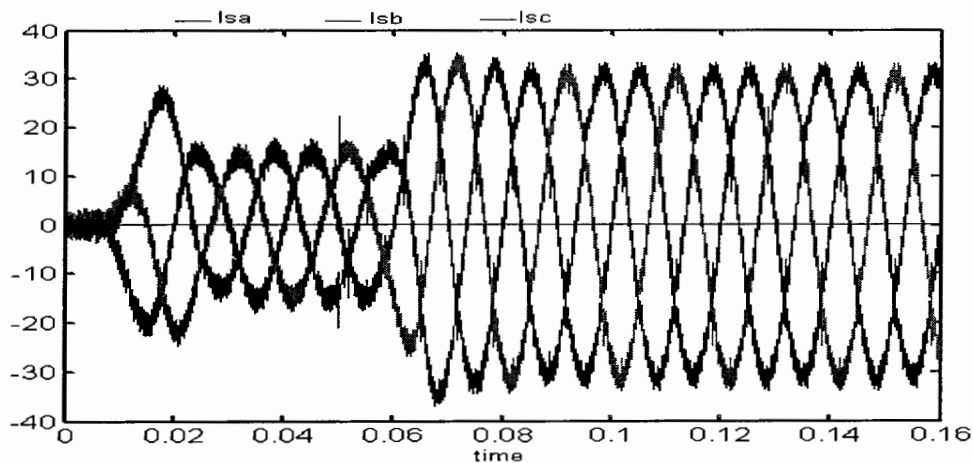
شکل ۳-۲۵ جریان‌های طرف منبع از مدار کنترل (ثانیه / آمپر)



شکل ۳-۲۶ جریان‌های مرجع جبران‌ساز از مدار کنترل (ثانیه / آمپر)



شکل ۲۷-۳ جریان‌های تزریقی توسط مبدل (ثانیه / آمپر)



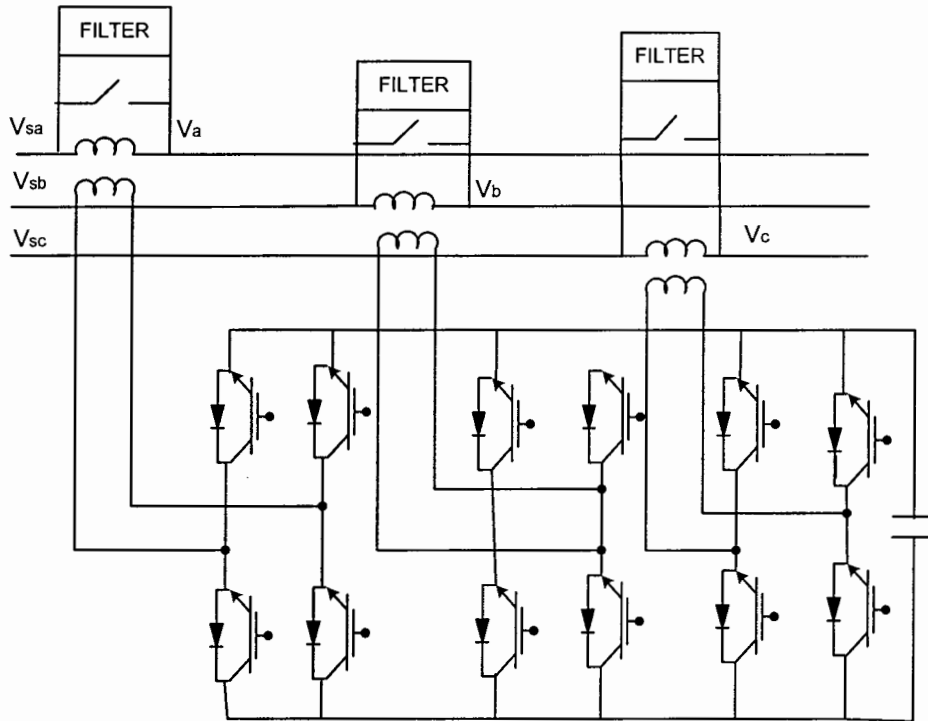
شکل ۲۸-۳ جریان‌های طرف منبع (ثانیه / آمپر)

با توجه به اینکه سیستم کنترل بهینه جدید پیشنهاد شده در این مبدل استفاده شده لذا جهت تست اولیه عملکرد مبدل از یک موج مرجع استفاده شده است که تا 0.08 ثانیه 10 آمپر و از آن به بعد به 20 آمپر افزایش می‌یابد نتیجه حاصل در شکل ۳-۲۱ نشان داده شده است این جریان‌ها در لحظه 0.08 ثانیه افزایش یافته‌اند و کنترلر به خوبی توانسته سیگنال‌های سوئیچینگ مناسب را برای تعقیب جریان‌های مرجع که در این شکل به صورت اختیاری فرض شده بود را ایجاد نماید. شکل ۳-۲۲ جریان‌های بار را نمایش می‌دهد، عدم شروع از صفر ناشی از بار راکتیو و اعوجاج شکل موج از فرم سینوسی ناشی از بار هارمونیکی است که از زمان 0.05 به مدار متصل

شده است. شکل ۳-۲۳ ولتاژهای شبکه را نشان می‌دهد. شکل ۳-۲۴ توان اکتیو و راکتیو را نشان می‌دهد همانطوری که از شکل پیداست توان راکتیو که توسط بار ایجاد شده به روش استراتژی کنترل pq خنثی شده است و بعد از گذشت اندک زمانی به مقدار صفر رسیده و شکل موج توان اکتیو کشیده شده از منبع به صورت خطی است و با افزایش بار نیز با اندک زمانی توان اکتیو اخذ شده از منبع با عملکرد جبران‌ساز به شکل کاملاً خطی در آمده است [۱۸]. شکل ۳-۲۵ جریان‌های طرف منبع را با جمع کردن جریان مرجع محاسبه شده را نشان می‌دهد که به شکل مطلوبی می‌باشد یعنی از صفر شروع شده که نشانگر جبران توان راکتیو بار، و دامنه جریان یکسان سه فاز نشانگر بار متعادل از دیدگاه منبع با عملکرد جبران ساز است. شکل ۳-۲۶ جریان‌های جبران کننده مرجع اینورتر ذکر شده در بالا که توسط مدار کنترل ایجاد شده است را نشان می‌دهد. شکل ۳-۲۷ جریان‌های واقعی تزریقی توسط جبران‌ساز را نشان می‌دهد با توجه به اینکه سیگنال‌های سوئیچینگ با پرپود ثابت انجام شده و هماهنگی در بین سه فاز وجود دارد شکل موج جریان واقعی ایجاد شده توسط مبدل شباهت زیادی به شکل موج مرجع رفرنس دارد. همان‌گونه که در انتهای فصل دوم اشاره شده جریان‌های ایجاد شده توسط این مبدل سوئیچ شونده به روش بهینه علی رغم تعداد کمتر سوئیچینگ، دارای خطای کمی در تعقیب موج مرجع می‌باشد. شکل ۳-۲۸ جریان‌های واقعی طرف منبع را بعد از عملکرد جبران‌ساز و مدار کنترل نشان می‌دهد که جریان‌های سه فاز متعادل و هم‌فاز با ولتاژهای شبکه می‌باشند.

۳-۴- نتایج شبیه سازی برای جبران ساز سری

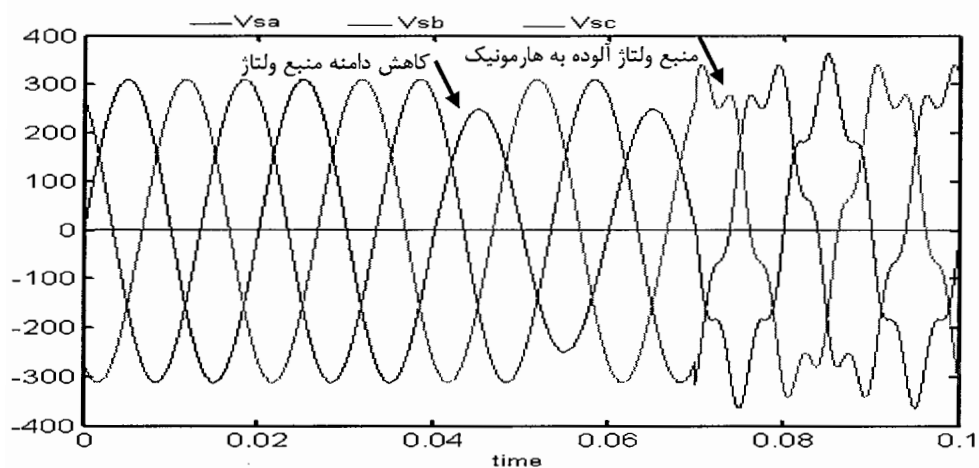
جهت شبیه سازی از مدار قدرت شکل ۳-۱۸ استفاده شده است.



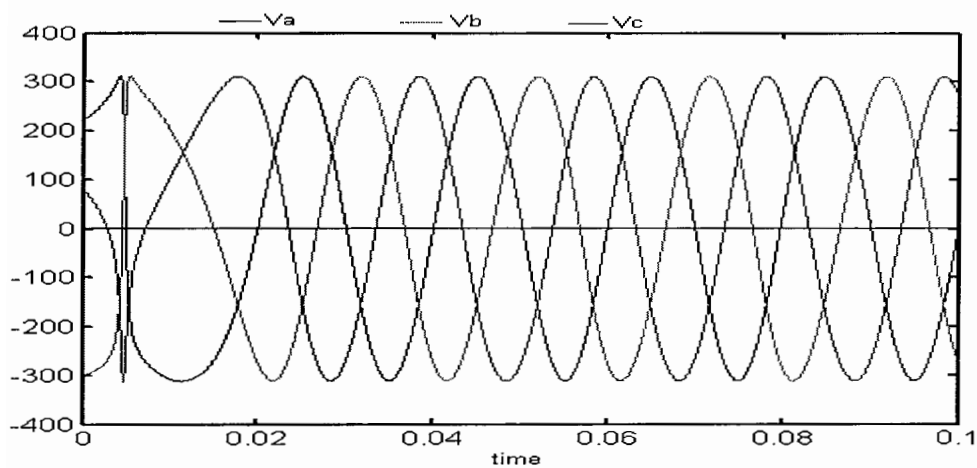
شکل ۳-۲۹ مدار قدرت شبیه سازی شده برای جبران ساز سری

یک شبکه سه فاز سه سیمه با ولتاژ موثر خط به خط ۳۸۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز و مبدل منبع ولتاژ دو سطحه که ولتاژ طرف DC آنها روی ۶۳۰ ولت تنظیم شده است یک بار متعادل سه فاز R-L (۱۵ اهم و ۳۰ میلی هانری) و یک بار یکسوساز R-L (۳۵ اهم ۲۵ میلی هانری) که می توان توسط سوئیچ استاتیک قطع و وصل کرد را تغذیه می کند. این مدار دارای سه مرحله عملکرد به شرح زیر می باشد:

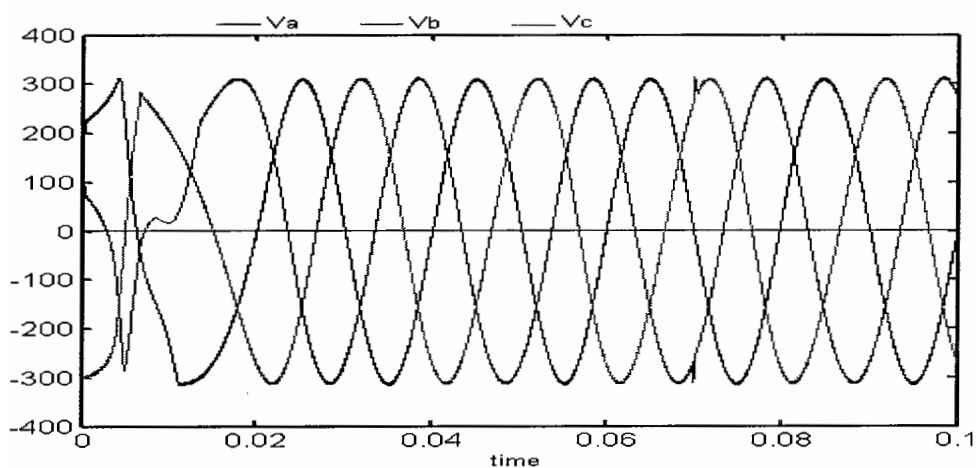
- ۱- تا لحظه ۰/۰۴ ثانیه ولتاژ تغذیه سه فاز متعادل سینوسی می باشد.
 - ۲- در لحظه ۰/۰۴ ثانیه ولتاژ فاز a به اندازه ۰/۲ پریونیت کاهش می یابد.
 - ۳- در لحظه ۰/۰۷ ثانیه هارمونیک پنجم به اندازه ۰/۱۶ پریونیت به فازها افزوده می شود.
- نتایج شبیه سازی در اشکال ۳-۳۰ تا ۳-۳۷ آورده شده است.



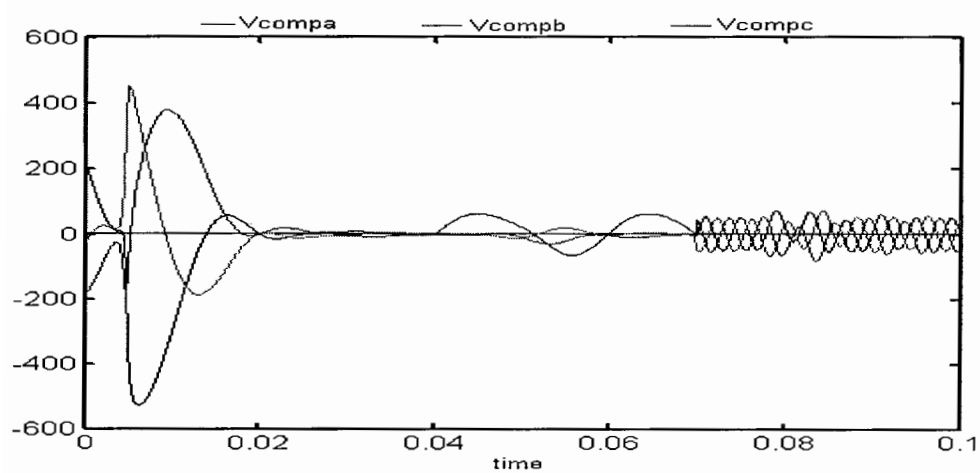
شکل ۳۰-۳ ولتاژهای طرف شبکه (ثانیه / ولت)



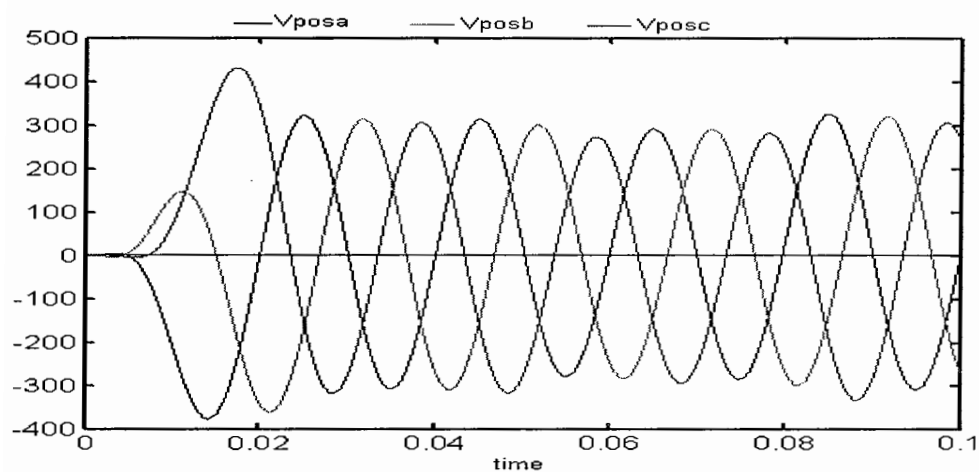
شکل ۳۱-۳ ولتاژهای طرف بار از مدار کنترل (ثانیه / ولت)



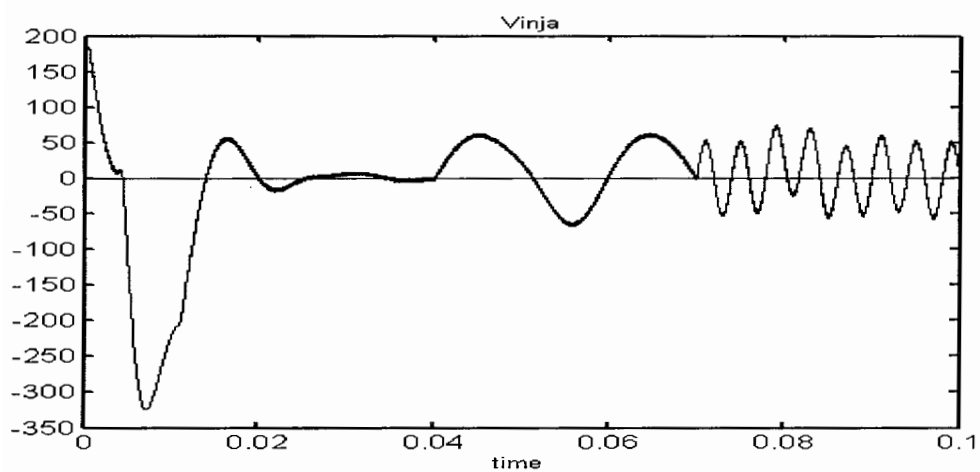
شکل ۳۲-۳ ولتاژهای طرف بار بعد از جبران سازی (ثانیه / ولت)



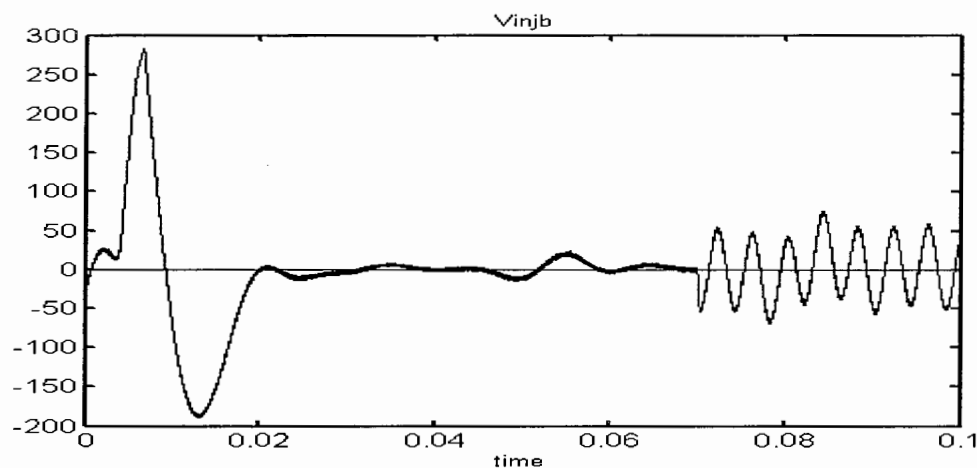
شکل ۳-۳۳ ولتاژهای مرجع جبرانساز (ثانیه / ولت)



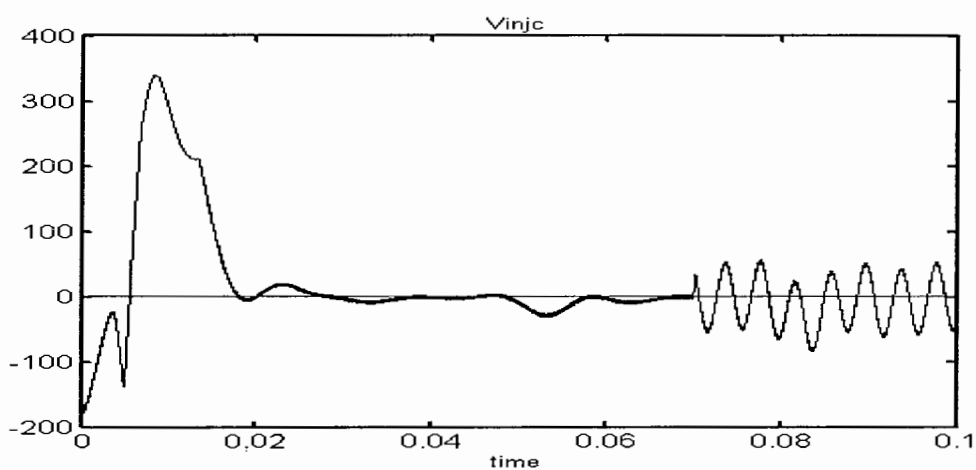
شکل ۳-۳۴ ولتاژهای ترتیب مثبت (ثانیه / ولت)



شکل ۳-۳۵ ولتاژ تزریقی در فاز a (ثانیه / ولت)



شکل ۳-۳۶ ولتاژ تزریقی در فاز b (ثانیه / ولت)



شکل ۳-۳۷ ولتاژ تزریقی در فاز c (ثانیه / ولت)

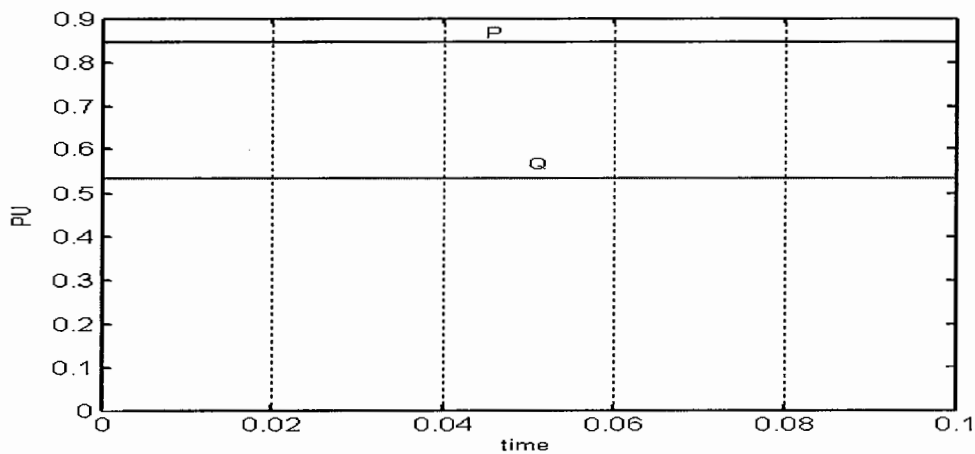
شکل ۳-۳۰ ولتاژهای طرف منبع را نشان می‌دهد که کاهش دامنه یکی از فازها از زمان ۰/۰۴ کاملاً مشهود است و از زمان ۰/۰۷ منبع به هارمونیک نیز آلوده می‌شود. با استفاده از روش ذکر شده در فصل دوم جهت جبران سازی سری (ولتاژ) نتیجه حاصل در شکل ۳-۳۱ که ولتاژهای طرف بار با عملکرد مدار کنترل نشان داده شده با توجه به شکل موج به دست آمده متوجه می‌شویم که شکل موج ولتاژ تحویلی به مصرف کننده بعد از جبران سازی با شکل موج جبران سازی ۳-۳۳، ولتاژهایی سینوسی و هم دامنه شده است. شکل ۳-۳۲ ولتاژهای واقعی ایجاد شده

بعد از عملکرد جبران ساز را نشان می‌دهد. شکل ۳-۳۴ ولتاژهای ترتیب مثبت مربوط به هارمونیک اصلی را نشان می‌دهد با توجه به شکل موج ولتاژ ترتیب مثبت و مطالب ارائه شده در بخش جبران سازی سری فصل دوم می‌توان فهمید که علی‌رغم تصحیح صورت گرفته در شکل موج ولتاژ و هم دامنه شدن آنها هنوز به دامنه مطلوب دست نیافته‌ایم و نیاز به تزریق ولتاژ رگوله اشاره شده در فصل دوم جهت دستیابی به دامنه ولتاژ استاندارد داریم. اشکال ۳-۳۵، ۳-۳۶ و ۳-۳۷ به ترتیب ولتاژهای تزریقی جبران‌ساز سری در فازهای a، b و c می‌باشد.

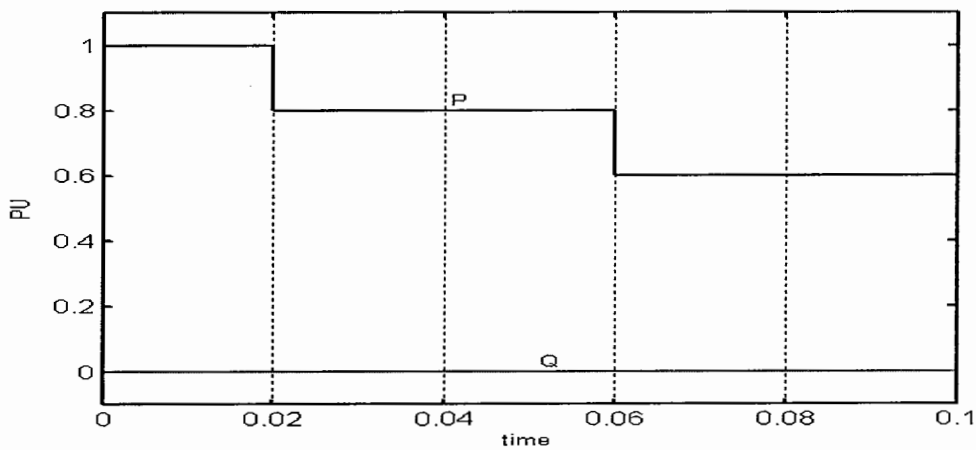
برای ایجاد سیگنال‌های سوئیچینگ مناسب از کنترل کننده مدولاسیون پهنای پالس استفاده شده است. فرکانس سیگنال حامل روی ۲۰۲۵ هرتز تنظیم شده است. ولتاژ واقعی نمونه برداری شده از ولتاژ مرجع کم شده و حاصل وارد کنترل کننده PI می‌شود و سپس مدولاسیون پهنای پالس صورت می‌گیرد. در ضمن یک فیلتر مرتبه اول RC برای حذف هارمونیک‌ها به ثانویه ترانس اضافه شده است. نسبت دور ترانس سری ۶۳۰/۲۵۰ می‌باشد. همچنین کلید استاتیک جهت اتصال کوتاه ثانویه ترانس سری زمانی که جبران‌سازی لازم نیست بکار رفته است. مدار کنترل ایجاد سیگنال‌های سوئیچینگ در شکل ۲-۱۴ آورده شده است.

۳-۵- نتایج شبیه سازی جبران کننده به صورت کنترلر توان

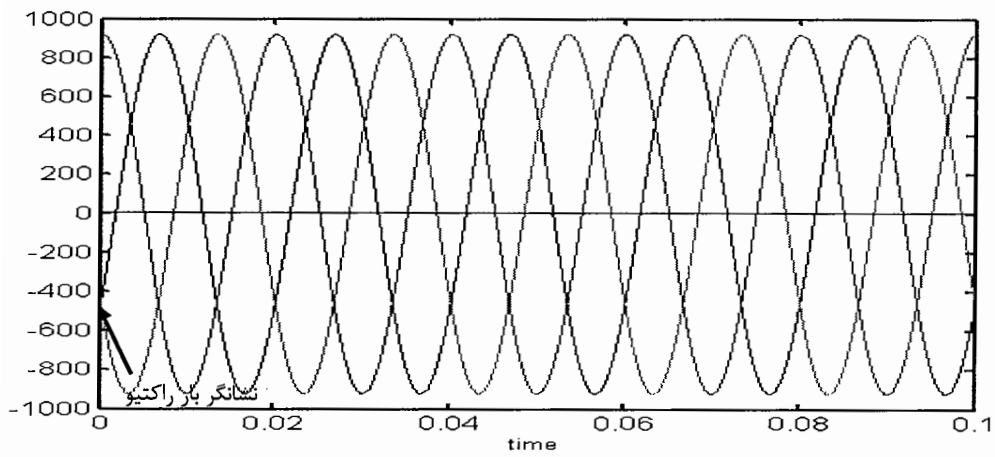
همانطوری که قبلاً اشاره شد UCPC می تواند با استفاده از دو مبدل ۱ و ۳ توان اکتیو را از یک منبع انرژی دیگر به عنوان مثال انرژی حاصل از یک توربین بادی به سمت منبع اصلی و کمک به تغذیه بار انتقال دهد. اشکال ۳-۳۸ و ۳-۴۴ بعضی از نتایج را نشان می دهد.



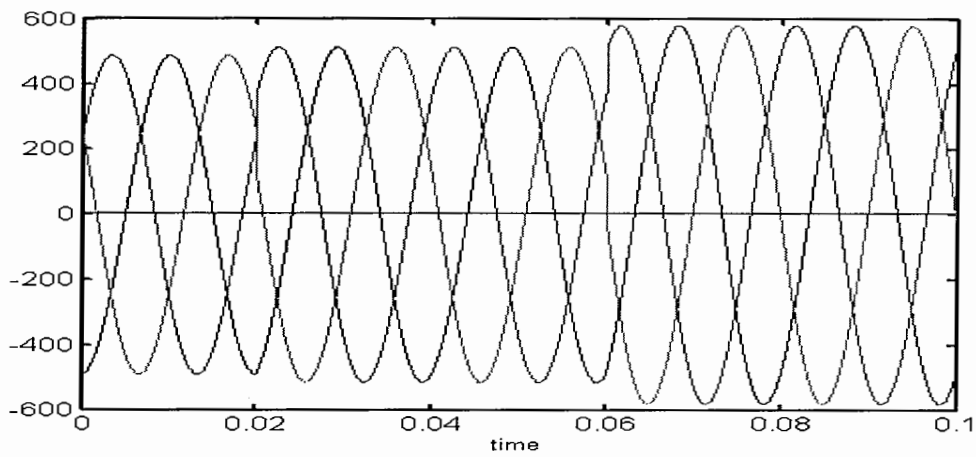
شکل ۳-۳۸ توان اکتیو و راکتیو بار (ثانیه / پریونیت)



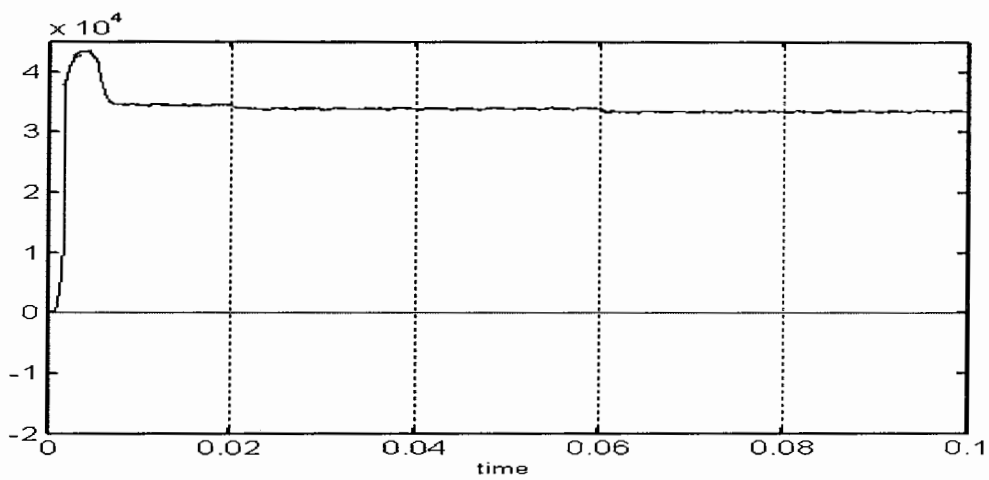
شکل ۳-۳۹ توان اکتیو و راکتیو شبکه (ثانیه / پریونیت)



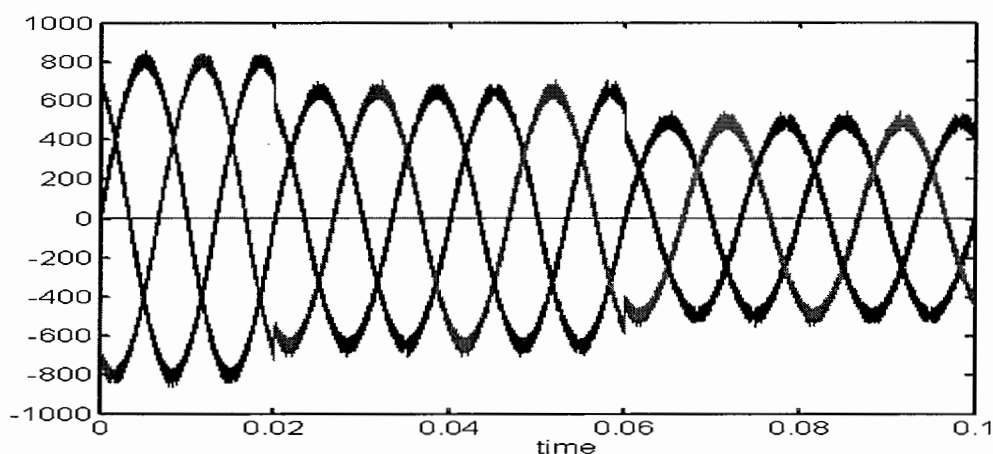
شکل ۳-۴۰ جریان‌های طرف بار (ثانیه / آمپر)



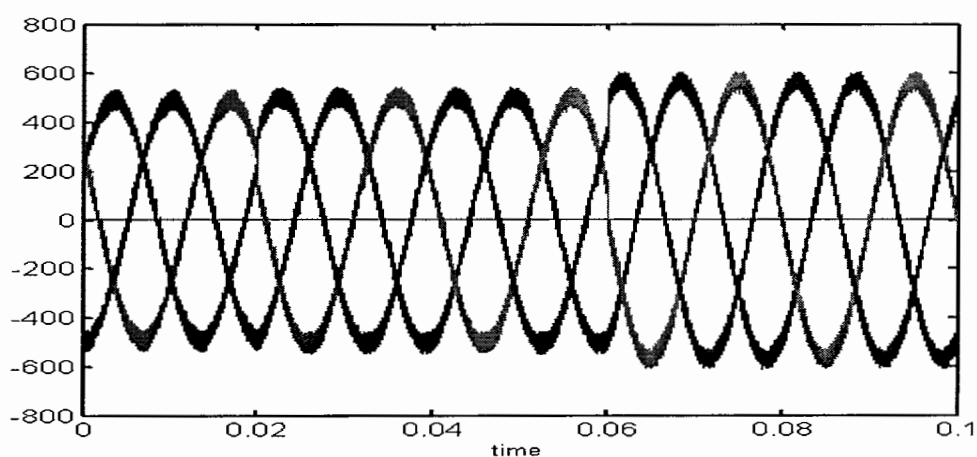
شکل ۳-۴۱ جریان‌های مرجع مبدل ۱ (ثانیه / آمپر)



شکل ۳-۴۲ ولتاژ خازن (ثانیه / ولت)



شکل ۳-۴۳ جریان‌های طرف شبکه اصلی (ثانیه / آمپر)



شکل ۳-۴۴ جریان‌های تزریقی به سمت شبکه اصلی (ثانیه / آمپر)

شکل ۳-۳۸ توان اکتیو و راکتیو بار را نشان می‌دهد. شکل ۳-۳۹ توان اکتیو و راکتیو شبکه را زمانی که توان اکتیو تزریق شده و توان راکتیو خنثی گردیده است را نشان می‌دهد. ۳-۴۰ و ۳-۴۱ به ترتیب جریان‌های طرف بار و جریان‌های مرجع مبدل ۱ که از مدار کنترل حاصل شده است را نشان می‌دهد. شکل ۳-۴۲ ولتاژ خازن را که در ۳۳ کیلو ولت تثبیت شده را نشان می‌دهد که با استفاده از روش PI به دست آمده است. شکل ۳-۴۳ جریان‌های طرف شبکه اصلی را نشان می‌دهد. شکل ۳-۴۴ جریان‌های تزریقی به سمت شبکه اصلی که توسط اینورتر تزریق شده را نشان می‌دهد.

۳-۶- نتیجه گیری کلی

انرژی الکتریکی تحول عظیمی در توسعه و پیشرفت زندگی بشر ایفاء کرده است. با توجه به اینکه طیف زیادی از تجهیزات زندگی بشر از انرژی الکتریکی استفاده می‌کند لذا کیفیت توان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. شبکه‌های توزیع حلقه اتصال سیستم انتقال انرژی و مصرف کنندگان انرژی می‌باشند. بنابراین همواره با مشکلات کیفیت ولتاژ منبع و مشکلات کیفیت جریان بار به‌طور همزمان مواجه هستند.

افزایش بارهای غیرخطی و حساس در شبکه و افزایش حساسیت تجهیزات الکتریکی در مقابل اغتشاشات موجود در شبکه توزیع و غیره باعث توجه روز افزون به مساله کیفیت توان گشته است. به همین دلیل شرکت‌های توزیع درصدد بهبود مساله کیفیت توان هستند.

مطالب پایان‌نامه به‌صورت زیر تنظیم شده است:

ابتدا مشکلات کیفیت ولتاژ و جریان شبکه‌های توزیع را مورد بررسی قرار گرفته است. سیستم تامین کننده جامع کیفیت توان که به (UPQC) Unified Power Quality Conditioner معروف است از نظر مدار قدرت و مدارات کنترل و نحوه عملکرد مورد بررسی قرار گرفته است. موضوع کیفیت توان و انواع رایج جبران‌سازهای کیفیت توان در شبکه‌های توزیع بحث شده است. مباحث مربوط به کیفیت توان در دو بخش به صورت کیفیت ولتاژ و کیفیت جریان به‌طور مختصر شرح داده شده است. ساختار جبران کننده جامع توان مصرفی بررسی شده است. نشان داده شده که این سیستم به‌عنوان یک سیستم جامع می‌تواند عمل کند. اهداف جبران کننده جامع توان مصرفی شرح داده شده است. سپس استراتژی‌های کنترلی شامل ایجاد جریان‌های مرجع به منظور بهبود کیفیت جریان و ولتاژهای مرجع برای بهبود کیفیت ولتاژ مصرف کننده بررسی گردیده است.

استراتژی‌های کنترلی سوئیچینگ تشریح گردیده است. روش کنترل بهینه برای ایجاد جریان‌های مرجع به‌طور کامل تشریح شده است. این روش با روش باند هیستریزیس مقایسه شده است. کارایی روش‌های کنترل توسط روابط ریاضی و شبیه‌سازی توسط نرم افزار مطلب بررسی

شده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی اعتبار و پاسخ دینامیکی قابل قبول روش‌های ذکر شده را نشان می‌دهد.

۳-۷- پیشنهادات

- با توجه به گستردگی مطالب در خصوص تامین کننده جامع کیفیت توان و پیشرفت‌های روزافزون صنایع و لزوم تامین کیفیت توان پیشنهادات زیر به نظر می‌رسد:
- ۱- انجام آزمایشگاهی روش‌های کنترل ذکر شده
 - ۲- ساخت یک نمونه کامل از سیستم جبران کننده جامع توان مصرفی

مراجع

- [١] IEC, "IEC ٦١٠٠٠-٢-١: Electromagnetic Compatibility (EMC). Part ٢: Environment", Section ١, ١٩٩٠.
- [٢] IEEE, "IEEE ١١٥٩: IEEE Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality", ١٩٩٥.
- [٣] J. Polcarpo, "Impact of Voltage Sags: A Methodology for its Determination", ١٠th Intl. Power Quality Conf, Vol. ١٠, ١٩٩٧, pp: ٢١٧-٢٢٨.
- [٤] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment", Emerald Book, The IEEE Color Book Service, ١٩٩٩.
- [٥] M. H. J. Bollen, "Understanding Power Quality Problems, Voltage Sags and Interruption", IEEE Press, Series on Power Engineering, ١٩٩٨.
- [٦] IEEE, Voltage Imbalance, <http://www.manta-ieee.org/group/١١٥٩/١/vufass.html>.
- [٧] Hideaki Fujita and Hirofurmi Akagi, "The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series Active Filters and Shunt Active Filters", Elect. Eng. Department of Okayama University, Japan, ١٩٩٦.
- [٨] IEEE Inter-Harmonic Task Force, CIGRE ٣٦,٠٥/CIREC ٢ CC٠٢, Voltage Quality Working Group, Inter-Harmonics in Power System, Jan ١٩٩٧.
- [٩] J. Arrillaga, N. R. Watson and S. Chen, "Power System Quality Assessment", John Wiley & Sons Press.
- [١٠] T. Larsson, "Voltage Source Converters for Mitigation of Flicker Caused by Arc Furnaces", Ph.D. thesis, Royal Institute of Technology, Dept of Elect. Power Eng. Stockholm, Sweden, ١٩٩٨.
- [١١] N. G. Hingorani, "Introducing Custom Power" IEEE Spectrum, Vol. ٣٢, No. ٦, June, pp: ٤١-٤٨, ١٩٩٥.
- [١٢] N. Hingorani, "FACTS-Flexible AC Transmission System", in Proc. EE ٥th Int. Conf. AC DC Transmission, London, UK, ١٩٩١, Conf. Pub. ٣٤٥, pp: ١-٧.
- [١٣] O. Anaya, Lara, E. Acha, "Modeling and Analysis of Custom Power Systems by PSCAD/EMTDC", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. ١٧, NO. ١, January ٢٠٠٢.
- [١٤] P. Wong, N. Jenkins and M. J. Bollen, "Experimental Investigation of Voltage Sag Mitigation by an Advanced Var Compensator", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. ١٣, NO. ٤, Oct. ١٩٩٨, pp: ١٤٦١-١٤٦٧.

- [10] M. Aredes, K. Heumann, "A Universal Active Power Line Conditioner". IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 13, NO. 2, pp: 040-001, 1998.
- [11] H. Fujita, H. Akagi, "The Unified Power Quality Conditioner: The Integration of Series and Shunt-Active Filters". IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 13, NO. 2, pp: 040-001. 1998.
- [12] Fang Zhengpeng, "Application Issues of Active Power Filters". IEEE Industry Application Magazine. Sept. Oct, pp: 21-30, 1998.
- [13] H. Akagi, K. Segava, A. Nabae, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits". Power Delivery, IEEE Transaction on Volume 11, Issue 3, July. 1994, pp: 1238-1243.
- [14] Akira Nabae, T. Tanaka, "A New Definition of Instantaneous Active-Reactive Current and Power Based on Instantaneous Space Vectors on Polar Coordination in Three-Phase Circuits". IEEE-PWRD, 96WM227-9.
- [15] Yunping Chen and Xiaoming Zha, "Unified Power Quality Conditioner (UPQC): the Theory, Modeling and Application", Power Electronics, Aug 2000, Vol.26, NO.1, pp.1329-1334.
- [16] A. Elandy and M. M. A. Salama, "New Functionalities of The Unified Power Quality Conditioner" Canada, pp: 410-420.
- [17] C. T. Pan and T. Y. Chang, "An Improved Hysteresis Current Controller for Reducing Switching Frequency", IEEE Trans, Power Electronic, Vol. 9, No. 1, pp: 97-104, 1994.
- [18] T. Y. Chang, K. L. L. O and C. T. Pan, "A Novel Vector Control Hysteresis Current Controller for Induction Motor drives", IEEE Trans, Energy Conversion, Vol. 9, NO. 2, June 1994.
- [19] Z. Changjiang, W. Manchung, H. Yu, H. Yingduo, Z. Liangbin, "Universal Custom Power Conditioner (UCPC) In Distribution Networks", IEEE Trans, Power Electronic, PEDS 99, July 1999, Hong Kong.
- [20] Z. Changjiang, V. K. Ramachanaramurthy, A. Arulampalam, C. Fitzer, M. Barnes, N. Jenkins "Universal Custom Power Conditioner (UCPC) with Integration Control" IEEE 2001.
- [21] C. Zhan, M. Wong, Z. Wang, Y. Han, "DSP Control of Power Conditioner for Improving Power Quality", Proceeding of IEEE PES Winter Meeting, Singapore, 2000.

Abstract:

This thesis deals with Unified Power Quality Conditioner (UPQC) and Universal Custom Power Conditioner (UCPC). There are systems for improve power quality and reliability in distribution networks. UPQC and UCPC comprises a series active filter and one/two shunt active filter (with a battery energy storage system for UCPC) for multi-function operations such as harmonic elimination, reactive power control, voltage sags compensation and power factor control. Another application for the UCPC is acting as an inter-phase power flow controller when using renewable energy such as wind power. The power quality subjects, related standard, the most common voltage and current quality problems and common power quality conditioners are studied. Circuits of suitable control for generation reference currents of shunt active filter and reference voltages of series active filter are studied. A new method for generation switching pattern of shunt active filter is presented. The considerable operation of presented control methods has been studied through analytical and simulation results. These results show the validity and fast dynamic response of these methods.