

به نام خدا

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت

طراحی فیلتر اکتیو بهینه با استفاده از مفاهیم تئوری بازیها در بهینه سازی چند هدفه

استاد راهنما: دکتر سید محمدرضا رفیعی

دانشجو: محمد حسن کردی

۸۵۴۲۰۰۹

چکیده:

توسعه ی مداوم سیستم های قدرت ، افزایش تنوع بهره برداری ، کارکردهای سیستم قدرت در شرایط متفاوت ، گسترش روز افزون کاربرد تجهیزات الکترونیکی و الکترونیک قدرت و سیستم های سوئیچینگ که منابع عمده ی تولید هارمونیک در سیستم های توزیع قدرت هستند از یک سو و افزایش بارهایی نظیر تجهیزات میکرو پروسسوری و سیستم های محرک الکتریکی که به شکل موج ولتاژ ورودی بسیار حساسند از سوی دیگر موجب شده است که در سالهای اخیر توجه زیادی به مبحث کیفیت توان معطوف گردد و تلاشهای زیادی در جهت مقابله با پدیده هایی که موجب اغتشاش در ولتاژ سیستم می شوند و جلوگیری از ورود اغتشاشات موجود در سیستم به تغذیه ی مصرف کنندگان حساس ، انجام گرفته است .

تلاش ها برای رسیدن به کیفیت توان بهتر منجر به ساخت تجهیزات جدیدی تحت عنوان فیلترهای اکتیو که برای مقابله با هارمونیک های بار و منبع طراحی شده اند گردید.

از روشهای زیادی به منظور کنترل این تجهیزات استفاده شده است که از آن میان می توان به شبکه های عصبی و فازی اشاره کرد. بیشتر تلاشها حول این نقطه متمرکز بوده که ولتاژ سینوسی با دامنه ثابت بر روی نقطه اتصال مشترک بارها وجود داشته باشد و جریانی با مشخصات مطلوب و متعادل از منبع کشیده شود.

از کارهای انجام شده در این راستا چنین بر می آید که در شرایط غیر سینوسی ولتاژ منبع بهبود همزمان همه شاخص های کیفیت توان نظیر ضریب توان و THD امکان پذیر نبوده و بهبود در یک راستا جز با از دست رفتن جنبه های دیگر مقدور نمی باشد. وجود چنین خاصیتی موقعیت های تعارض آمیزی را تداعی می کند که هدف ما در این پایان نامه تجزیه و تحلیل این حالات برای تعدادی از شاخص های کیفیت توان نظیر ضریب توان \square THD \square ضریب اغتشاش و... توسط روشهای مبتنی بر مفاهیم تئوری بازی ها \square با هدف دستیابی به نقاط بهینه است.

فصل اول

- ۱-۱- مقدمه ای بر کیفیت توان ۲
- ۲-۱- معرفی پدیده های کیفیت توان از دیدگاه مدت زمان ماندگاری ۲

۲	۱-۲-۱- پدیده های ترنزیت یا گذرا
۳	۱-۲-۲- پدیده های با زمان کوتاه
۳	۱-۲-۳- پدیده های با زمان متوسط
۴	۱-۲-۴- پدیده های کیفیت توان دائمی
۵	۱-۳-۳- هارمونیک ها
۶	۱-۳-۱- هارمونیکهای جریان
۹	۱-۳-۲- هارمونیک های ولتاژ
۹	۱-۴- اثرات وجود هارمونیک ها در سیستم قدرت
۱۲	۱-۵- استانداردهای مربوط به کیفیت توان
۱۴	فصل دوم
۱۵	۱-۲- فیلترهای پسیو
۱۵	۱-۱-۲- فیلترهای تنظیم شده
۱۷	۱-۲-۲- فیلتر های بالا گذر
۲۰	فصل سوم
۲۱	۱-۱-۳- مقدمه
۲۱	۱-۲-۱- ساختمان فیلتر های اکتیو
۲۵	۱-۲-۳- فیلترهای اکتیو موازی
۲۵	۱-۳-۳- فیلتر های اکتیو سری
۲۶	۱-۳-۴- پیاده سازی سیگنال کنترلی
۳۰	فصل چهارم

۳۱	۱-۴- فیلتر های هیبرید
۳۸	۴-۴- معیارهای انتخاب فیلترهای هیبرید
۴۱	۳-۴- مزایای فیلتر هیبرید
۴۲	فصل پنجم
۴۳	۱-۵- بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه UPQC
۴۴	۲-۵- ساختمان UPQC
۴۶	۱-۲-۵- خازن های DC
۴۶	۲-۲-۵- سوئیچهای مبدل
۴۶	۳-۲-۵- راکتورهای کموتاسیون
۴۶	۴-۲-۵- فیلتر بالا گذر
۴۶	۵-۲-۵- تنظیم کننده ولتاژ DC
۴۷	۳-۵- استراتژی کنترل
۴۷	۴-۵- حفاظت UPQC
۴۹	فصل ششم
۵۰	۱-۶- استراتژی کنترل فیلترهای اکتیو سری
۵۱	۱-۱-۶- استراتژی کنترل ولتاژ سینوسی
۵۲	۲-۶- استراتژی کنترل فیلترهای اکتیو موازی
۵۴	۱-۲-۶- استراتژی جبران توان ثابت (FPC)

۵۶	۲-۲-۶- استراتژی جبران توان واحد (UPFC)
۵۹	۳-۲-۶- استراتژی جبران کامل هارمونیک ها (PHC)
۶۱	۴-۲-۶- استراتژی کنترل بهینه OFC
۶۲	۱-۴-۲-۶- روش OFC
۶۳	۲-۴-۲-۶- استراتژی حداکثر ضریب توان
۶۵	۳-۴-۲-۶- استراتژی حداقل اغتشاش جریان
۶۶	۴-۴-۲-۶- پایه ی ریاضی OFC
۶۹	۵-۴-۲-۶- محدودیت ها و اصلاح استراتژی
۷۱	۳-۶- سیستم تشخیص مؤلفه توالی مثبت PSD
۷۲	۱-۳-۶- حلقه قفل فاز PLL
۷۳	۴-۶- کنترل ولتاژ باس DC
۷۴	فصل هفتم
۷۵	۱-۷- تئوری بازی ها و کاربرد آن در بهینه سازی چند هدفه
۷۹	۲-۷- ارزش پایینی و بالایی بازی (اصل کمبیشینه)
۸۳	۳-۷- استراتژی های خالص و مرکب، حل یک بازی به وسیله استراتژی های مرکب
۸۴	۴-۷- روش های مقدماتی حل بازی های 2×2 و $2 \times n$ فاقد نقطه زینی
۸۸	۵-۷- روشهای کلی حل بازی های محدود
۹۴	۶-۷- روش های حل بازی های نامحدود

- ۹۶ ۷-۷- روش های تقریبی حل بازی ها
- ۸-۷- حل مسائل بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم های
- ۹۷ شبه پویا براساس تئوری بازی ها
- ۱۰۰ ۷-۸-۱- روش الگوریتم ژنتیک نش
- ۱۰۳ ۷-۸-۲- روش Strength pareto
- ۱۰۴ ۷-۸-۲-۱- چگونگی تخصیص برازندگی
- ۱۰۷ ۷-۸-۳- روش Min-max strategy
- ۱۱۱ **فصل هشتم**
- ۱۱۲ کنترل بهینه بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه براساس مفاهیم تئوری بازی ها
- ۱۱۶ ۸-۱- فیلتر اکتیو سری و استراتژی کنترل سینوسی ولتاژ منبع
- ۱۱۹ ۸-۲- بهینه سازی همزمان ضریب توان و THD با استفاده از روش Spareto
- ۱۱۹ ۸-۲-۱- انتخاب نقطه معادل ضریب توان واحد و حداکثر THD
- ۱۲۳ ۸-۲-۲- انتخاب نقطه معادل حداقل THD
- ۱۲۷ ۸-۲-۳- انتخاب نقطه معادل حداکثر $THD = 5\%$
- ۸-۳- بهینه سازی همزمان ضریب توان و THD تحت قيود هارمونیکی
- ۱۳۰ به روش min-max Formulation
- ۱۳۱ ۸-۳-۱- انتخاب نقطه معادل حداکثر ضریب توان
- ۱۳۳ ۸-۳-۲- انتخاب نقطه معادل حداقل THD

- ۱۳۷ ۴-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب اغتشاش به روش Spareto
- ۱۳۸ ۸-۴-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل DF
- ۱۴۱ ۸-۴-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF
- ۱۴۴ ۵-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب اغتشاش به روش Min-Max
- ۱۴۵ ۸-۵-۱- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF
- ۱۴۸ ۸-۵-۲- انتخاب نقطه معادل حداقل DF
- ۱۵۱ ۶-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب K به روش Spareto
- ۱۵۲ ۸-۶-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KF
- ۱۵۵ ۸-۶-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF
- ۱۵۸ ۷-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب K به روش Max-Min
- ۱۵۹ ۸-۷-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KF
- ۱۶۲ ۸-۷-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF
- ۱۶۵ ۸-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان و توان ظاهری به روش Spareto
- ۱۶۶ ۸-۸-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KVA
- ۱۶۹ ۸-۸-۱- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF
- ۱۷۲ ۹-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان و توان ظاهری به روش Max-Min
- ۱۷۳ ۸-۹-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KVA
- ۱۷۶ بهینه سازی در سه بعد

۱۷۷	۱۰-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان، THD و ضریب K به روش Spareto
۱۷۸	۸-۱۰-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل THD و KF
۱۸۱	۸-۱۰-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر ضریب توان
۱۸۴	۸-۱۱- بهینه سازی همزمان ضریب توان، THD و ضریب K به روش min-max
۱۸۶	۸-۱۱-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل THD و KF
۱۸۹	۸-۱۱-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر ضریب توان
۱۹۳	جمع بندی
۱۹۵	مراجع

۱-۳- مقدمه ای بر کیفیت توان :

توسعه ی مداوم سیستم های قدرت ، افزایش تنوع بهره برداری ، کارکردهای سیستم قدرت در شرایط متفاوت ، گسترش روز افزون کاربرد تجهیزات الکترونیکی و الکترونیک قدرت و سیستم های سوئیچینگ که منابع عمده ی تولید هارمونیک در سیستم های توزیع قدرت هستند از یک سو و افزایش بارهایی نظیر تجهیزات میکرو پروسسوری و سیستم های محرک الکتریکی که به شکل موج ولتاژ ورودی بسیار حساسند از

سوی دیگر موجب شده است که در سالهای اخیر توجه زیادی به مبحث کیفیت توان معطوف گردد و تلاشهای زیادی در جهت مقابله با پدیده هایی که موجب اغتشاش در ولتاژ سیستم می شوند و جلوگیری از ورود اغتشاشات موجود در سیستم به تغذیه ی مصرف کنندگان حساس ، انجام گرفته است . [1]

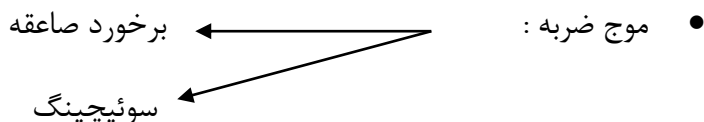
۴-۱- معرفی پدیده های کیفیت توان از دیدگاه مدت زمان ماندگاری:

سیستم قدرت شامل تولید انتقال و توزیع به منظور کار با ولتاژ سینوسی با دامنه و فرکانس ثابت طراحی شده اند هر انحراف قابل ملاحظه ای در دامنه فرکانس و محتوای هارمونیک تحت عنوان مسئله کیفیت توان مطرح می گردد.

از دیدگاه مدت زمان ماندگاری این پدیده ها عبارتند از:

۱-۵-۱- پدیده های ترنزیت یا گذرا :

زمان این پدیده ها بین 5ns تا 0.5 سیکل می باشد که شامل :



• امواج نوسانی :

که بیشتر به دلیل اتصال خازن های بزرگ که حالت نوسانی میرا شونده دارند و در واقع دو جهت هستند .

۱-۵-۲- پدیده های با زمان کوتاه :

این پدیده ها زمانی بین 0.5 سیکل تا 1min دارند . و شامل موارد زیر می باشند :

- قطع ولتاژ (Interruption) : در این پدیده دامنه ی ولتاژ به کمتر از 0.1pu افت می کند و علت اصلی آن عملکرد اتوماتیک کلید های قدرت (Auto-reclosing) کلیدهای قدرت است .

• Voltage sag : در این پدیده دامنه ی ولتاژ بین 0.1-0.9 pu است که مهمترین علت آن اتصال کوتاه یا راه اندازی موتورهای بزرگ است .

• برآمدگی ولتاژ (Voltage Swell) : در این پدیده دامنه ولتاژ بیشتر از 1.1 pu می باشد . که علت اصلی آن عبارتند از :

○ قطع یک بار بزرگ

○ خطوط طویل (با شارژ خازنی بالا) جبران نشده و بدون بار

○ اتصال کوتاه نامتقارن دو فاز به هم که باعث افزایش ولتاژ در فاز سوم می گردد.

۱-۲-۳- پدیده های با زمان متوسط : این پدیده ها برای زمان های بیش از 1 دقیقه مطرح می

گردند . و شامل موارد زیر است :

• قطعی

• Under voltag

• Over voltage

• تغییر فرکانس منبع

• عدم تعادل ولتاژ

• فیلیکر

فیلیکر به مفهوم نوسان دامنه ولتاژ با فرکانس بین 0.5 تا 40Hz و با دامنه بین 0.1% تا 7% می

باشد . عوامل اصلی به وجود آورنده نوسان ولتاژ عبارتند از:

• راه اندازی موتورهای القایی که جریانی در حدود 3 تا 8 برابر جریان نامی دریافت می کنند.

• کوره های قوس الکتریکی

• ستگاههای جوشکاری : به دلیل تغییرات فاصله الکتروود تا سطح کار، تغییرات بسیار زیادی در دامنه

جریان به وجود می آید .

• ماشین آلات مورد استفاده در صنایع و معادن نظیر سنگ شکن ها ، دستگاههای نورد

مهمترین اثر فلیکر تغییرات شدت روشنایی حاصل از لامپها ، خصوصاً لامپ های التهابی است .

۱-۲-۴- پدیده های کیفیت توان دائمی:

- Dc- offset
- Noise یک موج با دامنه بسیار کم و فرکانس بیش از 20KHZ
- هارمونیک ها :

در بین همه پدیده هایی که ذکر شد . Voltage sag یا کاهش دامنه ولتاژ بیشترین احتمال وقوع را داراست اما پدیده ای که تا حدود زیادی مشکل زا است وجود هارمونیک در شکل موج ولتاژ و جریان سیستمهای قدرت است .

برای نخستین بار در سال 1985 هارمونیک های سیستم قدرت توسط آریلاگا به صورت کتاب منتشر گردید که ضمن جمع آوری تجربیات دهه های قبل ، به توصیف دلایل حضور ولتاژها و جریانهای هارمونیکی و همچنین عوامل ایجاد ، استانداردها ، اندازه گیری ، شبیه سازی و حذف آنها پرداخت . از آن پس ، افزایش غیر منتظره تعداد و مقادیر نامی عناصر الکترونیک قدرت برای کنترل سیستمها و تجهیزات قدرت سبب بروز مشکلات هارمونیکی در سیستمها گردیده است . تصحیح هارمونیک ها همواره از روشهای پر هزینه می باشند لذا ، بررسی هارمونیکی سیستم قدرت یک قسمت اساسی در برنامه ریزی و طراحی سیستمها می باشد [2]. در حال حاضر برنامه ها تجاری زیادی موجود می باشد کمیته های IEEE, CIGRE به طور فعال در حال تهیه راهنماهایی جهت تسهیل امر تعیین و ارزیابی سطوح اعوجاج هارمونیکی می باشند [1].

تخمین دقیق هارمونیک ها نیاز به درک دو موضوع جداگانه و کاملاً وابسته به یکدیگر دارد . نخست ، اثرات مشخصه غیر خطی ولتاژ - جریان بعضی اجزاء سیستم یا به عبارتی وجود منابع هارمونیکی در سیستم قدرت است . که در این زمینه مشکل اساسی شناخت دقیق منابع هارمونیکی می باشد . موضوع دوم ، استخراج مدل هارمونیکی مناسب برای قطعات خطی غالب در سیستم به منظور محاسبه پخش بار هارمونیکی حاصل از اتصال آنها در شبکه می باشد .

۱-۶- هارمونیک ها :

به طور کلی اغتشاشات موج های ولتاژ و جریان بر حسب فرکانس های هارمونیک که ضرایب صحیحی از فرکانس اصلی هستند بیان می شود . [1]

به عبارت دیگر هارمونیک یک سیگنال قدرت با فرکانسی که مضربی از فرکانس پایه است نوسان می کند و با سیگنال اصلی جمع می گردد. هارمونیک ها موجب تغییر شکل سیگنال قدرت می شوند و به طور منظم تکرار می گردند .

با پیشرفت تکنولوژی حالت جامد ، قابلیت های به کارگیری و سرعت کلید زنی المانهای مربوطه به طرز چشمگیری بهبود یافته است . با این حال استفاده از این المانها به علت غیر خطی بودن آنها باعث به وجود آمدن اعوجاج در شکل موج جریان و ولتاژ خط می گردد که از آن تحت عنوان هارمونیک شدن شکل موجها نام می بریم .

به طور کلی هارمونیکها به دودسته تقسیم بندی می شوند :

- هارمونیکهای جریان
- هارمونیکهای ولتاژ

۱-۶-۱- هارمونیکهای جریان :

این هارمونیکها عمدتاً توسط بارهای غیر خطی به شبکه تحمیل می شوند . که برخی از منابع تولید این هارمونیکها عبارتند از :

- بارهای مغناطیسی مانند ترانسفورماتورها و موتورها

این مصرف کننده ها به دو صورت هارمونیک تولید می کنند :

- به خاطر اختلاف فاز بین شار مغناطیسی هسته و جریان در لحظه اتصال به منبع ولتاژ ، با توجه به موقعیت ولتاژ به وجود می آید . (جریان هجومی)

○ جریان مغناطیس‌کنندگی که به خاطر وجود پسماند مغناطیسی (منحنی هیستریزیس) و خاصیت

اشباع شوندگی هسته، رابطه‌ای غیر خطی با ولتاژ ورودی دارد. (حالت ماندگار)

شکل‌های ۱-۱، ۲-۱ و ۳-۱ به ترتیب شکل موج‌های ولتاژ ورودی، منحنی مغناطیس‌شوندگی هسته و

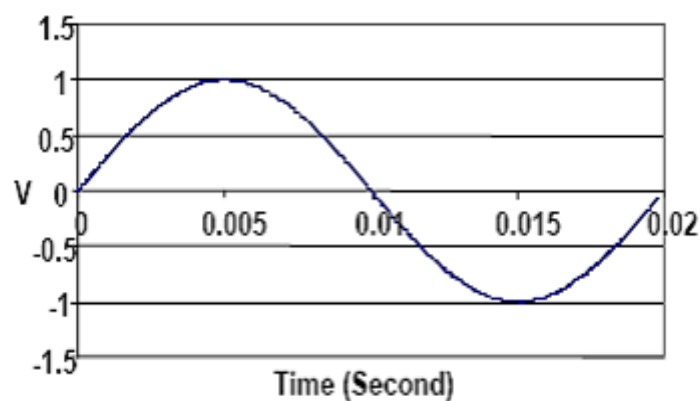
جریان مغناطیس‌کننده یک هسته مغناطیسی مربوط‌کننده هسته علی‌رغم اعمال ولتاژ کاملاً متعادل

سینوسی، جریانی با محتوای قابل ملاحظه هارمونیک پنجم از منبع می‌کشد [4].

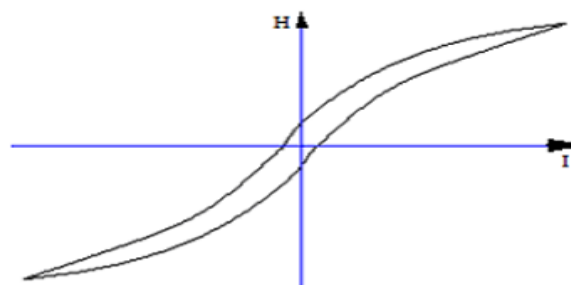
اثر دندانه‌های استاتور و روتور و توزیع فضایی شار که به صورت پله‌ای و نه کاملاً سینوسی انجام شده،

هارمونیک‌های مرتبه‌ی بالاتر در جریان موتور به وجود می‌آید که تأثیر آن بر محتوای کل هارمونیک‌های جریان

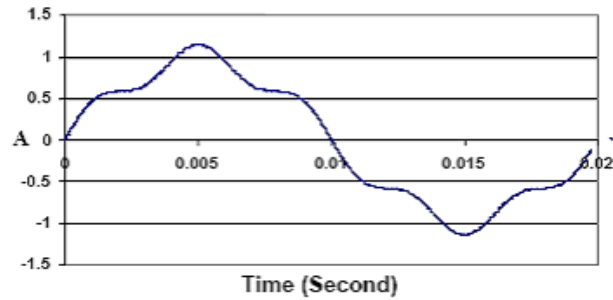
کم است.



شکل (۱-۱) ولتاژ ورودی ترانسفورماتور



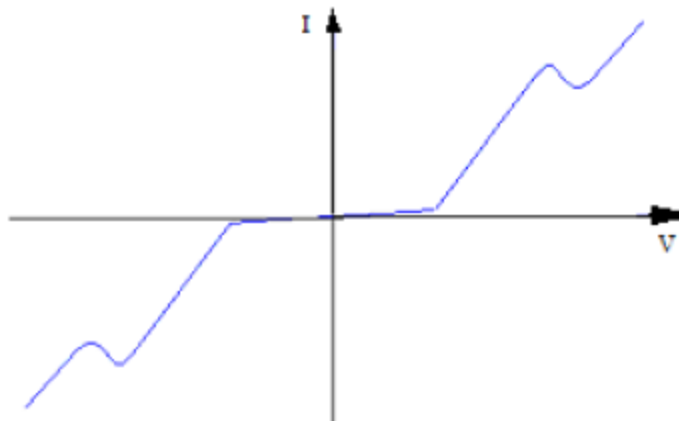
شکل (۲-۱) منحنی مغناطیس‌شوندگی هسته ترانسفورماتور (هیستریزیس)



شکل (۳-۱) جریان مغناطیس شونددگی هسته ترانسفورماتور

• لامپ های فلورسنت و تخلیه در گاز و لامپ های کم مصرف

مشخصه ی این لامپ ها به شدت غیرخطی است (شکل ۴-۱) و مقادیر زیادی هارمونیک های جریان مرتبه ی سوم به شبکه تحمیل می کند، علی رغم توان نسبتاً کم این لامپ ها ، به خاطر مصرف تعداد زیادی از آنها خصوصاً لامپ های فلورسنت در مجتمع های اداری و مسکونی ، هارمونیک مرتبه سوم قابل ملاحظه ای به وجود می آورند و با توجه به مرتبه ی هارمونیک ها که خاصیت جمع شونددگی دارند ، مسئله ی سیم نول برای آنها جدی است .



شکل (۲-۱) مشخصه غیر خطی ولتاژ و جریان لامپهای تخلیه در گاز

• دستگاههای جوشکاری و کوره های قوس الکتریکی

از آنجایی که مقاومت فاصله ی هوایی در محل قوس ناچیز و بسیار متغییر است ، جریان بار به جریان اتصال کوتاه بسیار شبیه می باشد . توان کوره های قوس الکتریکی بسیار بیشتر از توان دستگاههای جوشکاری قوس الکتریکی است و به همین علت اعوجاج به مراتب بزرگتری در جریان آنها وجود دارد . میزان این اعوجاج پیش از ذوب شدن به مراتب بزرگتر از زمانی است که قوس بین ماده مذاب و الکترودها تشکیل می شود .

• تجهیزات الکترونیک قدرت شامل مبدل‌های AC به DC ، AC و DC AC به AC :

یکسو سازها ، مبدل‌های ماتریسی ، دیمرها و ... جزء این دسته از بارهای هارمونیک قرار می گیرند . جریان های یکسو شده با توجه به بسط فوریه شان نشان می دهند که جریان های هارمونیک مرتبه پایین و مرتبه بالا از منبع می کشند . علاوه بر این به خاطر وجود پدیده کموتاسیون که در لحظه سوئیچینگ موجب اتصال کوتاه فازها می شود ، برش هایی در ولتاژ به وجود می آید که موجب ایجاد هارمونیکهایی در شکل موج ورودی خواهد شد .

دیمرها و مبدل های کنترل فاز نیز بسته به زاویه آتش تریستورها ، علاوه بر تولید هارمونیک ، باعث جا به جایی فاز جریان مؤلفه اصلی نسبت به ولتاژ فرکانس قدرت می شوند . مبدل های کنترل فرکانس علاوه بر هارمونیک ، زیر هارمونیک هم تولید می کنند . زیر هارمونیک ها مضارب غیر صحیح فرکانس پایه هستند] [۴ .

۱-۶-۲ - هارمونیک های ولتاژ :

این هارمونیک ها به مقدار بسیار محدود توسط ژنراتورها تولید می شوند که عمده علت آن اثر لبه های استاتور و روتور و تغییر مقاومت مغناطیسی در مرکز قطب ها در ژنراتورهای با قطب برجسته با لبه ی قطب ها است . اما بیشتر ولتاژهای هارمونیک موجود در شبکه قدرت از افت ولتاژ ناشی از عبور جریان های هارمونیک در امپدانس خطوط است .

ناگفته نماند که یک ولتاژ مغشوش که به ترمینال یک بار خطی اعمال می شود موجب عبور جریان هارمونیک از آن بار خواهد شد . به همین علت تحمل ولتاژهای هارمونیک برای سیستم قدرت بسیار دشوارتر از تحمل جریان های هارمونیک است لذا سلامت ولتاژ در نقطه ی اتصال مشترک بارها (PCC) از اهمیت ویژه ای در سیستم قدرت برخوردار است .

۱-۷- اثرات وجود هارمونیک ها در سیستم قدرت

هارمونیک های ولتاژ توسط هارمونیک های جریان به وجود می آیند . از آنجا که بین یک بار و منبع و یا بین بار و نقطه ی اتصال مشترک بارهای مختلف امپرانس وجود دارد عبور جریان هارمونیک از این امپرانس باعث افت ولتاژ هارمونیک روی این امپرانس شده که این نقطه در سیستم قدرت از اهمیت به سزایی برخوردار است زیرا همانگونه که قبلاً ذکر شد قرار گرفتن ولتاژ هارمونیک در پایانه های یک بار خطی موجب کشیده شدن جریان هارمونیک توسط آن بار می گردد .

- بر اثر وجود هارمونیک های مرتبه ی سوم و مضارب آن و خاصیت جمع شوندگی آنها ، مسائل حفاظتی و سیم نول در سیستم توزیع به وجود می آید . خاصیت جمع شوندگی هارمونیک های مرتبه ی سوم و مضارب آنها باعث می گردد تا این هارمونیک ها مسیر خود را از طریق سیم نول ببندد و گاهی بالا بودن درصد این هارمونیک ها به علت وجود بارهایی نظیر کامپیوترها و لامپ های کم مصرف خصوصاً در سازمان های اداری سبب می شود تا مقطع سیم نول تا حتی 1.5 برابر سیم نول افزایش یابد .
- هارمونیک های ولتاژ باعث به وجود آمدن گشتاورهای هارمونیک در موتورهای القایی می شوند که خستگی ناشی از این هارمونیک ها خصوصاً مؤلفه های چپگرد را می توان به سرعت در شفت و یاتاقانهای ماشین مشاهده کرد . بروز خستگی در شفت باعث کاهش عمر روتور می گردد .
- افزایش تلفات هسته مغناطیسی که با افزایش فرکانس و دامنه سیگنال هارمونیک متناسب است . از طرفی افزایش دمای موتور ناشی از به وجود آمدن این تلفات باعث کاهش ظرفیت موتورها نیز می گردد . این

مسئله در ترانس ها به صورت افزایش تلفات هسته ، افزایش دما ، افزایش نویز و کاهش ظرفیت کارپ خودنمایی می کند . از آنجا که ترانس های توزیع بیشتر به صورت یکپارچه می باشند در هارمونیک های مضارب سه فلوها هم جهت هستند و باعث تلفاتی می شوند که به تلفات فوران فلو معروف است که این فلو از طریق پوسته مسیر خود را می بندد . این مشکل بیشتر برای ترانس ها با اتصال زمین شده وجود دارد و علائم آن حباب زدن رنگ تانک ترانس و خراب شدن آن است .

- هارمونیک های مضارب بالا به خاطر فرکانس بالایی که دارند از طریق القا بر سیستم های مخابراتی تأثیر می گذارند . این تأثیر می تواند به صورت اثر شنیداری در سیستم های مخابراتی موجب اختلال گردد .

- تأثیر بر بارهای حساس مانند کامپیوترها (که فراوان ترین مولدهای هارمونیک هستند) تجهیزات دیجیتال و سیستم های حفاظتی ، به صورت ایجاد خطا در کارکرد سیستم حفاظتی یا بروز وقفه در کارکرد سیستم های ریزپردازنده . با تکوین هارمونیک در شبکه مقادیر انرژی اندازه گیری شده توسط کنتورها از واقعیت فاصله گرفته و از قابلیت اطمینان پایینتری برخوردار خواهد بود . این شکل زمانی حادثر به نظر می رسد که با توجه به بزرگی درصد هارمونیک های مختلف در نقاط متمایز شبکه ثبت انرژی توسط کنتورها می تواند دارای خطای مثبت یا منفی باشد . به عنوان نمونه کنتورها اندوکسیونی مورد آزمایش با جریان و ولتاژ غیر سینوسی تا 20- درصد خطا (اندازه گیری کمتر از مقدار واقعی) را نشان می دهند حتی در مواردی که فقط جریان دارای اعوجاج بوده و ولتاژ سینوسی باشد خطای اندازه گیری گاهاً به 5+ درصد رسیده است . [۵]

تأثیر اعوجاج شکل موج بر روی کار رله های حفاظتی نیز موجب عملکرد غیر صحیح آنها می شود ، رله های اضافه جریان القایی با توجه به اینکه توسط شکل موج جریان تحریک می شوند عملکرد اشتباه در مواقع غیر ضروری داشته و حتی خطای عملکرد برای رله های دیجیتال نیز وجود دارد . زیرا اینگونه رله ها نسبت ماکزیمم شکل موجود را به $\sqrt{2}$ به دست می آورند . تا میزان مؤثر را اندازه گیری و با مقدار از پیش تعیین شده مقایسه نمایند . به طوری که این روش یک اندازه گیری غلط را به همراه دارد و شبکه را با از دست دادن فیذر تغذیه کننده مواجه می سازد . این حالت در زمان اوج مصرف بیشتر نمایان می شود . [۶]

- اثر هارمونیک ها بر روی خازن های جبران ساز ضریب قدرت :

با توجه به اینکه اندازه ی راکتانس خازنی با مرتبه ی هارمونیک نسبت عکس دارد ، با بالا رفتن فرکانس ، اندازه ی راکتانس خازنی کاهش می یابد که به نحوی مطلوب می باشد و موجب کاهش سطوح هارمونیکی می گردد ، ولی از آنجا که در محاسبات مربوط به توان خازن ها وارد نشده اند بایستی ضریب اطمینانی برای ظرفیت آنها در نظر گرفت تا اشکالی در سیستم آنها به وجود نیاید . لذا خازن های توزیع باید دارای موارد زیرباشند .

- توانی برابر با 135 درصد توان نامی
 - تحمل ولتاژی تا 110 درصد ولتاژ نامی
 - جریانی تا 130 درصد جریان نامی
 - تحمل ولتاژ پیک تا 120 درصد مقدار پیک نامی
- تشدید (رزونانس) :

طراحی سیستمهای قدرت و المان های آن به صورتی است که در فرکانس قدرت تشدید رخ ندهد ولی ممکن است که هارمونیک مرتبه ی n فرکانس قدرت موجب بروز پدیده تشدید بین برخی المانهای سیستم گردد.

۱-۸- استانداردهای مربوط به کیفیت توان :

بارهای غیر خطی موجب تغییر طبیعت سینوسی جریان سیستم می گردند و جریان غیر سینوسی موجب افت ولتاژهای غیر سینوسی در سیستم می شود . همچنین این جریانها موجب تداخل در مدارهای مخابراتی و دیگر تجهیزات سیستم قدرت می گردند. هارمونیک ها با خازن های جبران ساز توان راکتیو و تصحیح کننده ضریب توان ، تشدید به وجود می آورند . در شرایط تشدید سطوح بالای ولتاژ هارمونیکی و اغتشاش جریان در سیستم به وجود می آید . [۷]

در استانداردهای وضع شده سعی شده که شکل موج های جریان و ولتاژ ممکن در سیستم لحاظ شوند و سیستم به صورت متصل به بارهای خطی و غیر خطی در نظر گرفته شود . ارتباط بین بارها و منبع از طریق نقطه ی اتصال مشترک (PCC) انجام می شود . هدف به حداقل رساندن تداخل بین تأسیسات الکتریکی می

باشد . محدودیت های اعمال شده شامل حالت ماندگار و گذرای سیستم است و کاربرد آنها در طراحی سیستم قدرت شامل بارهای غیر خطی می باشد . استاندارد ، پدیده ها و شاخص های کیفیت توان و همچنین برخی تجهیزات به وجود آورنده رویدادهای کیفیت توان را معرفی می کند . همچنین در استاندارد قید های حداکثر اغتشاش و ولتاژ سیستم تعیین و لازم الاجرا شده است .

دسته ای از استانداردها جهت اعمال به تجهیزات مخصوص پدیده های کیفیت توان تدوین شده اند که می توان به استاندارد خاص فیلتر های پسیو هارمونیک ها اشاره کرد . [۸]

اینگونه استانداردها شامل الزامات و رویه های طراحی و تمهیدات حفاظتی تجهیزات خاص کیفیت توان هستند . استانداردهای خاص نیز جهت ثبت و لزوم ثبت رویدادهای کیفیت توان در سیستم قدرت [۹] نگهداری تجهیزات حساس به اغتشاش [۱۰] و... تدوین شده است .

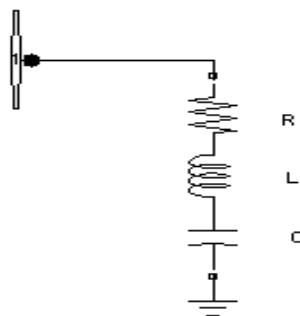
۲-۱- فیلترهای پسیو

با توجه به مشکلاتی که هارمونیک ها در سیستم های قدرت ایجاد می کنند باید توسط ابزاری کنترل شوند یکی از مهمترین ابزارهای کنترل هارمونیک ها فیلترهای پسیو می باشند. این فیلترها به دو صورت فیلترهای تنظیم شده ، و بالا گذر استفاده می شوند [۴].

۲-۱-۱- فیلترهای تنظیم شده :

غالباً برای حذف یک هارمونیک خاص تنظیم می شوند که این هارمونیک معمولاً یک هارمونیک مرتبه ی پایین است ، این فیلترها که در واقع یک مدار تشدید سلف و خازنی هستند به گونه ای تنظیم می شوند که درمقابل فرکانس قدرت ، راکتانس بالا و به تبعیت آن تلفات کمی داشته باشند ، اما در مقابل فرکانسی که باید فیلتر شوند راکتانس کوچکی داشته و هارمونیک را حذف کنند (کاهش دهند) نکته مهم این است که پارامترهای این فیلترها هنگام طراحی به نحوی انتخاب می شوند که خازن فیلتر قسمتی از توان راکتیو یا تمام آن را در فرکانس قدرت جبران کند فرکانس تشدید این فیلترها به تغییر المانهای R,L,C حساسند . برای فیلترهای تنظیم شده دو فاکتور ضریب تنظیم δ (De. Tuning) و ضریب کیفیت Q تعریف می شوند . ضریب تنظیم با تغییرات دما ، دقت ساخت المانها و... متناسب است . یک نوع ساده ی این فیلترها یک مدار RLC سری است . فرکانس تشدید در این فیلتر برابر با فرکانس هارمونیکی است که می خواهیم حذف شود

[۴].



(شکل ۲-۱)

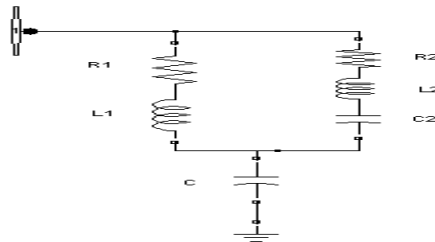
$$w_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (1-2)$$

$$Q = \frac{XC}{R} \quad (2-2)$$

$$\delta = \frac{w - w_r}{w_r} = \frac{\Delta f}{f_n} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta L}{Ln} + \frac{\Delta C}{Cn} \right) \quad (3-2)$$

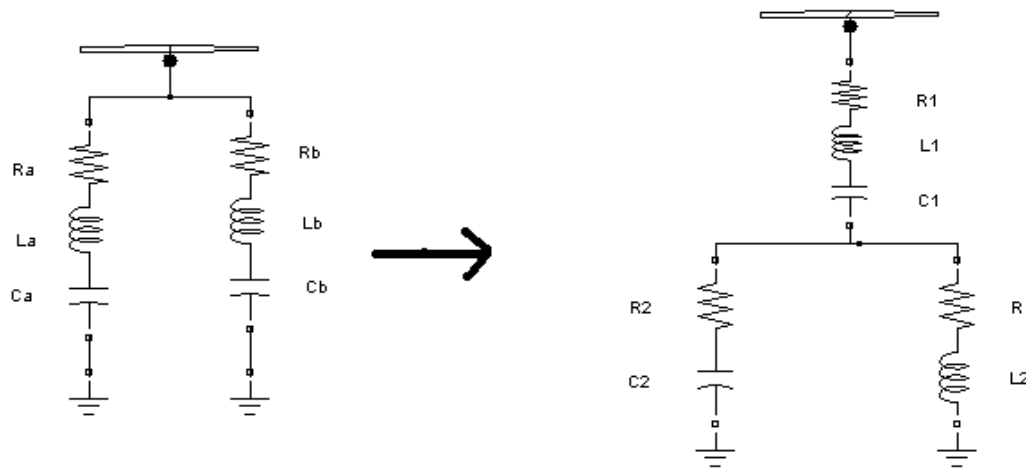
نوع دیگر از فیلتر تیون شده به صورت (شکل ۲-۲) است که به فیلتر LC تیون شده با مدار bypass

معروف است .



(شکل ۲-۲)

مقادیر شاخه ی موازی طوری انتخاب می گردد. که تشدید آن در فرکانس قدرت w_0 باشد؛ آنجا که مقاومت R_2 کوچک است در فرکانس قدرت شاخه ی موازی با آن حذف می گردد. فرکانس تشدید مجموعه ی سمت چپ برابر با فرکانس هارمونیک مورد نظر انتخاب می شود . نوع دیگر از فیلترهای تنظیم شده ، فیلتر تنظیم شده ی دوبل است . شمای این فیلترها در (شکل ۳-۲) آمده است .



(شکل ۲-۳)

این نوع فیلتر برای دو هارمونیک طراحی شده است و به جای استفاده از دو فیلتر RLC سری از یک فیلتر دوپل استفاده می شود .

۲-۱-۲- فیلترهای بالا گذر :

در طراحی فیلترهای پسیو عواملی نظیرسایز فیلتر و تطابق با استانداردها مؤثرند . سایزخازن ها که بر اساس توان راکتیو مورد نیازتعیین می شوند جزء عوامل تعیین کننده اندازه ی جبران سازهستند . لازم به ذکر است که خازن ها به تنهایی فیلتر بالا گذر می باشند . حذف همه ی هارمونیک ها نه ممکن است و نه اقتصادی . فیلترهای بالا گذر برای حذف (کاهش) هارمونیک های بالاتر از یک مرتبه ی خاص استفاده می شود . انواع فیلترهای بالا گذر عبارتند از [۱۲]:

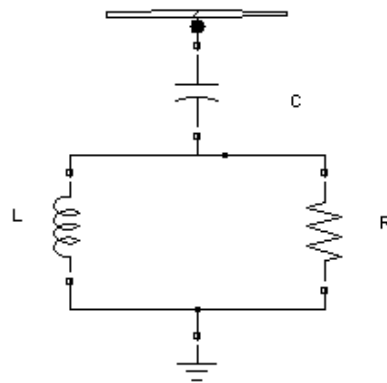
• فیلتردرجه یک :

که در ساده ترین حالت شامل یک مقاومت و خازن است که به صورت سری قرار می گیرند و ظرفیت خازن طوری انتخاب می گردد که ازیک فرکانسی بالاتر امپرانس کمی داشته باشد و مقدار مقاومت R نیز

طوری تعیین می شود که دامنه ی جریان از یک حد مجاز زیادتر نشود . مهم ترین مشکل این نوع فیلتر تلفات زیاد آن در فرکانس قدرت یا در فرکانس های پایین تر از فرکانس قطع است .

• **فیلتر درجه دوم (Second order) :**

از این نوع فیلتر که در (شکل ۴-۲) نشان داده شده است به منظور دفع مشکل تلفات استفاده می گردد. تلفات این نوع فیلتر در فرکانس پایه و به طور کلی فرکانس کمتر از فرکانس قطع ، کمتر است .



(شکل ۴-۲)

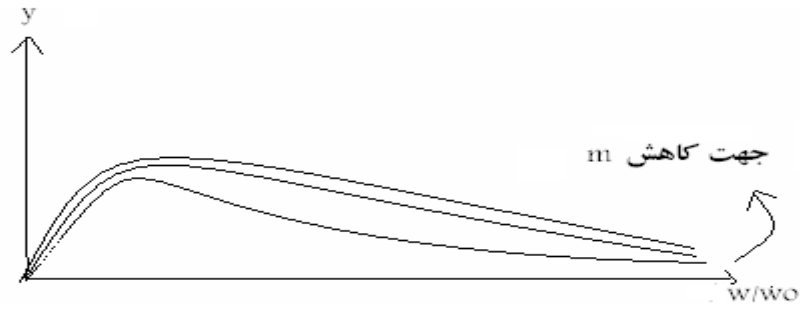
میزان ادمیتانس فیلتر بر حسب W از رابطه ی زیر به دست می آید .

$$y(w) = woc * \left\{ \frac{n + j2^2 m}{2m + j(2^2 m - 1)} \right\} \quad (۴-۲)$$

در رابطه ی فوق m ضریبی است که مقدار آن تقریباً بین ۰,۲۵ تا ۲ می باشد .

به ازای یک ظرفیت ثابت خازن C ضریب کوچکتر نشان دهنده ی ادمیتانس بیشتر در فیلتر است . به عبارتی

اگر میزان ادمیتانس را به ازای $\eta = \frac{w}{w_0}$ رسم کنیم به صورت (شکل ۵-۲) خواهد بود .

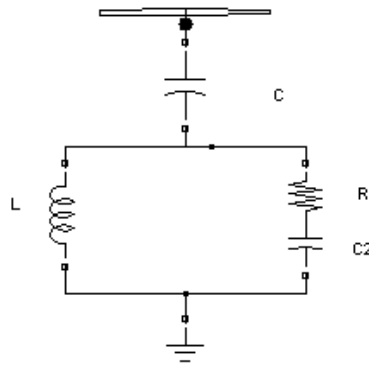


(شکل ۲-۵)

n شماره ی انتخابی برای حذف است .

• **فیلتر درجه ی سه (Second order) :**

اگر بحث تلفات جدی باشد از این نوع فیلتر استفاده می شود (شکل ۲-۶)



(شکل ۲-۶)

• **فیلتر نوع C (C-type) :**

این فیلتر غالباً خواص فیلتر های نوع اول و دوم را داراست و حساسیت آن نسبت به پارامتر δ کمتر است .

۳-۱-۱- مقدمه :

فیلتر های اکتیو دسته ی جدیدی از تجهیزات الکترونیک قدرت هستند که به منظور مقابله با پدیده های کیفیت توان و به خصوص جبران هارمونیک ها به سیستم های توزیع قدرت الکتریکی وارد شده اند . از این تجهیزات جهت مقابله با طیف گسترده ای از پدیده های کیفیت توان نظیر هارمونیک ها ، افت ولتاژ ، اضافه ولتاژ و جبران بار و تصحیح ضریب توان استفاده می شود . از آنجا که فیلتر های اکتیو عمدتاً برای جبران توان های غیر اکتیو مورد استفاده قرار می گیرند . در ساختارشان از عناصر پسیو (سلف یا خازن) ، جهت ذخیره ی انرژی استفاده می شود .

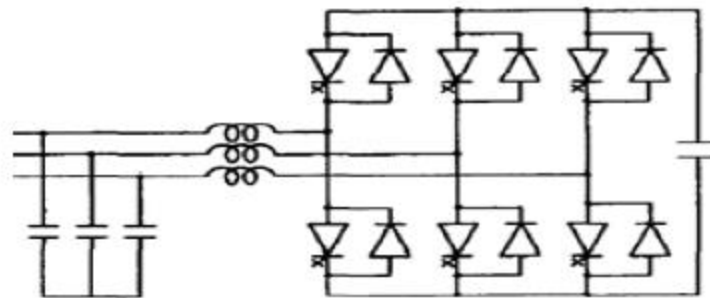
۳-۱-۲- ساختمان فیلتر های اکتیو

مدار قدرت یک فیلتر اکتیو می تواند از یک اینورتر منبع ولتاژ¹ (VSI) و یا یک اینورتر منبع جریان² (CSI) تشکیل شده باشد . (شکل ۲-۱۹) یک VSI و (شکل ۲-۲۰) یک CSI را نشان می دهد. [1] هر دو نوع اینورتر را می توان در جهت کاربرد یکسان استفاده کرد ، اما در انتخاب آنها باید

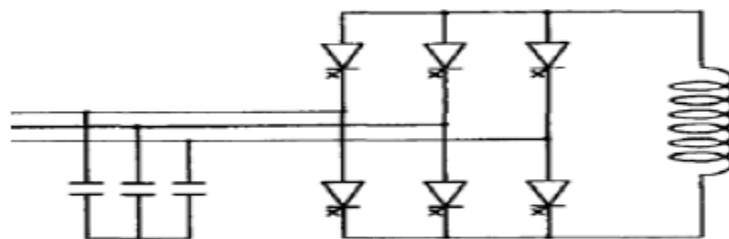
-
- 1- Voltage Source Inverter
 - 2- Current Source Inverter

ملاحظات را در نظر گرفت . به طور کلی ، برتری CSI به دلیل نیرومندی آن در عمل و یا VSI به دلیل تلفات کمتر و هزینه های اولیه ی پایین تر می باشد . به صورت تجاری تقریباً در همه ی فیلترهای اکتیو از VSI استفاده شده است . [۳]

عناصر ذخیره کننده ی انرژی L و C نیاز به یک منبع تغذیه dc را در مصرف dc از بین برده است . با تأمین یا جبران توانهای غیر اکتیو توسط جبران کننده ، نیاز به منبعی در جهت تأمین توان اکتیو نیست بلکه فقط باید تلفات جبران کننده فراهم گردد . این مورد نیز توسط جبران کننده از طریق سیستم قدرت با جذب توان اکتیو به اندازه ی تلفات جبران کننده انجام می گردد .



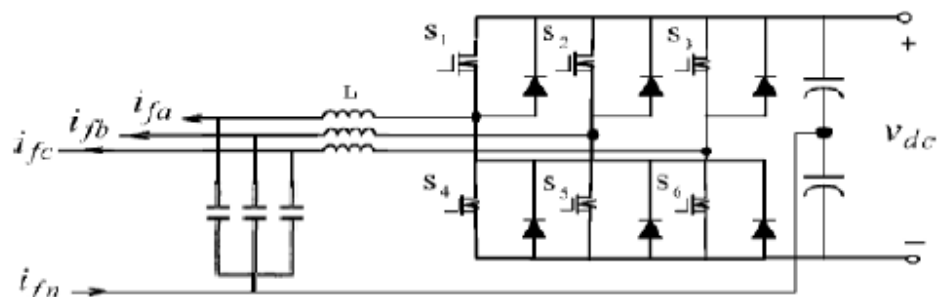
(شکل ۲-۱۹)



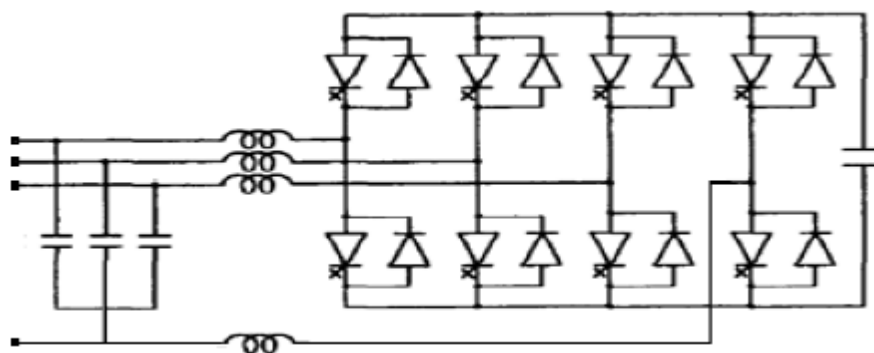
(شکل ۲-۲۰)

فیلترهای اکتیو موازی سه فاز که دارای سیم چهارم جهت عبور جریان مؤلفه صفر هستند ، اصولاً با دو ترکیب کلی ارائه شده اند ، ترکیب اول در (شکل ۲-۲۱) نشان داده شده از نقطه مشترک دو خازن در طرف dc به

عنوان سیم چهارم استفاده شده است (شکل ۲-۲۲) ترکیب دوم را نشان می دهد که در آن سیم چهارم مشابه فازهای دیگر از نقطه ی مشترک دو سوئیچ منشعب شده است . [۳]



(شکل ۲-۲۱)



(شکل ۲-۲۲)

تفاوت اساسی این دو ترکیب در تعداد سوئیچ ها و خازن های dc به کار برده شده در آنها است . در ترکیب اول دو خازن dc به کار برده شده ، در حالی که برای ترکیب دوم یک خازن dc به کار برده شده است . ترکیب اول نسبت به ترکیب دوم به دلیل استفاده از سوئیچ های قدرت کمتر ترجیح داده می شود . علاوه بر این ترکیب های دیگری در جهت اجرای فیلتر اکتیو سه فاز چهار سیمه پیشنهاد شده است . به عنوان مثال یک اتو ترانسفورماتور زیگزگاک به منظور کوپلاژ شبکه ارائه شده است تا سطح توان اینورتر PWM کاهش یابد . با این وجود ، فرم ترانسفورمر ویژه ای که به کار می رود هزینه ی اضافی به سیستم تحمیل می نماید .

فیلتر پسیوی که در همه ساختارها نمایش داده شده ، یک المان اختیاری است و جهت حذف هارمونیک های با فرکانس بالا (ریپل) منتهج از تکنیک های سوئیچینگ به ساختمان فیلتر اکتیو اضافه شده است . برای کمینه شدن تلفات توان حقیقی ، ایده آل این است که یک فیلتر پسیو تماماً از عناصر اکتیو تشکیل گردد . در بسیاری از موارد برای میرایی بهتر و پرهیز از تشدید خازن فیلتر پسیو با سایر المان های موجود در سیستم ، مقاومت اهمی مناسب با خازن سری می شود که مقداری تلفات توان اکتیو به شبکه تحمیل می کند . مهمترین قسمت های یک فیلتر اکتیو بخش ذخیره انرژی ، سوئیچ ها و راکتور سری می باشد .

بخش ذخیره کننده ی انرژی بایستی توان غیر اکتیو مورد نیاز نیاز سیستم را تأمین کند . به همین دلیل انرژی متوسط تحویل شده از طرف از طرف فیلتر اکتیو به سیستم صفر است و در نتیجه سطح DC ثابت باقی می ماند در صورتی که فیلتر اکتیو بخش هر چند ناچیز از توان حقیقی را جبران سازد ، انرژی ذخیره شده در باس DC کاهش می یابد . به همین علت بایستی تلفات ناشی از سوئیچینگ به نحوی از طریق سیستم تغذیه جبران گردد .

مسئله ی توان حقیقی زمانی بغرنج تر است که از فیلتر اکتیو برای جبران توان های حقیقی نامتعادل ¹ و منتهج ی صفر ² سیستم استفاده شود .

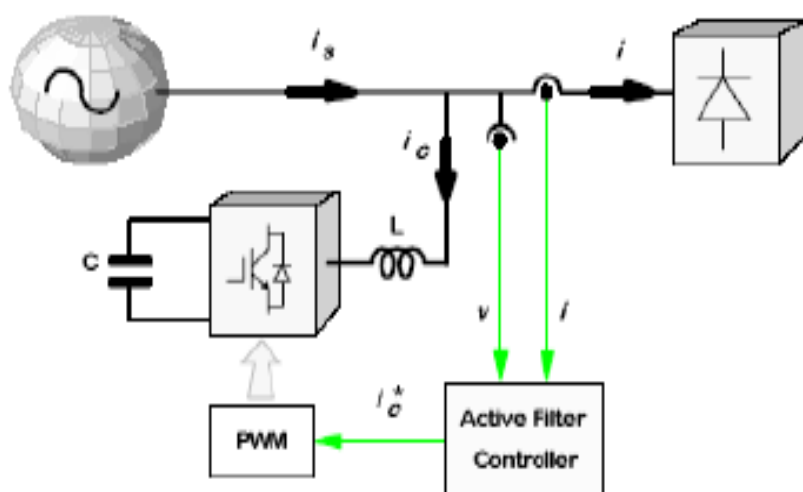
این توان ها در مقایسه با تلفات حقیقی فیلتر اکتیو گاهی به مراتب بزرگترند و در صورت کارکرد نامناسب سیستم کنترلی در جذب توان اکتیو کارایی فیلتر اکتیو به سرعت از بین می رود .

همانگونه که گفته شد فیلترهای اکتیو دسته ی جدیدی از تجهیزات قدرت به منظور مقابله با پدیده های کیفیت توان است . این فیلتر ها به دو دسته تقسیم می شوند . فیلترهای اکتیو موازی و فیلترهای اکتیو سری.

- 1- Imbalance
- 2- Zero Sequence

۲-۳- فیلترهای اکتیو موازی :

این فیلترها عمدتاً مبدل اینورتری منبع ولتاژ (VSI) مبتنی بر تکنیک مدولاسیون پهنای پالس (PWM) هستند که از یک خازن جهت ذخیره ی انرژی استفاده می کنند و کلید های آن از نوع کاملاً کنترل شده هستند و انتخاب نوع کلید به مشخصه های سطح ولتاژ ، جریان سوئیچ و فرکانس سوئیچینگ بستگی دارد . مدل آنها به صورت یک منبع جریان کنترل شده ی موازی با بار عموماً غیر است که در (شکل ۲-۲۳) [۴] نشان داده شده است و جریانی از سیستم می کشد که منتهج حاصل از مجموع جریانهای بار و فیلتر اکتیو، جریانی با مشخصه می کشد.



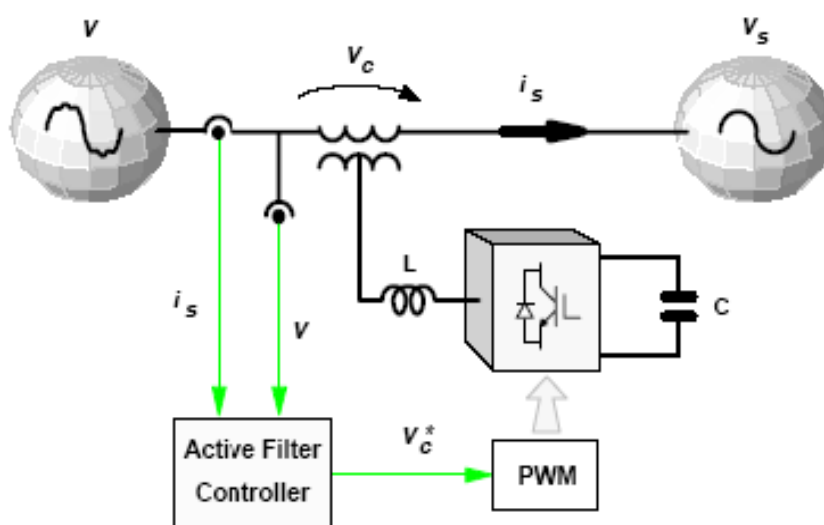
(شکل ۲-۲۳)

۳-۳- فیلترهای اکتیو سری :

این فیلتر مشابه فیلتر اکتیو موازی ، یک اینورتر منبع ولتاژ (VSI) است که به صورت با منبع ولتاژ قرار می گیرد . وظیفه ی آن جبران هارمونیک های ولتاژ بار و منبع و ایجاد یک ولتاژ کاملاً سینوسی بر روی باس

توزیع (نقطه ی اتصال مشترک PCC) است . مدل یک فیلتر اکتیو سری در (شکل ۲-۲۴) نشان داده شده است که یک منبع ولتاژ کنترل شده است.

لازم به ذکر است که به جای اینورتر منبع ولتاژ (VSI) می توان از اینورتر منبع جریان (CSI) که به جای خازن از سلف استفاده می کند بهره جست . استفاده از خازن به دلایل اقتصادی و همچنین تلفات کمتر رایج تر است. [4,3]



(شکل ۲-۲۴)

۳-۴- پیاده سازی سیگنال کنترلی

روشهای پیاده سازی عمدتاً تکنیک های PWM هستند که به طور مفصل در کتب الکترونیک قدرت بررسی شده اند که تعدادی از آنها عبارتند از :

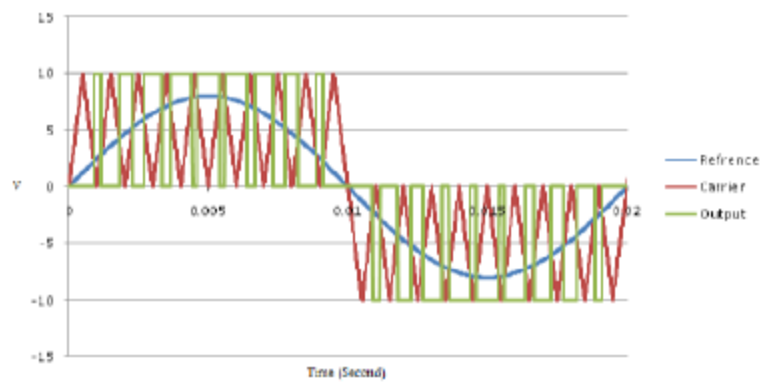
- روشهای کلید زنی اینورتر

این روشها شامل سه دسته های اصلی زیر می باشند :

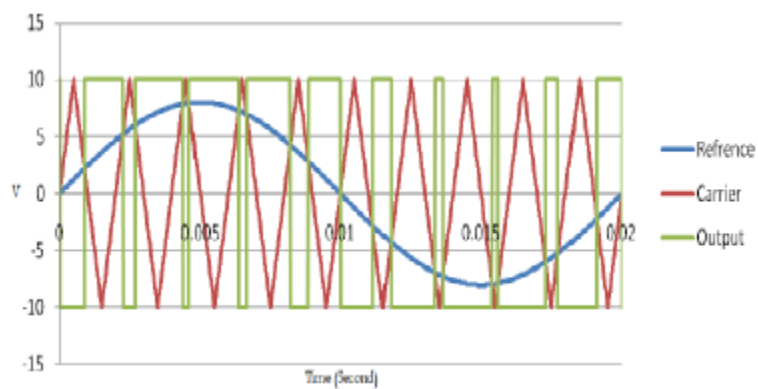
- مدولاسیون موج مثلثی
- مدولاسیون موج مربعی

– مدولاسیون سینوسی

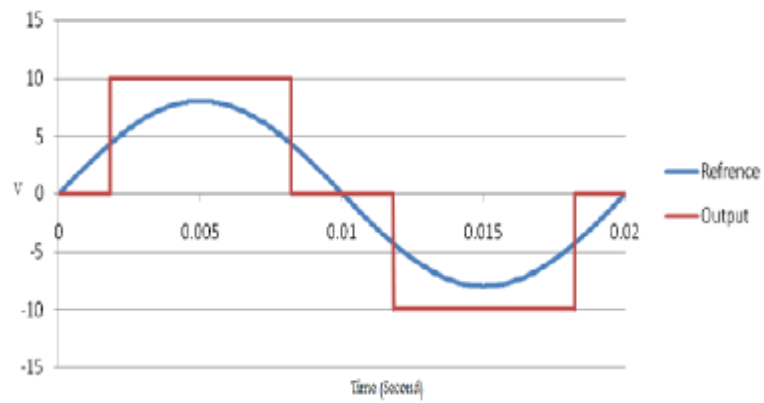
(شکل‌های ۲-۲۵ تا ۲-۲۸) تکنیک های فوق را در حالت ساختن مرجع سینوسی با دامنه 8V و فرکانس 50HZ نشان می دهند . روشهای پیشرفته تری نیز مانند مدولاسیون پله ای ، موج ذوزنقه ای و ... وجود دارند [۶] که مزیت اصلی آنها کاهش هارمونیک های تولیدی و افزایش دامنه مؤلفه ی اصلی شکل موج مرجع است



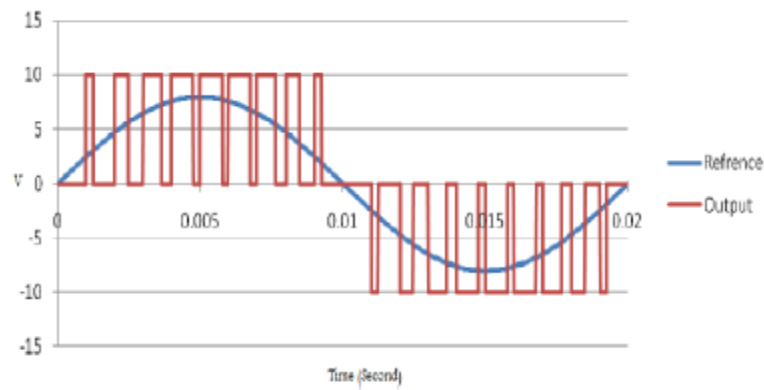
(شکل-۲-۲۵)



(شکل-۲-۲۶)



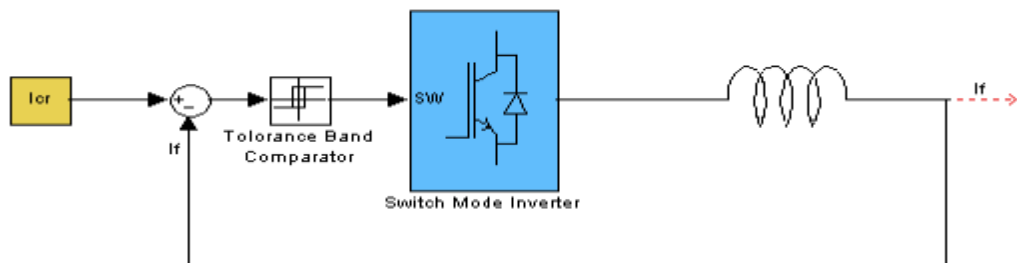
(شکل ۲-۲۷)



(شکل ۲-۲۸)

• روش کنترل هیستریزیس^۱

بلوک دیاگرام کنترل هیستریزیس در شکل (۲-۲۹) نشان داده شده است .



(شکل ۲-۲۹)

این روش که بیشتر به عنوان روش کنترل جریان شناخته می شود [۱۱] اساساً یک روش حلقه بسته است که در آن سیگنال خروجی با یک باند خطای از پیش تعریف شده پیرامون سیگنال کنترلی (مرجع) نوسان می کند. از مزایای این روش سادگی پیاده سازی و امکان رهگیری هارمونیک های

مرتبه سوم در سیستم سه فاز با استفاده از مبدل اینورتری سه فاز معمولی با شش سوئیچ برای هر سه

فاز و باس DC متشکل از دو خازن است. فرکانس سوئیچینگ و رنج خاموش و روشن شدن

1- Hysteresis Bund Control

کلیدهای قدرت ثابت نمی باشد. و به مقادیر باند انحراف مجاز، اندازه ی اندوکتانس سری اینورتر، سطح ولتاژ باس DC و دامنه ی تغییرات سیگنال مرجع بستگی دارد.

• روش فضای برداری SVM¹

این روش بر اساس حالت های مختلف ممکن سوئیچهای یک مبدل سه فاز طرح ریزی شده است. با توجه به اینکه در اینورتر سه فاز در یک پایه دو سوئیچ به طور همزمان نبایستی روشن یا خاموش باشند، هشت حالت ممکن برای وضعیت سوئیچ ها وجود خواهد داشت. در این روش در سیستم سه فاز سه سیمه با توجه به اینکه همواره می توان مقدار لحظه ای یک فاز را بر اساس مقدار لحظه ای دو فاز دیگر به دست آورد. می توان مختصات سه فاز سه فاز را به یک صفحه دو بعدی نگاشت برای این منظور از تبدیل کلارک¹ استفاده می شود. [۳]

جهت کنترل فیلترهای اکتیو □ استراتژی های گوناگونی با توجه به خواسته های طراح مطرح می گردد که به تفصیل در فصل ششم بیان می گردد.

۱- Space Vector Modulation

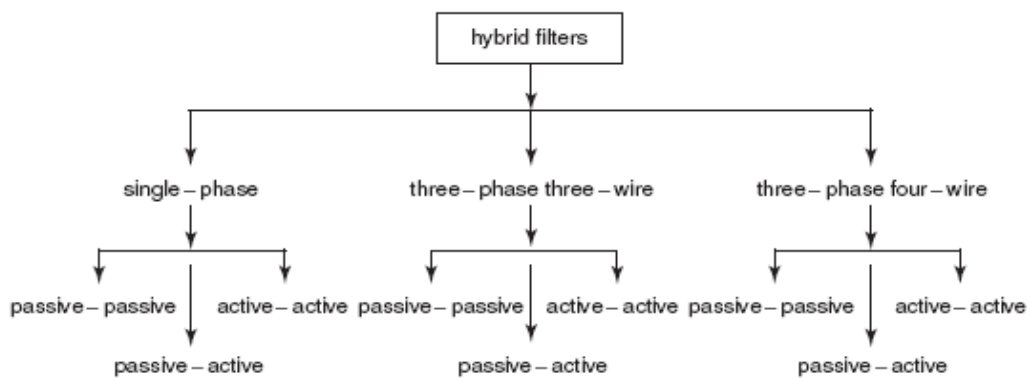
۴-۱- فیلتر های هیبرید¹:

از دیگر ابزار کنترل هارمونیک ها فیلتر هیبرید می باشد. فیلتر های هیبرید به عنوان ترکیبی از فیلتر های پسیو و اکتیو شناخته می شوند لذا با دارا بودن مزایای هر دو نوع فیلتر بسیار مؤثر تر از یک نوع به تنهایی عمل کرده و تأثیر چشمگیری در بهبود عملکرد و همچنین هزینه ی آنها حاصل می گردد . البته لازم به ذکر

است که اصطلاح فیلتر هیبرید به ترکیب های مختلف فیلتر های پسیو یا ترکیبات فیلتر های اکتیو به تنهایی نیز گفته می شود. به طور کلی فیلترهای هیبرید را می توان با توجه به تعداد المانهای به کار رفته در توپولوژی آنها ، منبع تغذیه ، و نوع مبدل استفاده شده در آنها به گروههای مختلفی تقسیم بندی نمود . منبع تغذیه می تواند تک فاز ، سه فاز سه سیمه و یا سه فاز چهار سیمه باشد. نوع مبدل به کاررفته می تواند CSI یا VSI بوده و تعداد المانهای به کاررفته می تواند یک ، دو و یا سه فیلتر اکتیو یا پسیو باشد [۳، ۱۳].

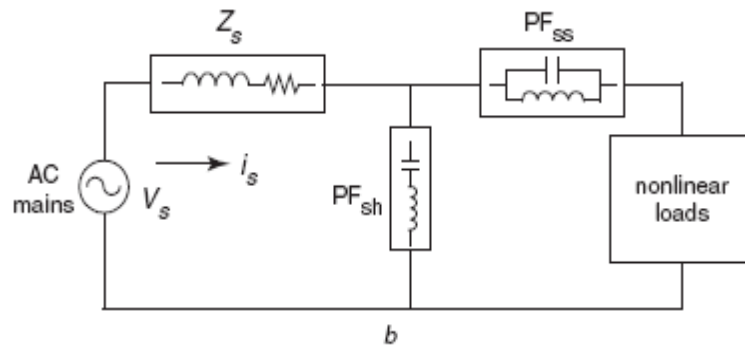
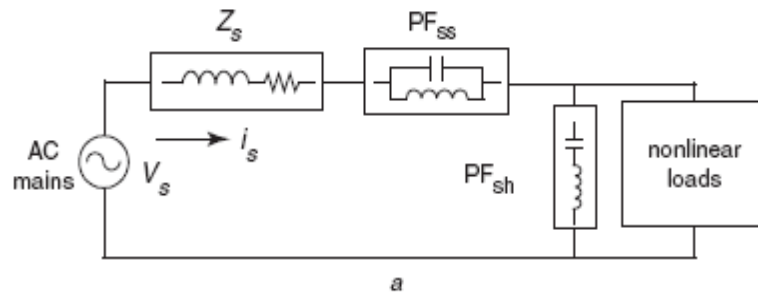
(شکل ۴-۱) یک تقسیم بندی از فیلتر های هیبرید را بر اساس نوع منبع تغذیه و توپولوژی آنها نشان می دهد [۱۳].

1- Hybrid Filter

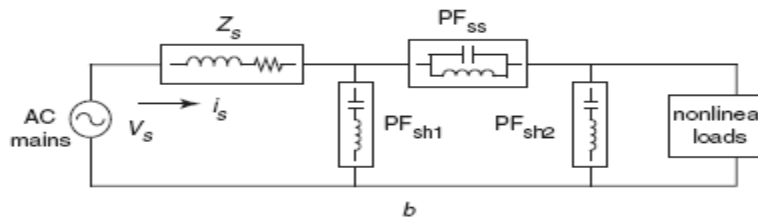
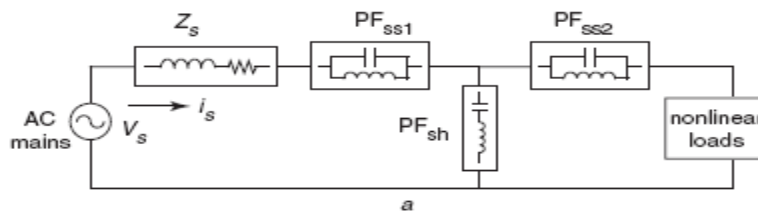


(شکل ۴-۱)

در مجموعه شامل فیلتر های پسیو - پسیو می تواند به دو زیر مجموعه شامل فیلتر های هیبرید با دو فیلتر پسیو (شکل ۴-۲) و فیلتر های هیبرید با سه فیلتر پسیو (شکل ۴-۳) تقسیم بندی گردد.

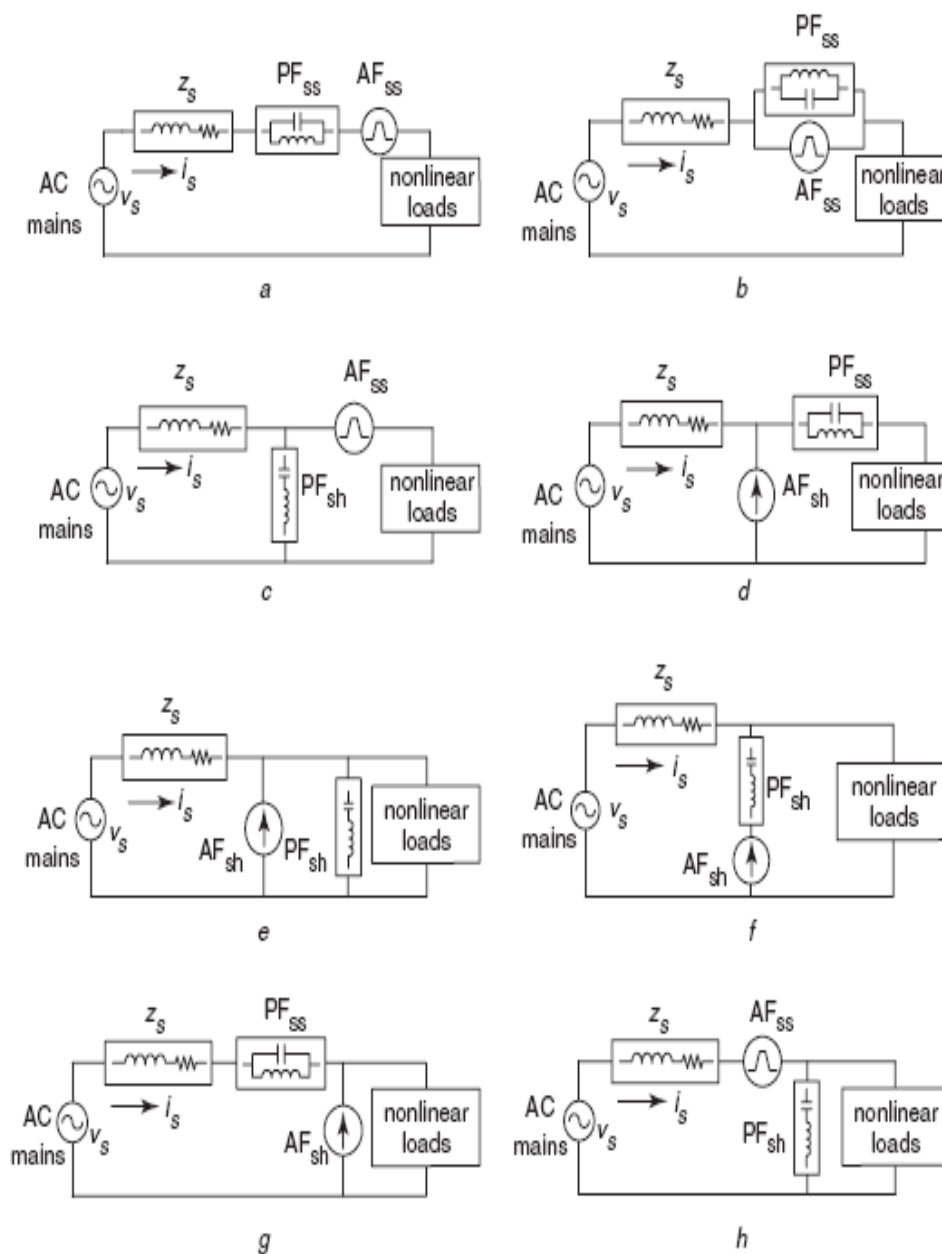


(شکل ۲-۴)



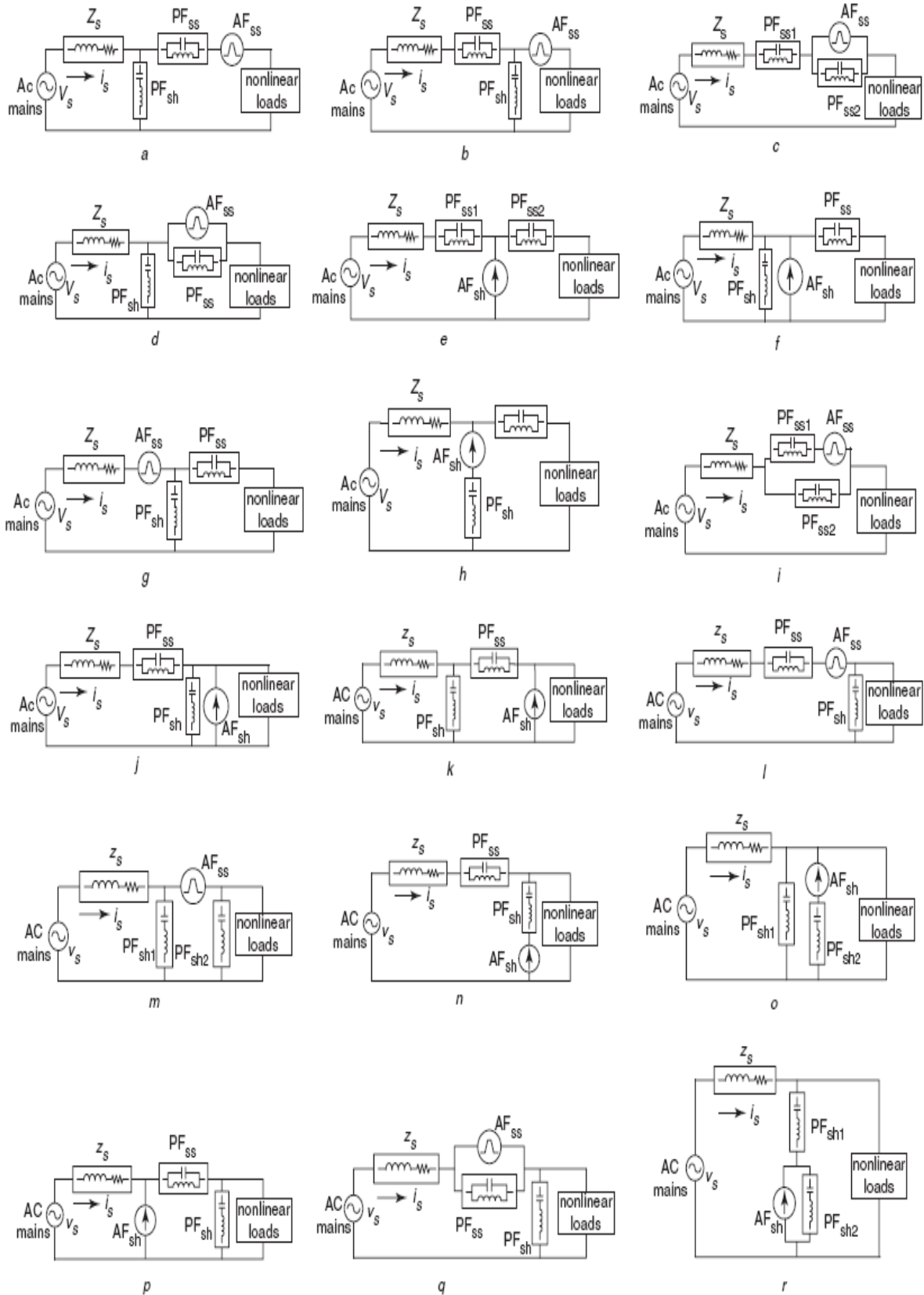
(شکل ۳-۴)

مهمترین نوع فیلتر های هیبرید متشکل از یک فیلتر اکتیو و یک فیلتر پسیو است که با هشت ترکیب مختلف در (شکل ۴-۴) نشان داده شده اند ، این دسته از فیلترهای هیبرید مهمترین نوع فیلتر های هیبرید به شمار می روند که در بسیاری از مقالات وقتی صحبت از فیلتر هیبرید به میان می آید تأکید بر این نوع از فیلتر است که با دارا بودن خواص هر دو نوع فیلتر اکتیو و پسیو عملکرد بسیار مطلوبی را از خود نشان می دهد و همچنین تأثیر چشمگیری بر هزینه ی تمام شده فیلتر دارد .

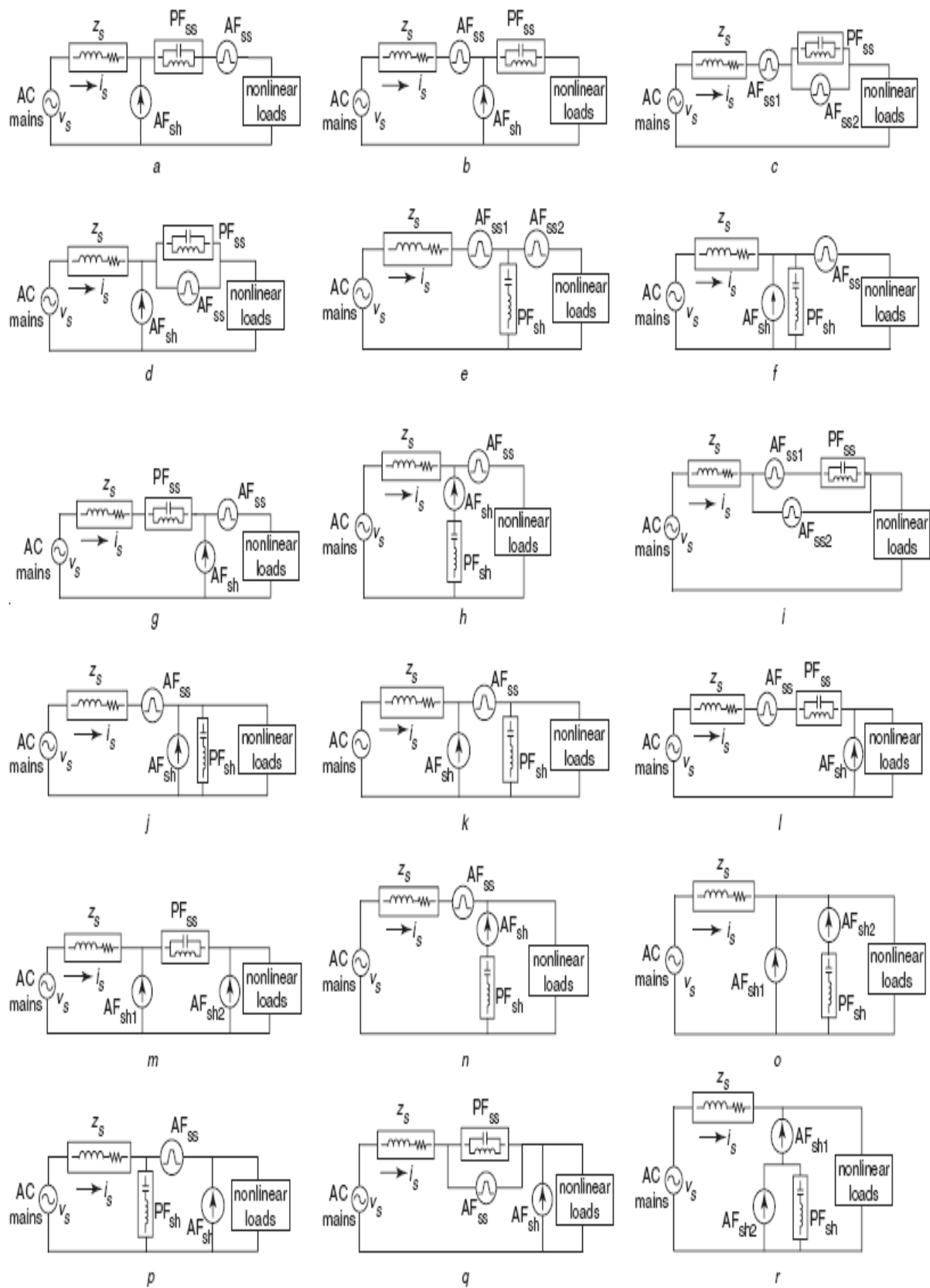


(شکل ۴-۴)

به طور مشابه فیلتر های هیبرید متشکل از سه فیلتر، یک اکتیو و دو تا پسیوو همچنین یکی پسیو و دو تا اکتیو هر کدام شامل 18 ترکیب مختلف به ترتیب در (شکلهای ۴-۵ و ۴-۶) نشان داده شده است .

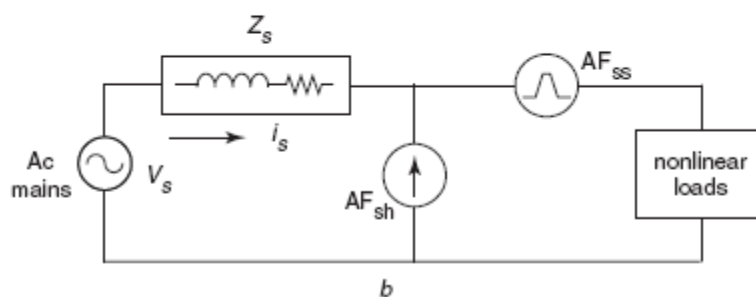
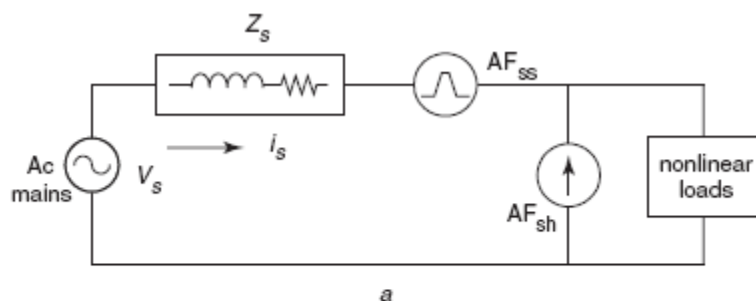


(شکل ۴-۵)

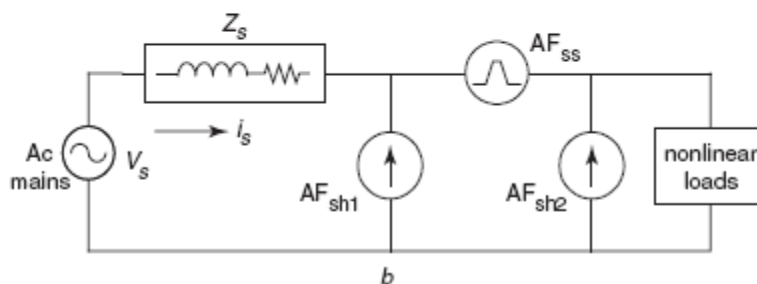
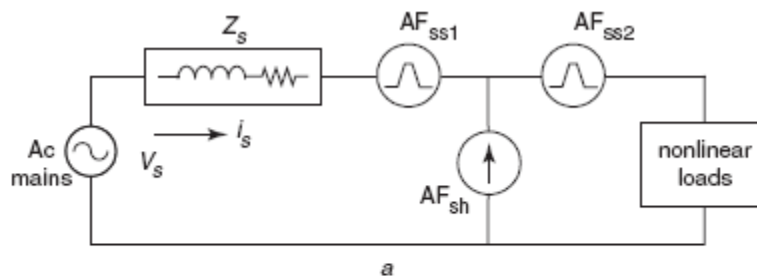


(شکل ۴-۶)

نوع دیگر فیلتر های هیبرید تنها متشکل از دو و سه فیلتر اکتیو است که به ترتیب در (شکلهای ۷-۴ و ۸-۴) نشان داده شده است .



(شکل ۷-۴)



(شکل ۸-۴)

فیلتر ها با بیش از سه ترکیب مختلف به دلیل عواملی نظیر هزینه ی زیاد ، پیچیدگی فراوان و ... به ندرت مورد استفاده قرار می گیرند .

۴-۴- معیارهای انتخاب فیلترهای هیبرید

تقسیم بندی فیلترهای هیبرید به نه گروه عمده و انواع توپولوژی های مختلف از کم هزینه ترین آنها شامل فیلتر هیبرید متشکل از دو فیلتر پسیو تا ترکیب بهبود دهنده ی کیفیت توان یکپارچه¹ به عنوان جبران کامل بارهای غیر خطی انجام می گیرد . اما انتخاب هر یک از انواع موجود بر اساس یک سری از معیارها امکان پذیر می باشد موارد ذیل تعدادی از این عوامل را در طراحی صحیح فیلتر هیبرید بر می شمارد .

- نوع منبع (تک فاز، سه فاز)
- طبیعت بار
- مقادیر نامی بار
- مقدار جبران لازم در جریان
- مقدار جبران لازم در ولتاژ
- الگوی بار (ثابت ، متغیر)
- سطح جبران و پارامترهای مورد نظر (THD , PF , ...)
- هزینه
- سایز و وزن
- بازده
- قابلیت اطمینان

عوامل یاد شده تنها بعضی از عوامل مؤثر در انتخاب نوع فیلتر است . به عنوان مثال در بسیاری از کاربردها یک فیلتر اکتیو به تنهایی قادر به جبران سازی بار به تنهایی می باشد اما مقادیر نامی لازم و هزینه آن در مقایسه با فیلتر هیبرید بسیار زیاد است . گاهی مقادیر نامی عملکرد یک فیلتر اکتیو در یک فیلتر هیبرید به کمتر از 5% مقادیر نامی بار کاهش می یابد که کاهش شدید هزینه را در بر خواهد داشت . از طرف دیگر در جبران سازی بعضی از بارهای غیر خطی نظیر UPS استفاده از UPQC اجتناب نا پذیر است . انتخاب فیلتر های هیبرید معمولاً وابسته به طبیعت بار صورت می گیرد . بارهای غیر خطی به سه گروه عمده تقسیم می گردند [۱۳]:

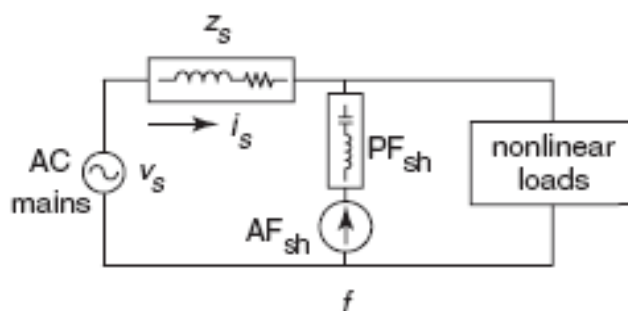
- گروه اول منابع تغذیه ولتاژ نظیر یکسوسازی دیودی ، درایور موتورهای AC ، کامپیوتر ها و شارژ های باطری هستند ، این دسته از بارها جبران ناپیوسته و غیر خطی از منبع می کشند . که THD بالای جریان و ضریب توان کم و هارمونیکی شدن ولتاژ اتصال مشترک بارها را در پی خواهد داشت . یکی از بهترین توپولوژی ها فیلتر هیبرید برای جبران این بارها فیلتر هیبرید شامل اکتیو فیلترسری به همراه فیلتر پسیو سری است . (شکل ۴-۹)



(شکل ۴-۹)

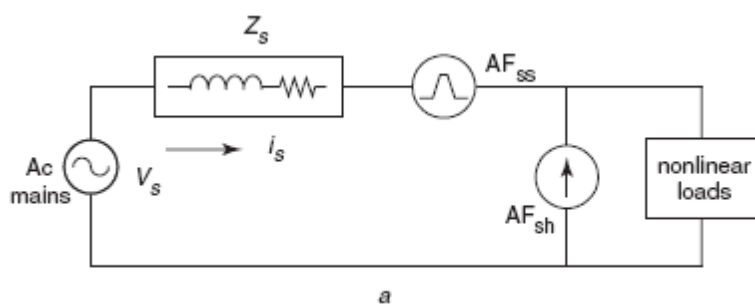
در صورت عدم نگرانی از آلودگی منبع این فیلتر یک سر برای جریان های هارمونیکی ایجاد کرده همچنین با تغییر بار قابل تنظیم است و از بروز پدیده ی رزونانس جلوگیری به عمل خواهد آورد .

- گروه دوم شامل منابع تغذیه ی جریان مانند مبدل ترستوری درایور موتور DC و منبع تغذیه CSI و سیستمهای HVDC است . یکی از بهترین ترکیب ها جهت جبران این بارها توسط فیلتر هیبرید ترکیب ارائه شده در (شکل ۴-۱۰) است .



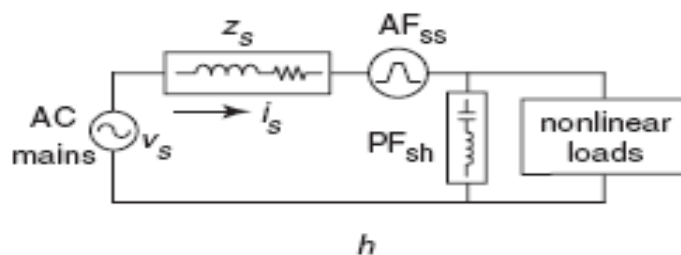
(شکل ۴-۱۰)

- چنانچه منبع دارای مسئله ی کیفیت توان باشد و جبران توان اکتیو بار نیاز باشد (شکل ۴-۱۱) می تواند یکی از این گزینه ها باشد .



(شکل ۴-۱۱)

- گروه سوم ترکیبی از دو گروه قبلی است در این گروه یک فیلتر هیبرید شامل ترکیب (شکل ۴-۱۲) مناسب است .



(شکل ۴-۱۲)

۴-۳- مزایای فیلتر هیبرید

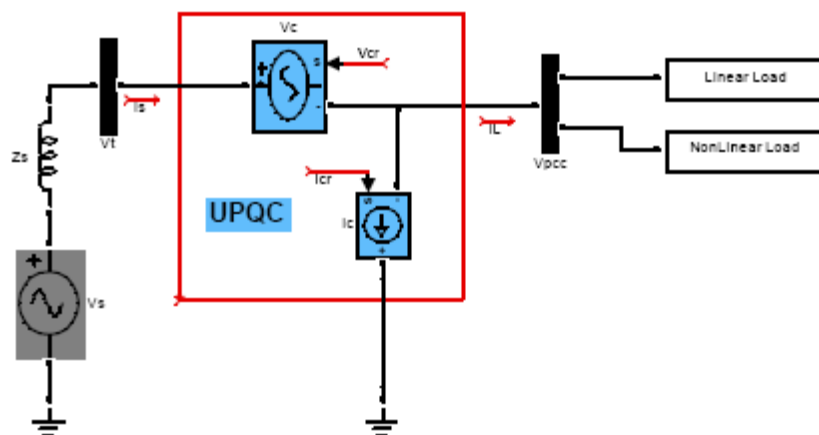
به طور کلی فیلترهایی هیبرید دارای این مزایا هستند .

- با بالا بردن امپدانس منبع امکان فیلتر شدن بهتر هارمونیک ها توسط فیلتر پسیو را فراهم می آورند .
- از ایجاد رزونانس سری و موازی جلوگیری می کنند .
- با پایین آوردن مقادیر ولتاژ و جریان نامی فیلتر اکتیو باعث کاهش هزینه ها می گردند .
- وجود فیلتر اکتیو به همراه پسیو باعث می گردد که با تغییر گین فیلتر اکتیو حتی با تغییر بار امکان کارکرد مطلوب فیلتر فراهم گردد .

۵-۱- بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه¹ UPQC

بهبود دهنده ی کیفیت توان یکپارچه ، تجهیز الکترونیک قدرتی است که به طور همزمان جبران سازی بار و منبع را به عهده دارد . ساختمان آن متشکل از دو فیلتر اکتیو سری و موازی است که در قسمت باس DC با هم مشترک می باشند . UPQC قادر است تا جریان های هارمونیکی و عدم تعادل بارهای غیر خطی را جبران کرده و علاوه بر آن ولتاژهای هارمونیکی و عدم تعادل منبع تغذیه را نیز برطرف نماید . بدین ترتیب کیفیت توان برای بارهای حساس بهبود می یابد .

در (شکل ۵-۱) طرح کلی یک بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه نشان داده شده است . [۳].



(شکل ۵-۱)

1- Unified Power Quality Conditioner

همانگونه که از شکل دیده می شود و قبلاً نیز ذکر شد ، فیلتر اکتیو سری مشابه یک منبع ولتاژ کنترل شده و فیلتر موازی مانند یک منبع جریان کنترل شده ، عمل می کند .

به همین دلیل در بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه دو سیستم کنترلی وجود دارند که جریان های I_{cr} و ولتاژهای V_{cr} را تولید و به مبدل های PWM ارسال می کنند . به همین دلیل ، استراتژی کنترلی UPQC به

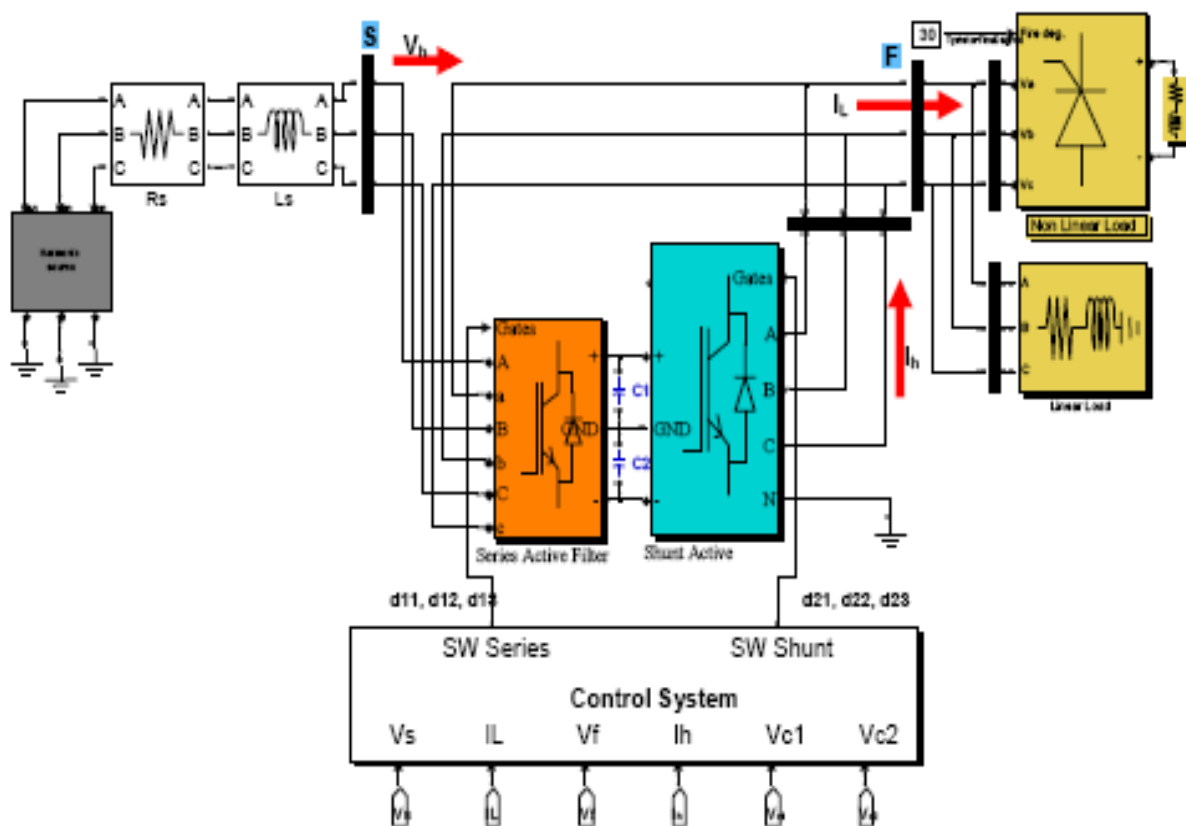
جهت وجود ترکیبات متفاوت کنترل دو فیلتر اکتیو ، بسیار متنوع است . به طور کلی فیلتر اکتیو سری دارای وظیفه جبران هارمونیک های ولتاژ تغذیه بعلاوه مؤلفه توالی منفی و صفر فرکانس پایه است .

فیلتر اکتیو موازی به طور کلی دارای وظایف زیر است :

- جبران هارمونیک های جریان بار ، مؤلفه توالی منفی و توالی صفر فرکانس پایه
- جبران توان راکتیو بار
- تنظیم ولتاژ باس DC

۵-۲- ساختمان UPQC

سیستم قدرت یک بهبود دهنده کیفیت مطابق (شکل ۴-۲) از دومبدل اینورتری تشکیل شده که یکی از آنها با سیستم قدرت سری و دیگری با آن موازی است .



(شکل ۴-۲)

علاوه بر مدار قدرت ، در بخش کنترل قسمتهایی برای استخراج سیگنال های کنترلی ، قسمتی برای سیستم سوئیچینگ و یک کنترل کننده برای تنظیم سطح DC وجود دارد . اینورترها در قسمت DC با هم مشترکند . به همین دلیل عملکردشان بر یکدیگر تأثیر گذار است . المان های اصلی UPQC شامل سوئیچ ها ، قسمت DC یعنی C1 و C2 ، راکتورهای سری و موازی L_s و L_p ، پارامترهای بالاگذر در فیلتر اکتیو سری R_s و C_s و در فیلتر اکتیو موازی R_p و C_p ، نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای کوپلاژ سری و در صورت وجود نسبت تبدیل ترانسفورماتور موازی می باشد . این اطلاعات جهت تعیین پاسخ فرکانسی و انتخاب فرکانس سوئیچینگ بسیار مهم می باشند [۳].

۵-۲-۱- خازن های DC

هرچه ظرفیت خازنها بیشتر باشد ، هزینه ثابت آنها بالاتر ، همچنین هرچه سطح ولتاژ بالاتر برود ، همین اثر را دارد . از سوی دیگر اگر ظرفیت خازن ها کوچک باشد ، تغییرات ولتاژ آنها خصوصاً در حالت گذرا بیشتر بوده و ممکن است در حالاتی موجب اختلال در کارمبدل ها شوند .

۵-۲-۲- سوئیچهای مبدل

انتخاب نوع سوئیچها به سطح ولتاژ ، فرکانس سوئیچینگ و همچنین جریان گذرنده از آنها بستگی دارد . تلفات سوئیچینگ از عوامل مهم در انتخاب نوع سوئیچ است چرا که در مقیاس بالای قدرت ، این تلفات بسیار قابل ملاحظه می گردند .

۵-۲-۳- راکتورهای کموتاسیون

هرچه اندوکتانس راکتورها کوچکتر باشد تغییراتن جریان $\frac{di}{dt}$ سریعتر خواهد بود و رهگیری سیگنال های جریان در فیلتر اکتیو موازی بهتر خواهد شد. با این حال هرچه اندوکتانس کوچکتر باشد، فرکانس سوئیچینگ کنترل هیستریزس افزایش خواهد یافت که مستلزم تلفات بیشتر است.

۵-۲-۴- فیلتر بالا گذر

جهت حذف جریانهای فرکانس بالا که بر اثر سوئیچینگ به وجود می آیند، از این فیلترها استفاده می شود. بدیهی است که اینگونه تجهیزات اضافی به سیستم هزینه تحمیل می کنند و ایده آل این است که وجود نداشته باشند و سیستم کنترلی اثرات فرکانس بالا را جبران سازند. ولی این خود مستلزم پیچیده تر شدن سیستم کنترل و بالا رفتن فرکانس سوئیچینگ می شود.

۵-۲-۵- تنظیم کننده ولتاژ DC

از یک کنترل کننده انتگرالی، تناسبی PI جهت تنظیم سطح ولتاژ خازن ها استفاده شده است. هر چه دینامیک این کنترل کننده کندتر باشد تغییرات سطح ولتاژ خازن ها بیشتر است. در مقابل اثر آن بر روی سیگنال کنترلی بسیار ملایم خواهد بود و دارای این مزیت است که جریانهای گذرای AC کاهش می یابند.

۵-۳- استراتژی کنترل

همانگونه که پیشتر گفته شد UPQC به سبب وجود فیلتر اکتیو سری و موازی در ساختمان آن قادر به جبران بار و منبع می باشد. کلیه روشهای کنترلی که برای فیلترهای اکتیو سری و موازی مانند FPC، UPFC، PHC، و ... وجود دارند، به صورت ترکیبات متفاوت قابل اجرا بر سیستم بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه می باشند.

از UPQC به صورت گسترده ای در جبران بسیاری از پدیده های کیفیت توان استفاده شده است . مرجع [۱۴] الگوریتم جبران کامل جریانهای هارمونیکي بعلاوه سیستم PVR جهت جبران کاهش ولتاژ حاصل از خطاهای متفاوت در سیستم خارجی با حاصل از راه اندازی موتورهای بزرگ ارائه شده است .

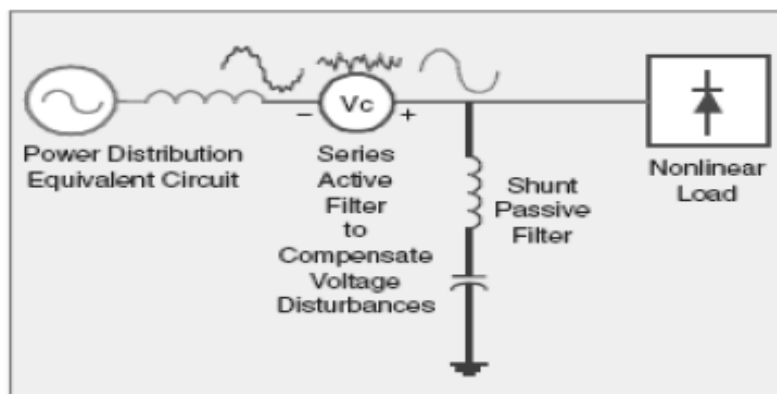
در [۱۵] از UPQC برای جبران نوسان ولتاژ ناشی از عملکرد یک کوره ی قوس الکتریکی استفاده شده است . روشهای هوشمن شامل شبکه ی عصبی و کنترل فازی نیز برای کنترل UPQC در بسیاری از مراجع مورد استفاده قرار گرفته است .

۵-۴- حفاظت UPQC

بخش سری بهبود دهنده ی کیفیت توان یکپارچه ، پیش از بار ، به وسیله ی یک ترانسفورماتور تطبیق دهنده به صورت سری با منبع قرار گرفته است و هیچگاه نباید ثانویه آن مدار باز باشد . به همین دلیل هنگامی که اتصال کوتاه در سیستم رخ می دهد ، مبدل فیلتر اکتیو سری نمی تواند از سیستم جدا شود و به وسیله قطع کننده جریان معمولی یا فیوز قابل حفاظت نیست . همچنین سیستم حفاظت بایستی قادر به کنترل سطح ولتاژ و جریان در ثانویه ترانسفورماتور هنگام وقوع اتصال کوتاه باشد . مرجع [۱۶] روشی را پیشنهاد می دهد که بدون نیاز به مدار حفاظتی اضافی و با به وجود آوردن تلفات ، سیستم UPQC را قادر به انجام این حفاظت می کند . با اعمال این روش ، فیلتر سری هنگامی که اتصال کوتاه رخ می دهد مانند یک امپدانس بزرگ در حد $K\Omega$ در مقابل مؤلفه ی پایه عمل می کند .

۶-۱- استراتژی کنترل فیلترهای اکتیو سری^۱

در (شکل ۶-۱) [۴] نمای کلی یک فیلتر اکتیو سری که به همراه فیلتر پسیو وظیفه جبران یک بار غیر خطی را بر عهده دارند نشان داده شده است .



(شکل ۶-۱)

وظیفه ی اصلی فیلتر اکتیو سری ، حذف هارمونیک های ولتاژی و متعادل نمودن ولتاژ ترمینال بار است . این وظیفه شامل جبران کلیه نوسانات ولتاژی نظیر فلش ولتاژ ، اضافه ولتاژ، فلیکر و ... نیز می باشد . ولی عموماً عنوان فیلتر اکتیو سری برای جبران هارمونیک های ولتاژ استفاده می گردد و سایر نوسانات با استفاده از بازگرداننده ی دینامیکی ولتاژ DVR^2 جبران می شوند .

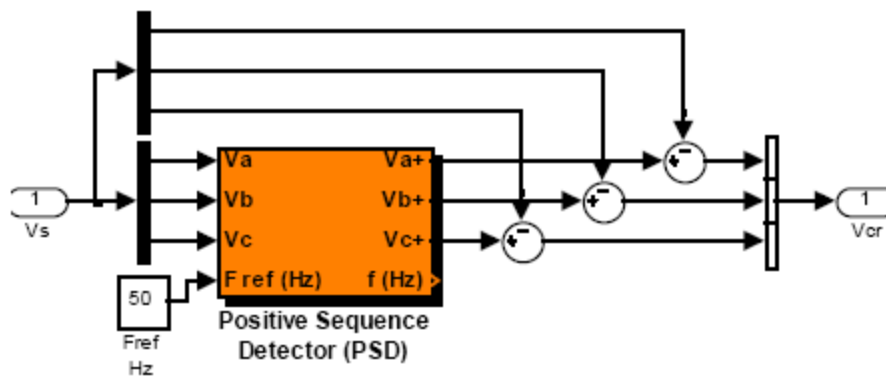
- 1- Series Active Filters
- 2- Dynamic Voltage Restorer

در [۱۷] روشی برای فیلتر اکتیو سری ارائه شده است که میرایی لازم جهت پدیده ی رزونانس را فراهم

می آورد و باعث بهبود پایداری سیستم می گردد ، ولی به دلیل اینکه فیلتر مانند یک مقاومت سری اضافی برای جریان های هارمونیک عمل می کند نیاز به یک منبع اضافی تغذیه دارد که باعث تحمیل هزینه های بیشتر به سیستم می شود . فیلتر سری به وسیله ی یک ترانسفورماتور با منبع سری می شود. ثانویه ترانسفورماتور (سمت فیلتر) نبایستی هیچگاه مدار باز باشد ، به عبارت دیگر فیلتر اکتیو یا باید همیشه روشن باشد و یا به وسیله ی یک کلید Bypass شود . در صورت استفاده از کلید Bypass این کار در طرف منبع انجام می گردد تا مجموعه ی فیلتر اکتیو و ترانسفورماتور کوپلاژ از مدار خارج شوند .

۶-۱-۱- استراتژی کنترل ولتاژ سینوسی

در این روش سعی بر این است که مؤلفه ی مثبت ولتاژ ترمینال به نقطه ی اتصال مشترک منتقل گردد و سایر هارمونیک های ولتاژی حذف می گردد . (شکل ۶-۲) بلوک دیاگرام سیستم کنترلی را نشان می دهد .



(شکل ۶-۲)

در صورتی که از فیلتر اکتیو سری به منظور جبران توان های غیر اکتیو استفاده شود ، بایستی قسمت راکتیو ولتاژ توالی مثبت نیز به مرجع اضافه گردد . ولی معمولاً جبران توان های غیر اکتیو و تثبیت باس DC بر عهده ی فیلتر موازی است . نکته ی مهم در فیلتر سری این است که تمام جریان بار از آن می گذرد ، به همین دلیل

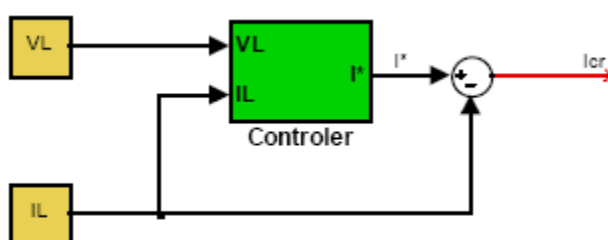
بایستی جهت مقابله با آثار اتصال کوتاه در طرف بار و عبور این جریان از فیلتر ، تدابیر حفاظتی مناسبی اندیشید تا به آن آسیبی نرسد [۴] .

۶-۲- استراتژی کنترل فیلترهای اکتیو موازی^۱

استراتژی کنترل با نمونه برداری از جریان و ولتاژ بار ، جریان های مطلوب منبع را تعیین می کند .

تفاضل جریان منبع و جریان بار به عنوان جریانی که باید فیلتر اکتیو تولید کند ، به سیستم سوئیچینگ که می تواند

هر یک از روشهای پیاده سازی سیگنال کنترلی باشد ، اعمال می گردد . (شکل ۶-۳) بلوک دیگرام سیستم استخراج جریان کنترل کننده فیلتر اکتیو موازی را نشان می دهد .



(شکل ۶-۳)

$$I_s = I^*$$

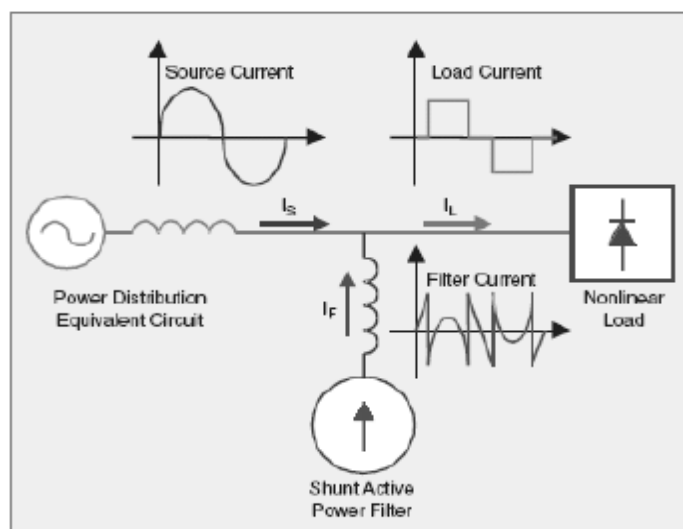
(۶-۱)

$$\Rightarrow I_{cr} = I^* - I_l$$

$$I_s = I_{cr} + I_l$$

در حالت ایده آل فیلتر اکتیو موازی مانند یک منبع جریان ایده آل عمل می کند که خروجی آن وابسته به جریان و ولتاژ بار است . نمای کلی فیلتر اکتیو در (شکل ۴-۶) نشان داده شده است .

1- Shunt Active Filters



(شکل ۴-۶)

جدا از سه یا چهار سیمه بودن اینورتر گاهی در ساختمان آن از ترانسفورماتور جهت کوپلینگ فیلتر به شبکه استفاده می گردد ، که در کنترل سطح ولتاژ باس DC و نسبت جریان تزریق شونده به شبکه مؤثر است . با این حال هزینه و تلفات را افزایش می دهد .

استراتژی کلی جهت کنترل فیلتر اکتیو موازی عبارتند از :

- جبران کامل هارمونیک ها
- جبران ضریب توان واحد
- جبران توان ثابت
- استراتژی کنترل بهینه وانعطاف پذیر

۶-۲-۱- استراتژی جبران توان ثابت^۱ (FPC)

روش کلاسیک p-q [۵] سعی دارد که توان دریافتی از منبع همواره ثابت باقی بماند: یعنی توان لحظه ای و توان اکتیو منبع، برابر گردد. به این منظور توان اکتیو نوسانی، توان متوسط منتجه صفر و توان غیر اکتیو بار جبران می شود. این تئوری رایج ترین روشی است که مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش ابتدا مجموعه جریان ها و ولتاژهای سه فاز در مختصات abc به مختصات $\alpha\beta 0$ طبق رابطه ی زیر نگاشته می شود

$$\begin{bmatrix} f_0 \\ f_\alpha \\ f_\beta \end{bmatrix} = C_0 \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (۲-۶)$$

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (۳-۶)$$

که f به طور کلی می تواند هر یک از کمیات ولتاژ e یا جریان i باشد .

توان حقیقی لحظه ای p و توان لحظه ای q و مؤلفه ی P_0 به صورت زیر به دست خواهد آمد . [۱۸و۱۹]

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_0 & 0 & 0 \\ 0 & e_\alpha & e_\beta \\ 0 & -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i\alpha \\ i\beta \end{bmatrix}$$

1- Fix Power Control

قسمت های متناوب و مستقیم توان به کمک فیلترهای پایین گذر مناسب طبق رابطه ی زیر قابل جداسازی هستند .

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{0dc} + & p_{0ac} \\ p_{dc} + & p_{ac} \\ q_{dc} + & q_{ac} \end{bmatrix} \quad (5-6)$$

همانگونه که گفتیم در این استراتژی هدف ما جبران توان اکتیو نوسانی ، توان متوسط منتجه صفر و توان غیر اکتیو بار است . لذا جریان های جبران ساز طبق رابطه ی زیر جبران می گردند .

$$\begin{bmatrix} i_{0c} \\ i_{\alpha c} \\ i_{\beta c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_0 & 0 & 0 \\ 0 & e_\alpha & e_\beta \\ 0 & -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -p_0 \\ -p_{ac} \\ -q \end{bmatrix} \quad e_0 \neq 0 \quad (6-6)$$

بدین ترتیب ، کلیه ی توان های غیر اکتیو ، توان های مؤلفه ی صفر و توان اکتیو نوسانی جبران شده اند . لازم به ذکر است که می توان جریان های کنترل کننده را از روش دیگری نیز به دست آورد . در این روش

جریان های مطلوب را محاسبه می کنیم تفاضل جریان های مطلوب از جریان بار جریان کنترل کننده را نتیجه خواهد داد .

$$\begin{bmatrix} i_{od} \\ i_{\alpha d} \\ i_{\beta d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_0 & 0 & 0 \\ 0 & e_\alpha & e_\beta \\ 0 & -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ p_{dc} = p_{dc} + p_{odc} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7-6)$$

اندیس d به معنی جریان مطلوب است رابطه ی قبل را می توان به صورت زیر ساده کرد .

$$\begin{bmatrix} i_{od} \\ i_{\alpha d} \\ i_{\beta d} \end{bmatrix} = \frac{p_{dc}}{e_\alpha^2 + e_\beta^2} \begin{bmatrix} 0 \\ e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} \quad (8-6)$$

در مرحله ی بعد می توان جریان های مطلوب را در مختصات abc طبق روابط زیر به دست آورد .

$$\begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} = C^T \begin{bmatrix} i_{od} \\ i_{\alpha d} \\ i_{\beta d} \end{bmatrix} \quad (9-6)$$

$$\begin{bmatrix} i_{ac} \\ i_{bc} \\ i_{cc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{ad} \\ i_{bd} \\ i_{cd} \end{bmatrix} \quad (10-6)$$

لازم به ذکر است که در شرایط ولتاژ غیر سینوسی این روش تضمینی برای بهبود هیچ یک از دو پارامترهای کیفیت توان یعنی ضریب توان و شاخص اغتشاش هارمونیک THD جریان ، ندارد .

۶-۲-۲- استراتژی جبران توان واحد 1(UPFC)

در این روش ، مجموعه ی بار و فیلتر اکتیو به صورت یک بار مقاومتی از منبع دیده می شوند . به عبارت بهتر جبران سازی بار به گونه ای انجام می شود که مجموعه ی بار و فیلتر اکتیو به صورت یک بار ثابت مقاومتی متقارن از منبع دیده شوند . [۱۸]

این مجموعه ، توان اکتیوی از منبع می کشد که مقدار متوسط آن برابر با مقدار متوسط توان اکتیو بار است . در واقع فیلتر اکتیو تمام توان غیر اکتیو لحظه ای بار را جبران می کند .

این مستلزم کشیده شدن جریان مشابه ولتاژ منبع از منبع است . و در صورت هارمونیکی بودن این ولتاژ ، جریان هارمونیکی از منبع کشیده می شود . به همین دلیل در شرایط غیر سینوسی بودن ولتاژ منبع ، این روش موجب تحمیل جریان هارمونیکی به شبکه و منبع می گردد .

1- Unit Power Factor Compensation

روابط حاکم بر این روش در حوزه ی زمان به صورت زیر است .

$$i_s^* = \psi_0^* v_s \quad (۱۱-۶)$$

$$p = \int_0^{2\pi} i_s^* \times v_s d\varphi = \int_0^{2\pi} i_l \times v_s d\varphi \quad (۱۲-۶)$$

$$V_s(t) = \sum_{i=1}^{\infty} v_i \sin(2\pi f t i + \varphi_i) \quad (13-6)$$

$$P = i_s^* \times v_s = \psi_0^* v_s^2 = \sum_{i=1}^{\infty} (\psi_0^* \times \frac{v_i^2}{2}) = \frac{\psi_0^*}{2} \sum_{i=1}^{\infty} v_i^2 \quad (14-6)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} v_i^2} \quad (15-6)$$

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{\infty} v_{si} \times i_{si}^* \quad (16-6)$$

$$P = \psi_0^* V_{rms}^2 \quad (17-6)$$

$$\psi_0^* = \frac{P}{V_{rms}^2} \quad (18-6)$$

روابط بیان شده ی فوق مجموعه رابطی است در حوزه ی زمان که بلوک دیاگرام سیستم UPFC بر اساس آنها استراتژی UPFC را پیاده سازی می کند . اما این روابط را می توان در مختصات $(\alpha\beta 0)$ به صورت زیر بیان

کرد . [۱۸]

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \psi(t)_0 \begin{bmatrix} e_0 \\ e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} \quad (19-6)$$

بردار $\begin{bmatrix} i_0 & i_\alpha & i_\beta \end{bmatrix}$ جریان منبع و $\begin{bmatrix} e_0 & e_\alpha & e_\beta \end{bmatrix}$ ولتاژ بار است. $\psi(t)$ ، عکس مقاومت دیده شده از دید منبع می باشد که بایستی برای جبران کامل ثابت باقی بماند ، یعنی $\psi(t) = \psi_0$ توان لحظه ای را به صورت زیر بیان می کنیم .

$$P(t) = \psi(t) \cdot \varepsilon(t) \quad (20-6)$$

$$\varepsilon(t) = e_\alpha^2 + e_\beta^2 + e_0^2 \quad (21-6)$$

$$\psi_0 = \frac{P_{dc}}{\varepsilon_{dc}} \quad (22-6)$$

که P_{dc} و ε_{dc} به ترتیب مقدار متوسط $P(t)$ و $\varepsilon(t)$ می باشند لذا جریان مطلوب منبع به صورت زیر خواهد بود .

$$\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{\alpha d} \\ i_{\beta d} \end{bmatrix} = \frac{P_{dc}}{(e_\alpha^2 + e_\beta^2 + e_0^2)_{dc}} \begin{bmatrix} e_0 \\ e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} \quad (23-6)$$

۶-۲-۳- استراتژی جبران کامل هارمونیک ها 1(Phc)

در استراتژی جبران کامل هارمونیک های جریان ، سعی بر این است که کلیه جریان های هارمونیکی و راکتیو که بار تولید می کند ، توسط فیلتر اکتیو جبران گردد و تنها جریان اکتیو مؤلفه ی اصلی از منبع کشیده شود . این جریان نیز باید تماماً اکتیو باشد ، یعنی توان ظاهری حاصل از جریان مطلوب منبع و مؤلفه اصلی ولتاژ منبع ، با توان اکتیو حاصل از این جریان و مؤلفه اصلی ولتاژ منبع برابر شود . در این روش توان اکتیو بار به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$P(t) = i_a e_b + i_b e_b + i_c e_c = P_{dc} + P_{ac} \quad (۲۴-۶)$$

سپس تنها مؤلفه ی اصلی ولتاژ بار برای تعیین جریان های مطلوب در نظر گرفته می شود . لذا خواهیم داشت

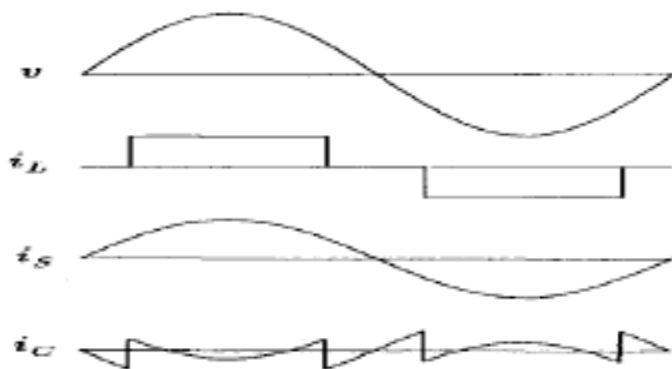
$$\begin{bmatrix} i_{0d} \\ i_{\alpha d} \\ i_{\beta d} \end{bmatrix} = \frac{P_{dc}}{(\bar{e}_\alpha)^2 + \bar{e}_\beta^2} \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{e}_\alpha \\ \bar{e}_\beta \end{bmatrix} \quad (۲۵-۶)$$

که \bar{e}_α و \bar{e}_β مؤلفه های اصلی ولتاژ بار هستند که با استفاده از یک فیلتر میان گذر ساده قابل جدا سازی می باشند . همچنین با P_{dc} استفاده از یک فیلتر پایین گذر از $P(t)$ جداسازی می گردد . جریان های مطلوبی که با استفاده از این روش محاسبه می گردند ، متقارن و سینوسی خواهند بود . [۱۸]

ذکر این نکته لازم است که وقتی ولتاژ منبع سینوسی خالص نباشد و شامل چند هارمونیک و زیر هارمونیک باشد، جریان کاملاً سینوسی با سایر هارمونیک های ولتاژ، توان غیر اکتیوی تولید می کند که موجب کاهش ضریب توان منبع که یکی از پارامترهای کیفیت توان است می گردد.

1-Perfect Harmonics Compensation

(شکل ۵-۶) نحوه ی کار این روش تحت شرایط ولتاژ کاملاً سینوسی منبع را نشان می دهد. [۲۰]



(شکل ۵-۶)

۶-۲-۴- استراتژی کنترل بهینه¹ OFC

سه استراتژی جبران یعنی PHC ، FPC و UPFC دارای این نقص هستند که فقط به یکی از مشخصه های کیفیت توان پرداخته و سایر شاخصها را مورد توجه قرار نمی دهد . نکته دیگر این است که در شرایط کاملاً سینوسی و متعادل ولتاژ منبع ، استراتژی های ارائه شده نتایج یکسانی دارند ، یعنی با جبران توان راکتیو و تمامی هارمونیک های جریان ، ضریب توان یک و تغییرات توان لحظه ای صفر می شود . این مسئله نشان دهنده اشتراک و شباهت پایه ای همه ی این روش ها است ، اگر چه ساختارشان در ظاهر متفاوت باشد .

در مرجع [18] روش جدیدی ارائه شده که قادر است همه استراتژی های بیان شده قبلی را بدون تغییر در سخت افزار کنترل و تنها با ایجاد تغییر در برخی شرایط و قیود نرم افزاری پیاده سازی کند . این روش که استراتژی OFC نامیده شده است از انعطاف پذیری بالایی جهت پیاده سازی و لحاظ نمودن شرایط بسیار ویژه ، نظیر محدودیت های هارمونیکی مطابق استاندارد [۷] و به دست آوردن بالاترین ضریب توان ممکن با وجود ولتاژ مغشوش برخوردار است .

نکته ی دیگر اینکه چنانچه ولتاژ منبع سینوسی کامل نباشد ، دو خواسته ی متضاد در اهداف جبران سازی رایج بیان شده در قسمت های قبل وجود دارد که در صورت برآورده شدن یکی ، دیگری نقض خواهد شد . این دو هدف عبارتند از :

- جبران کامل هارمونیک های جریان که نتیجه ی آن نرسیدن به ضریب توان واحد است .
 - تصحیح ضریب توان واحد که قادر به جبران کامل هارمونیک ها نخواهد بود .
- در چنین شرایطی لازم است که بین مشخصه های کیفیت توان مصالحه ایجاد گردد ، به نحوی که ضمن رعایت حدود هارمونیکی مجاز ، به ضریب توان ماکزیمم دست یافت .

1-Optimal and Flexible Control Strategy

۶-۲-۴-۱- روش OFC

در این روش نحوه ی محاسبه جریان دلخواه منبع مشابه روش کنترل ضریب واحد یکه است .

$$i^* = \psi_0^* \cdot e^* \quad (26-6)$$

در رابطه فوق ψ^* یک ثابت و i^* جریان مطلوب منبع می باشد . e^* یک نسخه فیلتر شده از ولتاژ منبع می باشد که به صورت زیر با ولتاژ منبع ارتباط می یابد .

$$e^*(s) = G(s) \cdot e(s) \quad (27-6)$$

$e^*(s)$ و $e(s)$ به ترتیب تبدیل لاپلاس e^* و e هستند . (شکل ۶-۶) بلوک دیاگرام سیستم کنترل OFC را نشان می دهد که در آن ضرایب بهره $G(s)$ از طریق سیستم کنترلی و با توجه به سیگنال ولتاژ واقعی سیستم تغییر می کند .

$G(s)$ تابع تبدیل بانک فیلتری در حوزه ی لاپلاس می باشد که از طریق یک تابع بهینه سازی تحت شرایط زیر محاسبه می شود .

THD جریان منبع به یک حد بالایی محدود شود .

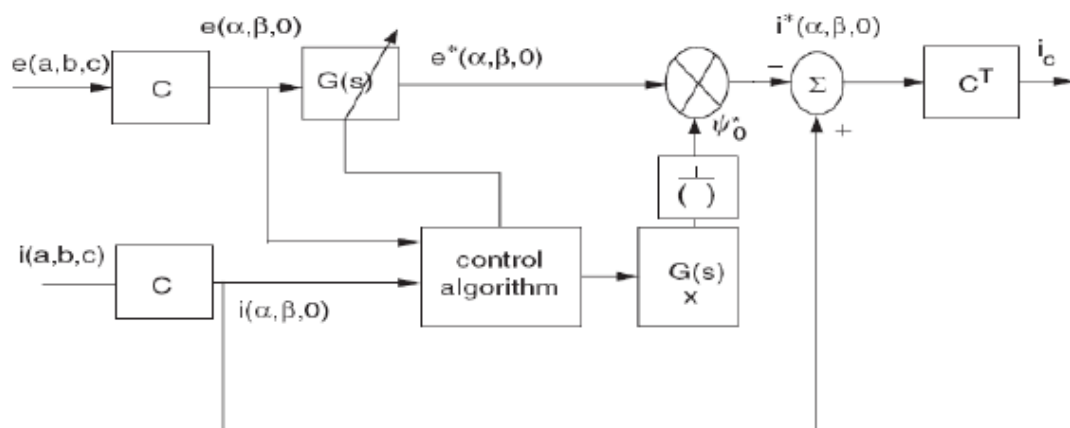
HD1 ضریب هارمونیک هر یک از هارمونیک های مجزا به یک حد بالایی محدود گردد .

میزان عدم تعادل جریان های منبع به یک حد بالایی محدود گردد .

ضریب توان منبع به یک حد پایین محدود شود .

دیگر پارامترهای کیفیت توان نظیر TIF^1 و ... به حد بالایی یا پایینی محدود گردند .

-
- 1- Harmonic Distortion
 - 2- Telephon Influence Factor



(شکل ۶-۶)

در ادامه دو استراتژی ارائه شده در زمینه ی مصالحه بین پارامترهای کیفیت توان مصرفی می گردند .

۶-۲-۴-۲- استراتژی حداکثر ضریب توان

در این استراتژی هدف دستیابی به ماکزیمم ضریب توان ممکن تحت قیدهای هارمونیک است . لذا داریم :

Maximize (η)

Subject to :

$$THD \leq \gamma$$

$$H_b^i \leq \gamma_b \quad H_c^i \leq \gamma_c \quad H_a^i \leq \gamma_a$$

$$H_{a,n}^i \leq \lambda_{a,n} \quad H_{b,n}^i \leq \lambda_{b,n} \quad H_{c,n}^i \leq \lambda_{c,n}$$

$$\frac{i_n^i}{i_1^+} \leq U_n^0 \frac{i_n^-}{i_1^+} \leq U_n^- \quad n=1,2,\dots,N \quad \text{and}$$

همانگونه که از روابط فوق برمی آید مسئله ، حل یک تابع بهینه سازی مقید است که در آن

ضرایب اغتشاش هارمونیک جریان (THDi) فازهای a,b,c هستند و H_c^i, H_b^i, H_a^i

ضریب نسبت هارمونیک n ام فاز a,b,c به مؤلفه اصلی جریان فاز a,b,c می $H_{c,n}^i, H_{b,n}^i, H_{a,n}^i$

باشند . i_n^+, i_n^-, i_n^0 به ترتیب ، مؤلفه توالی صفر هارمونیک مرتبه n ام ، مؤلفه ی توالی منفی هارمونیک

n ام و مؤلفه مثبت فرکانس پایه جریان سیستم می باشند که از تبدیل فورسسیکو N جمله اول سری فوریه جریان های سیستم به دست می آید .

قیدهای بالایی $U_n^-, U_n^0, \lambda_{c,n}, \lambda_{b,n}, \lambda_{a,n}, \gamma_c, \gamma_b, \gamma_a$ ممکن است بر اساس استانداردهای هارمونیک موجود انتخاب گردند . مثلاً این قیدها می توانند طبق استاندارد IEEE519 جهت هارمونیک های جریانی انتخاب گردند [7] .

Current Distortion Limits for General Distribution Systems (120 V Through 69 000 V)

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

(جدول ۶-۱) [۷]

۶-۲-۴-۳- استراتژی حداقل اغتشاش جریان

در این استراتژی با تعیین یک حداقل برای ضریب توان سیستم ، سعی می شود که اغتشاشات هارمونیکی جریان منبع به کمترین مقدار ممکن برسد .

$$\text{Minimize}(H^i = W_1 H_a^i + W_2 H_b^i + W_3 H_c^i)$$

$$\text{Subject to : } \eta \geq \eta_0$$

$$H_{a,n}^i \leq \lambda_{a,n} \quad H_{b,n}^i \leq \lambda_{b,n} \quad H_{c,n}^i \leq \lambda_{c,n}$$

$$\frac{i_n^0}{i_1^+} = U \frac{j_n^-}{ni_1^+} \leq U_n^- \quad \text{And} \quad n=1,2,\dots,N$$

در رابطه ی فوق W_3, W_2, W_1 وزن های مربوط به اغتشاش جریان کل فازهای a,b,c هستند . با ایجاد تغییرات در قیود بهینه سازی می توان به استراتژی های دیگری دست یافت که می توان از آن جمله قیود مربوط به مشخصات فنی مبدل اشاره کرد . مثلاً با افزودن $KVA \langle K$ به تابع بهینه سازی ، می توان ، توان ظاهری مبدل را به سطح K محدود کرد .

را می توان از تبدیل زیر به دست آورد . i_n^-, i_n^+, i_n^0

$$\begin{bmatrix} i_n^0 \\ i_n^+ \\ i_n^- \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & h_n & h_n^2 \\ 1 & h_n^2 & h_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{an}^* \\ i_{bn}^* \\ i_{cn}^* \end{bmatrix}; h_n = e^{n(j\frac{2\pi}{3})}$$

(۲۸-۶)

۶-۲-۴-۴- پایه ی ریاضی

رابطه ی $e^* = G(s)e(s)$ را می توان به صورت زیر بسط داد .

$$\begin{cases} e_\alpha^* = G_\alpha(s).e_\alpha(s) \\ e_\beta^* = G_\beta(s).e_\beta(s) \\ e_0^* = G_0(s).e_0(s) \end{cases} \quad (۲۹-۶)$$

در رابطه ی فوق $G_0(s), G_\beta(s), G_\alpha(s)$ معادل بانک فیلتری هستند که مؤلفه های هارمونیکی $e_0(s), e_\beta(s), e_\alpha(s)$ را پردازش می کنند .

$$P_{dc} = (e^T . i^*)_{dc} = \psi_0^* (e^T e^*)_{dc} \quad (۳۰-۶)$$

$$\psi_0^* = \frac{P_{dc}}{(e^T . e^*)_{dc}} = \frac{P_{dc}}{\varepsilon_{dc}^*} \quad (۳۱-۶)$$

$$\varepsilon_{dc}^* = (e_\alpha e_\alpha^* + e_\beta e_\beta^* + e_0 e_0^*) \quad (۳۲-۳)$$

ψ_0^* به نحوی محاسبه می گردد که توان متوسط بار جبران شده تغییر نکند . در (شکل ۲-۲۷) بلوک دیاگرام سیستم استراتژی OFC ، G_x یک فیلتر پایین گذر است . (جدول ۲-۲) مقادیر مختلف بانک بانک فیلتری و G_x را برای استراتژی های مختلف نشان می دهد .

TABLE I
SPECIAL CASES OF OFC WITH DISTORTED VOLTAGES CONDITION

Strategy	G_0	G_α	G_β	G_x	Performance
UPF	1	1	1	LPF	Current harmonics
PHC	0	BPF	BPF	1 or LPF	Lower power factor
p-q	0	1	1	1	Unkown

(جدول ۲-۶)

اگر بهره ی بانک فیلتری G_x برای تمام فرکانس ها در تمام فازها یک باشد . و بهره ی G_x یک LPF را شامل شود ، سیستم OFC به یک سیستم UPFC کاهش پیدا خواهد کرد . در صورتی که این بهره ها تنها برای مؤلفه ی اصلی ولتاژ یک باشد سیستم به PHC تقلیل می یابد و چنانچه برای مؤلفه صفر ولتاژ صفر باشد و برای سایر مؤلفه ها ی ولتاژی برابر باشد استراتژی FPC دست خواهیم یافت . در ادامه روابط مربوط به ارتباط ضریب توان و بانک فیلتری را بررسی می کنیم [۱۸] .

$$\eta = \frac{P_{dc}}{E \cdot I^*} \quad (۳۳-۶)$$

E مقدار مؤثر ولتاژ سیستم و I^* مقدار مؤثر جریان مطلوب منبع می باشد که به شکل زیر تعریف می شوند :

$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (e^T \cdot e) dt} = \sqrt{(e^T \cdot e^*) dc} = \sqrt{(e_\alpha e_\alpha^* + e_\beta e_\beta^* + e_0 e_0^*) dc} \quad (۳۴-۶)$$

$$I^* = \sqrt{(i_\alpha^{*2} + i_\beta^{*2} + i_0^{*2}) dc} \quad (۳۵-۶)$$

حال می توان ضریب توان را به شکل زیر محاسبه کرد :

$$\eta = \frac{P_{dc}}{\psi_0^* E \cdot E^*} = \frac{\psi_0^* (e^T e^*) dc}{\psi_0^* E E^*} = \frac{(e^T \cdot e^*) dc}{E \cdot E^*} \quad (۳۶-۶)$$

در رابطه ی فوق E و e قابل اندازه گیری ولتاژی شبکه هستند و مقادیر E^* , e^* نیز با دانستن E و e و بهره های بانک فیلتری قابل محاسبه اند . N جمله ی اول سری فوریه ولتاژهای واقعی و مجازی e^* در حوزه ی زمان فاز X را می توان به شکل زیر محاسبه کرد :

$$H_x^i = \frac{1}{i_{xi}^*} \sqrt{\sum_{i \neq 1} i_{xi}^{*2}} = \frac{1}{e_{xi}^*} \sqrt{\sum_{i \neq 1} e_{xi}^{*2}} \quad (37-6)$$

$$\sum_{i=1}^N e_{xi} \cos(i\omega t + \gamma_{xi}) \quad (38-6)$$

G_{xi} بهره بانک فیلتری برای هارمونیک i ام در فاز X است. (x=a,b,c) مقادیر ولتاژهای واقعی و مجازی نیز به شکل زیر قابل محاسبه می باشند .

$$e_x(t) = \sum_{i=1}^N G_{xi} e_{xi} \cos(i\omega t + \gamma_{xi}) \quad (39-6)$$

$$E^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (e_{ai}^2 + e_{bi}^2 + e_{ci}^2) \quad (40-6)$$

$$E^{*2} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (G_{ai}^2 G_{ai}^2 + e_{bi}^2 e_{bi}^2 + G_{ci}^2 e_{ci}^2) \quad (41-6)$$

در روابط فوق θ_{xi} زاویه بانک فیلتری فاز X (a,b,c) در هارمونیک i ام می باشد . در نهایت THD جریان فاز X به شکل زیر قابل محاسبه است .

$$\varepsilon_{dc}^* = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (G_{ai}^2 e_{ai}^2 + \cos \theta_{ai} + G_{bi}^2 e_{bi}^2 \cos \theta_{bi} + G_{ci}^2 e_{ci}^2 \cos \theta_{ci}) \quad (42-6)$$

$$\begin{bmatrix} e_{ai}^* \\ e_{bi}^* \\ e_{ci}^* \end{bmatrix} = C^T \begin{bmatrix} e_{0i}^* \\ e_{\alpha i}^* \\ e_{\beta i}^* \end{bmatrix} = C^T \begin{bmatrix} e_{oi} G_0(i) \\ e_{\alpha i} G_\alpha(i) \\ e_{\beta i} G_\beta(i) \end{bmatrix} \quad (43-6)$$

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} & \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad (44-6)$$

سایر قیدهای اضافی نیز می توانند به همین روش محاسبه گردند . به عنوان مثال قید ظرفیت جبران ساز به شکل زیر محاسبه می گردد .

$$KVA = E.(i - i^*) = E.I_{CR} \quad (45-6)$$

۶-۲-۴-۵- محدودیت ها و اصلاح استراتژی

استراتژی هایی که تا کنون برای جبران سازی با استفاده از فیلتر اکتیو موازی بیان شده هر کدام تلاش دارند قسمتی از مشخصه های کیفیت توان را بهبود بخشند [۲۱]. این روشها با فرض استفاده از یک تجهیز با توانایی

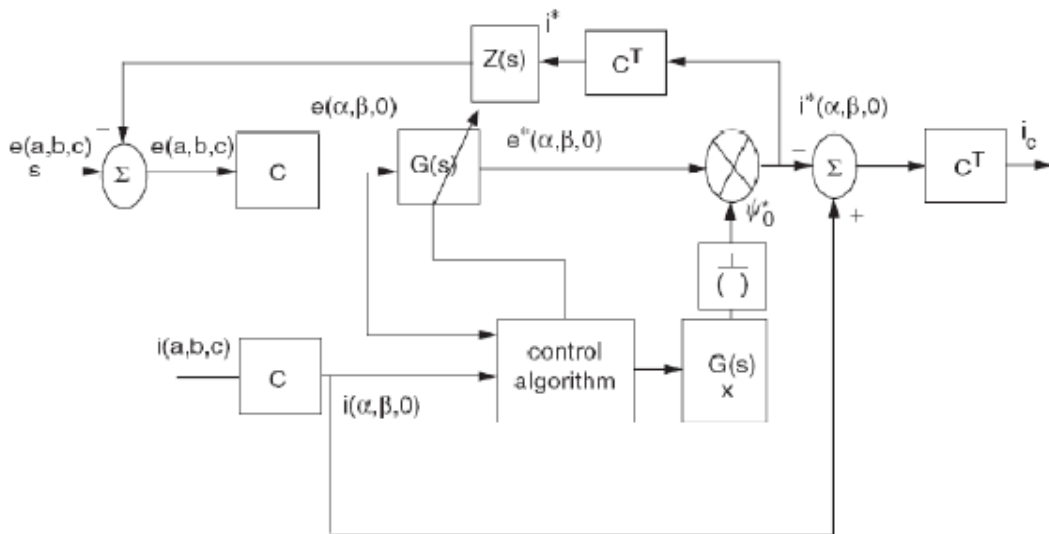
های ما محدود و یا حداقل با توانایی برابر با مقدار مورد نیاز سیستم طراحی شده اند و کمتر به این جنبه که فیلتر اکتیو ایده آل نبوده و در ساختمان و مشخصات فنی خود دارای محدودیت هایی است پرداخته اند . این محدودیت ها شامل حداکثر جریان قابل تحمل سوئیچ های فیلتر اکتیو و حداکثر نرخ تغییرات جریان قابل تولید توسط اینورتر هستند که از مشخصات فنی و نواقص ذاتی فیلتر اکتیو می باشند . مرجع [۱۸] استراتژی کنترل بهینه و انعطاف پذیر OFC برای فیلترهای اکتیو ارائه داده که در شرایط ولتاژ غیر سینوسی منبع ، ضمن رعایت قیدهای هارمونیک جریان کشیده شده از منبع ، قادر است بیشترین ضریب توان ممکن را به دست بدهد .

مرجع [۲۲] نتایج به دست آمده را با شبکه عصبی مقایسه کرده است که حاکی از استحکام روش و نتایج آن است مرجع [۲۳] با ایجاد تغییرات در ساختار استراتژی OFC ، آن را بهبود و برای کنترل ولتاژ بار و جریان منبع مورد استفاده از استراتژی کنترل بهینه [۲۱ و ۲۴] در ادامه ی کارهای قبلی تلاش دارد با استفاده از استراتژی کنترل بهینه و انعطاف پذیر OFC و رعایت قیود هارمونیک مطابق IEEE-519 ، از فیلتر اکتیوی که قابلیت جبران سازی آن کمتر از نیازمندی های سیستم جبران شونده است ، به صورت بهینه بهره برداری شود ، به گونه ای که سطوح هارمونیک جریان مطابق استاندارد و قیود مشخصات فنی جبران ساز رعایت شده و حداکثر تصحیح ضریب توان ممکن به دست آید . لذا در این راستا در هر دو استراتژی در هر دو استراتژی حداکثر ضریب توان و حداقل اغتشاش قیود زیرا اضافه شده است .

$$\left. \frac{dicrx}{dt} \right|_{Max} \leq \Delta_{Max} \quad (۴۶-۶)$$

$$i_{crxMax} \leq i_{swMax} \quad (۴۷-۶)$$

که $\frac{di_{crx}}{dt}$ نرخ حداکثر تغییرات جریان کنترلی محاسبه شده توسط سیستم OFC در فاز X است و بیشترین دامنه ی جریان کنترل کننده در فاز X است . مرجع [16] در ساختار سیستم کنترلی OFC تغییراتی به وجود آورده است که قادر است امپدانس معادل منبع را در هر مرتبه هارمونیکی محاسبه کرده و با لحاظ نمودن امپدانس محاسبه شده ، با یک بار محاسبه ی تابع هدف بهینه سازی ، پاسخ نهایی سیستم OFC را که پس از چند تکرار و طی چند سیکل محاسبه می شود ، به دست آورد . این سیستم که با امپدانس منبع تطبیق پیدا می کند دارای این مزیت است که می تواند در کنترل ولتاژ بار به کمک فیلتر اکتیو موازی مورد استفاده قرار گیرد با این حال دارای این محدودیت است که نمی توان هر دو مشخصه THD جریان منبع و THD ولتاژ بار را همزمان بهبود بخشید . (شکل ۶-۷) ساختار این سیستم کنترلی بهبود یافته را نشان می دهد .



(شکل ۶-۷)

۶-۳- سیستم تشخیص مؤلفه توالی مثبت PSD¹

از آنچه بیان شد می توان دریافت که استراتژی کنترل به ابزاری جهت تشخیص ولتاژ توالی مثبت ولتاژ و جریان فرکانس پایه نیاز دارد. در این سیستم با بهره گیری از یک حلقه ی قفل فاز PLL² فرکانس اصلی ولتاژ

تشخیص داده شده و یک جریان مجازی مرجع در مختصات $\alpha - \beta$ سنکرون با خروجی PLL ایجاد می گردد. توان های محاسبه شده در مختصات $\alpha - \beta$ دارای مقداری نوسانی است که متوسط آنها، توان حاصل از جریان مجازی مرجع و ولتاژ توالی مثبت منبع است. با جداسازی توان های متوسط و محاسبه عکس رابطه توان های لحظه ای در مختصات کلارک، ولتاژهای پایه توالی مثبت در این مختصات به دست می آیند [1].

$$\begin{cases} P_{\alpha\beta} = V_{\alpha} I_{\alpha 1} + V_{\beta} I_{\beta 1} \\ q = V_{\alpha} I_{\beta 1} - V_{\beta} I_{\alpha 1} \end{cases} \quad (48-6)$$

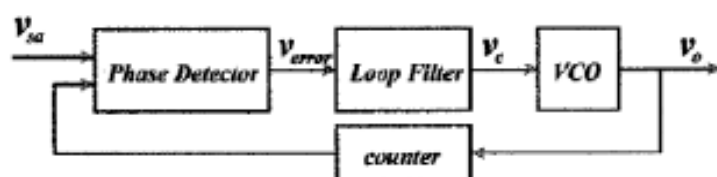
$$\begin{cases} P_{\alpha\beta} = \bar{P}_{\alpha\beta} + \tilde{P}_{\alpha\beta} \\ q_{\alpha\beta} = \bar{q}_{\alpha\beta} - \tilde{q}_{\alpha\beta} \end{cases} \quad (49-6)$$

$$\begin{bmatrix} V_{\alpha 1} \\ V_{\beta 1} \end{bmatrix} = \frac{2}{i_{\alpha 1}^2 + i_{\beta 1}^2} \begin{bmatrix} i_{\alpha 1} & i_{\beta 1} \\ i_{\beta 1} & -i_{\alpha 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{P}_{\alpha\beta} \\ \bar{q} \end{bmatrix} \quad (50-6)$$

۶-۳-۱- حلقه قفل فاز PLL

پربکاربردترین مدار مورد استفاده در این سیستم متشکل از یک تشخیص دهنده ی فاز PD^1 ، یک فیلتر پایین گذر LPF2 و یک اسیلاتور کنترل شده با ولتاژ VCO3 است که در یک حلقه ی بسته قرار می گیرند. که در

شکل (۶-۸) نشان داده شده است. [1]



(شکل ۶-۸)

که سیگنال خروجی در سیگنال ورودی ضرب شده دو شکل موج با فرکانس های مجموع و تفاضل فرکانس های اصلی به وجود می آورند. خروجی از یک فیلتر پایین گذر عبور داده می شود و به عنوان ورودی VCO به آن وارد می گردد. این کار در صورتی که فرکانس مورد نظر در نزدیکی فرکانس مرکزی VCO باشد ادامه پیدا کرده و سرانجام حلقه بر روی این فرکانس قفل شده و خروجی VCO یک سینوسی با فرکانس پایه ی ورودی می شود.

در مراجع حلقه ی قفل فاز دیگری تحت عنوان حلقه ی قفل نرم افزاری SPLL4 ارائه شده است که مشکلات مربوط به حلقه ی قفل فاز متداول را ندارد ولی از مدار پیچیده تری برخوردار است.

به منظور استخراج جریان فرکانس پایه از تبدیل فوریه استفاده می گردد اما از آنجا که محاسبات تبدیل فوریه در هر تکرار برنامه بسیار وقت گیر است از تکنیکی تحت عنوان، پنجره ی لغزان استفاده می شود که در کاهش محاسبات بسیار مؤثر است.

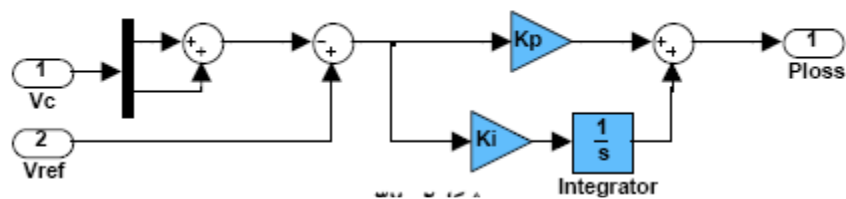
2-Low Pass Filter

3-Voltage Controlled Oscillator

4- Software Phase Lock Loop

۴-۶- کنترل ولتاژ باس DC

برای کنترل ولتاژ باس DC معمولاً از یک کنترل کننده استفاده می گردد ، (شکل ۹-۶) بلوک دیاگرام یک سیستم کنترلی PI را نشان می دهد که ولتاژ باس DC را با یک سطح مرجع مقایسه می کند و خروجی آن به عنوان تلفات با توان اکتیو سیستم جمع شده و در محاسبه جریان مطلوب منبع وارد می گردد [۴] .



(شکل ۹-۶)

۱-۷- تئوری بازی ها و کاربرد آن در بهینه سازی چند هدفه:

بسیاری از مسائل دنیای واقعی شامل بهینه سازی همزمان چندین تابع هدف متناقض و اغلب رقیب می باشند. هنگام حل مسائل عملی از این دست اغلب ناچاریم موقعیت هایی را تجزیه و تحلیل کنیم که در آنها دو یا چند طرف متعارض در تعقیب اهداف متعارضی هستند. در نتیجه هر عمل هر طرف بستگی به خط مشی انتخابی حریف دارد. چنین موقعیت هایی را موقعیت های تعارض آمیز^۱ می خوانیم. تمامی موقعیت های تعارض آمیزی که در عمل رخ می دهند بسیار پیچیده اند و تحلیل آنها به واسطه عوامل بسیاری پیش نمی رود. لذا ناچاریم یک مدل ساده از موقعیت بسازیم [۲۵]. نیاز به تحلیل موقعیت هایی از این دست موجب بسط روش های ریاضی ویژه ای تحت عنوان نظریه بازی ها^۲ شده است. که بر اساس قواعد معینی اجرا می شوند. رسم بر آن است که طرفهای شرکت کننده را بازیکن^۳ و نتیجه یک رویارویی را امتیاز^۴ یا پرداخت^۵ یک بازیکن خوانند. قواعد یک بازی مجموعه ای از شرایطی است که آلترناتیوهای قابل تصور برای خط مشی هر طرف، میزان اطلاعاتی که برای هر بازیکن در مورد رفتار طرف دیگر دارد، رشته و ترتیب تعویض حرکت ها^۶ و نتیجه^۷ یا برآمدی^۸ را که کل حرکت های انجام شده به آن منجر می شود تنظیم می کنند. این نتیجه، برد یا باخت^۹، همیشه یک بیان کمی ندارد

ولی معمولاً بیان نتیجه به وسیله یک عدد معین از طریق برقراری نوعی مقیاس سنجش امکان پذیر

1-Conflict Situation	4-Gain	7-Result	
2-Theory of game or game theory	5-Payoff	8- Outcom	است. یک بازی را بازی با حاصل جمع صفر ^۱ د

اگر حاصل جمع برد یا امتیاز هر دو طرف مساوی صفر باشد. پیشرفت یک بازی در طول زمان را به صورت یک سلسله گام های متوالی یا حرکت تلقی خواهیم کرد، در نظریه بازی ها یک حرکت عبارت از انتخاب یک بدیل از میان بدیل هایی است که قواعد بازی مجاز می شمارد. حرکت ها را می توان به حرکت های شخصی و حرکت های شانسی تقسیم کرد. یک حرکت شخصی^۲ انتخاب حساب شده یکی از حرکت های ممکن در یک موقعیت مشخص توسط یکی از بازیکنان و عملی ساختن آن است. یک حرکت شانسی^۳ عبارت است از انتخاب از میان تعدادی موارد ممکن که نه توسط بازیکن بلکه توسط نوعی ابزار تصادفی عملی می شود. بازی

ها را نه تنها بر اساس سرنوشت حرکت ها بلکه بسته به سرنوشت و حجم اطلاعاتی که هر بازیکن در مورد اقدامات دیگری در اختیار دارد دسته بندی می کنند. گروه ویژه ای از بازی ها را بازی های با اطلاعات کامل^۴ تشکیل می دهند. [۲۵و۲۶]

یک بازی با اطلاعات کامل بازی است که در آن هر بازیکن در هر حرکت، از نتایج تمامی حرکت های شخصی و شانس گذشته آگاه است. بیشتر بازی هایی که اهمیت عملی دارند بازی های با اطلاعات کامل نیستند چرا که فقدان اطلاعات در مورد اقدامات حریف معمولاً یک عنصر اساسی موقعیت های

تعارض آمیز است. یکی از مفاهیم اساسی نظریه بازی ها مفهوم استراتژی^۵ است. یک استراتژی برای بازی کن عبارت است از مجموعه ای از قواعدی که آشکارا و بی هیچ ابهامی انتخاب هر حرکت شخصی بازیکن را بسته به موقعیتی که در جریان بازی بروز کرده معین می نماید. حال بازیکنی که یک استراتژی را برگزیده است ممکن است استراتژی را به شکل یک برنامه مشخص به یک ماشین خود کار داد. از همین راه است شطرنج بازی می کنند. در بازی هایی که صرفاً از حرکت های شانس تشکیل یافته اند هیچ استراتژی ای وجود ندارد. بازی ها بسته به تعداد استراتژی های ممکن، به محدود^۶ و نامحدود^۷ تقسیم می شوند.

1-Zero-sum game

4-Game with perfect information

6-Finite

2-Personal Move

5-Strategy
بازی با اطلاعات کامل

7-Infinite

یک بازی را محدود، بی نهایت، غیر پیریس همه، نامحدود، سرنوشتی، سرنوشتی، یک بازی

در آن بازیکن A داری M استراتژی و بازیکن B دارای n استراتژی باشد، یک بازی mxm می خوانند [۲۵]. یک بازی mxm میان دو بازیکن A و B (ما و حریف) در نظر بگیرد. استراتژی های خودمان را A_1, A_2, \dots, A_m و استراتژی های حریف را با B_1, B_2, \dots, B_m نشان می دهیم، به ازای هر انتخاب A_i و در مقابل آن B_j آشکارا برآمد بازی-امتیاز ما-را مشخص می سازد که آن را با a_{ij} نشان می دهیم فرض بر این است که یک بازی با جمع صفر داریم و امتیاز حریف $-a_{ij}$ خواهد بود. در صورتی که بازی مرکب از حرکات شخصی و شانس باشد، امتیاز متناظر یک کمیت تصادفی است که همان ارزش متوسط یا امید ریاضی آن است. ارزش a_{ij} را می توان در یک آرایش مستطیلی شکل نوشت (شکل (۷-۱)) این آرایش را یک ماتریس امتیاز یا یک

ماتریس پرداخت، یا صرفاً ماتریس بازی می خوانند. ماتریس بازی را به اختصار با علامت a_{ij} نمایش خواهیم داد.

	B_1	B_2	----	B_n
A_1	a_{11}	a_{12}	----	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	----	a_{2n}
----	----	----	----	----
----	----	----	----	----
A_m	a_{m1}	a_{m2}	----	a_{mn}

شکل (۷-۱)

مثال یک: دو بازیکن A و B در آن واحد و مستقل از هم هر یک یکی از سه عدد ۱، ۲، یا ۳ را روی کاغذ می نویسند. اگر حاصل جمع دو عددی که آنها نوشته اند زوج باشد B به اندازه همان حاصل جمع زوج به ریال پول به A می پردازد و اگر فرد باشد برعکس بازی را تحلیل و ماتریس آن را تشکیل دهید.

حل: این بازی از دو حرکت که هر دو شخصی اند تشکیل یافته است ما (A) سه استراتژی داریم و B نیز همین طور، لذا یک بازی 3×3 داریم. که ماتریس آن به شکل (۷-۲) است.

B		B_1	B_2	B_3
A	A_1	2	-3	4
	A_2	-3	4	-5
	A_3	4	-5	6

شکل (۷-۲)

دقت کنید که این بازی یک بازی با جمع صفر است لذا فقط امتیازات ما (A) را نوشته ایم و امتیازات B همین مقادیر با علامت جبری بر عکس است.

آشکار است که حریف می تواند به هر استراتژی ما به نحوی پاسخ گوید که برای ما بدترین نتیجه را به بار آورد مثلاً A_1 را به B_2 پاسخ گوید و ما را به سوی باخت رهنمون سازد اما فراموش نکنید که وضع حریف نیز به همان بدی وضع ماست.

هدف نظریه بازی ها تدوین تجویزات و توصیه هایی برای رفتار خردمندان^۱ بازیکنان در موقعیت های تعارض آمیز، یعنی تعیین استراتژی بهینه^۲ برای هر بازیکن است [۲۵ و ۲۶].

یک استراتژی بهینه برای یک بازیکن استراتژی است که در صورت اجرای مکرر، بیشترین امتیاز متوسط ممکن را برای وی تضمین می کند. استدلال برای انتخاب این استراتژی، مبتنی بر این فرض است که حریف، دست کم به اندازه خود ما خردمند است. نظریه بازی ها مثل هر مدل ریاضی از پدیده های پیچیده، محدودیت های خاص خود را دارد. جدی ترین محدودیت این واقعیت است که امتیاز به طور مصنوعی تنها به یک عدد تقلیل داده می شود. در بیشتر موقعیت های تعارض آمیز

1-Rational Behavior

هنگام تدوین یک استراتژی خردمندانه باید ملاک های متعددی در مورد عمل موفقیت آ

2-Optimal Strategy

سازیم یعنی به جای یک پارامتر عددی را مد نظر قرار دهیم و اگر به یک استراتژی بهینه حداقل یک استراتژی قابل قبول داشته باشیم.

۷-۲- ارزش پایینی و بالایی بازی (اصل کمبیشینه):

یک بازی $m \times n$ با ماتریس به شکل (۷-۳) در نظر می گیریم.

	B_1	B_2	----	B_n
A				
A_1	a_{11}	a_{12}	----	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	----	a_{2n}
----	----	----	----	----
A_m	a_{m1}	a_{m2}	----	a_{mn}

شکل (۳-۷)

برای انتخاب استراتژی بهینه، تک تک استراتژی‌ها را تحلیل می‌کنیم با انتخاب استراتژی A_i همواره باید این را حساب کنیم که حریفمان به آن با استراتژی B_j پاسخ می‌دهد [۲۵ و ۲۶]. که امتیاز ما در ازای آن یعنی a_{ij} ، کمترین مقدار باشد. این مقدار امتیاز یعنی کمترین عدد a در سطر i ام را تعیین می‌کنیم و آن را با α نمایش می‌دهیم.

$$\alpha_i = \min_j a_{ij} \quad (۱-۷)$$

اعداد α_i را در کار ماتریس شکل (۳-۷) اضافه می‌کنیم با انتخاب استراتژی A_i و در نتیجه اقدامات عقلایی حریف، می‌توانیم وری بردی که بیش از α_i نیست حساب کنیم. طبیعی است که با عمل محتاطانه آن استراتژی A_i را انتخاب می‌کنیم که عدد α_i متناظر با آن بیشترین مقدار باشد. این بیشترین مقدار را از رابطه (۲-۷) به دست می‌آوریم.

$$\alpha_i = \max_i a_i \quad (۲-۷)$$

$$\alpha_i = \max_i \left(\min_j a_{ij} \right) \quad (۳-۷)$$

مقدار α را ارزش پایینی بازی^۱ یا امتیاز بشکمینه^۲ یا صرفاً بشکمینه^۳ می خوانیم. که از رابطه (B-۳) به دست می آید استراتژی معادل α را استراتژی بشکمینه گوئیم [۲۵ و ۲۶ و ۲۷]، چنانچه به یک بشکمینه بچسبیم قطع نظر از رفتار حریف، دستاوردی را برای خود تضمین می کنیم که در هر حال کمتر از α نیست. استدلال مشابهی را می توان برای حریف B انجام داد. چون حرف خواهان کمینه امتیاز ماست لذا باید هریک از استراتژی های خود را بر حسب بیشینه امتیاز متناظر با آن بررسی کند، لذا برای هر

ستون، بیشینه مقادیر a_{ij} را در انتهای ماتریس می نویسیم:

$$\beta_j = \max_i a_{ij} \quad (4-7)$$

و کمترین مقدار از β_j را می یابیم.

$$\beta = \min_j \beta_j \quad (5-7)$$

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij} \quad (6-7)$$

1-lower valu of the game

3-maximin

2-maximin gain

مقدار β را ارزش بالایی بازی^۱ یا به عبارت دیگر کمبیشینه^۲ گوئیم و استراتژی معادل این مقدار حریف را استراتژی کمبیشینه می گوئیم.

مثال ۲: در ماتریس بازی مثال ۱ ارزش بالایی و پایینی بازی را مشخص نمایید. طبق آنچه گفته شد ماتریس بازی را به صورت شکل (۴-۷) می کشیم .

B		B ₁	B ₂	B ₃	α_i
A					
A ₁		2	-3	4	-3
A ₂		-3	4	-5	-5
A ₃		4	-5	6	-5
β_j		4	4	6	

شکل (۴-۷)

ارزش پایینی بازی $\alpha = -3$ و ارزش بالایی آن $\beta = 4$ است. استراتژی بیشکمیینه ما A₁ است که با اجرای منظم آن می توانیم روی امتیازی نه کمتر از ۳- حساب کنیم و استراتژی کمبیشینه حریف هر یک از استراتژی های B₁ یا B₂ است که با اجرای منظم آنها وی میتواند در هر حال برای خود تضمین کند که باختش بیش از ۴ نمی باشد .

در بازی فوق استراتژی کمبیشینه بی ثبات^۳ هستند به این مفهوم که در صورت اطلاع حریف از استراتژی ما یا اطلاع ما از استراتژی های حریف می تواند روند بازی به نفع یکی تغییر یابد .

اما بازی هایی وجود دارند که برای آنها استراتژی های کمبیشینه با ثبات هستند اینها بازی هایی هستند که ارزش پایینی و ارزش بالایی شان با هم برابر است .

$$\alpha = \beta$$

1-upper value of the game

3-unstable

2-minmax

اگر ارزش پایینی بازی با بالایی آن برابر باشد ارزش مشترک آنها را ارزش خالص بازی^۱ یا صرفا ارزش بازی^۲ می خوانیم وبا حرف v نمایش می دهیم مثلا ماتریس شکل (۷-۵) را در نظر بگیریم .

A \ B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	α_i
A ₁	0.4	0.5	0.9	0.3	0.3
A ₂	0.8	0.4	0.3	0.7	0.3
A ₃	0.7	0.6	0.8	0.9	0.6
A ₄	0.7	0.2	0.4	0.6	0.2
β_j	0.8	0.6	0.8	0.9	

شکل (۷-۵)

بازی دارای یک ارزش برابر $\alpha = \beta = v = 0.6$ است عدد 0.6 در آن واحد کمینه سطر خود و بیشینه ستون خود است. در هندسه نقطه ای روی یک سطح با خاصیتی مشابه که از حیث یک مختصات کمینه و در آن واحد از حیث مختصات دیگر بیشینه باشد، یک نقطه زینی^۳ خوانده می شود. در نظریه بازی ها عنصری از ماتریس که واجد این خاصیت باشد یک نقطه زینی ماتریس خوانده می شود.ومی گوئیم بازی دارای یک نقطه زینی است.متناظر با یک نقطه زینی یک جفت استراتژی کمبیشینه وجود دارد. این استراتژی ها را بهینه و ترکیب آنها را یک حل بازی^۴ می خوانند.

حل بازی دارای خواص زیر است:

اگر یک بازیکن به استراتژی بهینه خویش پای بند باشد و بازیکن دیگر به نحوی از استراتژی بهینه خویش منحرف شود. این کار برای بازیکنی که مرتکب انحراف شده هرگز هیچ ثمری ندارد. و در بهترین حالت امتیازی وی را بدون تغییر می گذارد و در بدترین حالت آن را کاهش می دهد.

توجه به این نکته لازم است که اطلاع هر بازیکن از اینکه حریفش استراتژی بهینه خود را اتخاذ کرده نمی تواند رفتار خود او را تغییر دهد. در یک بازی واجد نقطه زینی یک جفت استراتژی بهینه، نوعی موضع تعادل^۵

هستند. (تعادل نش) [۲۶ و ۲۷]

گروه بازی های واجد نقطه زینی هم از نظر عملی و هم از نظر تئوری اهمیت زیادی دارند، نظریه

بازی ها ثابت می کند که هر بازی با اطلاعات کامل دارای یک نقطه زینی است و نتیجتاً هر بازی از این نوع دارای یک حل است یعنی یک جفت استراتژی بهینه وجود دارد که امتیاز متوسطی برابر با ارزش بازی را حاصل می کند.

در تمامی بازی های با اطلاعات کامل وضع به همین قرار است، و تنها بدین خاطر برای بازی شطرنج حلی پیدا نشده که تعداد ترکیبات حرکت های ممکن در شطرنج بیش از آن بزرگ است که بتوان یک ماتریس بازی برایش تشکیل داد و نقطه زینی اش را پیدا کرد.

۷-۳- استراتژی های خالص و مرکب، حل یک بازی به وسیله استراتژی های مرکب:

در میان بازی های محدودی که دارای اهمیت عملی هستند ندرتا به بازی های دارای نقطه زینی برمی خوریم، با تحلیل ماتریس بازی ها دیدیم که اگر هر بازیکن اجازه انتخاب تنها یک استراتژی را داشته باشد آنگاه این انتخاب به وسیله اصل کمبیشینه تعیین می شود. حال این سؤال مطرح است که آیا اگر کسی به جای اجرای تنها یک استراتژی های متعددی را متوالیاً اجرا کند امکان آن هست که امتیاز میانگین بیشتر از α را برای خود تضمین نماید؟

در نظریه بازی ها به اینگونه استراتژی های تلفیقی متشکل از چند استراتژی خالص را که به صورت تصادفی و با فراوانی معینی به جای هم می نشینند، استراتژی مرکب^۱ گوییم [۲۵ و ۲۶].

این حکم، جوهره اصلی قضیه موسوم به قضیه اساسی نظریه بازی ها^۲ است که برای نخستین بار در سال ۱۹۲۸ به وسیله فو نیومان^۳ به اثبات رسید [۲۵].

برهان های موجود برای این قضیه نسبتاً پیچیده اند لذا تنها به ذکر آن اکتفا می کنیم. هر بازی محدود دست کم دارای یک حل (احتمالاً در طیف استراتژی های مرکب) است. امتیاز حاصل از یک راه

آشکار است که v یا ارزش بازی همواره بین ارزش پایینی و بالایی بازی قرار دارد ($\alpha \leq v \leq \beta$)

برای نمایش استراتژی های مرکب، علامت ویژه ای را معرفی می کنیم، برای مثال چنانچه استراتژی های مرکب ما از اجرای A_3, A_2, A_1 به ترتیب با فراوانی های P_3, P_2, P_1 با قید $P_1 + P_2 + P_3 = 3$ باشد آنرا چنین نشان خواهیم داد.

$$S_A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ P_1 & P_2 & P_3 \end{pmatrix}$$

و به همین ترتیب برای حریف

$$S_B = \begin{pmatrix} B_1 & B_2 & B_3 \\ q_1 & q_2 & q_3 \end{pmatrix}$$

در حالت کلی تمامی استراتژی های خالص موجود در دسترس یک بازیکن مشخص در استراتژی مرکب وی وارد نمی شوند. استراتژی هایی را که در استراتژی مرکب بهینه یک بازیکن مشخص وارد می گردند استراتژی های مفید^۱ خواهیم خواند.

در اینجا نیز تاکید می کنیم اگر یکی از بازیکنان پای بند استراتژی مرکب بهینه خویش باشد در این حالت قطع نظر از اینکه بازیکن دیگر چه عملی انجام دهد البته مشروط به اینکه در داخل محدوده استراتژی های مفید خویش باقی بماند امتیاز حاصل بی تغییر و مساوی با ارزش بازی v باقی خواهد ماند.

$$S_A = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ P_1 & P_2 \end{pmatrix}$$

۷-۴- روش های مقدماتی حل بازی های 2×2 و $2 \times n$ فاقد نقطه زینی:

اگر یک بازی $m \times n$ فاقد نقطه زینی باشد در این حال، یافتن یک حل خصوصاً برای m و n های بزرگ به طور کلی مسئله بسیار دشواری است. گاه اگر بتوان تعداد استراتژی ها را به وسیله حذف استراتژی های زائد کاهش داد مسئله ساده تر می شود [۲۵ و ۲۸].

1-Utility Strategies

استراتژی هایی زائدند که

الف) تکرار باشند.

ب) آشکارا بی ثمر باشند.

ساده ترین نمونه های بازی های محدودی که همواره می توان آنها را با روش های مقدماتی حل کرد، بازی های 2×2 و $2 \times n$ هستند. در اینجا ممکن است دو حالت رخ دهد،
 ۱) بازی دارای نقطه زینی است که حل بازی آشکارا است.

۲) بازی نقطه زینی نداشته باشد. نتیجتاً ارزش پایینی بازی با ارزش بالایی آن برابر نیست لذا برای بازیکن A یک استراتژی بهینه مرکب پیدا می کنیم.

ماتریس شکل (۶-۷) را در نظر بگیریم.

A \ B	B ₁	B ₂
A ₁	a ₁₁	a ₁₂
A ₂	a ₂₁	a ₂₂

شکل (۶-۷)

اگر ما به استراتژی بهینه خود S_A^* پای بند بمانیم حریف می تواند هر یک از استراتژی های خالص خود B₁ و B₂ را اجرا کند بدون آنکه پرداخت متوسط V تغییر کند. بر این اساس دو معادله خواهیم داشت.

$$a_{11}p_1 + a_{21}p_2 = v \quad (7-7)$$

$$a_{12}p_1 + a_{22}p_2 = v \quad (8-7)$$

که با توجه به این واقیت که $P_1 + P_2 = 1$ است داریم

$$a_{11}p_1 + a_{21}(1 - p_1) = a_{12}p_1 + a_{22}(1 - p_1)$$

$$p_1 = \frac{a_{22} - a_{21}}{a_{11} + a_{22} - a_{12} - a_{21}} \quad (9-7)$$

$$p_2 = 1 - p_1 \quad (10-7)$$

ارزش بازی V با جایگزینی P_1 و P_2 در (7-7) و (8-7) به دست می آید. برای حریف نیز به صورت مشابه داریم

$$a_{11}q_1 + a_{12}q_2 = v \quad (11-7)$$

$$q_1 = \frac{v - a_{12}}{a_{11} - a_{12}} \quad (12-7)$$

$$q_2 = 1 - q_1 \quad (13-7)$$

برای حل بازی های 2×2 می توان یک تفسیر هندسی ساده به دست آورد. فرض کنید یک بازی 2×2 با

ماتریس شکل (7-6) داریم روی محور طول ها یا محور افقی پاره خطی به اندازه واحد از مبدا مختصات

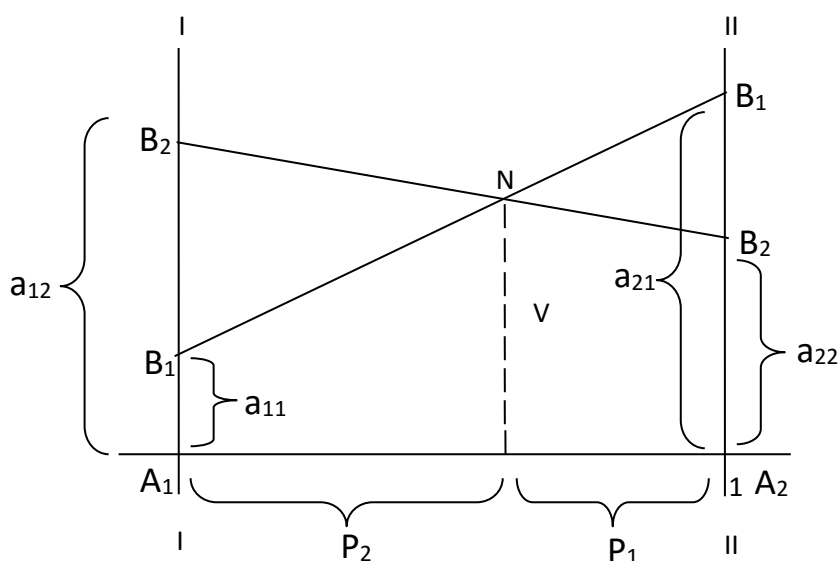
مشخص می کنیم، انتهای سمت چپ این پاره خط (نقطه دارای طول $X = 0$) معرف استراتژی A_1 خواهد بود. از نقطه سمت راست پاره خط ($X = 1$) نماینده استراتژی A_2 خواهد بود از نقطه A_1 و A_2 دو خط عمود بر محور طول ها رسم می کنیم و آنها را محور $I-I$ و $II-II$ بنامیم.

از محور $I-I$ برای ترسیم پرداخت های متناظر با استراتژی A_1 و از محور $II-II$ برای ترسیم پرداخت های متناظر با استراتژی A_2 استفاده می کنیم استراتژی B_1 حریف را در نظر بگیریم، این استراتژی بر روی محور $I-I$ و محور $II-II$ دو نقطه به ترتیب با عرض های a_{11} و a_{21} را مشخص می سازد. خط B_1B_1 را از این دو

نقطه ترسیم کنید. آشکار است که اگر ما استراتژی مرکب $S_A^* = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \\ P_1 & P_2 \end{pmatrix}$ را در برابر استراتژی B_1 حریف

اجرا کنیم آنگاه پرداخت متوسط ما در این حال مساوی $a_{11}p_1 + a_{21}p_2$ خواهد شد که با نقطه N روی خط B_1B_1 نمایش داده شده است طول این نقطه مساوی P_2 است ما مطابق مرسوم خط B_1B_1 نماینده پرداخت ها هنگام اجرای استراتژی B_1 است استراتژی B_1 می خوانیم آشکارا است که به همین نحو امکان ساختن

استراتژی B_2 نیز وجود دارد، شکل (۷-۷) [۲۵]



شکل (۷-۷)

باید یک استراتژیک بهینه S_A^* را بیابیم که کمینه پرداخت به ازای آن بیشینه باشد. بدین منظور مرز پایینی پرداخت را برای استراتژی های B_1 و B_2 یعنی خط شکسته B_1NB_2 را در شکل (۷-۷) مشخص می کنیم این مرز پایینی (نه بالایی) بیانگر کمینه پرداخت به ازای هر یک از استراتژی های مرکب بازیکن A خواهد بود. نقطه N که در آن این کمینه پرداخت به بیشینه مقدار خود می رسد تعیین کننده حل و ارزش بازی است.

در نظریه بازی ها ثابت شده است که هر بازی $m \times n$ دارای حلی است که تعداد استراتژی های مفید هر بازیکن در آن، از کوچکترین مقدار دو عدد m و n بیشتر نخواهد بود. از این قضیه خصوصا نتیجه می شود که یک بازی $2 \times n$ همواره دارای حلی است که در آن برای هر بازیکن حداکثر دو استراتژیک مفید وجود دارد.

۷-۵- روشهای کلی حل بازی های محدود:

تا اینجا که تنها مقدماتی ترین بازی ها از نوع بازی های $2 \times n$ را در نظر بگیریم که حل آنها ساده و امکان تفسیر هندسی برایشان موجود بود. در حالت کلی، حل یک بازی $m \times n$ نسبتا دشوار است، زیرا پیچیدگی مسئله و حجم محاسبات لازم، با افزایش n و m شدیداً افزایش می یابد.

اما این مسئله اساسی نیست و تنها حجیم بودن محاسبات کار را شدیداً با مشکل مواجه می کند و امکان تفسیر هندسی را از بین می برد.

در اینجا مختصراً به روش محاسباتی حل بازی های n و m معروف به برنامه ریزی خطی^۱ خواهیم پرداخت [۲۵ و ۲۶]. یک ماتریس n و m را با ماتریس پرداخت a_{ij} ادر نظر بگیریم. لازم است یک حل برای بازی بیابیم یعنی دو استراتژی مرکب بهینه برای بازیکنان به صورت:

$$S_A^* = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 \dots A_m \\ P_1 & P_2 \dots P_m \end{pmatrix} \quad (14-7)$$

$$S_B^* = \begin{pmatrix} B_1 & B_2 \dots B_n \\ q_1 & q_2 \dots q_n \end{pmatrix} \quad (15-7)$$

که در آن

$$P_1 + P_2 + \dots + P_m = 1 \quad (16-7)$$

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = 1 \quad (17-7)$$

است.

فرض کنیم که V مساوی عدد مثبتی باشد، این فرض ناقض کلیت و عمومیت است. ~~1-Linear Programming~~

بازیکن سطر، استراتژی بهینه اش یعنی S_A^* را برگزیده باشد. در این صورت پرداخت متوسط وی هنگام اجرای استراتژی B توسط حریفش به صورت زیر خواهد بود.

$$a_j = p_1 a_{1j} + p_2 a_{2j} + \dots + p_m a_{mj} \quad (18-7)$$

S_A^* استراتژی بهینه سطر، این خاصیت را دارد که قطع نظر از رفتار ستون، پرداختی نه کمتر از V نصیب سطر می سازد. پس غیر ممکن است که هیچ یک از اعداد a_j کمتر از V باشد، لذا یک دسته شرایط به دست می آید:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 a_{11} + p_2 a_{21} + \dots + p_m a_{m1} \geq v \\ p_1 a_{12} + p_2 a_{22} + \dots + p_m a_{m2} \geq v \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \right. \quad (19-7)$$

$$p_1 a_{1n} + p_2 a_{2n} + \dots + p_m a_{mn} \geq v$$

نا مساوی های (۷-۱۹) را بر مقدار مثبت V تقسیم کرده و مجهول کمکی زیر را معرفی می کنیم.

$$p_1/v = \varepsilon_1 \qquad p_2/v = \varepsilon_2 \dots \qquad p_m/v = \varepsilon_m$$

در این صورت روابط (۷-۱۹) به (۷-۲۰) تبدیل خواهد شد.

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}\varepsilon_1 + a_{21}\varepsilon_2 + \dots + a_{m1}\varepsilon_m \geq 1 \\ a_{12}\varepsilon_1 + a_{22}\varepsilon_2 + \dots + a_{m2}\varepsilon_m \geq 1 \\ \dots \\ a_{1n}\varepsilon_1 + a_{2n}\varepsilon_2 + \dots + a_{mn}\varepsilon_m \geq 1 \end{array} \right. \quad (۷-۲۰)$$

که در آن ε_1 و ε_2 و ... و ε_m اعداد غیر منفی هستند. از آنجا که $P_1 + P_2 + \dots + P_m = 1$ داریم .

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_m = \frac{1}{v} \quad (۷-۲۱)$$

بازیکن سطر می خواهد پرداخت v را حد امکان بزرگتر سازد. پس سمت راست تساوی (۷-۲۱) باید کمینه گردد. بنابراین مسئله و یافتن حل بازی به مسئله ریاضی تقلیل می یابد. متغیرهای غیر منفی ε_1 تا ε_m را که شروط (۷-۲۰) را بر آورده می سازد به ترتیبی بیابید که مجموع آنها $\varphi = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_m$ کمینه باشد .

روش مشتق گیری در مورد این مسئله بی فایده است زیرا تابع φ که باید کمینه گردد یک تابع خطی است که مشتق آن بر حسب تمام آرگومان ها مساوی یک خواهد بود یعنی هیچ جا صفر نمی شود. نتیجتا بیشینه

تابع جایی بر روی مرز دامنه آرگومان حاصل می شود که با شرط غیر منفی بودن آرگومان و شرایط (۷-۲۰) تعیین شده است.

برای حل چنین مسائلی که در عمل نسبتاً به وفور رخ می دهند فنون برنامه ریزی، خطی خاصی بسط یافته است [۲۵ و ۲۶]، یک مسئله برنامه ریزی خطی بدین شکل بیان می شود. یک دستگاه معادلات خطی داریم

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}\varepsilon_1 + a_{21}\varepsilon_2 + \dots + a_{m1}\varepsilon_m = b_1 \\ a_{12}\varepsilon_1 + a_{22}\varepsilon_2 + \dots + a_{m2}\varepsilon_m = b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{1n}\varepsilon_1 + a_{2n}\varepsilon_2 + \dots + a_{mn}\varepsilon_m = b_n \end{array} \right. \quad (۲۲-۷)$$

مقادیری غیر منفی برای ε_1 و ε_2 و ... ε_m بیابید که شرایط (۲۲-۷) را برآورده ساخته و درعین حال تابع خطی

$$\varphi = c_1\varepsilon_1 + c_2\varepsilon_2 + \dots + c_m\varepsilon_m$$

همگی (فرم خطی) زیرا از متغیرهای ε_1 و ε_2 و ... ε_m را کمینه سازند.

به راحتی می توان دید که آن مسئله نظریه بازی که قبلاً ارائه شد حالت خاصی از مسئله برنامه ریزی خطی با $C_1=C_2=\dots=C_m=1$ است. و به راحتی می توان با وارد کردن متغیرهای غیر منفی ساختگی Z_1 و Z_2 و ... Z_n از دست علامت نا مساوی روابط (۲۰-۷) خلاص شد. و آنها را به فرم (۲۳-۷) نوشت.

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{11}\varepsilon_1 + a_{21}\varepsilon_2 + \dots + a_{m1}\varepsilon_m - z_1 = 1 \\ a_{12}\varepsilon_1 + a_{22}\varepsilon_2 + \dots + a_{m2}\varepsilon_m - z_2 = 1 \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \right. \quad (۲۳-۷)$$

$$a_{1n}\varepsilon_1 + a_{2n}\varepsilon_2 + \dots + a_{mn}\varepsilon_m - z_2 = 1$$

فرم خطی φ که باید کمین گردد برابر است با :

$$\varphi = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_m \quad (۲۴-۷)$$

B

مثال چهار: حل بازی 3×3 با ماتریس زیر را بیابید .

A	B ₁	B ₂	B ₃
A ₁	7	2	9
A ₂	2	9	0
A ₃	9	0	11

شکل (۸-۷)

برای حل بازی داریم

$$\begin{cases} 7\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + 9\varepsilon_3 \geq 1 \\ 2\varepsilon_1 + 9\varepsilon_2 + 0 \geq 1 \\ 9\varepsilon_1 + 0 + 11\varepsilon_3 \geq 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{p_3}{v}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{p_2}{v}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{p_1}{v}$$

با وارد کردن متغیرهای ساختگی Z_3, Z_2, Z_1 داریم :

$$\begin{cases} 7\varepsilon_1 + 2\varepsilon_2 + 9\varepsilon_3 - Z_1 = 1 \\ 2\varepsilon_1 + 9\varepsilon_2 + 0 - Z_2 = 1 \end{cases}$$

$$9\varepsilon_1 + 0 + 11\varepsilon_3 - Z_3 = 1$$

فرم خطی φ عبارت است از

$$\varphi = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

اگر هر یک از سه استراتژی ستون مفید باشند آنگاه هر سه متغیر ساختگی Z_1 و Z_2 و Z_3 صفر خواهند بود. برای کنترل مسئله می کوشیم فرم خطی φ را بر حسب Z_1 و Z_2 و Z_3 بیان کنیم و ببینیم آیا با صفر کردن آنها کمینه فرم خطی را می توان به دست آورد یا نه:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{1}{20} - \frac{99}{80} z_1 + \frac{11}{40} z_2 + \frac{81}{80} z_3 \\ \varepsilon_2 = \frac{1}{10} + \frac{11}{40} z_1 + \frac{1}{20} z_2 - \frac{9}{40} z_3 \\ \varepsilon_3 = \frac{1}{20} + \frac{81}{80} z_1 - \frac{9}{40} z_2 - \frac{59}{80} z_3 \end{cases}$$

9

$$\varphi = \frac{1}{5} + \frac{1}{20} z_1 + \frac{1}{10} z_2 + \frac{1}{20} z_3$$

در عبارت φ بر حسب Z همه ضرایب Z ها مثبت است این بدان معنی است که هر افزایشی در Z_1 و Z_2 و Z_3 در بالای مقدار صفر تنها به افزایش مقدار فرم φ خواهد انجامید.

لذا در نتیجه مقادیر Z_1 و Z_2 و Z_3 ای که فرم φ را کمینه می سازند عبارتند از $z_1 = z_2 = z_3 = 0$ با جایگزینی در φ داریم:

$$\varphi = \frac{1}{v} = \frac{1}{5}$$

که ارزش را $v = 5$ به دست می دهد. و همچنین داریم:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{20}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{10}$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{20}$$

$$p_2 = p_3 = \frac{1}{4}$$

لذا داریم:

$$S_A^* = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

با استدلال مشابه برای B داریم:

$$S_B^* = \begin{pmatrix} B_1 & B_2 & B_3 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

۷-۶- روش های حل بازی های نامحدود:

بازی نامحدود^۱ یک بازی است که در آن دست کم یکی از طرف ها دارای مجموعه ای نامتناهی از استراتژی هاست. روش های کلی چنین بازی هایی هنوز چندان پیشرفت نکرده است اما برخی موارد خاصی که حلشان نسبتا ساده است شاید در عمل مورد علاقه باشند. لذا در این قسمت به صورت مختصر به حل آنها اشاره می کنیم. یک بازی میان دو حریف A و B را در نظر بگیرید که هر یک از آنها دارای مجموعه ای نامتناهی از استراتژی ها هستند. در این حالت بازی به جای آنکه با ماتریس داده شود به وسیله نوعی تابع که دارای آرگومان پیوسته است تعریف می گردد، که آن را تابع امتیاز^۲ می خوانیم.

تجزیه و تحلیل یک تابع امتیاز $a(x, y)$ مشابه تحلیل ماتریس پرداخت ها صورت می گیرد. نخست باید ارزش پایینی بازی α را یافت بدین منظور به ازای هر x کمینه مقدار تابع $a(x, y)$ را برای تمامی y ها می یابیم.

$$\min_y a(x, y) \quad (۲۵-۷)$$

سپس به جستجوی بیشینه مقادیر برای تمامی x ها (بیشکمینه) بر می آییم:

$$\alpha = \max_x \min_y a(x, y) \quad (۲۶-۷)$$

ارزش بالایی بازی (بیشکمینه) نیز به شیوه مشابهی تعیین می شود.

$$\beta = \min_y \max_x a(x, y) \quad (۲۷-۷)$$

اگر $\alpha = \beta$ باشد آنگاه سطح $a(x, y)$ دارای نقطه زینی است.

وجود نقطه زینی بدان معنی است که بازی نامحدود مورد بحث دارای حلی در طیف استراتژی های خالص است. در حالت کلی وقتی $\alpha = \beta$ است بازی دارای یک حل در طیف استراتژی های مرکب است. استراتژی مرکب برای بازی های نامحدود نوعی توزیع احتمال برای استراتژی های X و Y که به

1-In Finite game صورت متغیرهای تصادفی قلمداد می شوند است. ممکن است این توزیع احتمال، پیوسته

چگالی های $f_{1(x)}$ و $f_{2(x)}$ تعیین شوند یا ممکن است گسسته باشد که در این حالت استراتژی های بهینه متشکل از مجموعه ای از استراتژی های خالصی است که بر اساس احتمالات غیر صفر تعیین شده اند [۲۵] .

مثال: هر یک از بازیکن A و B دارای مجموعه ای شمارش ناپذیری از استراتژی های ممکن X و Y هستند که در همسایگی بسته صفر و یک محدود می باشند تابع امتیاز به صورت زیر است:

$$a(x, y) = (x - y)^2$$

حل بازی را بیابید.

سطح $a(x, y)$ یک استوانه سهمی گون است که نقطه زینی ندارد.

برای ارزش پایینی، آشکار است که به ازای تمامی مقادیر X داریم:

$$\min_y a(x, y) = 0$$

لذا

$$\alpha = \max_x \min_y a(x, y) = 0$$

برای تعیین ارزش بالایی بازی با ثابت فرض کردن Y مقدار زیر را به دست می آوریم:

$$\max_x (x - y)^2$$

در این مورد بیشینه فوق همواره روی مرز همسایگی ($x=0$ یا $x=1$) رخ می دهد یعنی برابر با مقدار بزرگتر از میان دو مقدار y^2 و $(1-y)^2$ است. اگر نمودار این دو تابع را رسم کنیم در شکل (۷-۹) مقدار

کمینه آن در $y = \frac{1}{2}$ رخ می دهد که برابر با $\frac{1}{4}$ است. لذا ارزش بالای بازی $\beta = \frac{1}{4}$ است

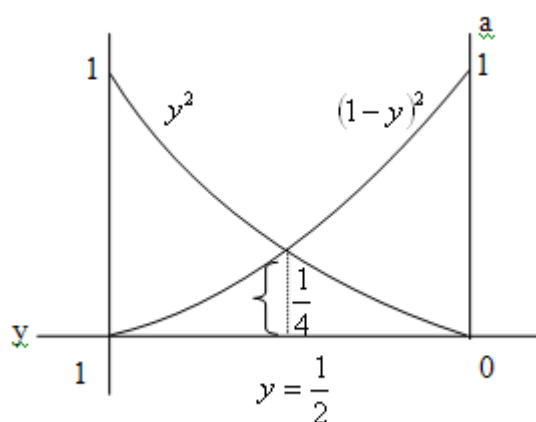
. در این مثال ارزش بالایی بازی با ارزش یکی است در واقع بازیکن A می تواند استراتژی مرکب

$S_A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$ را به اجرا گذارد که در آن دو مقدار $x=0$ و $x=1$ با فراوانی یکسان اجرا می شوند.

چون ارزش بازی v با ارزش بالایی بازی (β) برابر است استراتژی بهینه بازیکن B همواره استراتژی

کمبیشینه او خواهد بود که ارزش بالایی بازی را برای وی تضمین می کند. و در مثال حاضر این استراتژی

است. $y_0 = \frac{1}{2}$



شکل (۷-۹)

۷-۷- روش های تقریبی حل بازی ها:

در مسائل عملی اغلب نیاز به یافتن حل دقیق بازی نیست و پیدا کردن یک حل تقریبی که پرداخت

متوسطی نزدیک به ارزش بازی را حاصل نماید کفایت تخمین تقریبی v ارزش بازی را می توان از تحلیل

ساده ماتریس و تعیین ارزش پایینی (α) و ارزش بالایی (β) به دست آورد. مقادیر α و β به هم نزدیک

باشند عملاً نیازی به جستجوی حل دقیق بازی نیست و کافی است که همان استراتژی های خالص کمبیشینه را انتخاب کرد. اما هنگامی که α و β به هم نزدیک نباشند یافتن یک حل عملی با استفاده از روشهای عددی حل بازی ها امکان پذیر است. این روش ها به روش های تکرار معروف هستند. اندیشه که در ورای این روش وجود دارد چنین است که طی آن دو حریف A و B استراتژی ها خویش را در برابر یکدیگر عملی می سازند. در هر هنگام از روش تکراری، هر بازیکن به هر حرکت بازیکن دیگر با یک استراتژی پاسخ می گوید که با توجه به تمامی حرکت های قبلی اش که می توان آنها را بصورت نوعی استراتژی مرکب تلقی کرد که در آن استراتژی های خالص به نسبتی حضور دارند که متناظر با فراوانی اجرای آنهاست، بهینه می باشد [۲۵ و ۲۹ و ۳۰].

چنین روشی نمایانگر یک مدل آموزش تجربی است که طی آن از طریق تجربه نحوه رفتار حریفش را به آزمون می گذارد و می کوشد تا به شیوه ای به آن نحوه رفتار پاسخ گوید که برای خودش ثمر بخش باشد. اگر این شبیه سازی فرآیند آموزشی برای مدت به کافی طولانی ادامه یابد آنگاه پرداخت متوسط در یک جفت حرکت به سمت ارزش بازی خواهد گرایید و فراوانی های استراتژی های بازیکنان در یک آزمایش به نسبت آنها عملی می شوند به فراوانی های تعیین کننده استراتژی های بهینه نزدیک می شوند. محاسبات نشان می دهد که این روش بسیار آهسته به نتیجه می رسد ولی این برای کامپیوترهای فوق العاده سریع مانعی به حساب نمی آید.

۷-۸- حل مسائل بهینه سازی چند هدفه با استفاده از الگوریتم های شبه پویا

براساس تئوری بازی ها:

در تئوری بازی ها دیدیم که هدف از حل بازی یافتن یک استراتژی بهینه (نقطه زینی) یا به کار بستن مجموعه ای استراتژی های مفید با فراوانی های معین است. این نقطه زینی همان چیزی است که در مسائل واقعی از آن تحت عنوان تعادل نش یاد می گردد [۲۶].

تعرف تعادل نش: تعادل نش یا تعادل استراتژیک عبارت است از مجموعه ای از استراتژی های مفید برای هر بازیکن که در صورت عدم پایبندی وی به آن ها ، بازیکن متضرر می گردد.

در بسیاری از مسائل دنیای واقعی ما با دو خواسته متناقض روبرو هستیم که یافتن یک راه حل برای آنها ما را بسوی نظریه بازی ها رهنمون می سازد. مثلا در ساخت یک سازه بتنی به صورت همزمان درخواستی متناقض بیشینه کیفیت (خواسته اول) و کمترین هزینه (خواسته دوم) دنبال می گردند.

هنگام حل مسائل بهینه سازی چند هدفه (Mop_s)^۱ با استفاده از الگوریتم های پویا یکی از مهمترین روش های مطرح، روش الگوریتم ژنتیک پرتو است که پس از ابداع ، بسیار توسعه یافته و به مسائل مختلفی اعمال شده است [۳۱ و ۲۹] .

روش های مختلف بهبود یافته دیگر بر پایه و اساس این روش استوار بوده و در نهایت سطح بهینه را دنبال می کنند. که از این میان می توان به موارد ذیل اشاره کرد [۳۱ و ۳۲ و ۳۳ و ۳۴] .

NPGA: The niched Pareto genetic algorithm

RAND : A random search algorithm

FFGA : fonseca and Flemings multiojective EA.

HLGA : Hajela and lins weighted-sum based approach

VEGA : The uector evaluated genetic algorithm

NSGA : The nondominated sorting genetic algorithm

SOEA : A single-objective evolutionary algorithm using weighted-sum aggregation.

¹ - Multiobjective optimization problems

از دیگر راه حل های ارائه شده جهت حل اینگونه مسائل که تا حدودی متفاوت با روش های مذکور ارائه گردید روش الگوریتم ژنتیک نش است، پس از ارائه مفاهیم تعادل نش نظریه پردازان تئوری بازی ها به سمت فرموله کردن تعادل پویا حرکت کردند. الگوریتم ژنتیک نش یک پروسه مرکب از الگوریتم ژنتیک و مفاهیم تعادل نش با هدف یافتن تعادل نش از طریق الگوریتم ژنتیک است.

در مجموع در الگوریتم های پویای مبتنی بر تئوری بازی ها یک مجموعه از طرف های بازی و جمعیت متشکل از استراتژی های مختلف به سمت استراتژی های پایدار پویا^۲ حرکت می کنند.

مسائل بهینه سازی چند هدفه در دنیای واقعی بسیار مورد توجه می باشند هنگام حل اینگونه مسائل به این نتیجه می رسیم که یک حل واحد و منحصر به فرد برای بهینه سازی چند هدفه وجود ندارد و بنابر اهمیت توابعی که مورد بررسی قرار می گیرند نقاط بهینه مختلفی به دست می آیند ه به طور کلی بر یک دیگر برتری نداشته و در اصطلاح تئوری بازی ها نمی توان از آنها به عنوان استراتژی های مغلوب با سوخت شده یاد کرد و آنها را کنار گذاشت. این مجموعه نقاط به طور کلی تحت عنوان راه حل های بهینه پرتو شناخته می شوند^۳.
[۳۵ و ۳۶ و ۳۷ و ۳۸]

برای یافتن این سطح بهینه روش های مختلفی وجود دارد که ما از روش Strength Pareto برای یافتن این سطح واز روش Min-max Strategy جهت رعایت قیود بهره جسته ایم.

همچنین جهت یافتن نقطه تعادل از روش الگوریتم ژنتیک نش (NASH GA) استفاده می کنیم.

قبل از معرفی چگونگی عملکرد روش های مذکور به یک تعریف ریاضی خلاصه از مسائل بهینه سازی چند جانبه می پردازیم.

^۲ - evolutionary stable strategy

^۳ - pareto optimal solutions

مسائل بهینه سازی چند هدف در حالت کلی از n متغیر تصمیم گیری مستقل مجموعه k تا تابع هدف و مجموعه m قید تشکیل شده است که توابع هدف و قیود خود تابعی از متغیرهای مستقل می باشند. فرض کنید هدف کمینه کردن بردار توابع هدف (y) باشد [۳۹].

Minimize :

$$g = f(x) = (f_1(x), \dots, f_i(x), \dots, f_k(x))$$

بطوریکه

$$e(x) = (e_1(x), \dots, e_j(x), \dots, e_m(x)) \leq 0$$

در حالی که

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$$

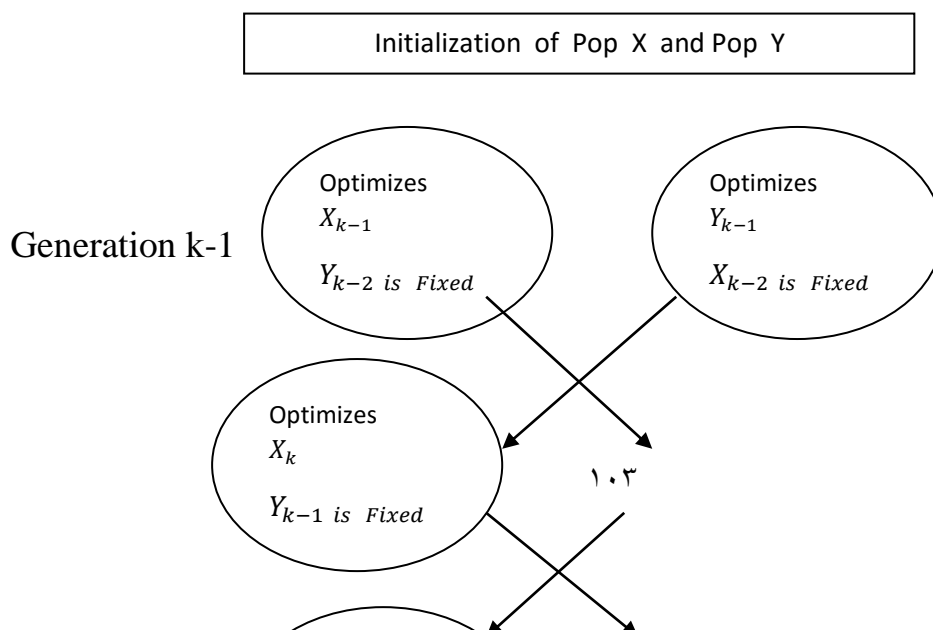
$$y = (y_1, y_2, \dots, y_k) \in Y$$

۷-۸-۱- روش الگوریتم ژنتیک نش:

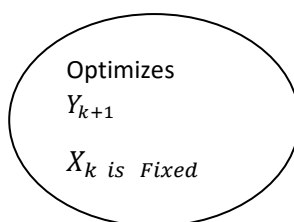
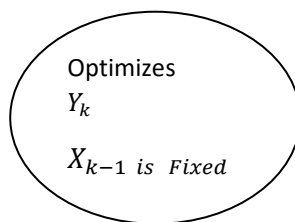
شکل (۷ - ۱۰) را در نظر بگیرید. فرض کنیم $S=XY$ فضای حل ممکن برای دو بازیکن ۱ و ۲ را به نمایش می گذارد. بازیکن ۱ عمل بهینه سازی را رو جمعیت X و بازیکن ۲ این کار را روی جمعیت Y به نمایش می گذارد. به این ترتیب که بازیکن اول یک بار جمعیت X را فرض ثابت بودن Y باز تولید و بهینه می نماید و به صورت همزمان بازیکن ۲ نیز جمعیت Y را با فرض ثابت بودن X باز تولید و بهینه می نماید.

Player1=Pop X

Player1=Pop X



Generation k



Generation k+1

شکل (۷ - ۱۰)

اگر فرض کنیم X_{k-1} بهترین مقدار یافت شده برای بازیکن ۱ در مرحله $K-1$ و Y_{k-1} بهترین مقدار یافت شده برای بازیکن ۲ در مرحله $K-1$ باشد.

در مرحله K ام بازیکن ۱، X_K را با استفاده از Y_{k-1} و بازیکن Y_k را با استفاده از X_{k-1} بهینه می کند. سپس بازیکن ۱ بهترین مقدار X_K را برای بازیکن ۲ و بازیکن ۲ بهترین مقدار Y_k را برای بازیکن ۱ جهت بهینه سازی در مرحله $K+1$ ارسال میکند.

تعالی نش زمانی به دست می آید که هیچ یک از دو بازیکن ۱ و ۲ قادر به بهینه سازی بیشتر در معیارهای خود نباشند [۴۰ و ۴۱].

مثال: فرض کنیم هدف بهینه سازی همزمان دو تابع زیر است.

$$f_1 = (x - 1)^2 + (x - y)^2$$

$$f_2 = (y - 3)^2 + (x - y)^2$$

بر اساس روش گرادیان مقدار بهینه توابع فوق در نقطه

$$x = 1.66 \quad f_1 = 0.88$$

$$y = 2.33 \quad f_2 = 0.88$$

به دست می آید. نتایج حاصل از روش NSGA به صورت زیر است:

f2	f1	y	x
----	----	---	---

3,3831	0,0046	1,1713	0,9453
2,0348	0,0147	1,7202	1,0903
1,2494	0,4078	2,3101	1,4448
1,2130	0,8740	2,1797	1,5662
1,0285	0,8587	2,2669	1,6391
0,9262	0,8025	2,3101	1,6391
0,9262	0,8587	2,3101	1,6391
0,9262	0,8587	2,3101	1,6391
0,9128	0,8582	2,3101	1,6492
0,9128	0,8582	2,3101	1,6546
0,9057	0,8582	2,3101	1,6546
0,9051	0,8582	2,3326	1,6546
0,8931	0,8789	2,3326	1,6635
0,8931	0,8879	2,3326	1,6635
0,8931	0,8879	2,3326	1,6635
0,8931	0,8879	2,3326	1,6635
0,8931	0,8879	2,3326	1,6635

۷-۸-۲- روش Strength pareto

قبل از معرفی این روش بهتر است به تعریف مفاهیم غالب و غلبه و مغلوب در تئوری بازی ها بپردازیم:

پس از بهینه سازی مسائل چند هدف به یک مجموعه از راه حل خواهیم رسید.

یک مجموعه راه حل برای مسئله بهینه سازی چند هدفه متشکل از بردارهای تصمیمی است که به ازای آن ها، بردارهای هدف در هیچ جهتی بهبود نیافته مگر با خراب تر شدن در جهات دیگر، این بردارهای تصمیم گیری به عنوان حل ها **pareto optimal set** و بردارهای هدف معادل تحت عنوان **pareto optimal front** شناخته می شوند.

بدون از دست دادن کلیت مسئله، حداکثر سازی را با دو برابر تصمیم در نظر می گیریم. $(a, b \in X)$ گوئیم بردار **a** بردار **b** را مغلوب می سازد. (می نویسیم $a > b$) اگر

$$\forall_i \in \{1, 2, \dots, n\}: f_i(a) \geq f_i(b)$$
$$\exists_j \in \{1, 2, \dots, n\}: f_j(a) > f_j(b)$$

و گوئیم بردار **b** را می پوشاند اگر

$$f(a) = f(b)$$

بردارهای تصمیمی که در سرتاسر فضای مورد بررسی مغلوب نمی گردند را **pareto optimal** خوانده و به اصطلاح **pareto optimal set** و بردارهای هدف معادل تحت عنوان **pareto optimal front** گوئیم.

برای پیدا کردن این سطح بهینه، از یک روش مرکب، متشکل از الگوریتم ژنتیک و مفاهیم تئوری بازی ها تحت عنوان **The Strength pareto approach** استفاده می کنیم مراحل اجرای آن به صورت زیر است.

۱- برای متغیرهای تصمیم جمعیت N تایی p را ایجاد می کنیم که در اولین گام به صورت تصادفی و در محدوده تغییرات، متغیرهای تصمیم ایجاد می شوند. همچنین یک مجموعه N تایی P' خالی مربوطه به بردارهای تصمیم غالب در نظر می گیریم.

۲- بردارهای تصمیم غالب P' را با توجه به آنچه در مورد مفاهیم غلبه و غالب گفته شد و در P' کپی می کنیم.

۳- بردارهایی از P' که توسط دیگر بردارها پوشش می یابند یا مغلوب می گردند را حذف می کنیم.

۴- اگر تعداد بردارهای P' از حداکثر مقدار یعنی N' تجاوز کرد P' را با استفاده از تکنیک های دسته بندی اصلاح می کنیم.

۵- مقدار برازندگی هر یک از بردارهای p و P' را محاسبه می کنیم.

۶- از مجموع $P' + P$ بردارهایی را برای جفت گیری و تولید مثل انتخاب ، انتخاب می کنیم تا mating pool پر شود. در اینجا می توان از معیارهای مختلف انتخاب نظیر tournament با جایگزینی و نمایش های مختلف نظیر binary استفاده کرد.

۷- اپراتورهای crossover و mutation از الگوریتم ژنتیک را اعمال می کنیم.

۸- اگر به حداکثر مقدار تکرار رسیده ایم الگوریتم را متوقف می سازیم و گرنه به مرحله ۲ باز می گردیم.

۷-۸-۲-۱- چگونگی تخصیص برازندگی :

این کار شامل دو مرحله است.

ابتدا رشته های P' رنگ بندی می شوند سپس رشته های p مورد ارزیابی قرار می گیرند.

مرحله (۱) به هر رشته i (بردار) i متعلق به P' یک مقدار حقیقی S_i در محدوده $0 \leq S_i < 1$ است تخصیص می یابد که این مقدار strength نامیده می شود. S_i متناسب با تعداد اعضای l عضو p است که i آنها را

مغلوب می سازد. گر n تعداد عضوهایی از p باشد که i آنها را می پوشاند یا مغلوب می سازد و N تعداد کل اعضای باشد آنگاه

$$S_i = \frac{n}{N+1}$$

و مقدار برازندگی i یعنی f_i برابر S_i است.

$$f_i = S_i$$

مرحله ۲) مقدار برازندگی یک رشته z عضو p برابر با مجموع برازندگی های اعضای P' است که z را می پوشاند بعلاوه ۱، مقدار ۱ به این دلیل اضافه می شود که مطمئن شویم اعضای P' ، s_i بهتری دارند.

$$f_i = 1 + \sum_{i, i \neq j} s_i \quad \text{where } f_i \in [1, N)$$

نکته قابل توجه اینکه هدف ما مینیمم سازی است و هرچه مقدار f_i رشته ای بهتر باشد احتمال شرکت آن در تولید مثل ها بیشتر است [۴۲ و ۴۳ و ۴۴].

کلاسه بندی:

در بعضی مسائل مجموعه *pareto optimal* می تواند به شدت بزرگ باشد یا گاهی اوقات این مقادیر به نهایت باشد. و از اجام سائز مجموعه P' بر روند عملکرد الگوریتم تاثیر می گذارد لذا کاهش مقادیر این مجموعه لازم و گاهی اوقات اجتناب ناپذیر است دست یابی به این هدف توسط کلاسه بندی انجام می گیرد. به طور کلی کلاسه بندی، یک مجموعه m تایی را به n گروه تقریباً یکنواخت تقسیم بندی می کند که $n > m$ است. در اینجا از روشی تحت عنوان مدل میانگین *average linkage method* استفاده می گردد. به این ترتیب که:

مرحله ۱) مقدار الیه دهی به مجموعه کلاسه بندی شده C :

هر نقطه i متعلق به مجموعه خارجی P' یک کلاس جدا را تشکیل می دهد.

$$c = U_i \{ \{x\} \}$$

مرحله ۲) اگر $|C| \leq N'$ آنگاه به مرحله S برو و گونه برو به مرحله ۳

مرحله ۳) فاصله میانی هر جفت ممکن در کلاسه ها را محاسبه می کنیم فاصله d از دو کلاس $C_1 C_2 (C_1 C_2 cl)$ برابر با مقدار میانگین بین جفت های نقاط بین دو کلاس است

$$d = \frac{1}{|C_1| |C_2|} \sum_{i_1 \in C_1} \|i_1 - i_2\|$$

فاصله بین نمونه رت به صورت اقلیدسی بر می گرداند.

مرحله ۴) دو کلاس $C_1 C_2$ را با حداقل فاصله d تعیین می کنیم و این دو کلاس برای یک مجموعه بزرگتر C ادغام می کنیم و به مرحله ۲ بر می گردیم.

$$C = C \setminus \{C_1 C_2\} \cup (C_1 \cup C_2)$$

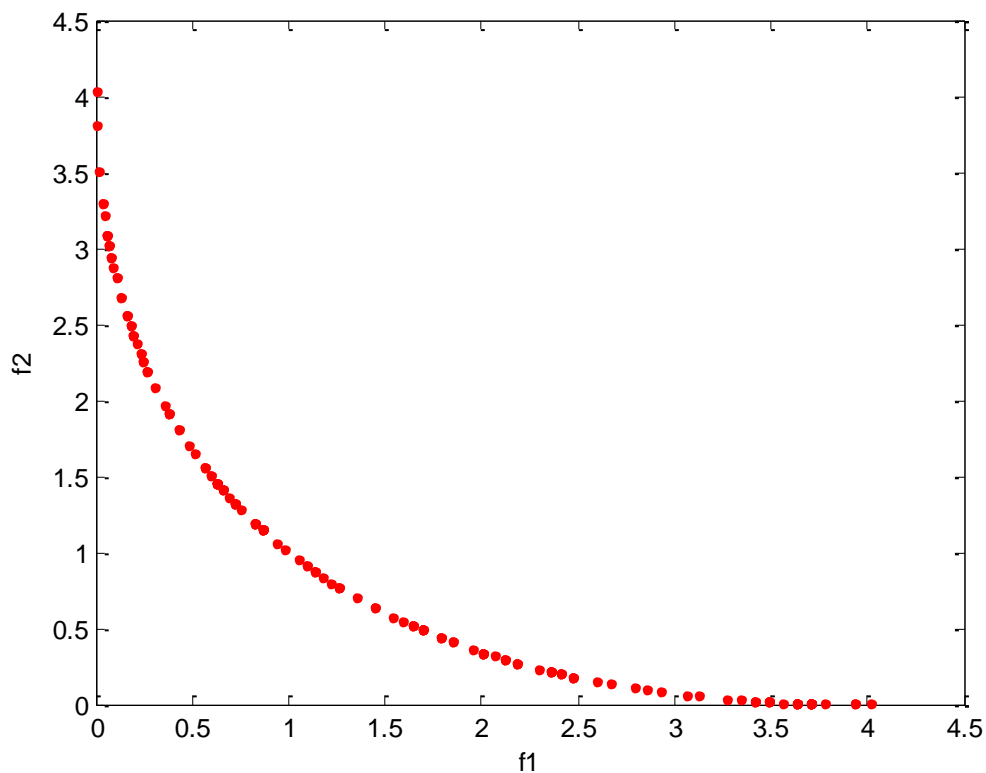
مرحله ۵) مجموعه غالب کاهش یافته را انتخاب رشته ها جدید در کلاسه بندی انجام شده محاسبه کنید. رشته جدید در واقع مرکز ثقل رشته های موجود در کلاس ها هستند [۴۵ و ۴۶].

مثال: فرض کنیم هدف بهینه سازی همزمان دو تابع زیر است.

$$f_1 = x^2$$

$$f_2 = (x - 2)^2$$

می دانیم دو تابع فوق دارای سطح مصالحه ای در بازه 0 تا 2 می باشند. زیرا خارج از این بازه هر دو تابع در حال افزایش یا کاهش همزمان می باشند. لذا هر نقطه خارج این بازه نسبت به نقاط درون بازه مغلوب می باشند. شکل (۷-۱۱) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی همزمان دو تابع فوق را نشان می دهد.



شکل (۷-۱۱) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی همزمان f_1 و f_2 به روش SPareto

۷-۸-۳- روش Min-max strategy:

در بیشتر روش های مطرح شده در الگوریتم های پویا مسئله قیود مورد توجه چندانی قرار نگرفته اند در حالی که تقریباً در تمامی مسائل دنیای واقعی بهینه سازی ها همواره با رعایت قیودی الزامی همراه است. لذا مسئله برخورد با قیود بسیار مهم است روش Min-max یک راه برخورد با قیود و رعایت آنها ضمن بهینه سازی است .

در این روش جمعیت به وجود آمده توسط الگوریتم بردارهای $feasible$ و $nonfeasible$ است که بردارهای $feasible$ به جهت بهینه شدن و بردارهای $nonfeasible$ برای قرار گرفتن در فضای $feasible$ توسط یک تابع تکامل بر اساس $min-max$ formulation استخراج می گردند.

روند الگوریتم به صورت زیر است.

۱- دو بردار به صورت رندم انتخاب می گردند.

۲- دو بردار با عملکرد عملگرهای crossover و mutuiion بر روی بردارهای انتخاب شده (والدین) ایجاد می گردند.

۳- فرزندان جدید در جمعیت قرار می گیرند.

قبل ورود به جزئیات قرارگیری فرزندان در جمعیت تعاریف زیر ارائه می گردند.

Fj : بردار مقدار توابع هدف برای بردارهای J ام

$$f_j = (f^j, f_j, f_n) \quad J = 1, \dots, N$$

N اندازه جمعیت است.

F مجموعه بردارهای قابل قبول در جمعیت است.

Fmax بردار مقادیر حداکثر توابع هدف برای بردارهای مجموعه F

$$f_{\max} = (f_i^{\max}, f_i^{\max}, \dots, f_n^{\max})$$

where $f_i = \max\{f_i^j\}$

Fmin : برداری مقادیر حداقل توابع هدف برای بردارهای مجموعه F

$$f_{\min} = (f_i^{\min}, f_i^{\min}, \dots, f_n^{\min})$$

where $f_i = \min\{f_i^j\}$

$$h_j = (h_1^j, \dots, h_n^j)$$

where
$$h_i^j = \frac{f_i^{\max} - f_i^j}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}$$

Cin : مجموعه شامل بردارهای z به طوری که

$$\forall i = 1, \dots, n, \quad f_i^{\min} \leq f_i^j \leq f_i^{\max}$$

Cout مجموعه اعضای که به Cin تعلق ندارند.

مجموعه اعضای Cin برای حفظ تنوع در یک لیست D تایی پخش می شوند. $L_{in}^1, \dots, L_{in}^D$

$$D = d^{n-1} \quad \text{and} \quad d = \left[N^{\frac{1}{n-1}} \right]$$

محل قرار گیری یک رشته در این لیست (L_{in}^t در t) از رابطه زیر مشخص می گردد.

$$t = \sum_{i=1}^{n-1} d^{i-1} \left[d \frac{\alpha_i}{\pi / 2} \right]$$

$$\alpha_i = \pi / 2 \quad \text{if} \quad h_i^j = 0$$

$$\alpha_i = \arctan\left(\frac{h_{i+1}^j}{h_i^j}\right) \quad \text{if} \quad h_i^j \neq 0$$

اگر L_{in}^t خالی است، لیست L_{in}^r شامل بیشترین تعداد بردارها را پیدا کرده اگر این مقادیر از ۱ بیشتر بود.

المان آخر L_{in}^r حذف گردیده و بردار داخل L_{in}^r قرار می گیرد.

اگر L_{in}^r خالی نیست، بردار داخل جایگاه مربوط به خود که توسط best function معین می شود قرار می

گیرد و آخرین المان L_{in}^r حذف می گردد.

اگر رشته ای به Cout متعلق باشد توسط best function در Lout قرار می گیرد.

تابع best function به صورت زیر تعریف می گردد.

یک بردار قابل قبول (feasible) از همه بردارهای غیرقابل قبول (unfeasible) بهتر است.

یک بردار غیر قابل قبول اول (unfeasible) از دومی بهتر است اگر حداکثر نقض قیود به ازای اولی $\max\{g_i(x)\}$ از دومی کمتر باشد.

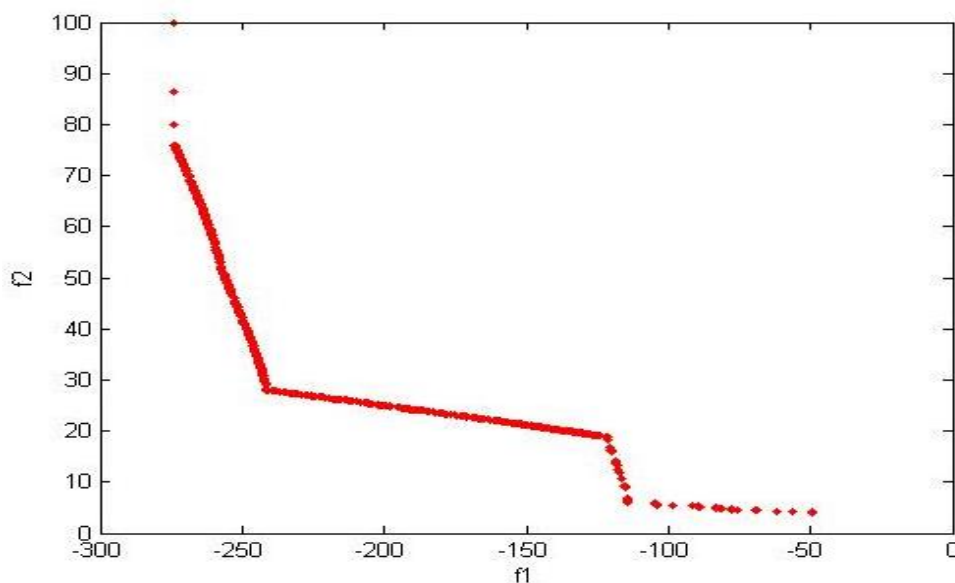
یک بردار قابل قبول (feasible) از بردار قابل قبول دیگر بهتر است اگر اولی دومی را مغلوب نماید
 [۴۷، ۴۸ و ۴۹].

مثال: فرض کنیم هدف بهینه سازی همزمان دو تابع زیر است.

$$OSY : \begin{cases} \text{Min} & f_1(\mathbf{x}) = -(25(x_1 - 2)^2 + (x_2 - 2)^2 \\ & + (x_3 - 1)^2 + (x_4 - 4)^2 + (x_5 - 1)^2) \\ & f_2(\mathbf{x}) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2 \\ \text{s.t. :} & x_1 + x_2 - 2 \geq 0 \\ & 6 - x_1 - x_2 \geq 0 \\ & 2 - x_2 + x_1 \geq 0 \\ & 2 - x_1 + 3x_2 \geq 0 \\ & 4 - (x_3 - 3)^2 - x_4 \geq 0 \\ & (x_5 - 3)^2 + x_6 - 4 \geq 0 \end{cases}$$

with $0 \leq x_1, x_2, x_6 \leq 10, 1 \leq x_3, x_5 \leq 5, \text{ and } 0 \leq x_4 \leq 6$.

شکل (۷-۱۲) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی همزمان دو تابع فوق را نشان می دهد.



شکل (۷-۱۲) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی همزمان f_1 و f_2 به روش min-max

کنترل بهینه بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه براساس مفاهیم تئوری بازی ها

همانگونه که قبلا گفته شد، در صورتی که نیاز به جبران همزمان بار و منبع باشد فیلتر اکتیو سری یا فیلتر اکتیو موازی به تنهایی قادر به جبران همزمان بار و منبع نیستند. در چنین شرایطی، جبران سازی UPQC گزینه خوبی است. یکی از مزایای این روش تثبیت ولتاژ ترمینال بار و تغییرات کمتر جریان بار است، به همین دلیل تغییرات سیگنال کنترلی فیلتر اکتیو موازی نیز دامنه کمتری خواهد داشت.

در این فصل از سیستم OFC جهت کنترل فیلتر اکتیو موازی، استراتژی کنترل ولتاژ سینوسی جهت کنترل فیلتر اکتیو سری در مجموعه UPQC استفاده شده است.

در ضمن در سیستم کنترلی OFC برای بهینه سازی مقدار گین های بانک فیلتر از روش بهینه سازی چند هدف (Multi objective) مبتنی بر مفاهیم تئوری بازیها استفاده شده است که این دو روش عبارتند از:

۱- روش بهینه سازی Strength Pareto

۲- استراتژی Max Min

چگونگی الگوریتم عملکرد این دو روش به تفصیل در فصل هفتم توضیح داده شده است.

در این فصل توابع مختلف کیفیت توان، نظیر ضریب توان، THD، ضریب اعوجاج DF، ضریب K و توان ظاهری فیلترها که توسط دو روش فوق به صورت دو بعدی و سه بعدی بهینه شده اند، توسط نرم افزار Matlab/Simulink شبیه سازی و نتایج حاصل به صورت شکلها و نمودارهای مختلف ارائه می گردند.

اهداف کلی ما در این فصل عبارتند از:

کنترل اکتیو فیلتر سری تحت استراتژی کنترل سینوسی ولتاژبار

بهینه سازی همزمان مشخصه های ضریب توان و THD

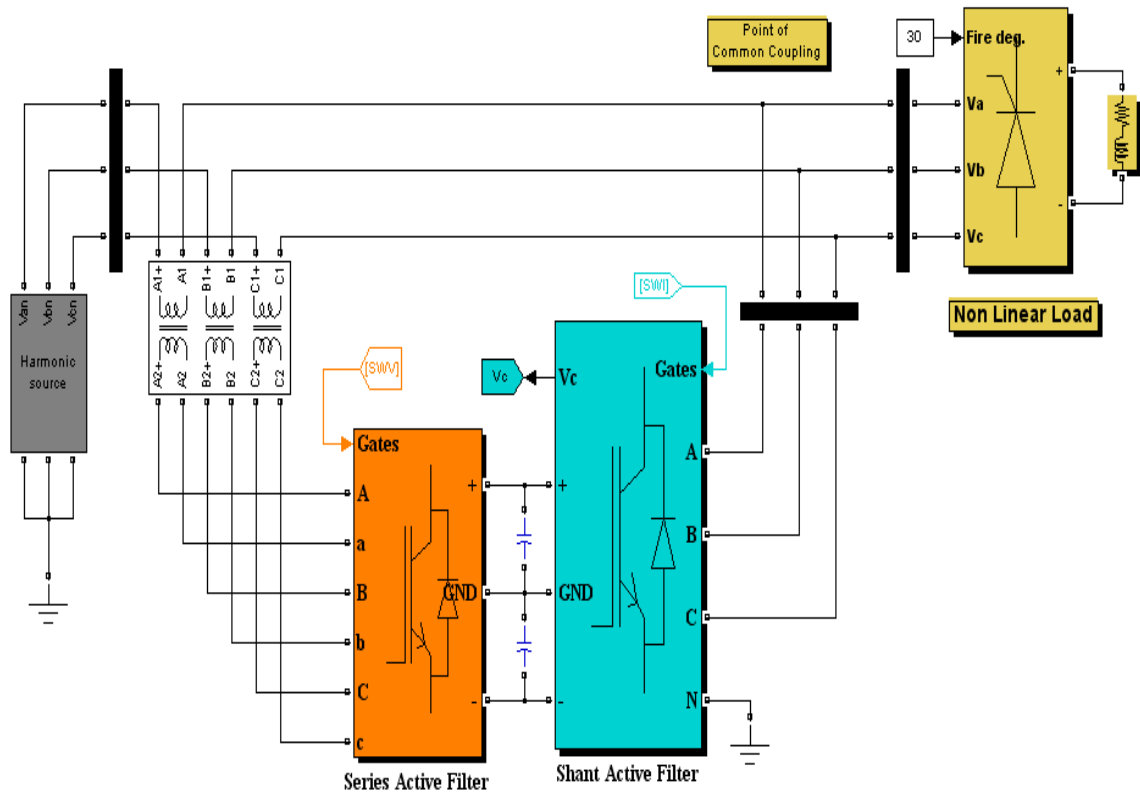
بهینه سازی همزمان مشخصه های ضریب توان و ضریب اعوجاج DF

بهینه سازی همزمان مشخصه های ضریب توان و ضریب اعوجاج K

بهینه سازی همزمان مشخصه های ضریب توان و توان ظاهری اکتیو فیلترها

بهینه سازی همزمان مشخصه های ضریب توان و ضریب اعوجاج K و THD در سه بعد.

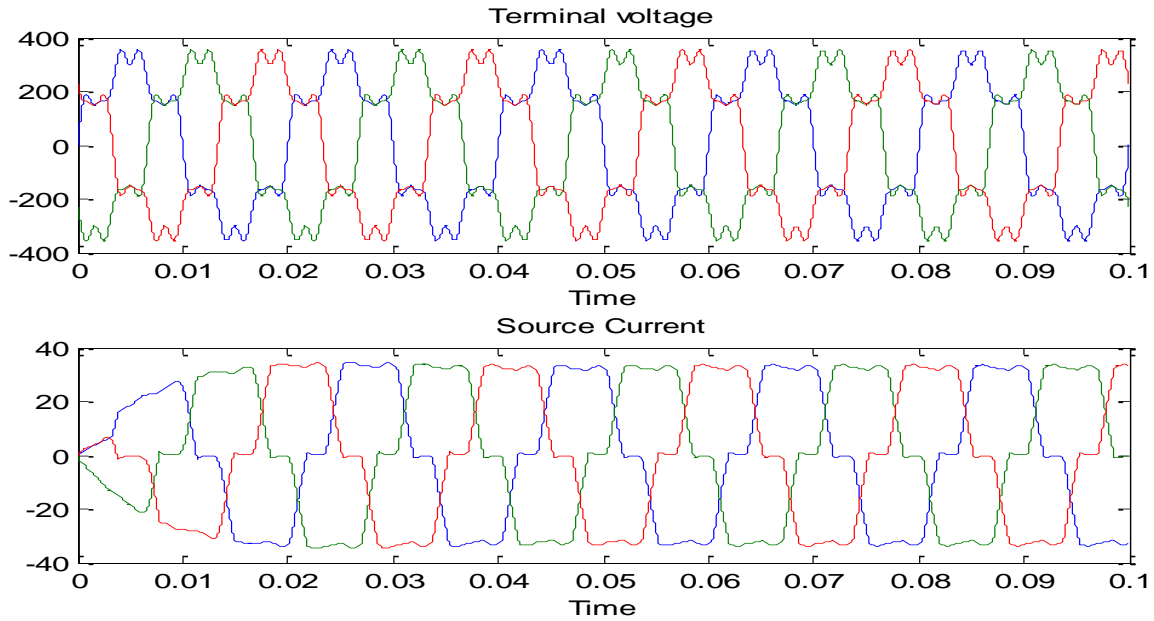
شکل (۸-۱) سیستم قدرتی را نشان می دهد که منبع غیر سینوسی یک بار غیر خطی را تغذیه می کند، می توان یک بار خطی نیز در نقطه اتصال مشترک بارها در نظر گرفت اما فعلا هدف ما نشان دادن چگونگی جبران و بهبود پارامترهای کیفیت توان برای یک بار غیر خطی تحت شرایط غیر سینوسی ولتاژ منبع است.



شکل (۸-۱) سیستم قدرت شامل بار غیر خطی، منبع تغذیه غیر سینوسی

و بهبود دهنده کیفیت توان یک پارچه

از یک UPQC به منظور جبران بار و منبع به صورت همزمان استفاده شده است. شکل (۸-۲) ولتاژ منبع و جریان بار که همان جریان کشیده شده از منبع می باشد را نشان می دهد. همانگونه که از شکل موجها برمی آید ولتاژ منبع و جریان کشیده شده از آن هارمونیک می باشند.



شکل (۲-۸) ولتاژ ترمینال، جریان بار و منبع قبل از جبران

جدول (۱-۸) مشخصات بار شامل توان اکتیو □ راکتیو □ ظاهری و ضریب توان □ ضریب اعوجاج □ ضریب K و THD را قبل از جبران نشان می دهد.

نتایج حاصل از تحلیل فوریه شکل موج ولتاژ منبع به صورت جدول (۲-۸) می باشد.

Active Power	Reactive Power	Apparent Power	PF	THD%	DF	KF
10830	13760	17510	0.6185	18.61%	0.0069	1.942

جدول (۱-۸)

هارمونیک	دامنه
1	311.7012
5	62.5422
7	44.6744
11	28.4328
13	0

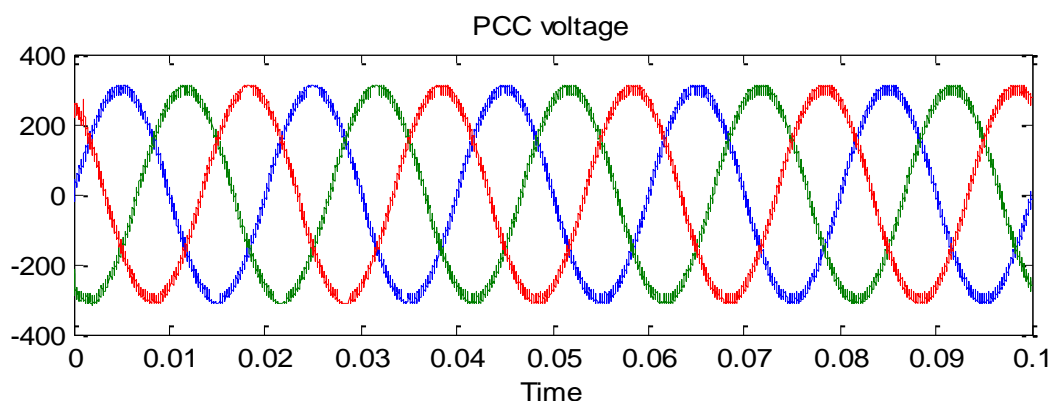
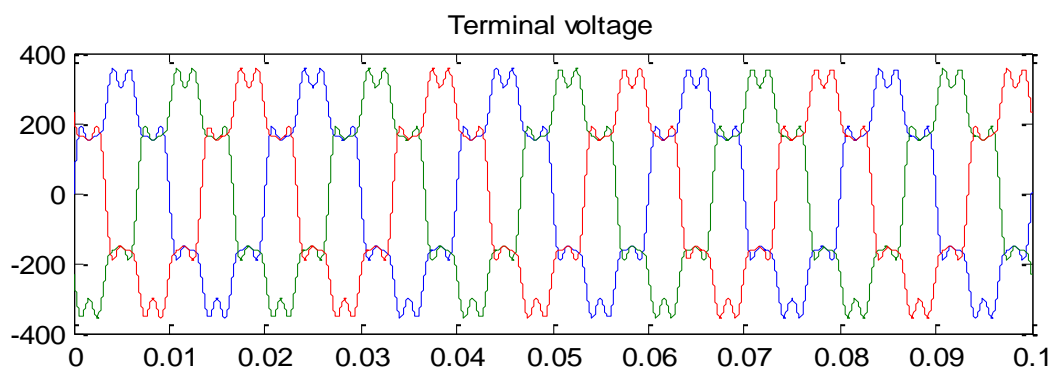
جدول (۲-۸)

۸-۱- فیلتر اکتیو سری و استراتژی کنترل سینوسی ولتاژ منبع:

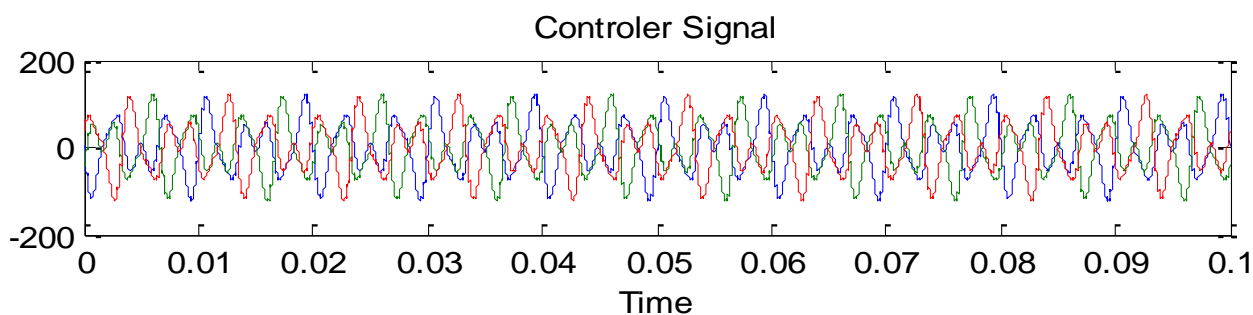
در مجموعه UPQC، وظیفه فیلتر اکتیو سری، حذف هارمونیکهای ولتاژی و متعادل نمودن ولتاژ ترمینال بار است. این وظیفه شامل جبران افت ولتاژهای ناشی از کموتاسیون بار غیر خطی نیز می‌گردد. فیلتر اکتیو سری توسط یک ترانسفورماتور با منبع سری می‌شود. جهت کنترل فیلتر اکتیو سری از استراتژی کنترل ولتاژ سینوسی استفاده می‌شود. در این روش سعی بر این است که مولفه مثبت ولتاژ ترمینال به نقطه اتصال مشترک منتقل گردد و سایر هارمونیک‌ها نیز حذف گردد. سیستم کنترلی فیلتر و مدار تشخیص توالی مثبت قبلاً معرفی گردیده است.

از آنجا که باس DC بین فیلتر اکتیو سری و موازی مشترک است، تثبیت ولتاژ آن و جبران افت ولتاژهای ناشی از تلفات سوئیچینگ بر عهده فیلتر اکتیو موازی نهاده شده است که با استفاده از یک کنترل کننده PI این افت ولتاژ به صورت تلفات به کل توان اکتیو اضافه شده و در نهایت باعث جبران ولتاژ خازنهای باس DC می‌گردد. هدف نهایی آن تثبیت ولتاژ باس DC به مقدار ۷۰۰ ولت است.

شکل (۳-۸) بالا، ولتاژ منبع تغذیه پیش از جبران هارمونیک‌های ولتاژ و شکل (۳-۸) پائین، ولتاژ دو سر بار را پس از فیلتر اکتیو سری نشان می‌دهد. شکل (۴-۸) نیز سیگنال کنترلی ساخته شده توسط مدار کنترلی و سیستم تشخیص توالی مثبت و نشان می‌دهد. همچنین جهت ساخت پالس‌های مورد نیاز فیلتر اکتیو سری از یک کنترل کننده هیسترزیس با باند کنترلی حداکثر ۳ ولت پیک تا پیک استفاده شده است. جدول (۸-۳) مشخصات بار شامل توان اکتیو □ راکتیو □ ظاهری و ضریب توان □ ضریب اعوجاج □ ضریب K و THD را قبل و پس از جبران ولتاژ منبع نشان می‌دهد.



شکل (۳-۸) ولتاژ منبع، ولتاژ دو سر بار



شکل (۴-۸) سیگنال کنترلی فیلتر اکتیو سری

	Active Power	Reactive Power	Apparent Power	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران ولتاژ منبع	10830	13760	17510	0.6185	18.61%	0.0069	1.942
پس از جبران ولتاژ منبع	8723	12370	15130	0.5764	18.14%	0.0066	1.93

جدول (۳-۸)

تا اینجا با استفاده از فیلتر اکتیو سری ولتاژ دو سر بار به صورت یک مجموعه سه فاز سینوسی متعادل برابر با مولفه اصلی ولتاژ منبع تثبیت شده است. اما همان که طور که گفته شد فیلتر اکتیو سری به تنهایی تحت شرایط غیر سینوسی ولتاژ منبع قادر به جبران سازی یک بار غیر خطی نیست، لذا جهت بهبود این شاخص ها از فیلتر اکتیو موازی استفاده می گردد که به همراه فیلتر سری در یک باس DC مشترک تشکیل یک UPQC را خواهند داد.

جهت بهبود این شاخصها می توان توابع یا پارامترها مختلف کیفیت توان را مد نظر قرار داد و از استراتژیهای مختلف بهره جست و در نهایت این استراژی ها را با استفاده از یک روش کنترلی OFC پیاده سازی کرد. به عنوان مثال می توان به استراتژی حداکثر ضریب توان تحت قیود هارمونیک یا استراتژی حداقل اغتشاش که در فصل قبل توضیح داده شد اشاره کرد.

در کلیه روش های قبلی یکی از توابع یا پارامترهای کیفیت توان مثلا ضریب توان به عنوان تابع هدف و دیگر توابع نظیر THD به عنوان قید در نظر گرفته می شود و در نهایت حل مسئله عبارت است از بهینه سازی یک تابع تحت قیود مختلف که می توان از روش های مختلف، گرادیان، الگوریتم ژنتیک و... برای حل آن بهره جست اما در این پایان نامه هدف ما مطرح کردن خود قیود به عنوان تابع هدف و بهینه سازی آنها و یا بهینه سازی چند تابع هدف به صورت همزمان تحت قیود مختلف است که طیف وسیعی از جوابها را تحت عنوان سطح بهینه پرتو در اختیار قرار می دهند که می توان در شرایط مختلف بسته به پارامترهای کیفیت توان مورد نظر هر کدام از نقاط سطح بهینه به عنوان جواب مسئله تلقی کرد.

چگونگی انجام این بهینه سازی ها به صورت دو بعدی و سه بعدی در فصل هفتم توضیح داده شد و در این فصل با استفاده از آن روش ها توابع مختلف بهینه و نتایج ارائه شده اند.

۸-۲- بهینه سازی همزمان ضریب توان و THD با استفاده از روش Spareto :

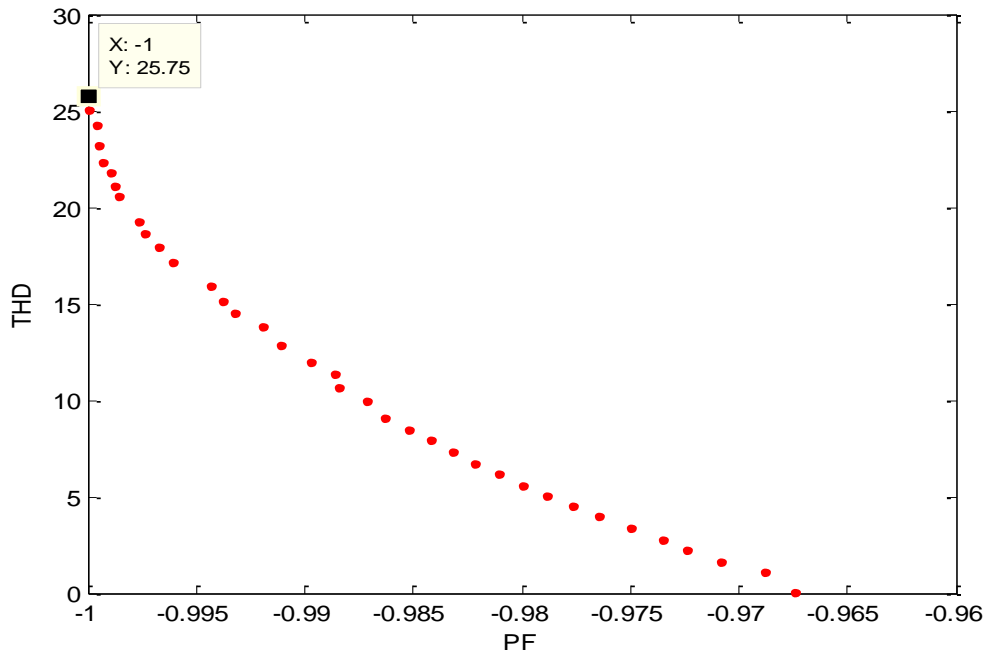
در این روش دو تابع ضریب توان و THD به صورت همزمان به عنوان توابع هدف بدون هیچ قید دیگری بهینه می گردند. سطح حاصل از بهینه سازی در شکل (۸-۵) ارائه شده است. این سطح THD بین 0 تا حداکثر THD ولتاژ منبع و ضریب توان بین حداقل معادل حداکثر THD و حداکثر یک، تغییر می کند. به ازای هر نقطه این سطح مقادیر گین ها (Gها) حاصل از بهینه سازی جهت بکار گیری در روش کنترلی OFC به دست می آید.

۸-۲-۱- انتخاب نقطه معادل ضریب توان واحد و حداکثر THD

اگر روی سطح بهینه به دست آمده نقطه معادل حداکثر مقدار ضریب توان را انتخاب کنید آنگاه بهره بانک فیلتری G(S) برای تمام فرکانس های موجود هارمونیک در تمام فازها یک بوده و سیستم OFC معادل سیستم UPFC عمل خواهد کرد. جدول (۸-۱) بهره های بانک فیلتری معادل حداکثر توان را نشان می دهد.

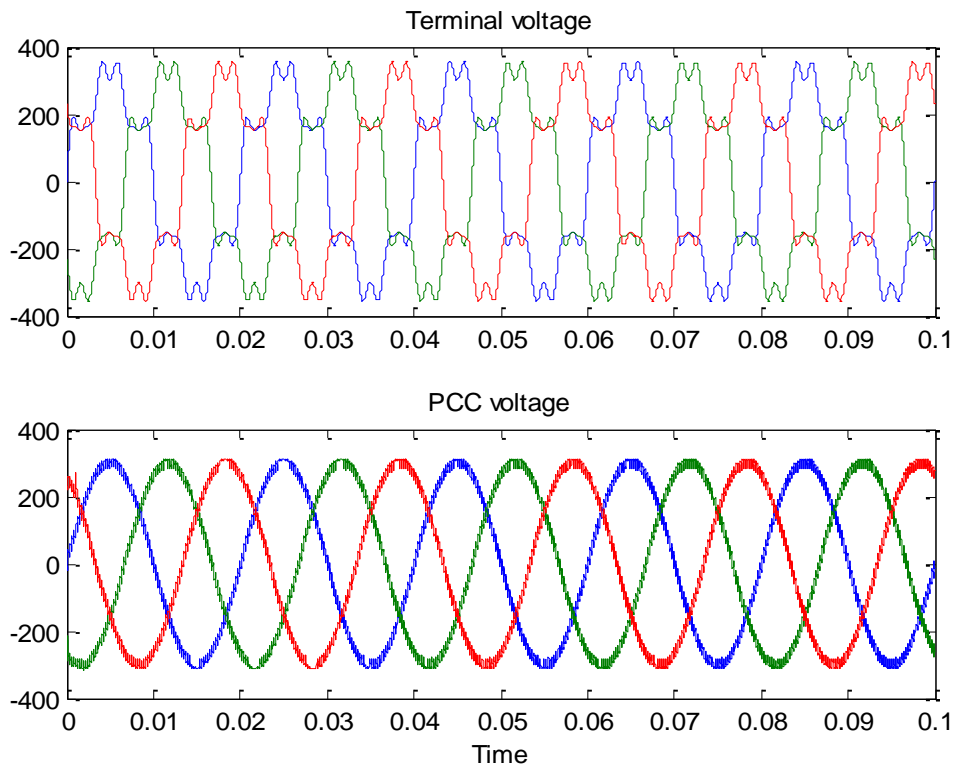
Order	Ga	Gb	Gc
DC	1.0000	1.0000	1.0000
H1	1.0000	1.0000	1.0000
H2	0.2616	0.2616	0.2616
H3	0.4508	0.4508	0.4508
H4	0.7863	0.7863	0.7863
H5	1.0000	1.0000	1.0000
H6	0.1904	0.1904	0.1904
H7	0.9564	0.9564	0.9564
H8	0.2852	0.2852	0.2852
H9	0.5131	0.5131	0.5131
H10	0.5678	0.5678	0.5678
H11	0.9629	0.9629	0.9629
H12	0.0769	0.0769	0.0769
H13	0.7152	0.7152	0.7152

جدول (۸-۴) بهره های بانک فیلتری معادل حداکثر توان

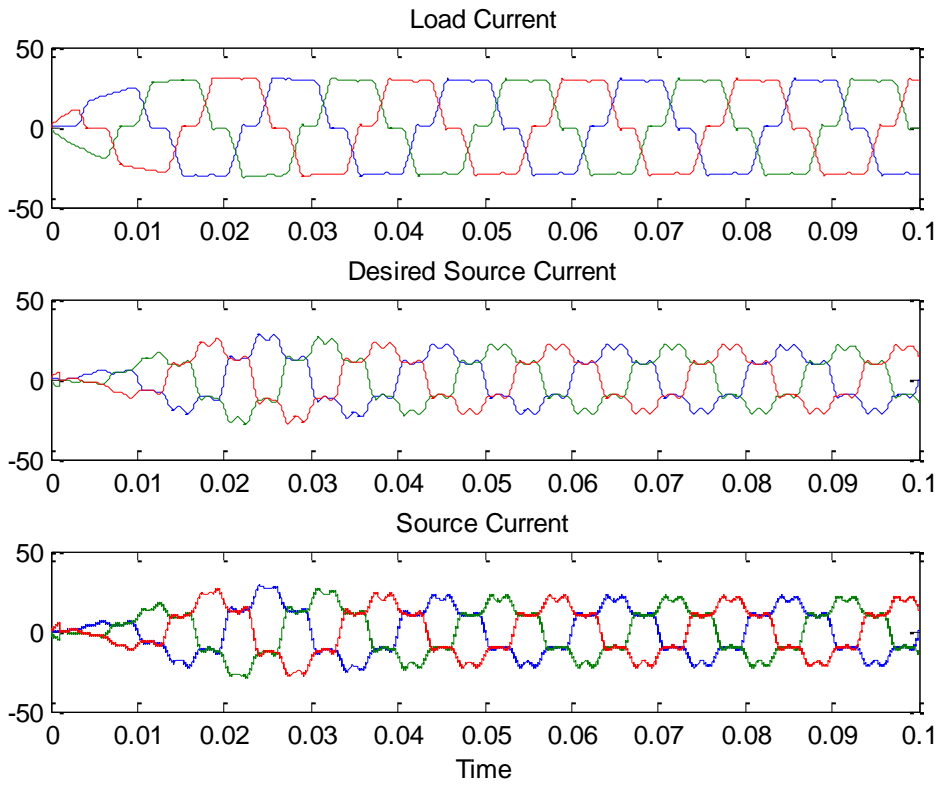


شکل (۵-۸) سطح بیپهنه پرتو، توابع PF و THD

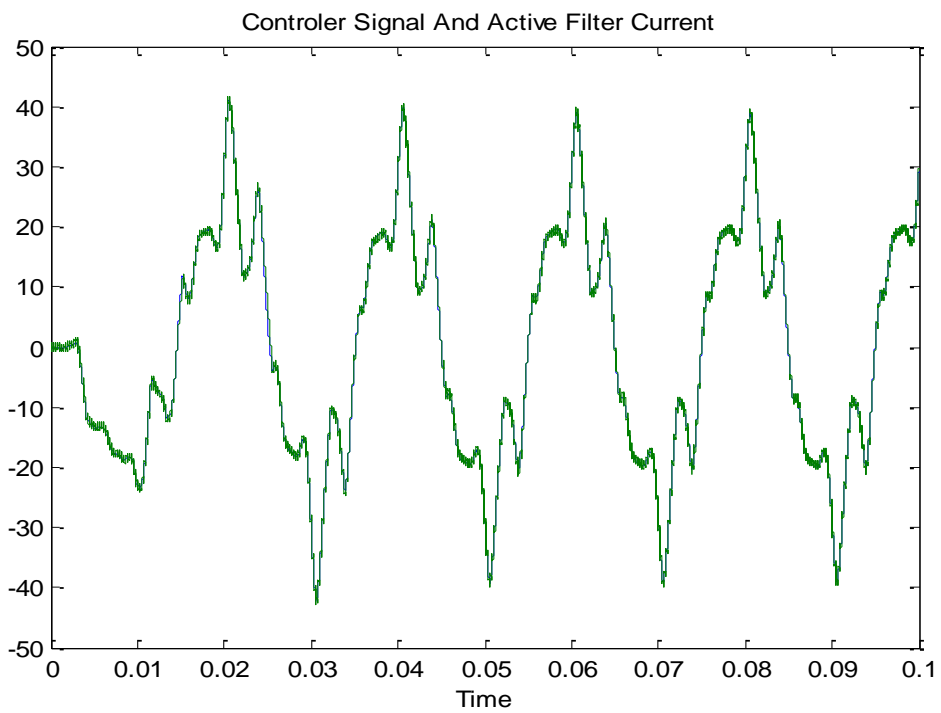
نتایج شبیه سازی این نقطه کار در شکل‌های (۶-۸) تا (۹-۸) و جداول (۵-۸) تا (۶-۸) ارائه شده اند.



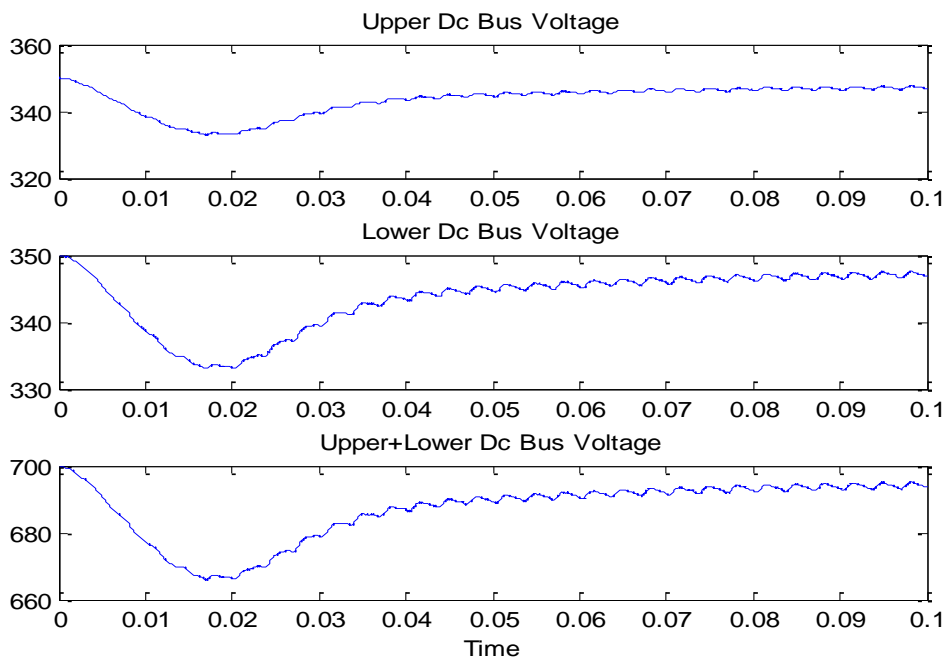
شکل (۶-۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۷-۸) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۸) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر موازی



شکل (۸-۹) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9468.8	258.64	9472.3	0.9996	25.73	0.0083	3.62
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	1.0000	25.70	-	-

جدول (۸-۵)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12679	2358	55.486	59.652

جدول (۸-۶)

جدول (۵-۸) تفاوت موجود در توان اکتیو به این دلیل است که این توان □ توان محاسبه شده از دید منبع است و مجموع تلفات فیلتر اکتیو سری و موازی به آن اضافه می گردد.

با توجه به جدول (۵-۸) می توان دید که از دید منبع، بار به صورت یک مقاومت خالص دیده شده و تقریباً توان غیراکتیو بار توسط فیلتر اکتیو موازی جبران می گردد. اما محتوای هارمونیک جریانی منبع بسیار زیاد واز THD و ضریب K ی بالایی برخوردار است. لذا این نقطه □ نقطه کار مناسبی به نظر نمی رسد. (جهت تعریف ضریب K به بخش ۶-۸ و جهت تعریف ضریب اعوجاج به بخش ۴-۸ مراجعه شود.)

۸-۲-۲- انتخاب نقطه معادل حداقل THD:

اگر روی سطح بهینه بدست آمده نقطه معادل حداقل THD را انتخاب کنیم آنگه بهره بانک فیلتری

(S) G تنها برای معرفی اصلی ولتاژ یک و برای بقیه هارمونیک ها جدا صفر خواهد بود و در واقع سیستم

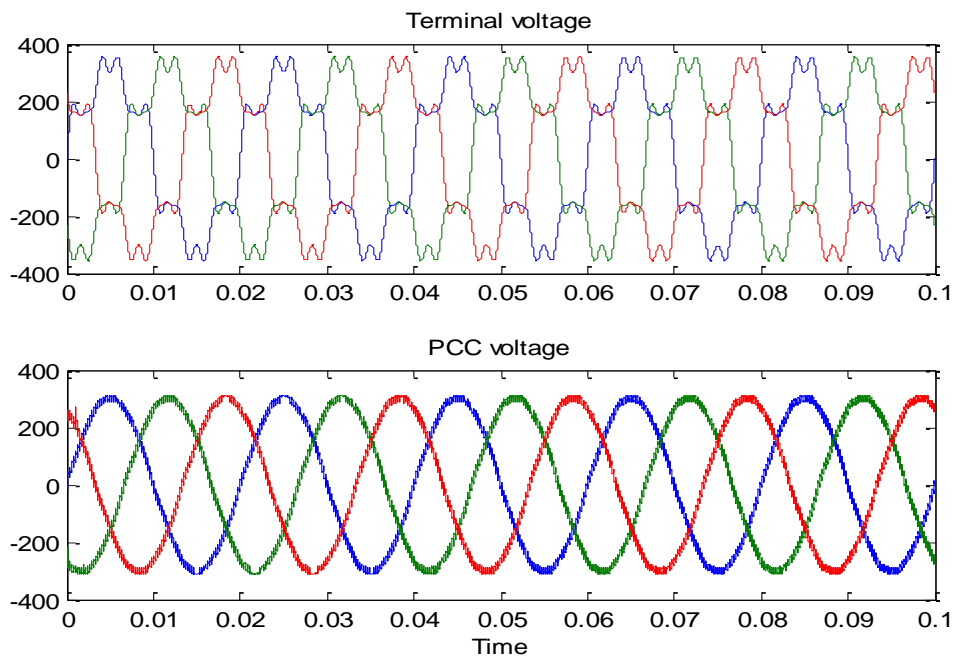
OFC معادل سیستم PHC عمل خواهد کرد. (PF=0.967, THD<2%)

جدول (۷-۸) بهره های بانک فیلتری معادل حداکثر توان را نشان می دهد.

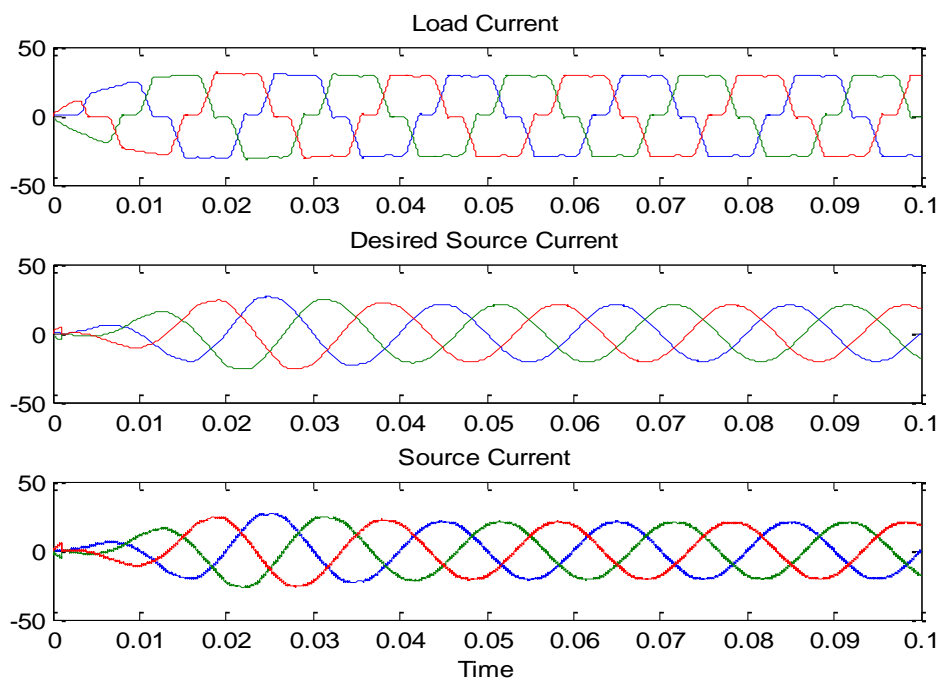
Order	Ga	Gb	Gc
DC	0.0890	0.0890	0.0890
H1	1.0000	1.0000	1.0000
H2	0.8349	0.8349	0.8349
H3	0.3704	0.3704	0.3704
H4	0.7501	0.7501	0.7501
H5	0.0000	0.0000	0.0000
H6	0.7714	0.7714	0.7714
H7	0.0039	0.0039	0.0039
H8	0.5784	0.5784	0.5784
H9	0.3397	0.3397	0.3397
H10	0.9457	0.9457	0.9457
H11	0.0000	0.0000	0.0000
H12	0.5821	0.5821	0.5821
H13	1.000	1.000	1.000

جدول (۷-۸) بهره های بانک فیلتری معادل حداکثر توان

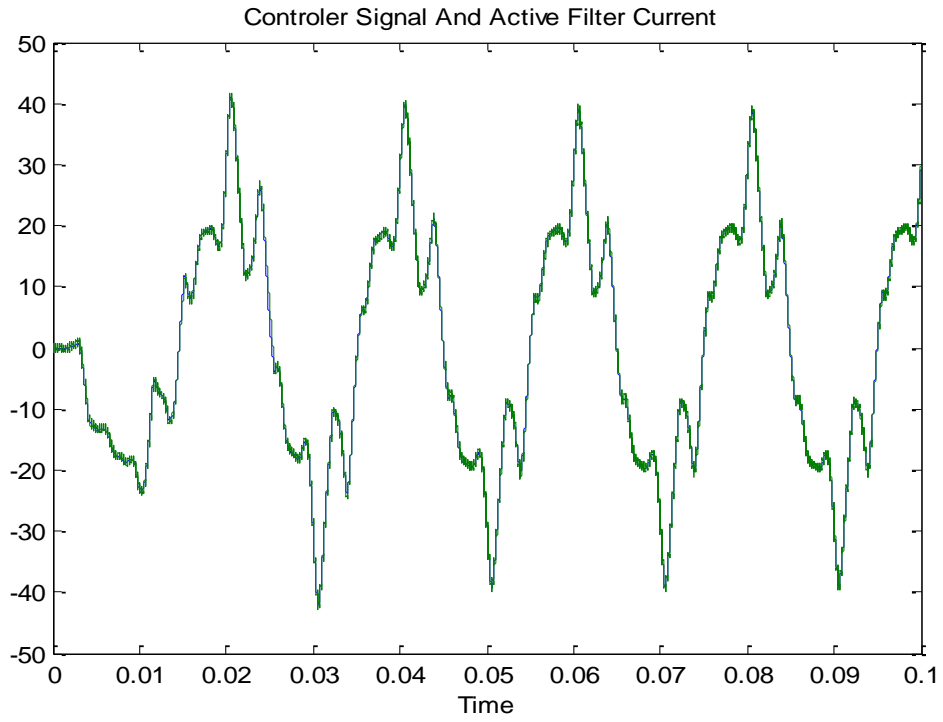
نتایج شبیه سازی این نقطه کار در شکل های (۸-۱۰) تا (۸-۱۳) و جداول (۸-۸) تا (۸-۹) آمده اند.



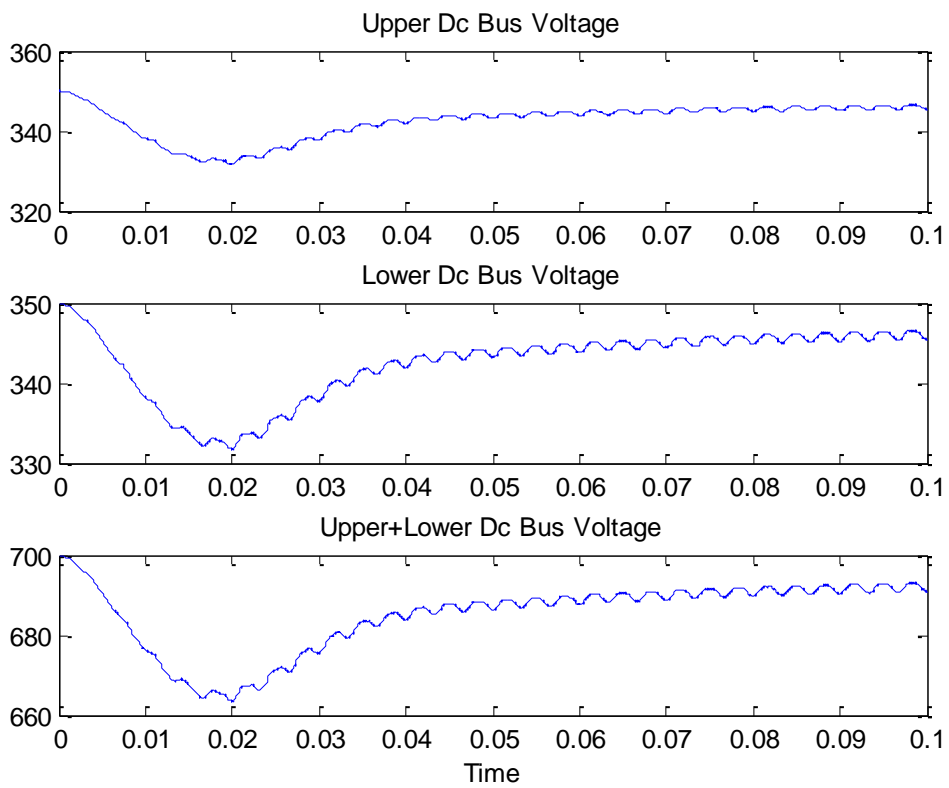
شکل (۸-۱۰) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۱۱) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۱۲) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۱۳) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پایینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9623.2	2554.5	9956.5	0.9665	1.4	0.00043	1.003
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.9665	0.05	-	-

جدول (۸-۸)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12360	2473.1	59.4	61

جدول (۹-۸)

در صورت استفاده از فیلتر اکتیو ایده آل یعنی ومنبع ولتاژ کنترل شده به جای اکتیو فیلتر سری و منبع جریان کنترل شده به جای اکتیو فیلتر موازی می توان دقیقا به مقادیر به دست آمد در بهینه سازی دست یافت اما از آنجا که در شبیه سازی های موجود فیلترهای اکتیو غیر ایده آل با سیستم کنترلی باند هیسترزیس انتخاب شده اند □ لذا با تقریب خوب می توان به مقادیر مورد نظر دست یافت و گاه تا یک یا دو درصد اختلاف بین تئوری و شبیه سازی مشاهده می گردد.

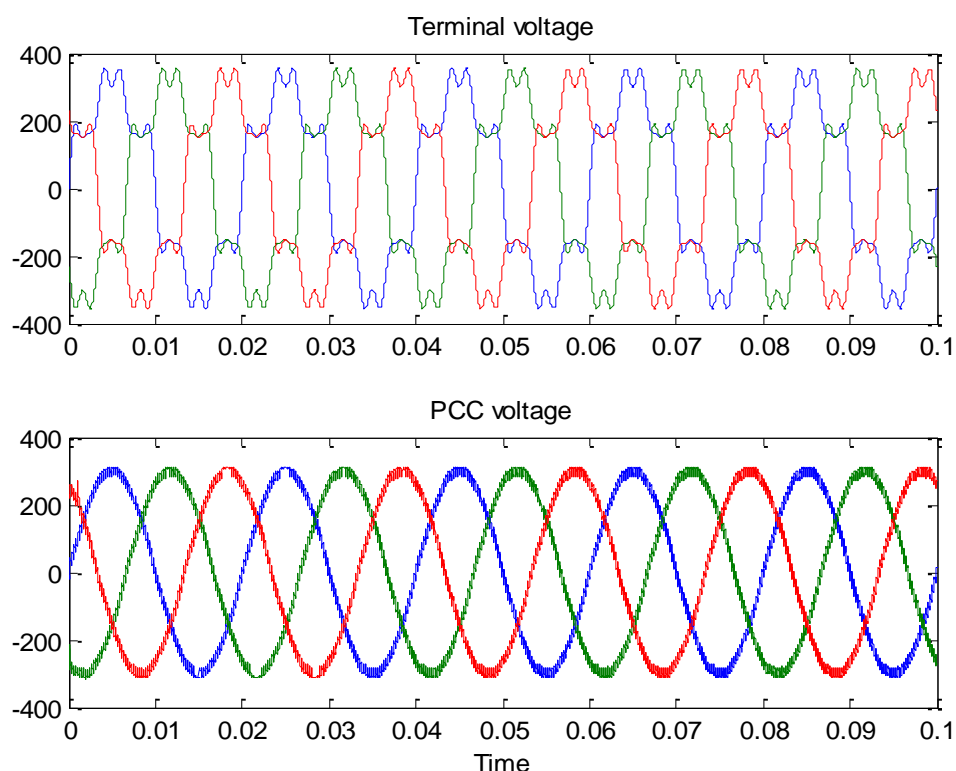
با توجه به جدول (۸-۸) می توان دید که در این نقطه نسبت به حالت حداکثر ضریب توان، PF حدود 3.3 درصد کاهش یافته اما محتوای هارمونیکی جریان منبع بسیار کم واز THD و ضریب K ی ناچیزی برخوردار

است. از آنجا که حذف همه هارمونیک ها نه عملی است نه به صرفه اقتصادی در عمل سعی بر آن است تا با رعایت یک محتوای هارمونیکی مجاز به حداکثر PF دست یابیم.

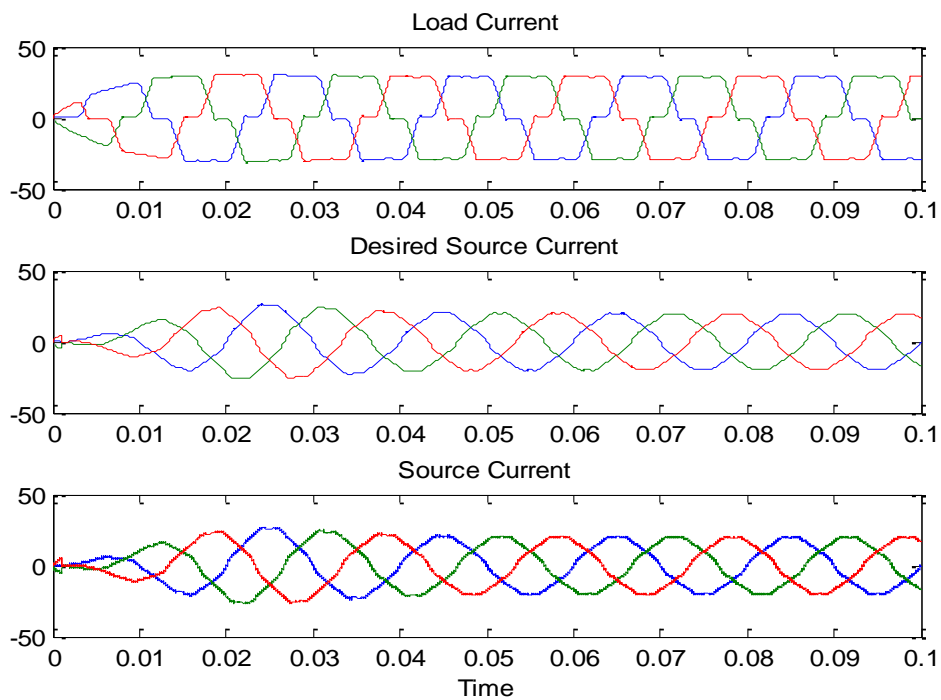
۸-۲-۳- انتخاب نقطه معادل حداکثر $THD=5\%$:

از آن جا که در استاندارد IEEE-519 حداکثر مقدار THD برای سیستم موجود ۵ درصد می باشد، لذا بر روی سطح بهینه موجود با انتخاب این نقطه می توانیم بهره های بانک فیلتر معادل حداکثر ضریب توان تحت شرایط مقید حداکثر THD برابر ۵٪ را در سیستم OFC لحاظ کنیم.

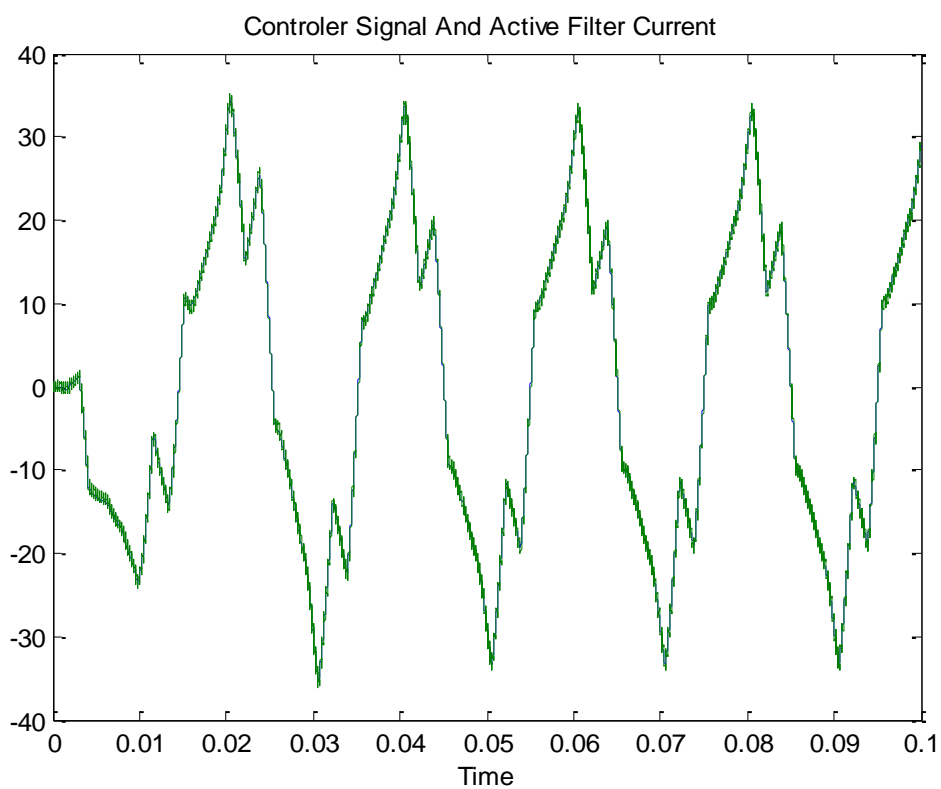
نتایج شبیه سازی به ازای این نقطه کار در شکل های (۸-۱۴) تا (۸-۱۷) و جداول (۸-۱۰) تا (۸-۱۱) ارائه شده اند.



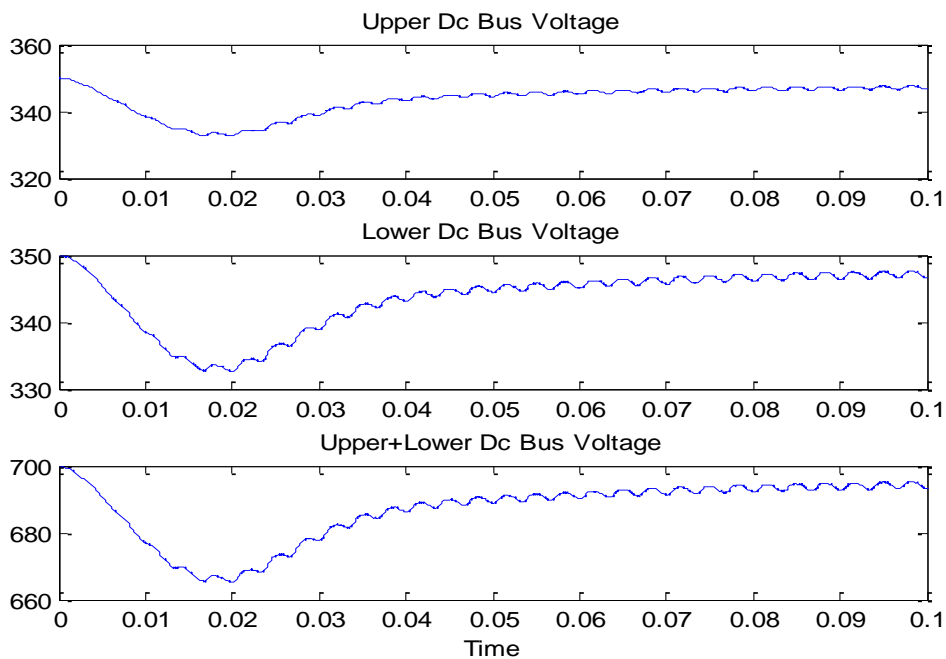
شکل (۸-۱۴) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۱۵) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۱۶) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۱۷) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9367.8	2040.4	9587.4	0.977	5.09	0.00135	1.093
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.977	4.5	-	-

جدول (۸-۱۰)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12331	2381	55.6	58.7

جدول (۸-۱۱)

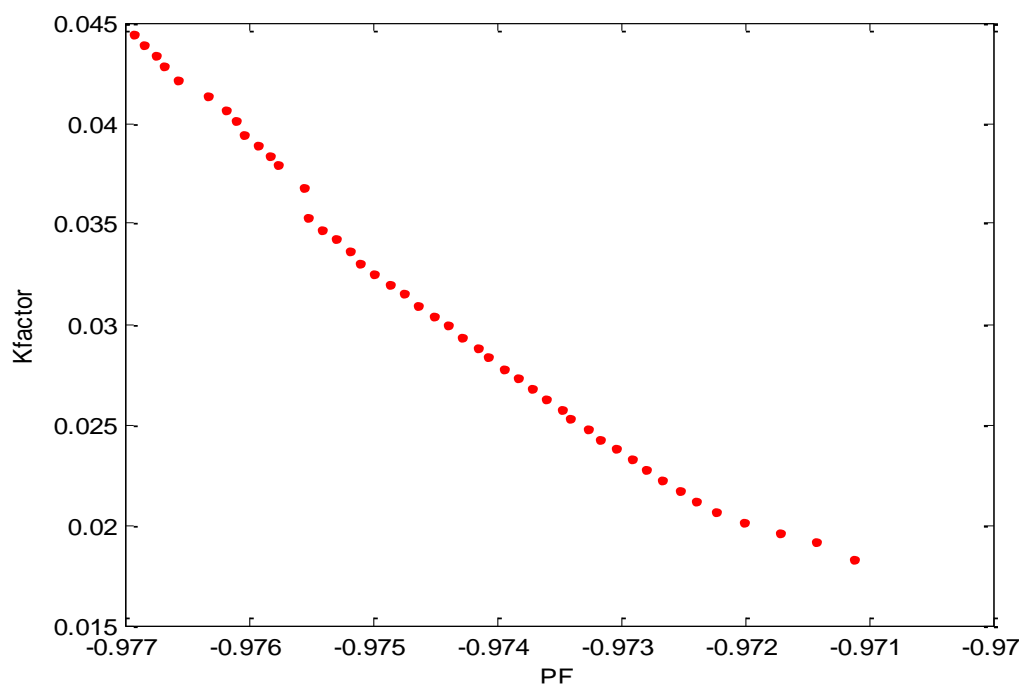
با توجه به جدول (۸-۱۰) می توان دید که در این حالت بخشی از توان غیر اکتیو بار توسط فیلتر موازی جبران شده است لذا در پی افزایش THD ضریب توان بهبود یافته است و توان غیر اکتیو کشیده شده از منبع نسبت به حالت قبل VAR ۵۰۰ کاهش دارد.

۸-۳- بهینه سازی همزمان ضریب توان و THD تحت قیود هارمونیک و به

روش: min-max Formulation

در روش Spareto دو تابع ضریب توان و THD به صورت دو تابع هدف و بدون حضور هیچ قیدی بهینه شده اند اما در بسیاری از کارها نیاز به رعایت بسیاری از قیود در ضمن بهینه سازی وجود دارد. در روش Min-Max قیود هارمونیک استراتژی حداکثر ضریب توان که در فصل های قبلی (فصل ۵) نظیر قیدهای IEEE-519 گفته شد، در بهینه سازی وارد شده و در واقع سطح بهینه قابل قبول (Feasible) به دست می آید.

شکل (۸-۱۸) سطح بهینه به دست آمده این روش را نشان می دهد.

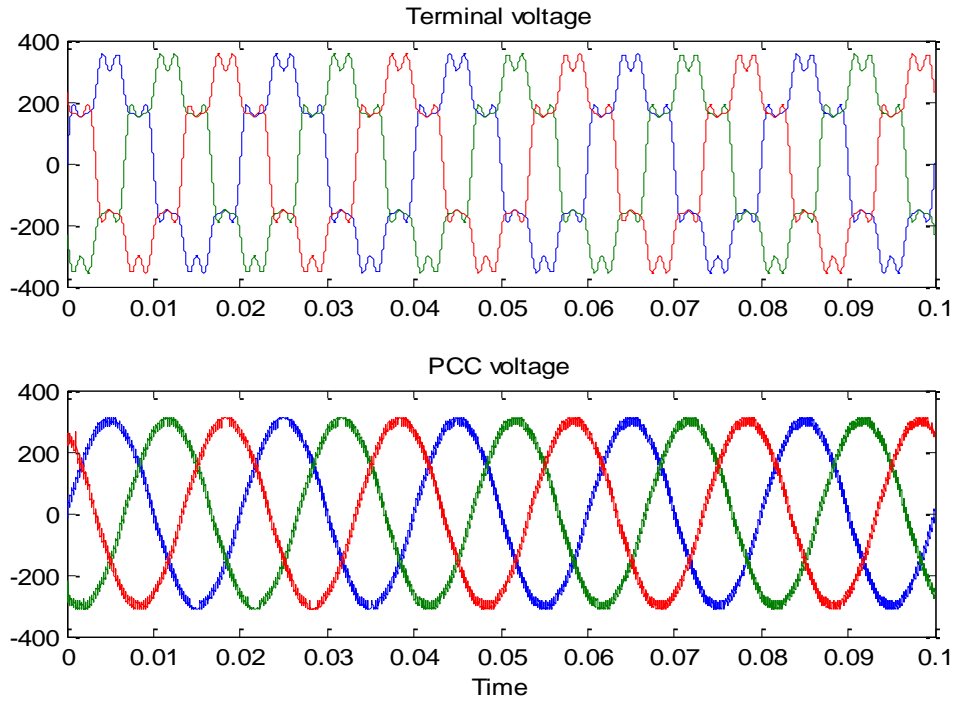


شکل (۸-۱۸) سطح بهینه پرتو توابع PF و THD

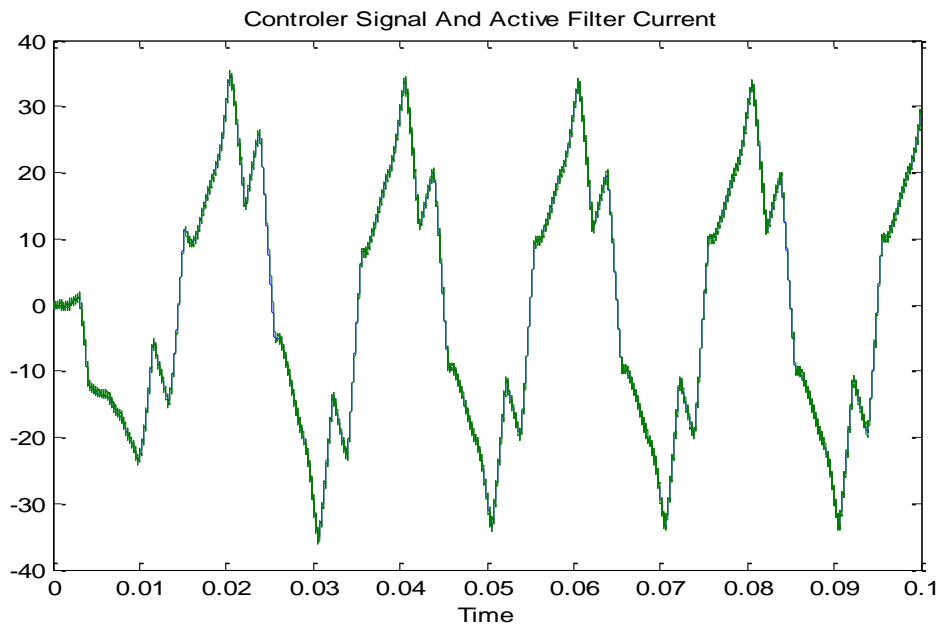
۸-۳-۱- انتخاب نقطه معادل حداکثر ضریب توان:

نتایج حاصل از شبیه سازی نقطه معادل با حداکثر ضریب توان سطح بهینه در شکل های (۸-۱۹) تا (۸-۸)

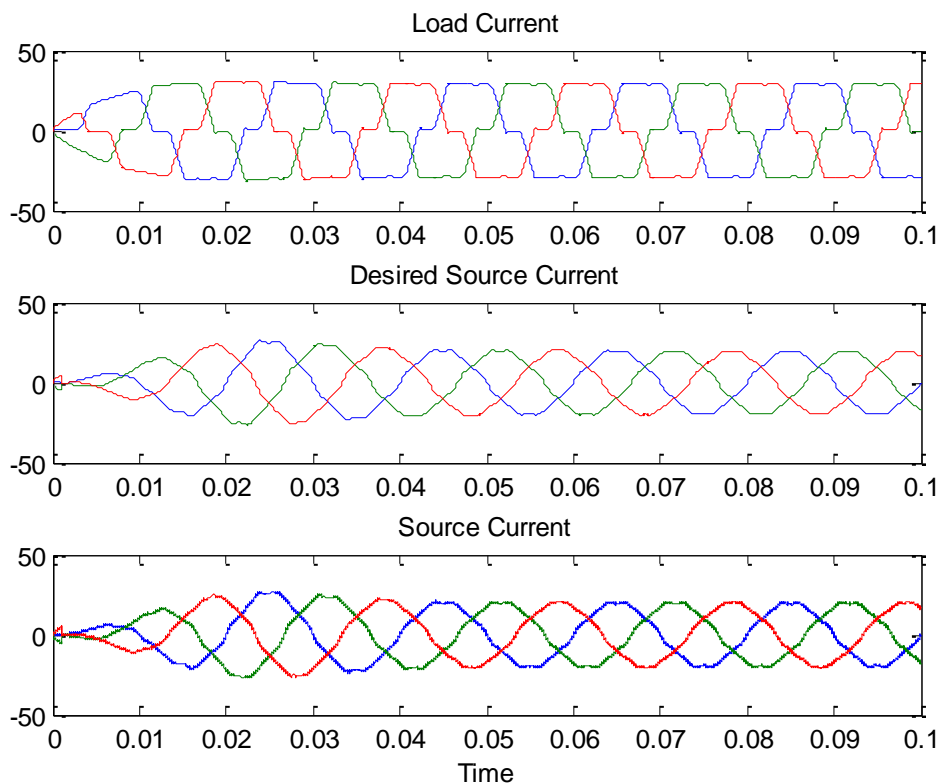
(۲۲) و جداول (۸-۱۲) تا (۸-۱۳) ارائه شده است. (PF=0.977, THD=4.5%)



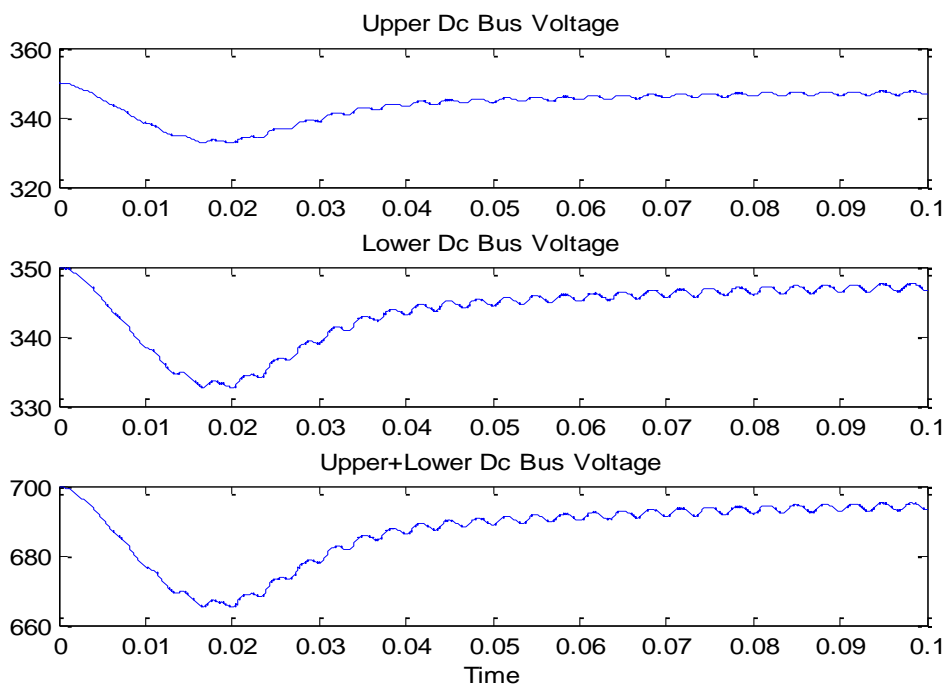
شکل (۸-۱۹) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۲۰) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۲۱) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۲۲) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9383.5	2077.9	9610.8	0.9763	5.16	0.0010	1.1288
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.977	4.46	-	-

جدول (۸-۱۲)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12350	2388.5	53.25	57.25

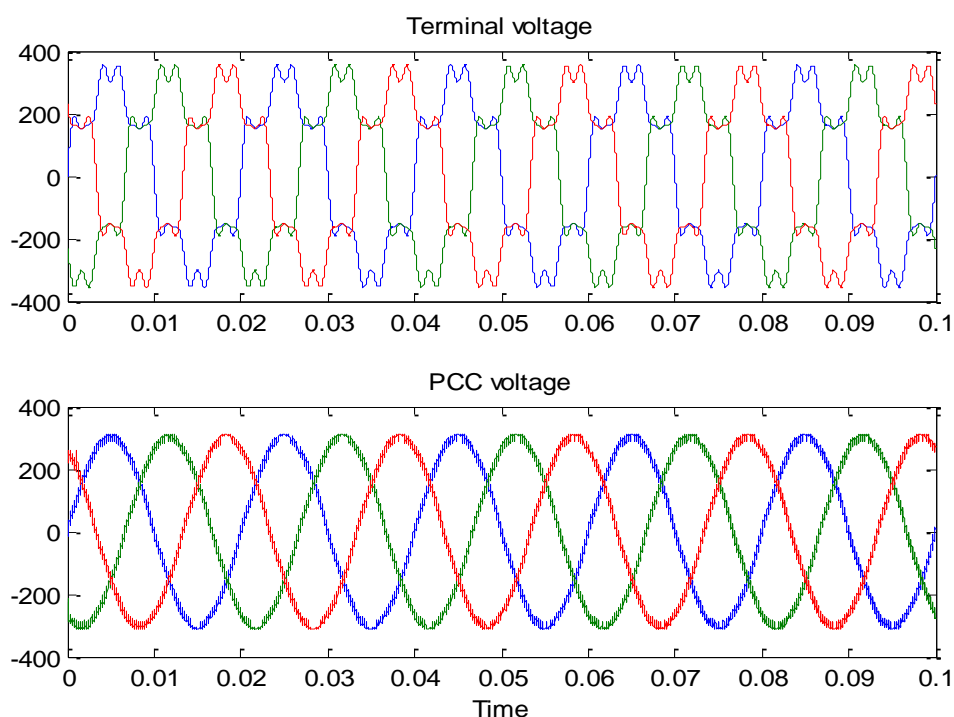
جدول (۸-۱۳)

۸-۳-۲- انتخاب نقطه معادل حداقل THD:

با یک نگاه ساده به شکل (۸-۱۸) می توان دید که با کاهش بسیار کم در ضریب توان می توان THD جریان منبع را تا حدود زیادی کاهش داد (از حدود ۵٪ به حدود ۱٪).

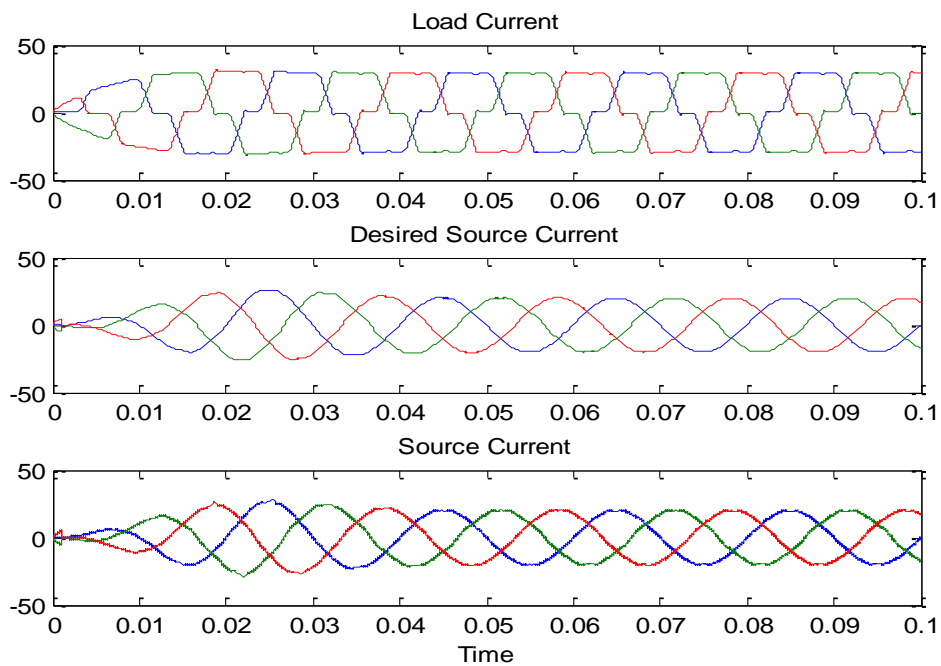
گرچه نقطه معادل $THD=5\%$ ضریب توان بالاتری نسبت به نقطه $THD=1.8\%$ دارد. به نظر می رسد کاهشی که در محتوای هارمونیک جریانی منبع حاصل می گردد ارزش صرفه نظر کردن از ارقام سوم اعشار در ضریب توان و کاهش 0.6 درصدی در آن (از 0.977 به 0.971) را داراست.

نتایج حاصل از شبیه سازی نقطه با حداقل THD در شکل های (۲۳-۸) تا (۲۶-۸) و جداول (۸-۱۴) تا (۸-۱۵) ارائه شده است.

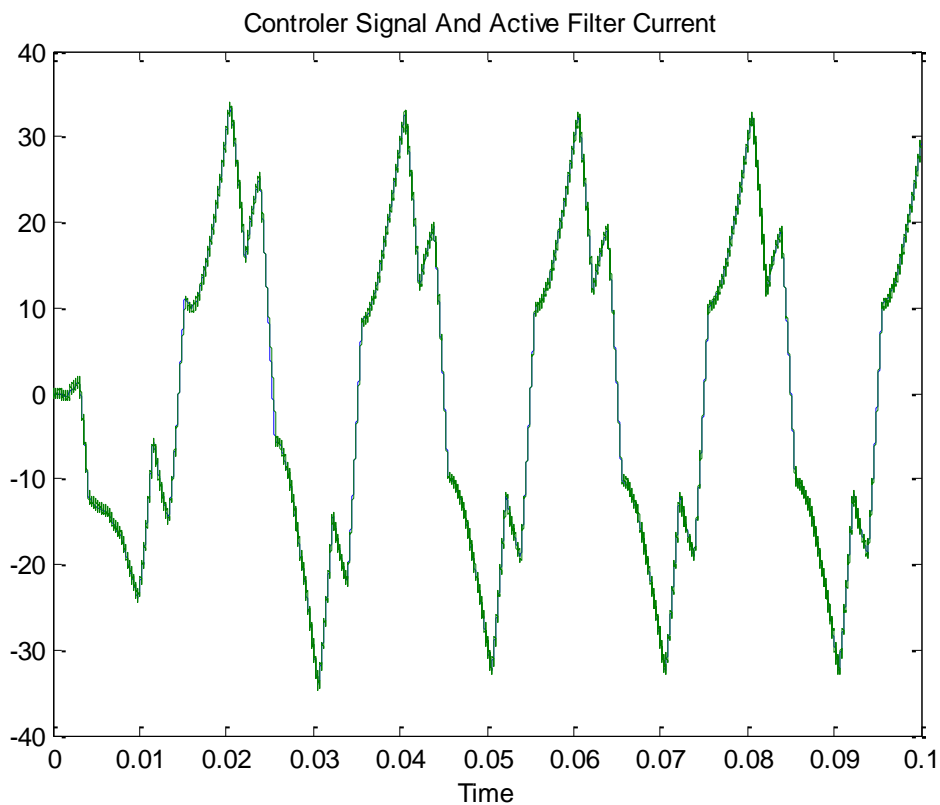


شکل

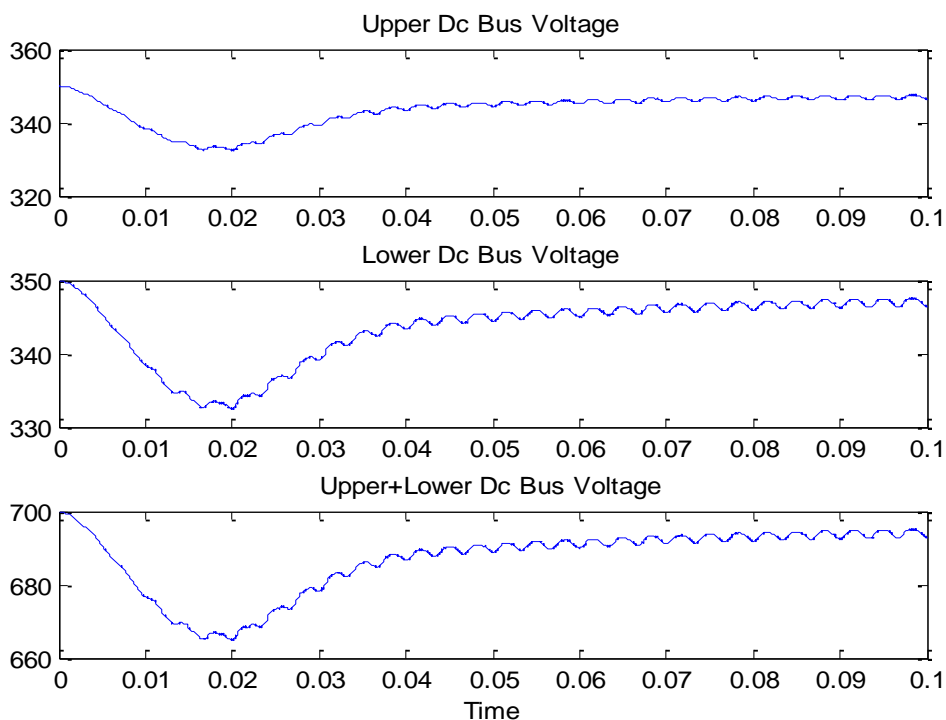
(۲۳-۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۲۴-۸) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۲۵-۸) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۲۶) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9387.2	2338.6	9674.1	0.9703	2	0.00040	1.018
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.9711	1.8	-	-

جدول (۸-۱۴)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12346	2403	48.25	52.73

جدول (۸-۱۵)

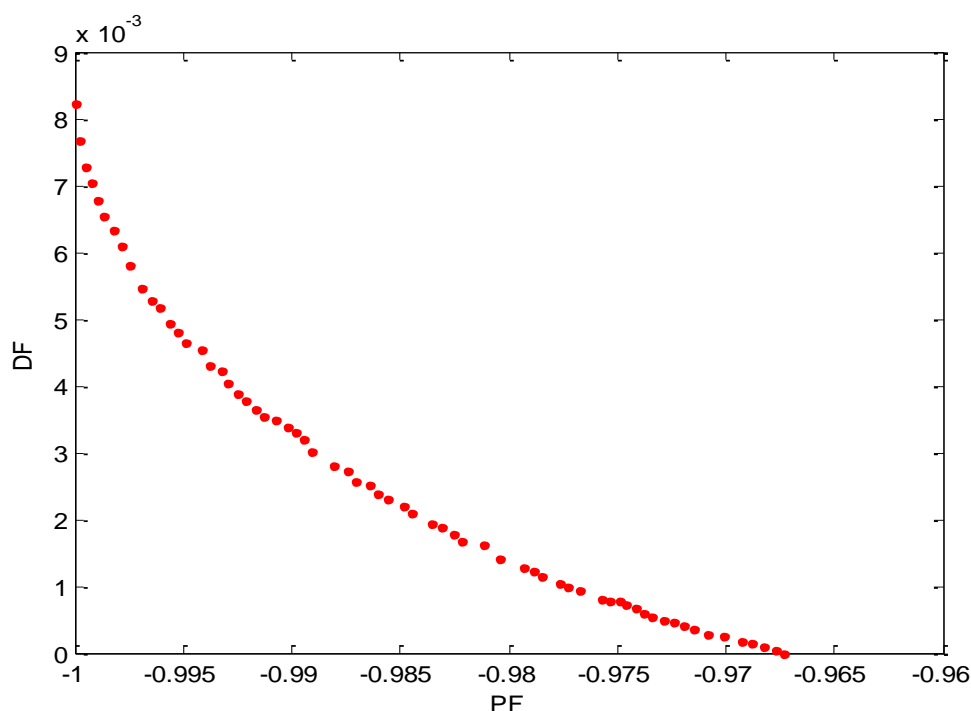
از تحلیل نتایج حاصل چنین بر می آید که گاهی در نزدیکی یک نقطه فرضاً بهینه تغییرات یک تابع شدید و تغییرات تابع دیگر ناچیز است. بطوری که می توان با اندکی کاهش یا افزایش در تابعی که تغییراتش ناچیز است □ تغییرات نسبتاً زیادی در تابع با تغییرات شدید ایجاد کرد. و این همان چیزی است که در تئوری بازی ها شاید بتوان از آن تحت عنوان عقب نشینی استراتژیک یاد کرد. و از مزایای استفاده از این تئوری محسوب می گردد.

۸-۴- بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب اغتشاش به روش Spareto:

همانطور که گفته شد توابع هدف مختلفی را می توان با استفاده از دو روش مذکور بهینه سازی کرد. یکی از توابع هدفی که در اینجا مورد استفاده قرار می گیرد. ضریب اعوجاج است که بصورت رابطه (۸-۱) تعریف می گردد:

$$DF = \frac{\sqrt{\sum_{i \neq 1}^n \left(\frac{I_h}{h^2} \right)^2}}{I_1} \quad (۸-۱)$$

در رابطه (۸-۱) هارمونیک های با فرکانس پایین وزن بیشتر و موثرتر از هارمونیک های با فرکانس بالا عمل خواهند کرد. بر خلاف THD که همه فرکانس های هارمونیکی از وزن یکسانی در محاسبه برخوردار می باشند. شکل (۸-۲۷) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی دو تابع ضریب توان و ضریب اغتشاش را بدون هیچ قیدی نشان می دهد.

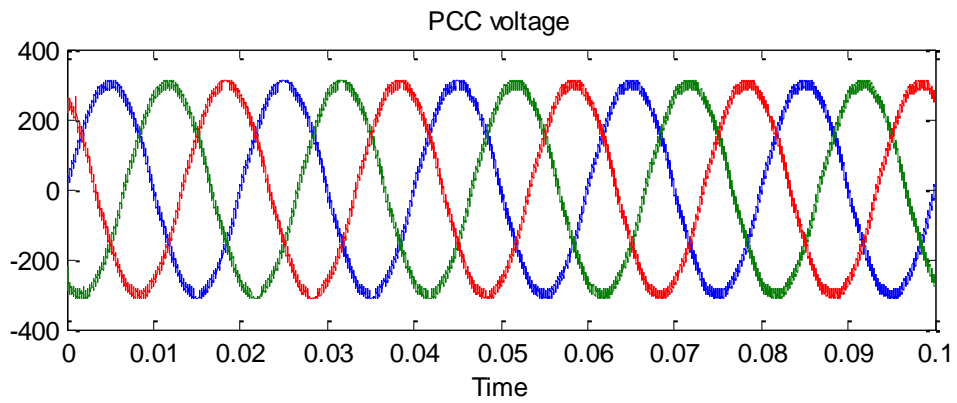
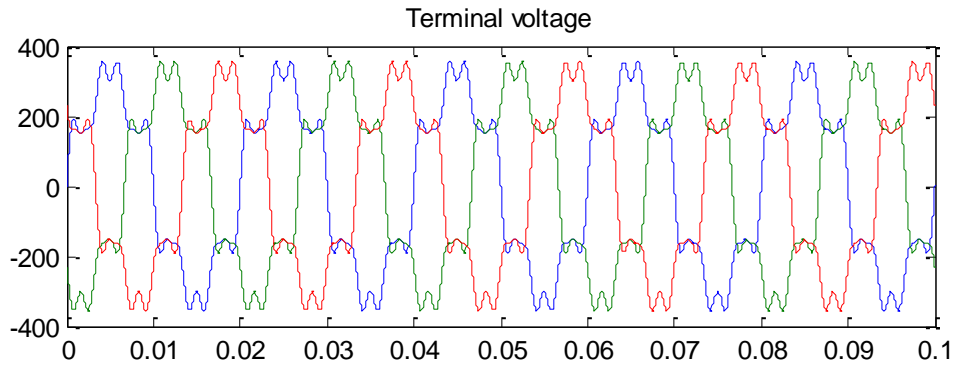


شکل (۸-۲۷) سطح بهینه پرتو توابع PF و DF

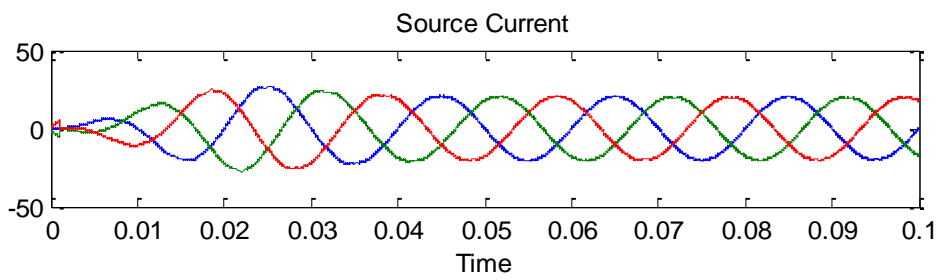
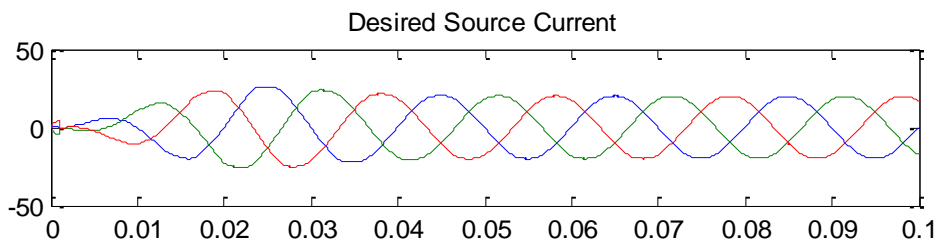
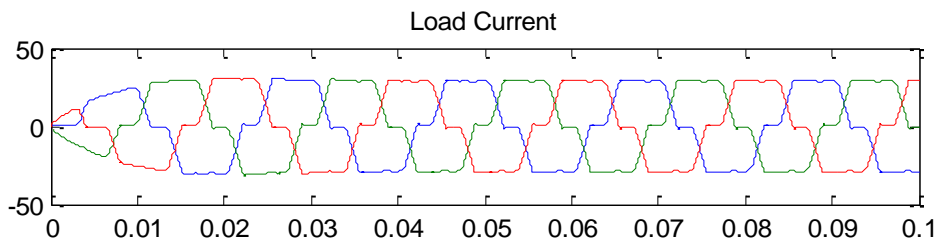
۸-۴-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل DF:

چنانچه حذف هارمونیک های فرکانس پایین از اهمیت بیشتر نسبت به حذف هارمونیک های فرکانس بالا برخوردار باشد از این نقطه می تواند به عنوان نقطه کار مورد نظر استفاده کرد.

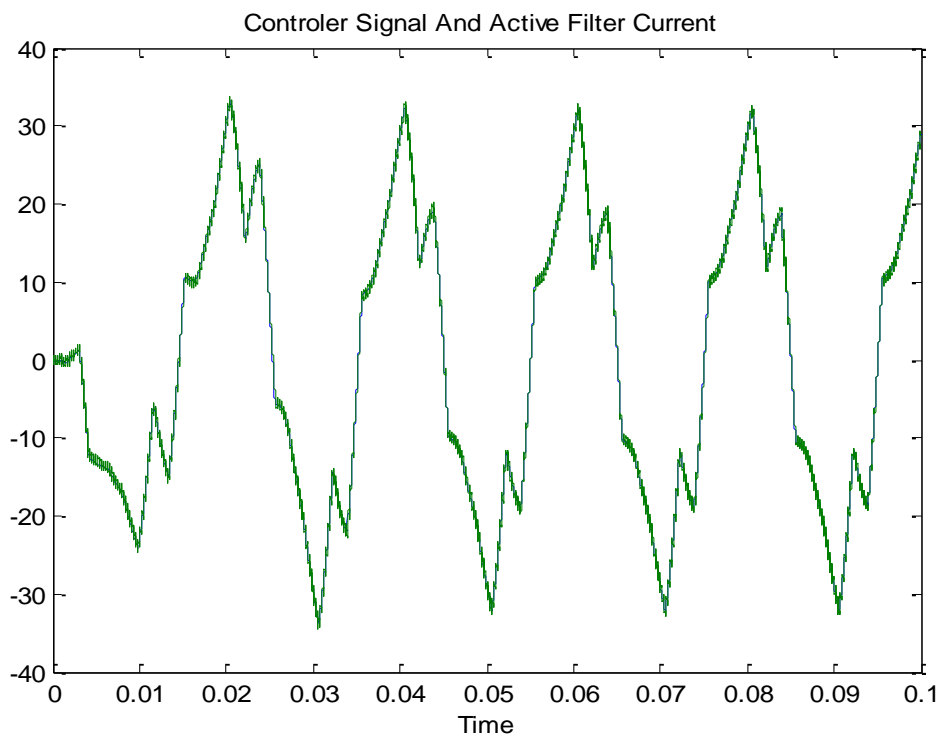
نتایج حاصل از شبیه سازی معادل این نقطه در شکل های (۸-۲۸) تا (۸-۳۱) و جداول (۸-۱۶) تا (۸-۱۷) آمده است.



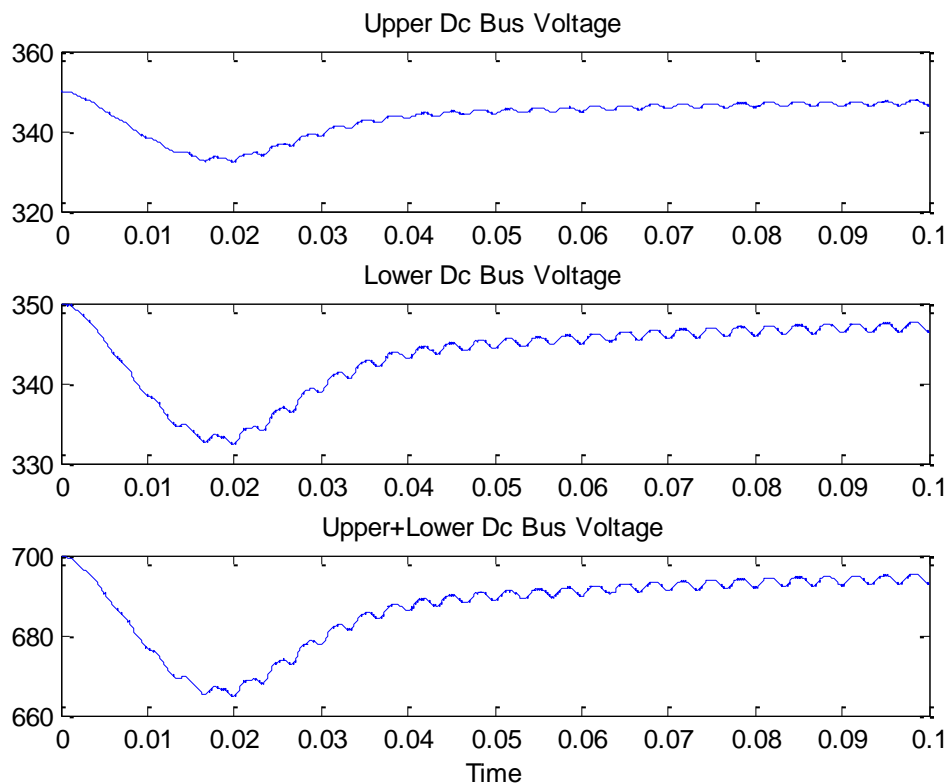
شکل (۸-۲۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۲۹) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۳۰) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۳۱) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9369.1	2479.3	9691.6	0.9667	1.5	0.0003	1.003
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.9670	-	0	-

جدول (۸-۱۶)

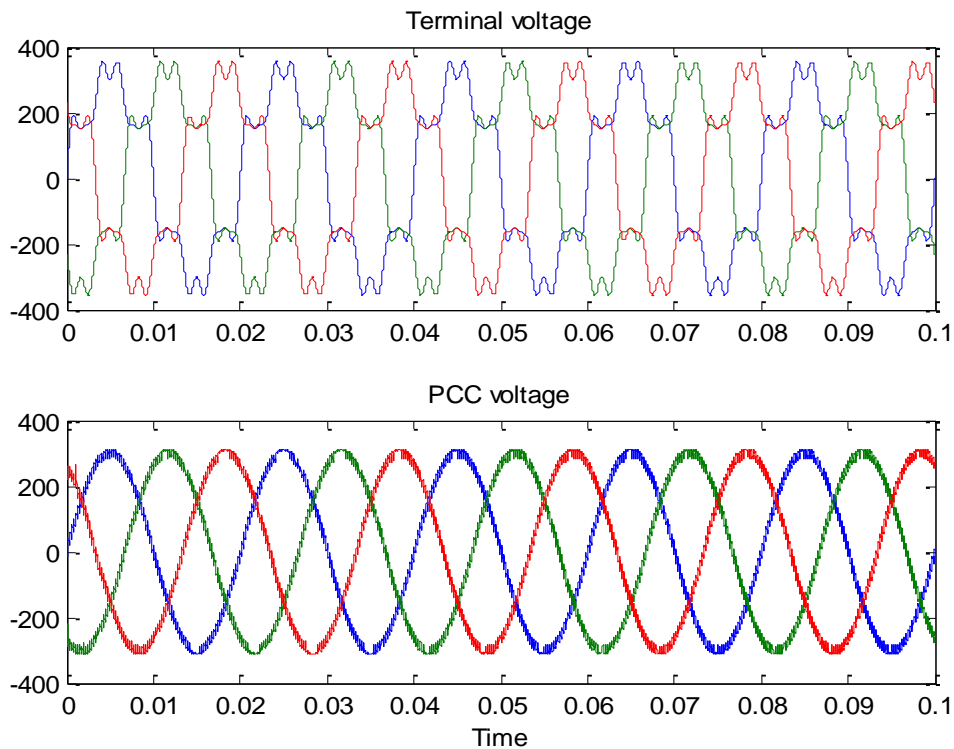
توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12312	2409	53.26	56.5

جدول (۸-۱۷)

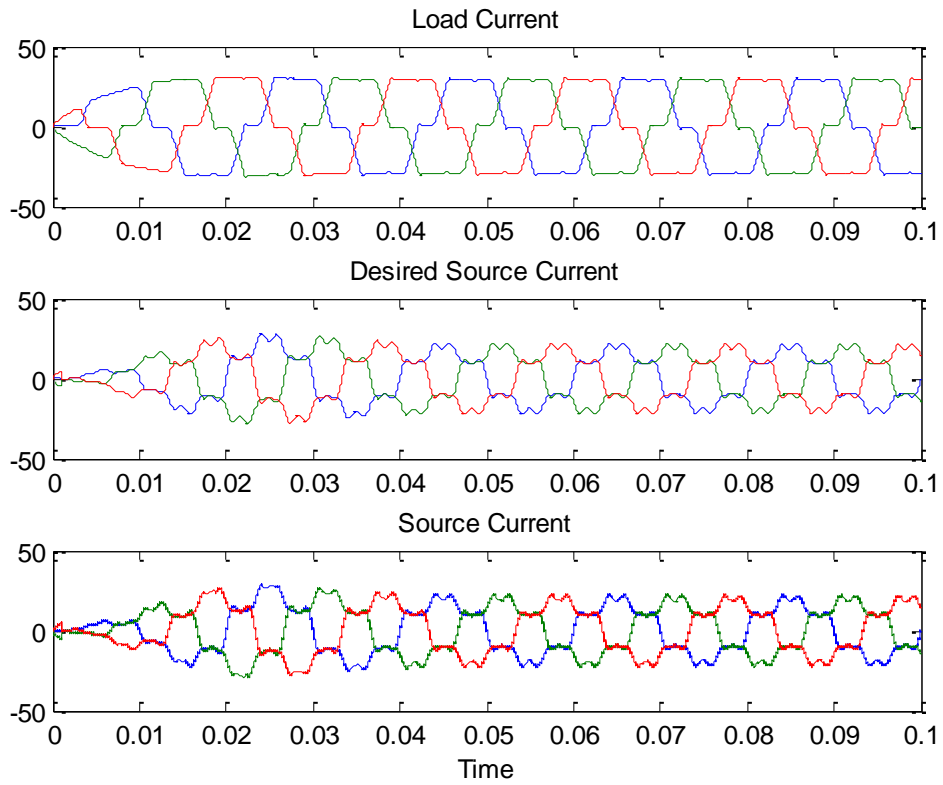
۸-۴-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF :

چنانچه حذف هارمونیک های فرکانس پایین از اهمیت چندانی برخوردار نبوده و یا دست یابی به ضریب توان حداکثر از اولویت بیشتری برخوردار باشد می توان از این نقطه جهت بهینه سازی استفاده کرد. (PF=1,DF=0.0085)

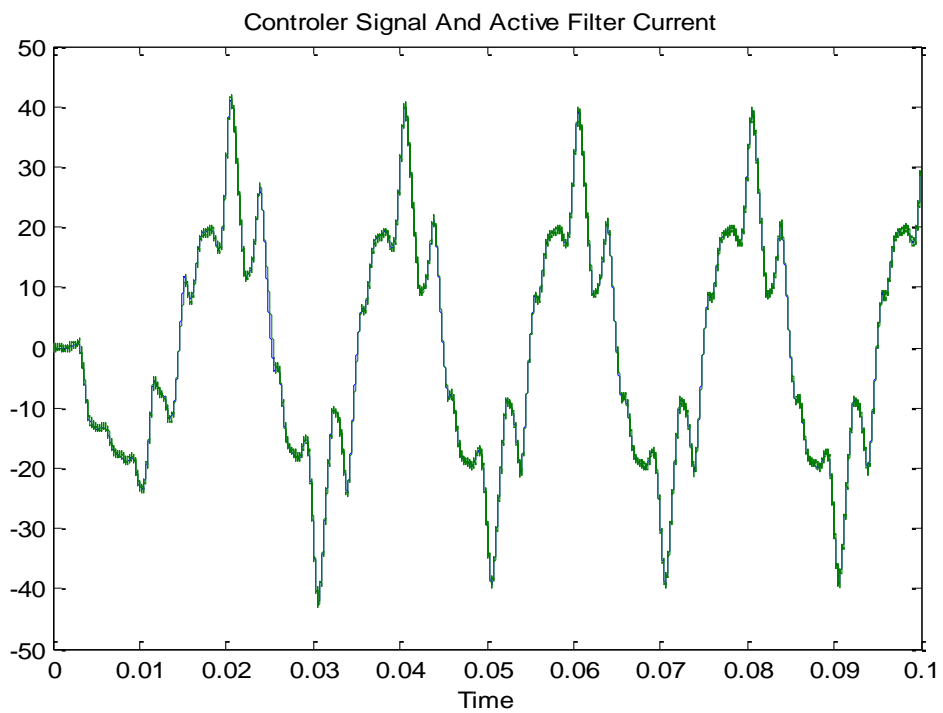
نتایج حاصل از بهینه سازی معادل این نقطه در شکل های (۸-۳۲) تا (۸-۳۵) و جداول (۸-۱۸) تا (۸-۱۹) ارائه شده است.



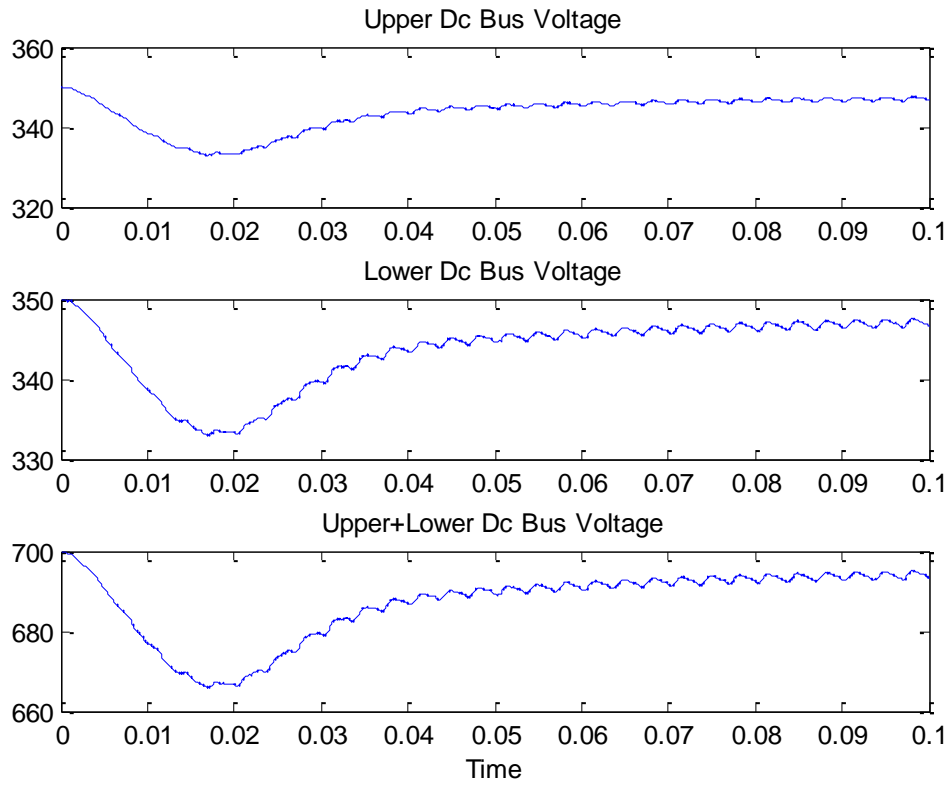
شکل (۸-۳۲) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۳۳) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۳۴) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۳۵) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9482.3	249.9	9485.6	0.9997	26.23	0.0084	3.78
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	1	-	0.0085	-

جدول (۸-۱۸)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12708	2363	53	58.24

جدول (۸-۱۹)

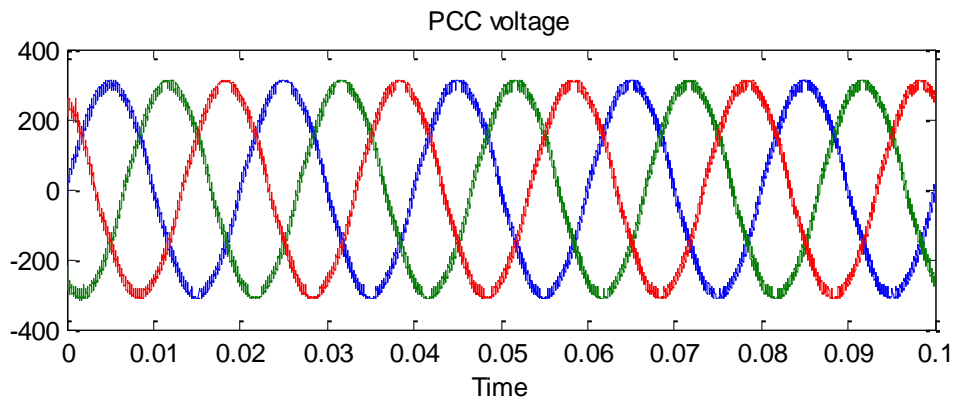
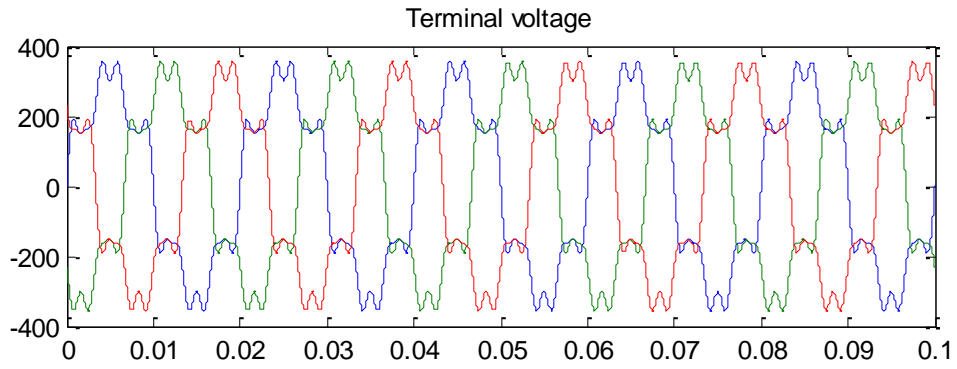
۸-۵ - بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب اغتشاش به روش

:Min-Max

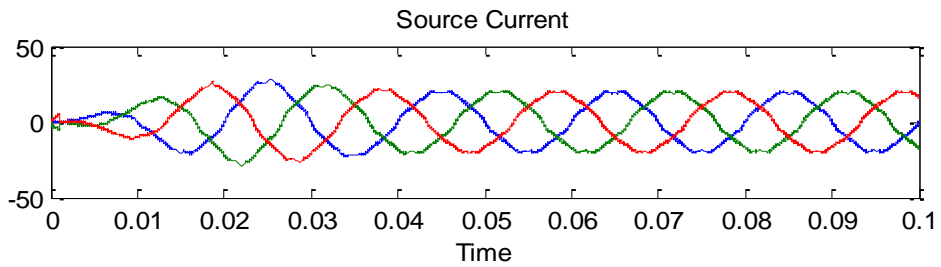
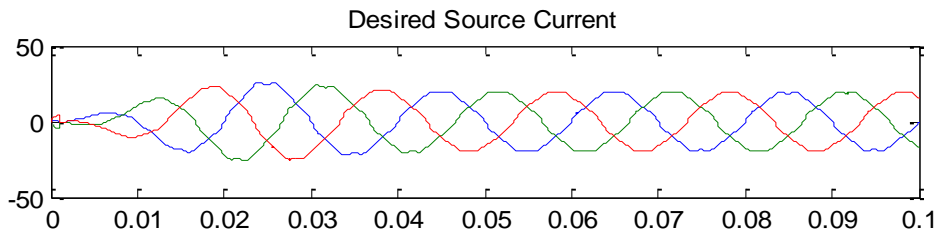
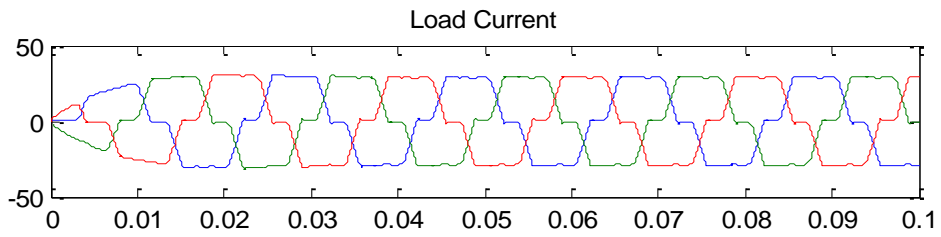
چنانچه در بهینه سازی دو تابع هدف PF و DF رعایت قیودی الزامی باشد از روش Min- Max استفاده

می کنیم. شکل (۸-۳۶) سطح بهینه به دست آمده برای دو تابع PF و DF را با رعایت قیود هارمونیکي -IEEE

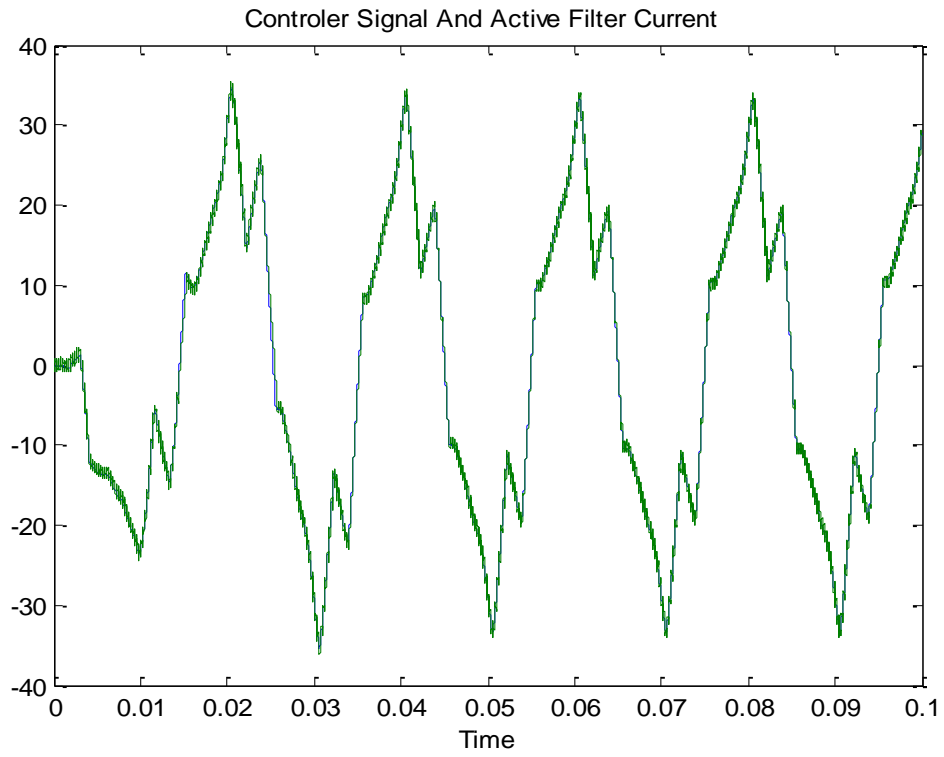
519 نشان می دهند.



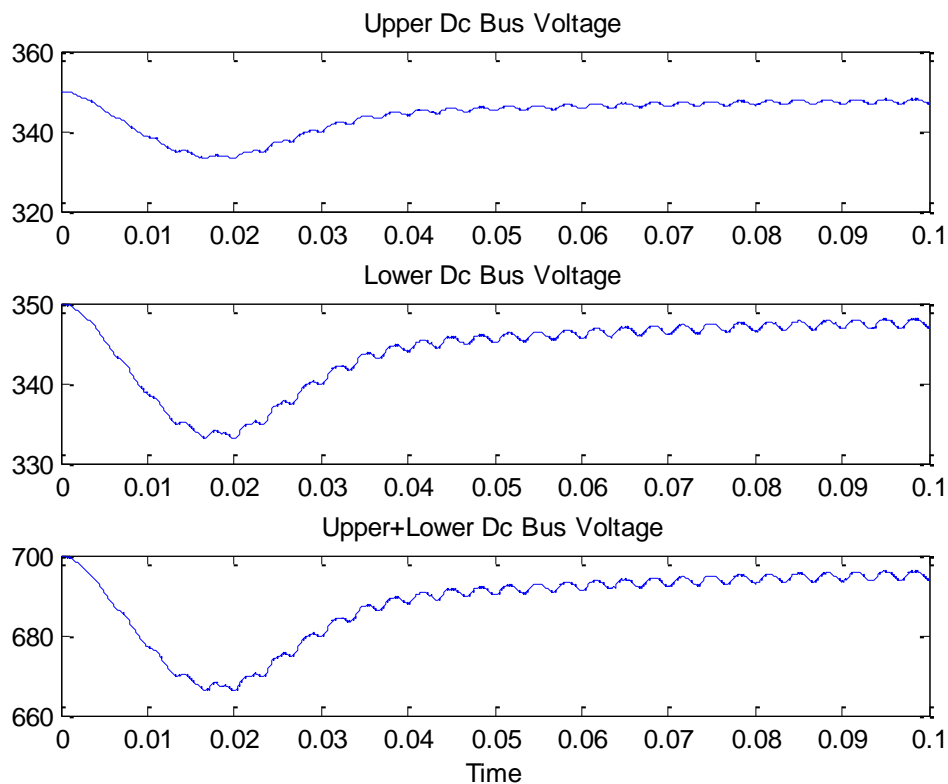
شکل (۳۷-۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۳۸-۸) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۳۹) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۴۰) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9246.7	2056.9	9472.7	0.9761	5.4	0.0011	1.126
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.9770	-	0.001	-

جدول (۸-۲۰)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12331	2340	45.7	50.8

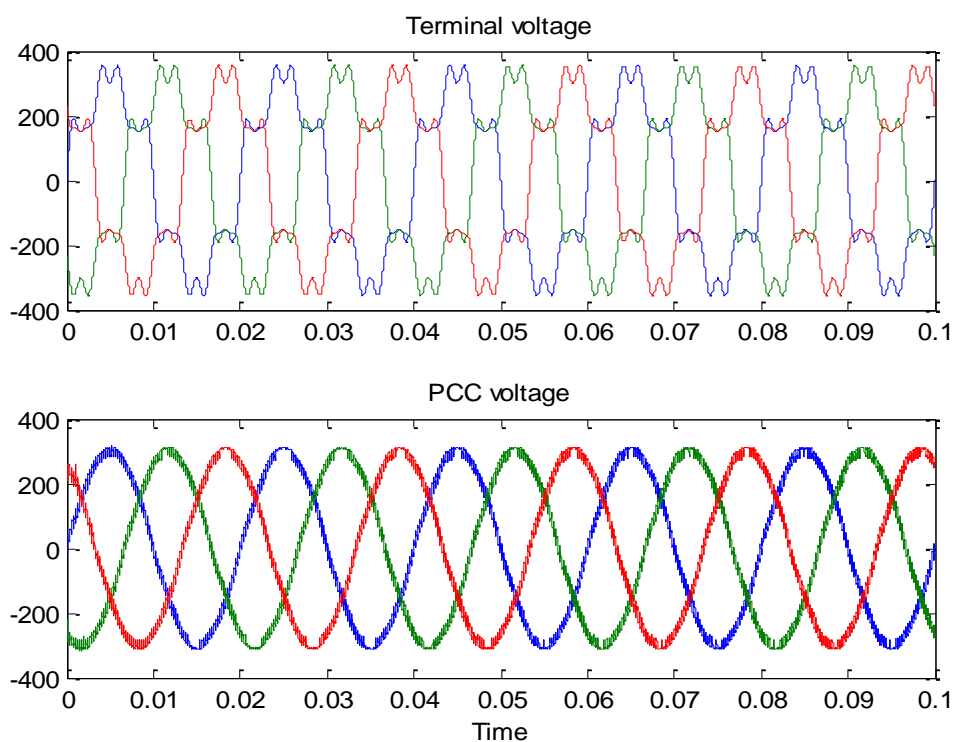
جدول (۸-۲۱)

۸-۵-۲- انتخاب نقطه معادل حداقل DF

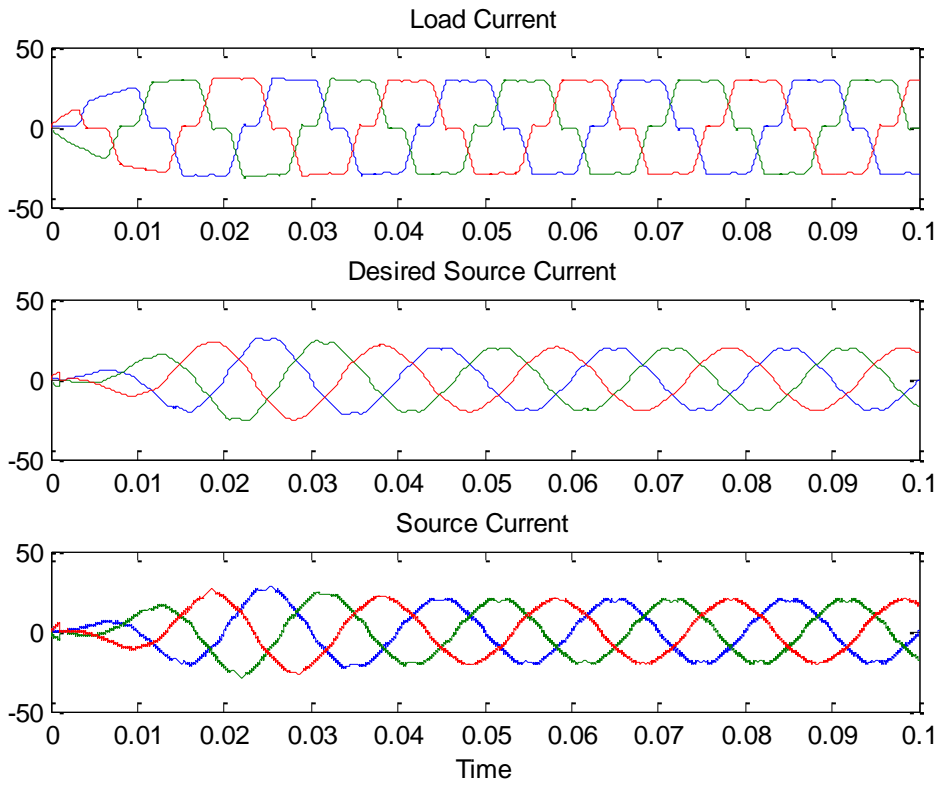
چنانچه حذف هارمونیک های فرکانس پایین از اهمیت بیشتر نسبت به حذف هارمونیک های فرکانس بالا برخوردار باشد از این نقطه می تواند به عنوان نقطه کار مورد نظر استفاده کرد.

شکلهای (۸-۴۱) تا (۸-۴۴) و جداول (۸-۲۲) تا (۸-۲۳) نتایج حاصل از

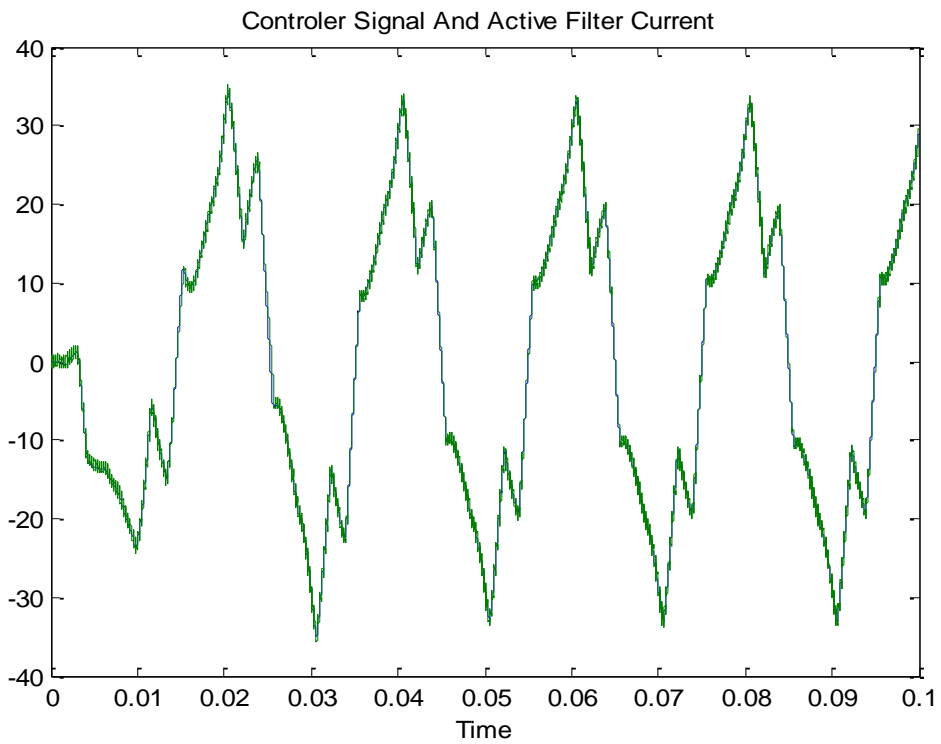
شبیه سازی به ازای نقطه معادل حداقل DF را نشان می دهند.



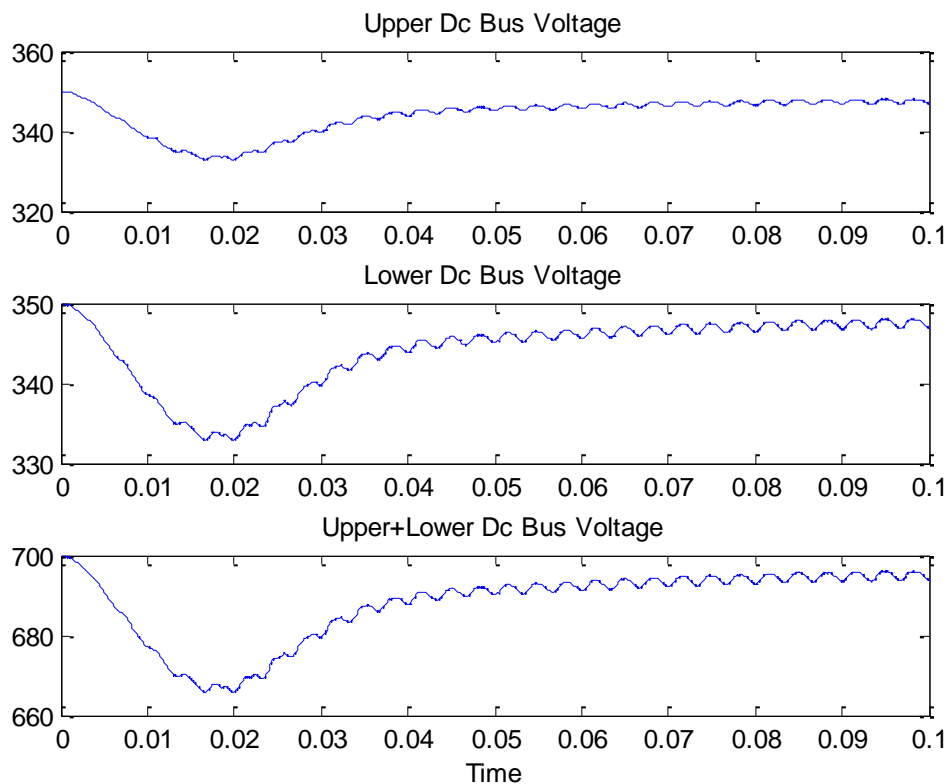
شکل (۸-۴۱) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۴۲) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۴۳) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۴۴-۸) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9246.7	2056.9	9472.7	0.9761	5.4	0.0011	1.126
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.9770	-	0.001	-

جدول (۲۲-۸)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12331	2340	45.7	50.8

جدول (۸-۲۳)

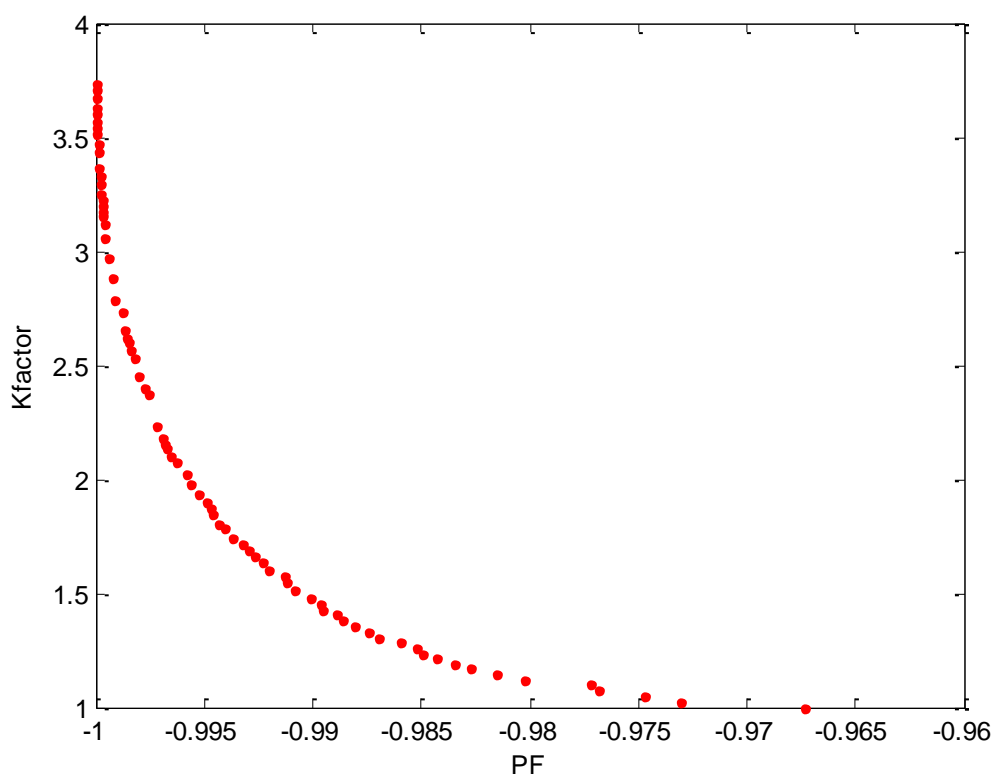
۸-۶- بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب K به روش Spareto:

یکی دیگر از توابع هدف مورد بررسی در این فصل تابع ضریب K است که به صورت رابطه (۸-۲) تعریف می گردد.

$$KF = \frac{\sum_{i=1}^n (I_h \times h)^2}{\sum_{i=1}^n I_h^2} \quad (۸-۲)$$

در رابطه (۸-۲) [۵۰] هارمونیک های فرکانس بالا وزن بیشتری نسبت به هارمونیک های مرتبه پایین دارا است. این ضریب بیشتر درجهایی مطرح است که یک بار غیر خطی توسط یک ترانسفورماتور تغذیه می گردد. گاهی اوقات این ضریب برای ترانس بسیار مهم است زیرا تلفات ناشی از جریانهای گردابی می تواند به شدت بر عملکرد ترانس تاثیر گذارد و باعث آسیب عایق های آن گردد. طبق تعریف NSI/IEEE 3057.110.66 ضریب K برابر با ۱ نشان دهنده یک بار خطی به دور از هارمونیک است.

شکل (۸-۴۵) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی دو تابع PF و KF را بدون قید نشان می دهد.

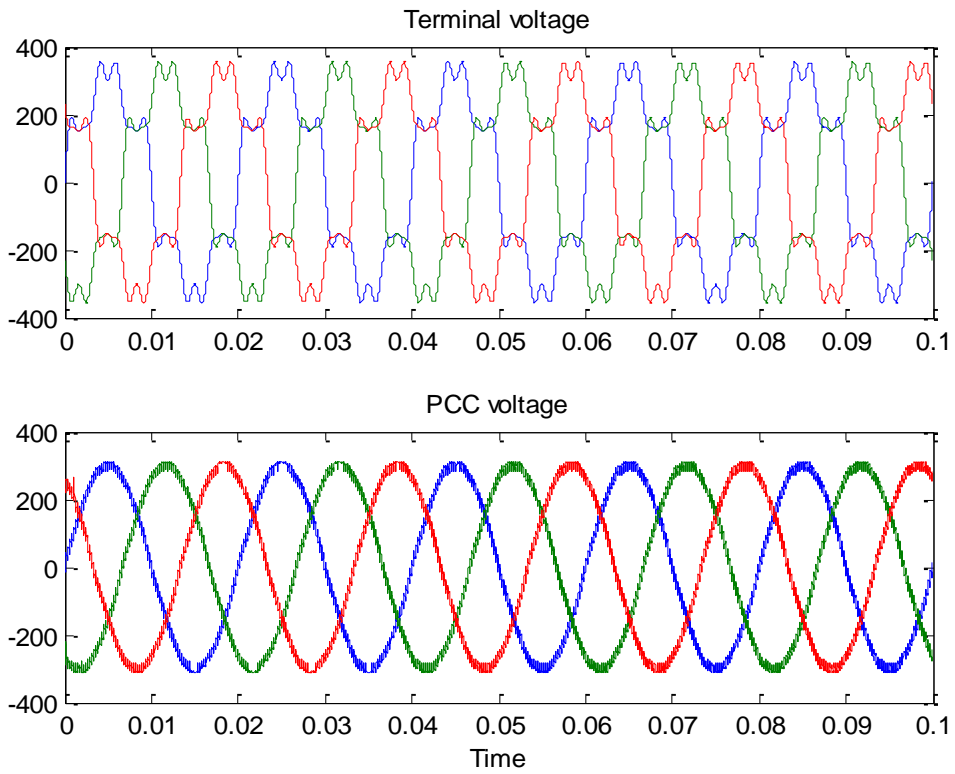


شکل (۸-۴۵) سطح بهینه پرتو توابع PF و KF

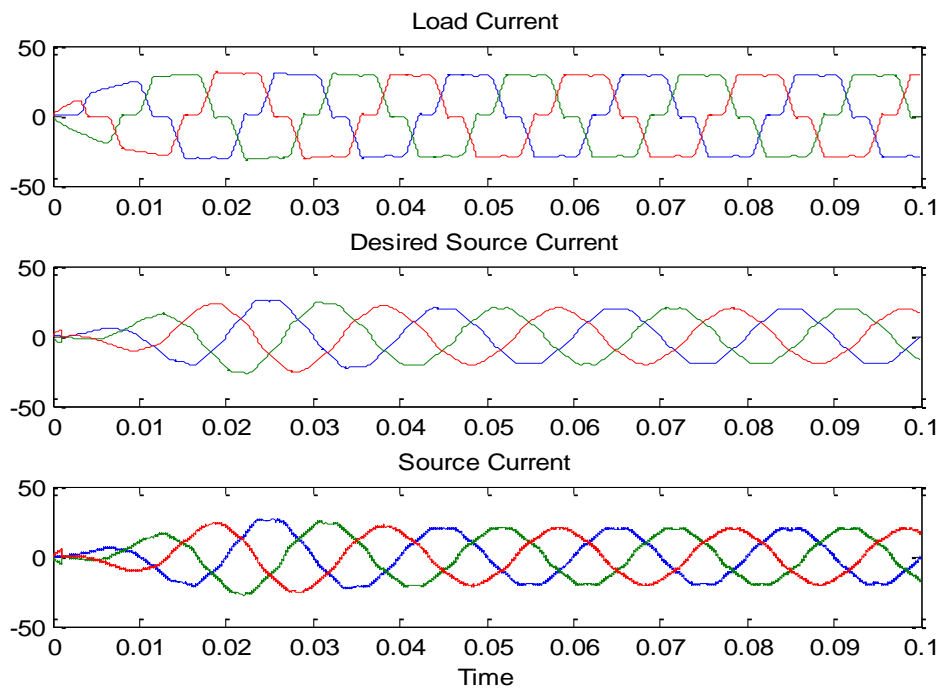
۸-۶-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KF:

چنانچه حذف هارمونیک های فرکانس بالا از اهمیت بیشتری نسبت به حذف هارمونیک های فرکانس پایین برخوردار باشد، نظیر آنچه در مورد ترانسفورماتور بیان شد از این نقطه می توان به عنوان نقطه کار مطلوب بهره جست. (PF=0.9673, KF=1.0)

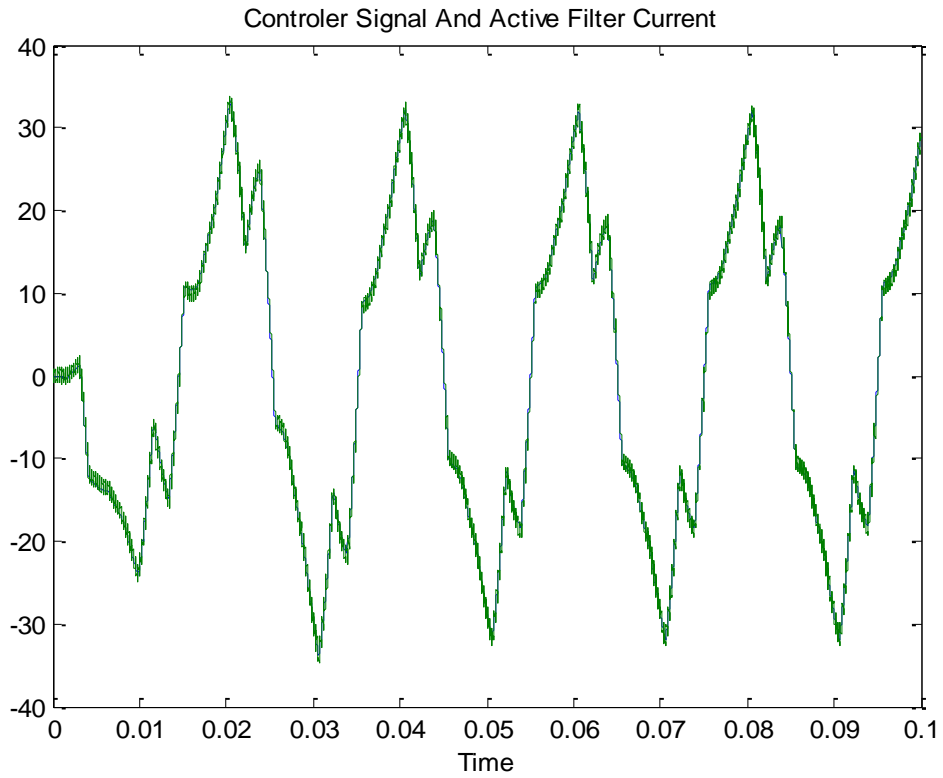
نتایج حاصل از شبیه سازی معادل این نقطه کار در شکل های (۸-۴۶) تا (۸-۴۹) و جداول (۸-۲۴) تا (۸-۲۵) ارائه شده است.



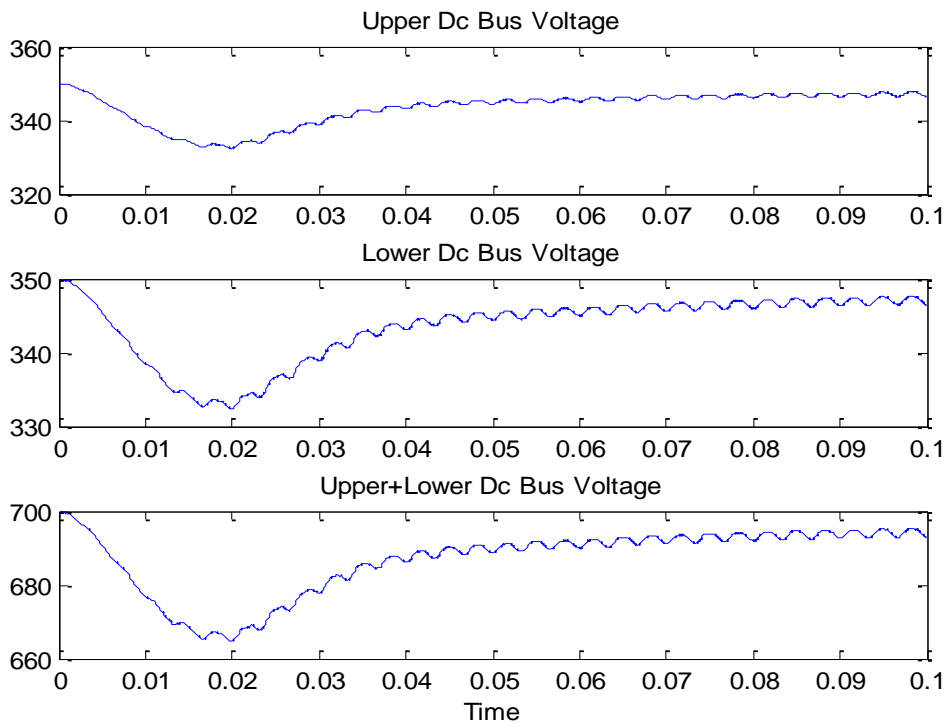
شکل (۸-۴۶) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۴۷) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۴۸-۸) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۴۹-۸) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9161.4	2422.4	9476.3	0.9668	1.5	0.0004	1.005
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.9673	-	-	1

جدول (۸-۲۴)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12242	2345	41.27	43

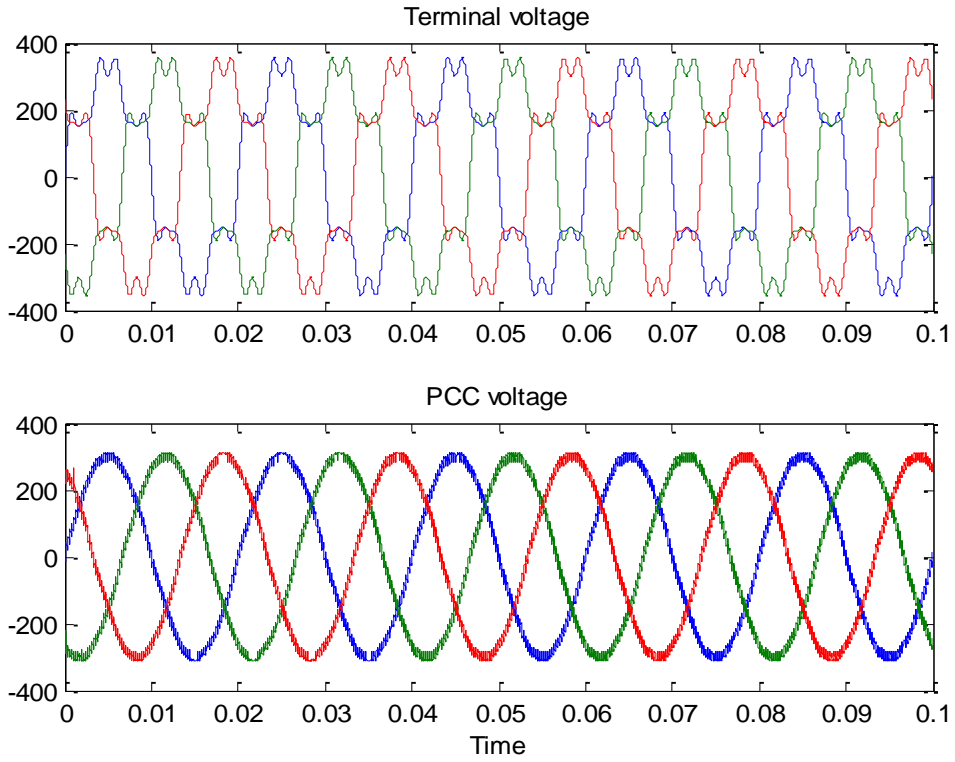
جدول (۸-۲۵)

۸-۶-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF :

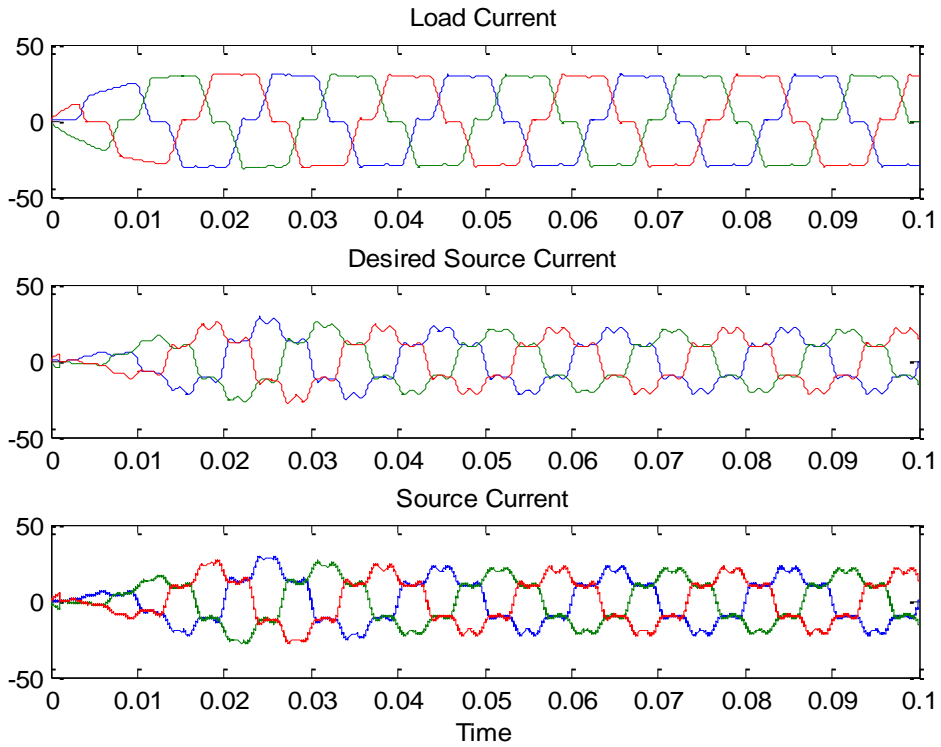
چنانچه حذف هارمونیک های فرکانس بالا از اهمیت چندانی برخوردار نباشد و هدف رسیدن به بیشترین PF باشد می توان این نقطه را به عنوان نقطه کار انتخاب کرد. (PF=0.99, KF=3.5)

نتایج حاصل از شبیه سازی این نقطه در شکل های (۸-۵۰) تا (۸-۵۳) و جداول (۸-۲۶) تا

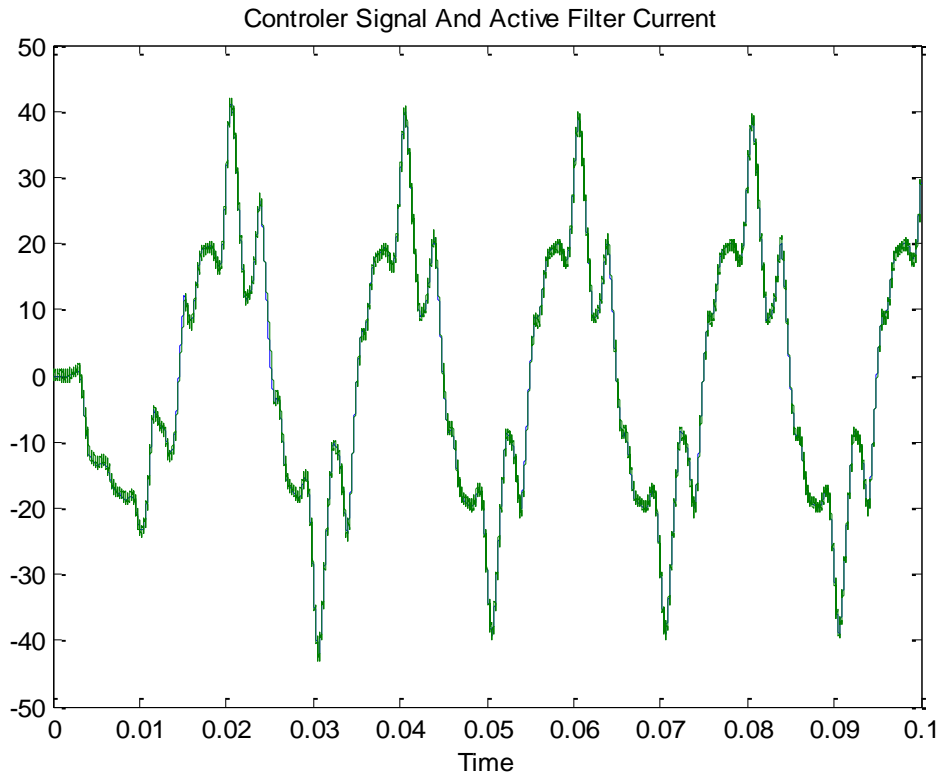
(۸-۲۷) ارائه شده است.



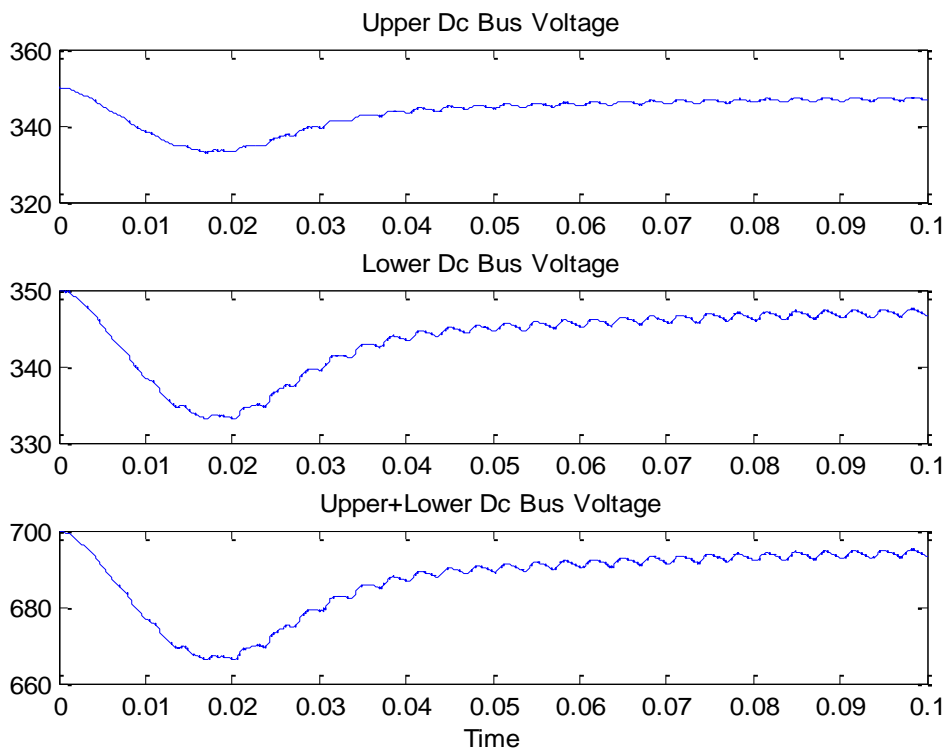
شکل (۸-۵) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۵۱) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۵۲-۸) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۵۳-۸) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9315.6	341.5	9321.9	0.9993	26.24	0.0084	3.75
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	1	-	-	3.6

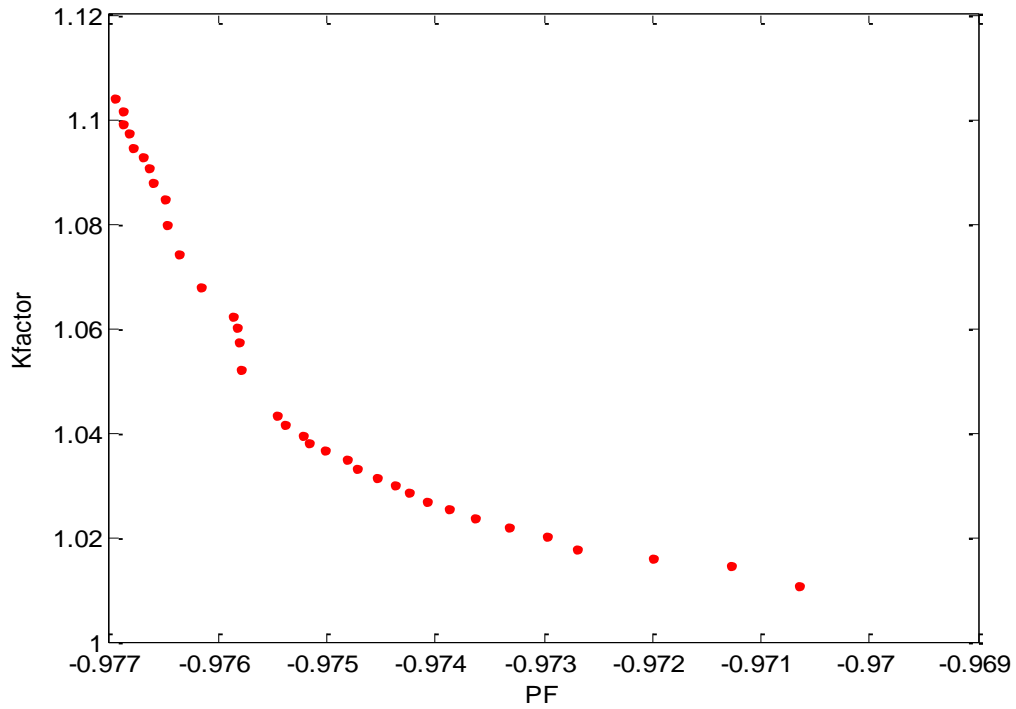
جدول (۸-۲۶)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12619	2313	41.6	44.9

جدول (۸-۲۷)

۸-۷- بهینه سازی همزمان ضریب توان و ضریب K به روش Max-Min:

چنانچه در بهینه سازی همزمان دو تابع PF و KF رعایت قیودی نظیر قیودی IEEE 519 الزامی می باشد از این روش استفاده می کنیم. شکل (۸-۵۴) سطح بهینه برای دو تابع PF و KF را تحت قیود IEEE 519 نشان می دهد.

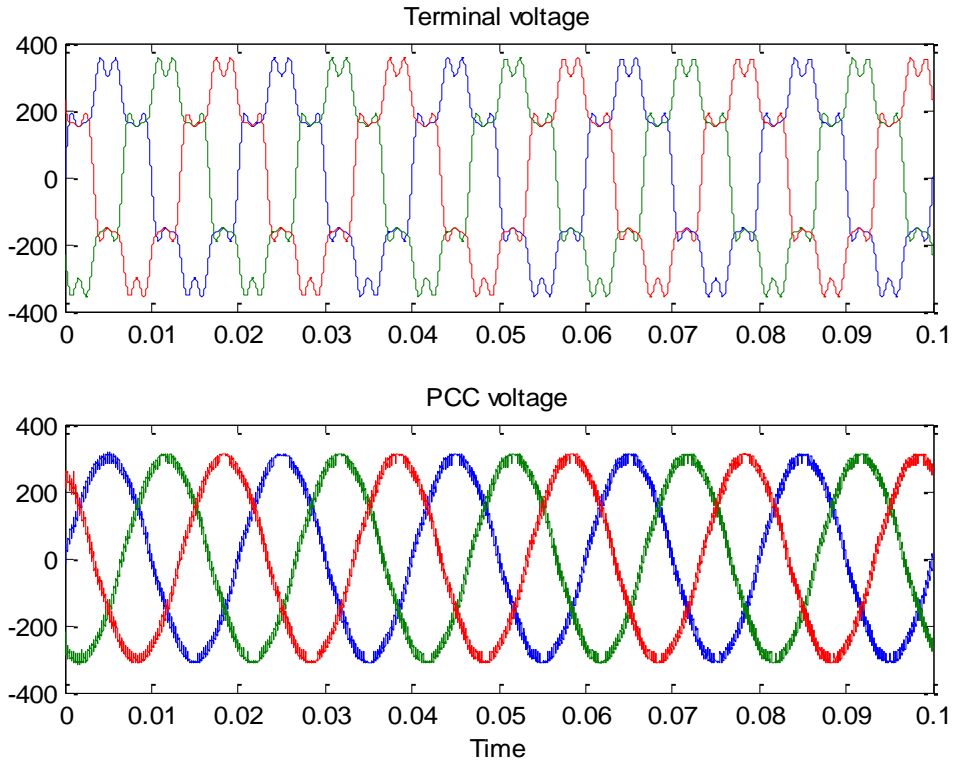


شکل (۵۴-۸) سطح بهینه پرتو توابع PF و KF

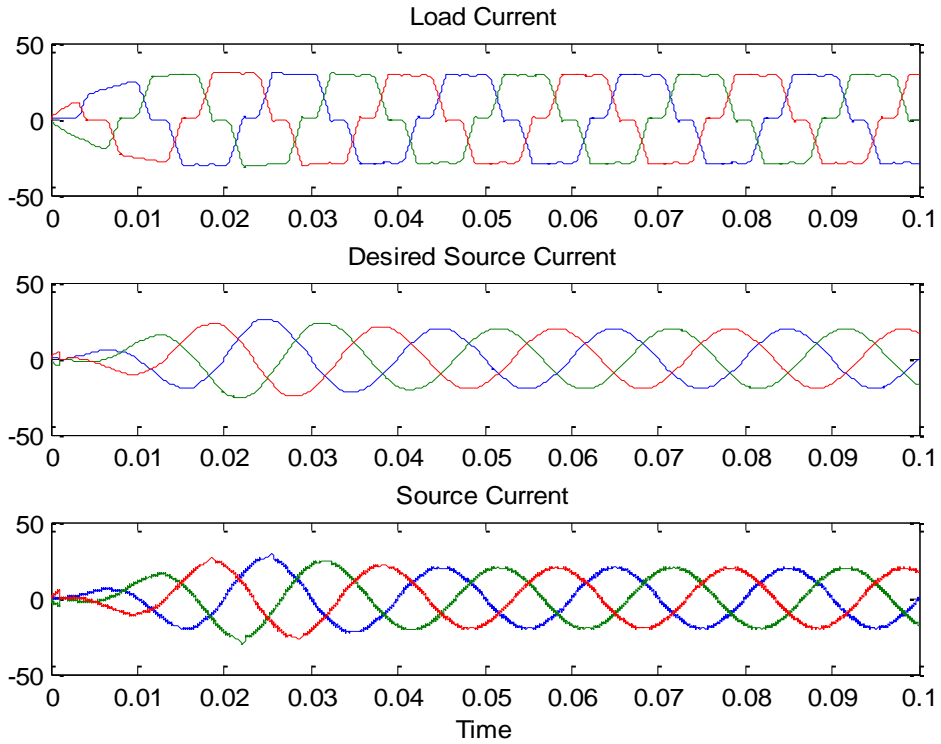
۸-۷-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KF

شکل های (۵۵-۸) تا (۵۸-۸) و جداول (۲۸-۸) تا (۲۹-۸) نتایج حاصل از شبیه سازی به ازای نقطه معادل

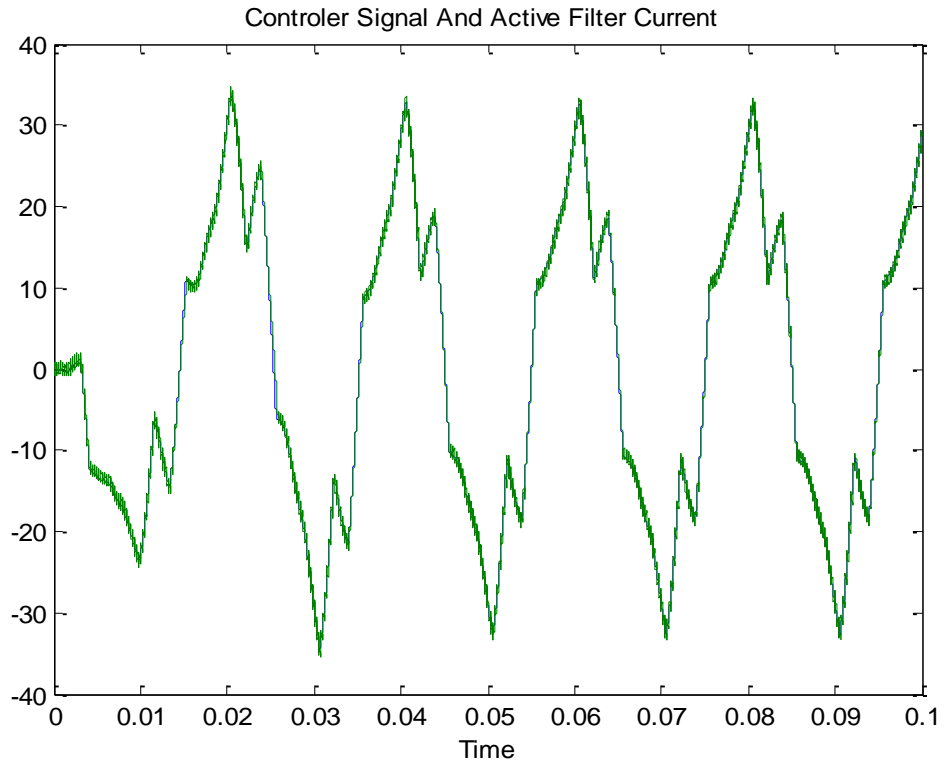
حداقل KF را نشان می دهد. (PF=0.97, KF=1)



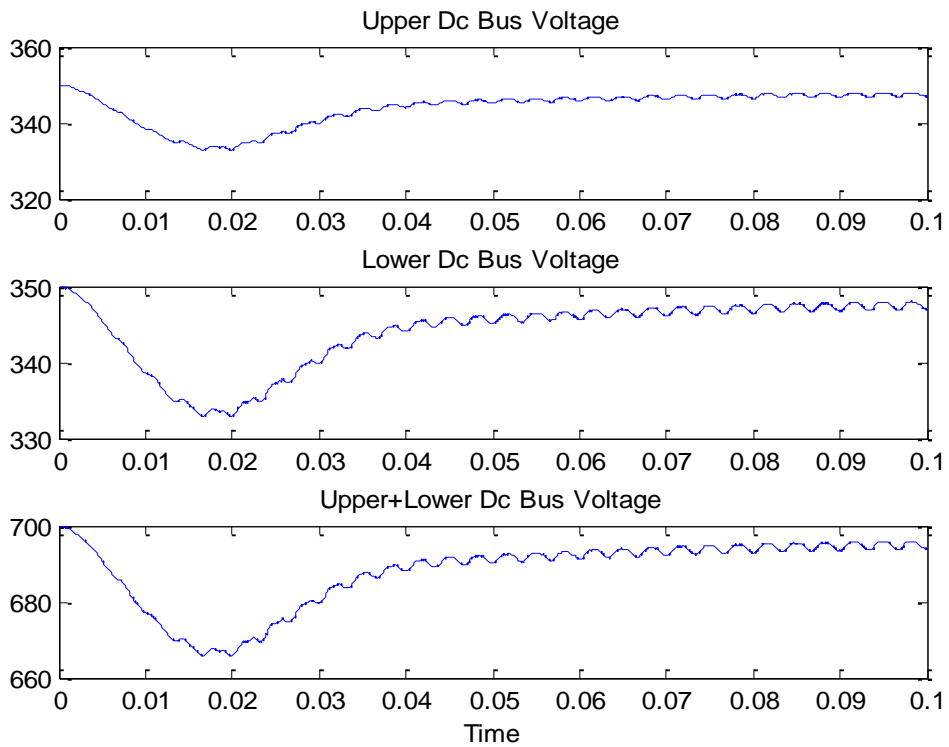
شکل (۵۵-۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۵۶-۸) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۵۷-۸) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۵۸-۸) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9234	2319.3	9520.8	0.9699	2.5	0.0009	1.02
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.97	-	-	1

جدول (۸-۲۸)

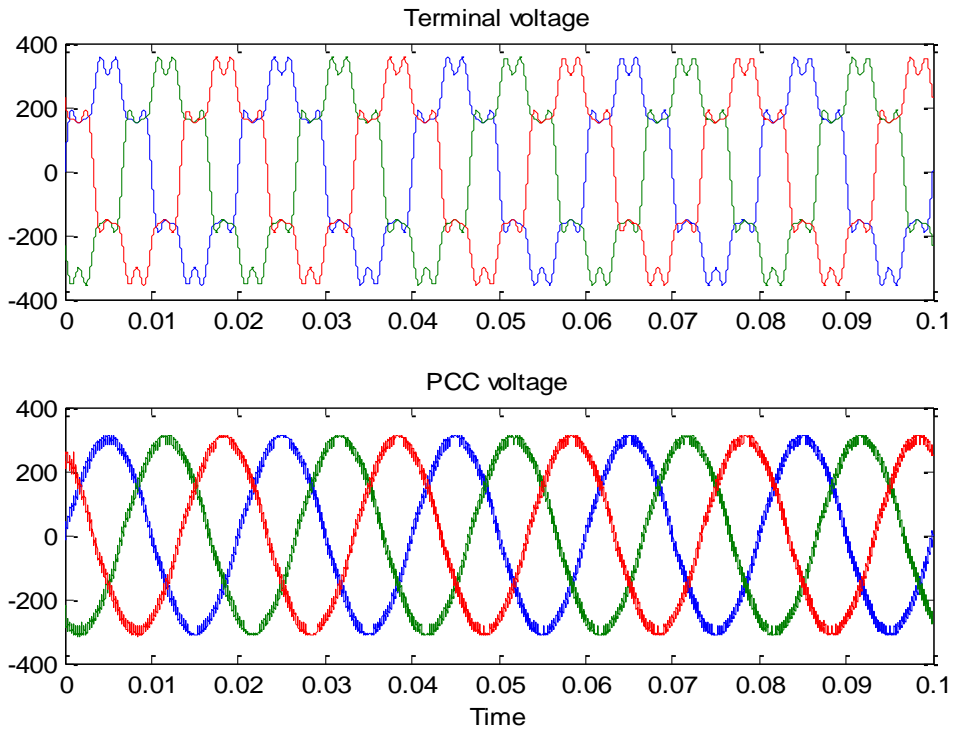
توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12305	2354	45.8	50.3

جدول (۸-۲۹)

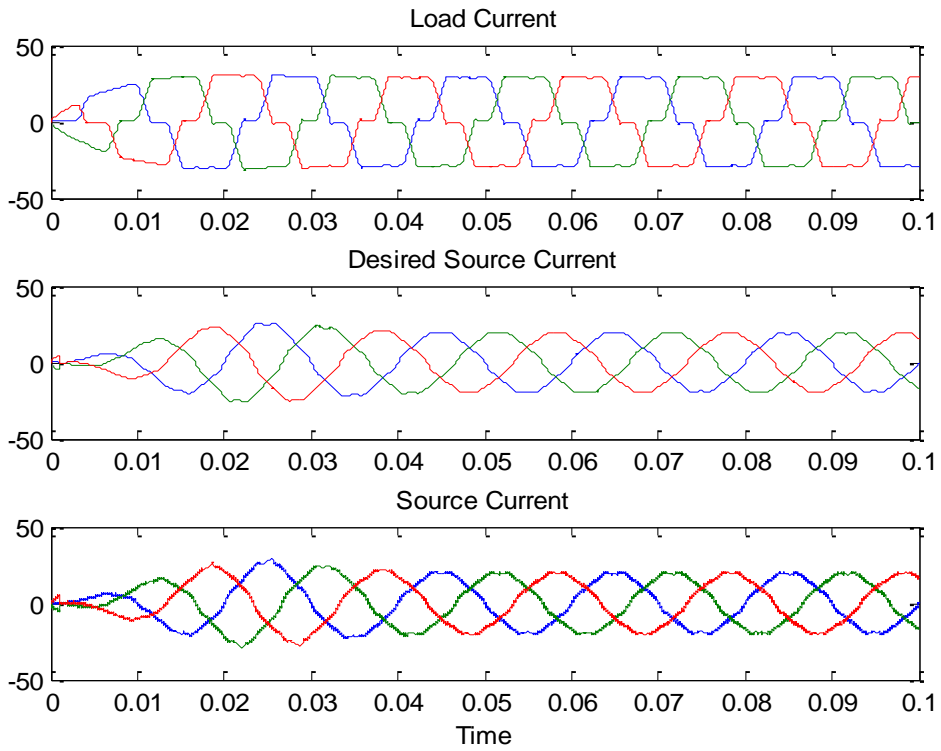
۸-۷-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF

شکل‌های (۸-۵۹) تا (۸-۶۲) و جداول (۸-۳۰) تا (۸-۳۱) نتایج حاصل از شبیه سازی به ازای نقطه معادل

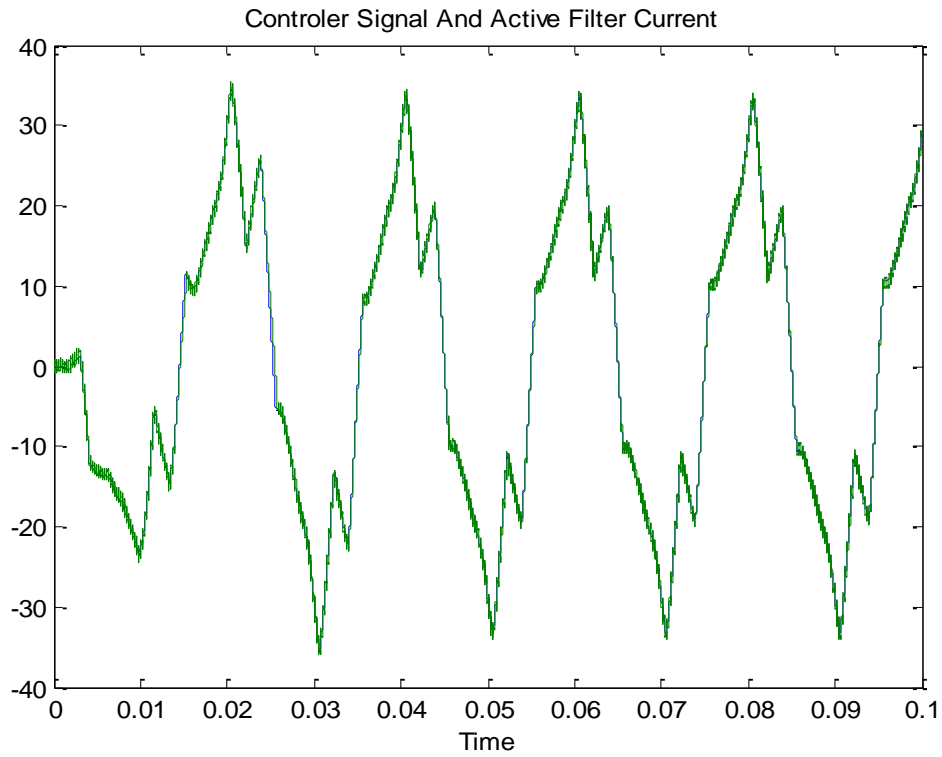
حداکثر PF را نشان می دهند. (PF=0.977, KF=1.1)



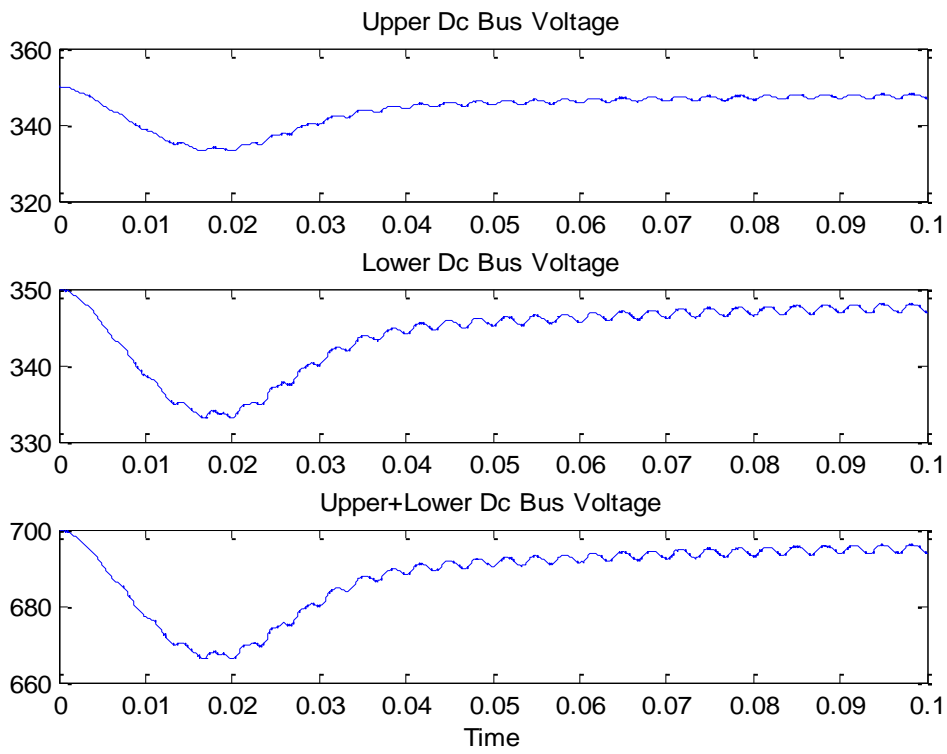
شکل (۸-۵۹) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۶۰) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۶۱) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۶۲) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930
پس از جبران جریان	9250.7	2058.2	9476.9	0.9761	5.4	0.0011	1.13
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.977	-	-	1.1

جدول (۸-۳۰)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12335	2340	45.6	50.7

جدول (۸-۳۱)

۸-۸- بهینه سازی همزمان ضریب توان و توان ظاهری به روش Spareto:

از دیگر پارامترهای مورد بررسی در این فصل توان ظاهری فیلترهای اکتیو سری و موازی است. توان ظاهری فیلتر اکتیو سری از رابطه (۸-۳) و توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی از رابطه (۸-۴) به دست می آید.

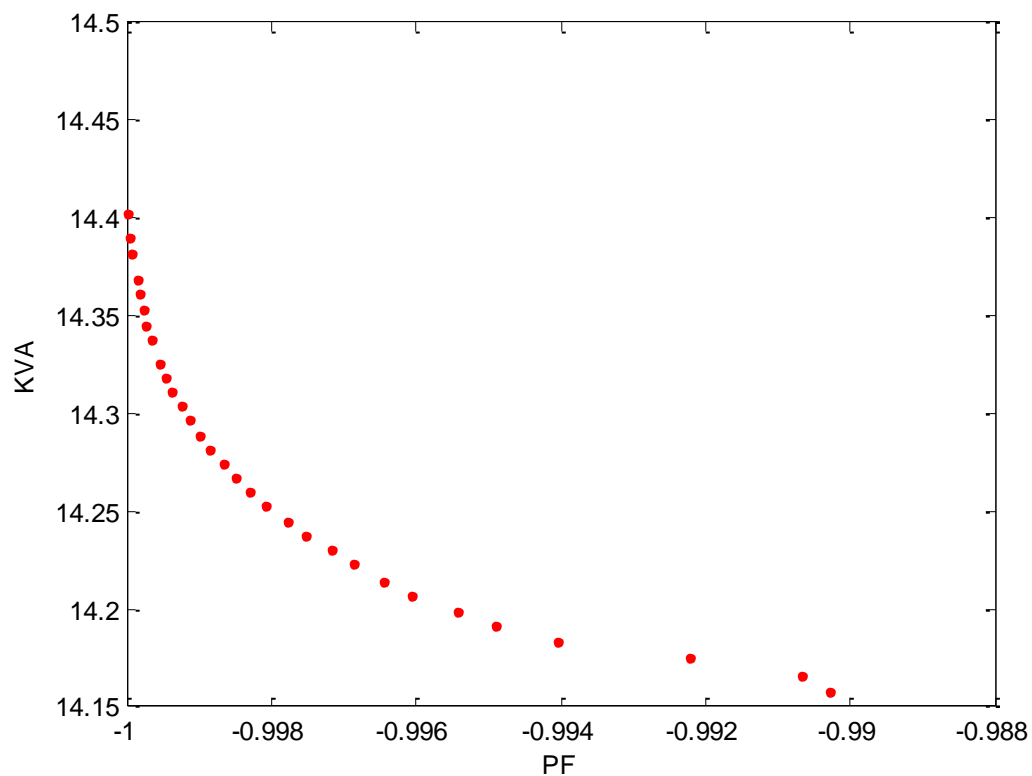
$$KVA_s = i_s^* (v_t - v_{pcc}) \quad (۸-۳)$$

$$KVA_{sh} = v_{pcc} (i_l - i_s^*) \quad (۸-۴)$$

هدف بررسی مجموع توان ظاهری فیلتر اکتیو سری و موازی است. از آنجا که توان ظاهری دو فیلتر پارامتر موثر در تعیین قیمت آنها است، لذا می توان از رابطه (۸-۵) به همراه هر یک از دیگر توابع مورد بحث نظیر ضریب توان در بهینه سازی همزمان بهره جست.

$$KVA = KVA_s + KVA_{sh} \quad (۸-۴)$$

شکل (۸-۶۳) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی دو تابع PF و KVA را بدون قید نشان می دهد.

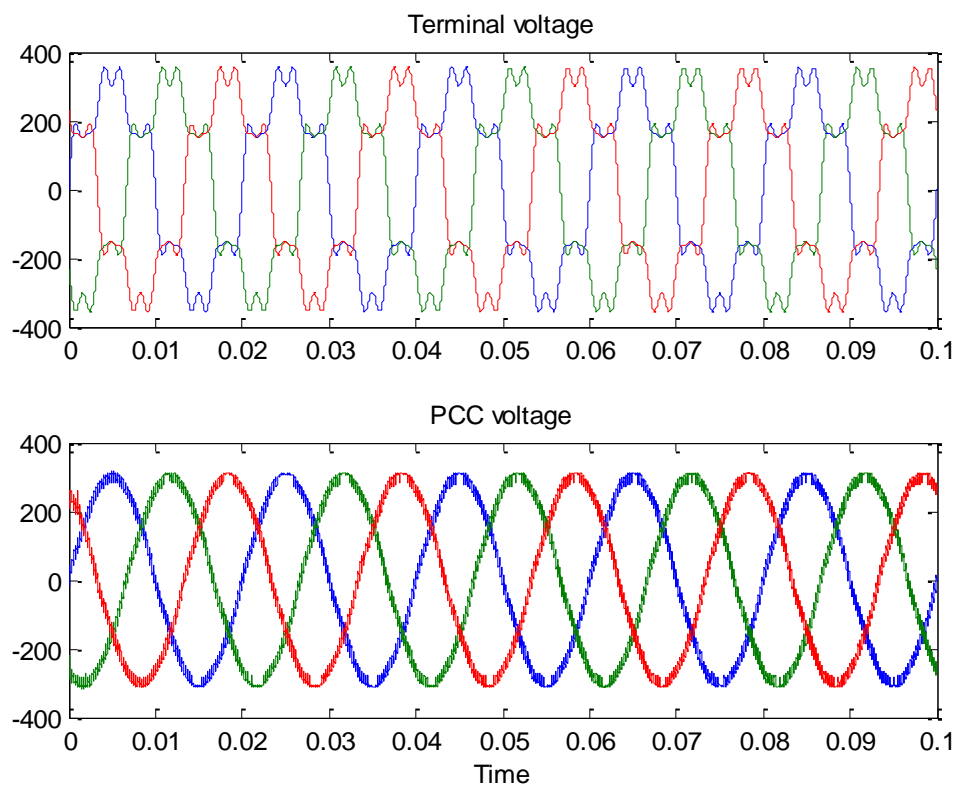


شکل (۸-۶۳) سطح بهینه پرتو توابع PF و KVA

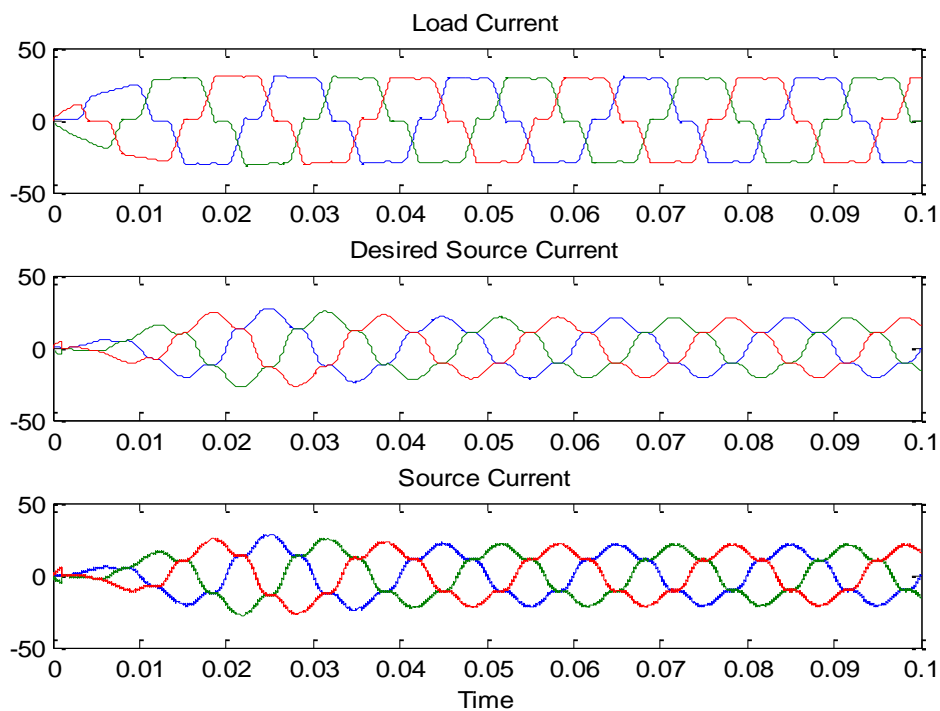
همانطور که از شکل (۸-۶۳) مشاهده می شود استراتژی های غالب پرتو در محدوده ضریب توان بین 0.99 تا 1 و توان ظاهری بین 14.15 تا 14.4 قرار دارد و تغییرات زیادی مشاهده نمی گردد.

۸-۸-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KVA

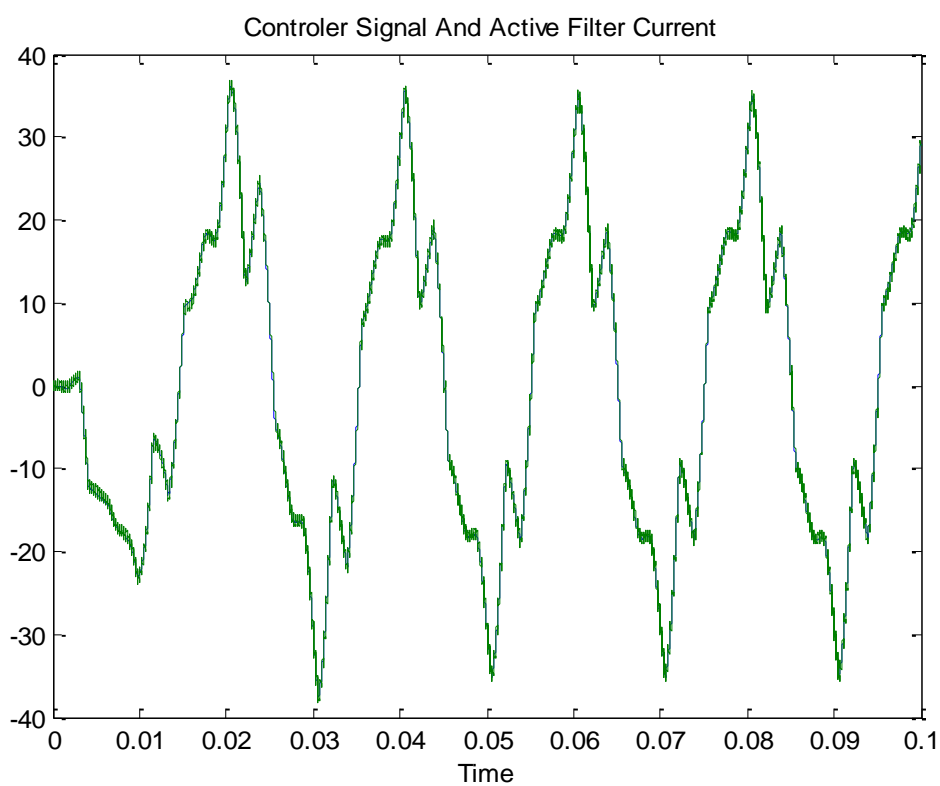
نتایج حاصل از شبیه سازی معادل نقطه کار حداقل KVA در شکل های (۸-۶۴) تا (۸-۶۷) و جداول (۸-۳۲) تا (۸-۳۳) آمده است.



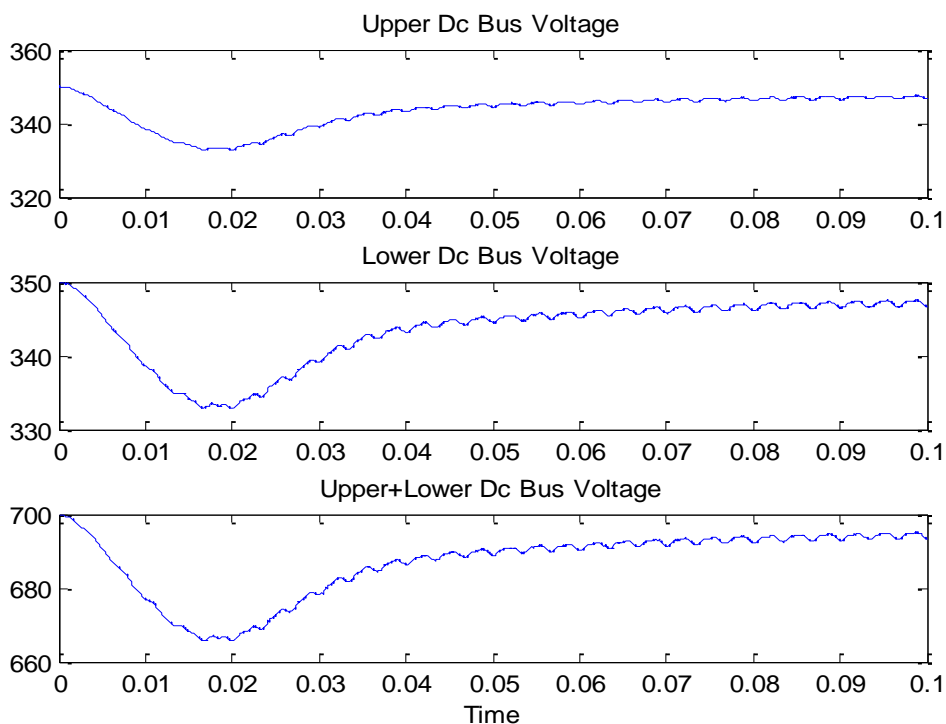
شکل (۸-۶۴) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۶۵) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۶۶) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۶۷) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF	Active filters Apparent Power KVA
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930	3.92
پس از جبران جریان	9386.9	1343.3	9482.5	0.9899	14.52	0.0054	1.553	14.8
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.99	-	-	-	14.1

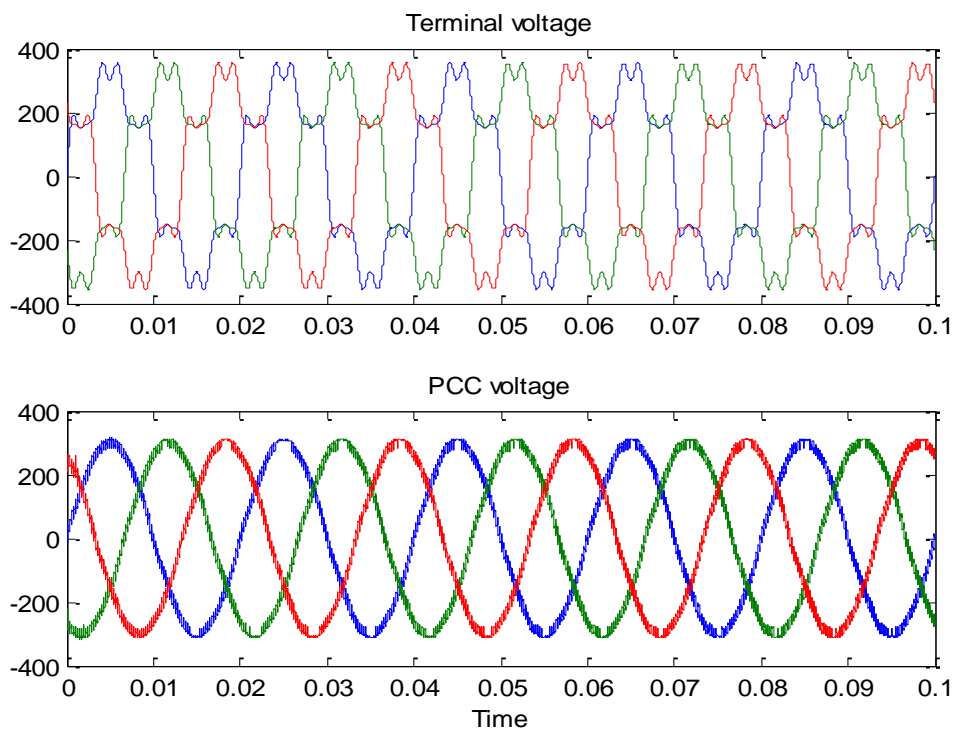
جدول (۸-۳۲)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12445	2358	55.5	58

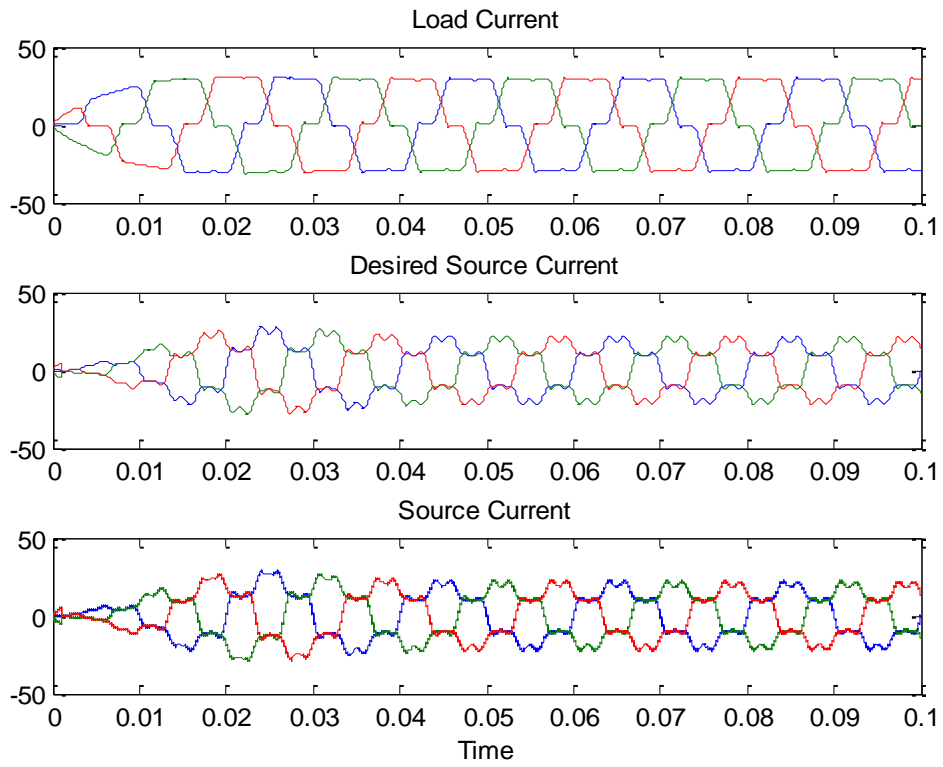
جدول (۳۳-۸)

۸-۱-۸- انتخاب نقطه معادل حداکثر PF

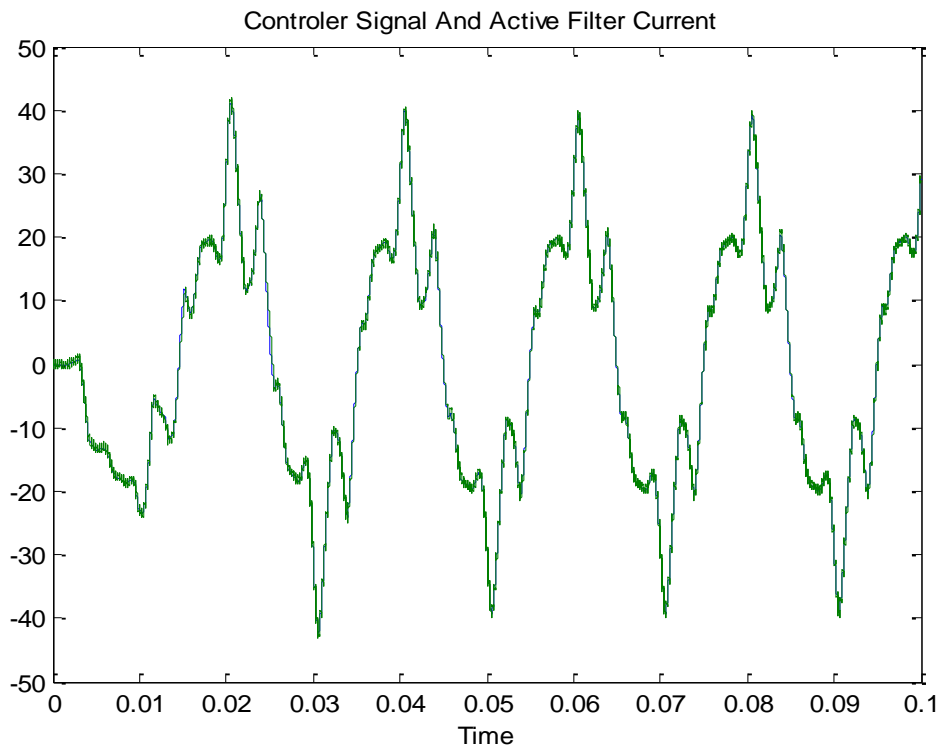
نتایج حاصل از شبیه سازی معادل نقطه کار حداکثر PF در شکل های (۶۸-۸) تا (۷۱-۸) و جداول (۳۴-۸) تا (۳۵-۸) آمده است.



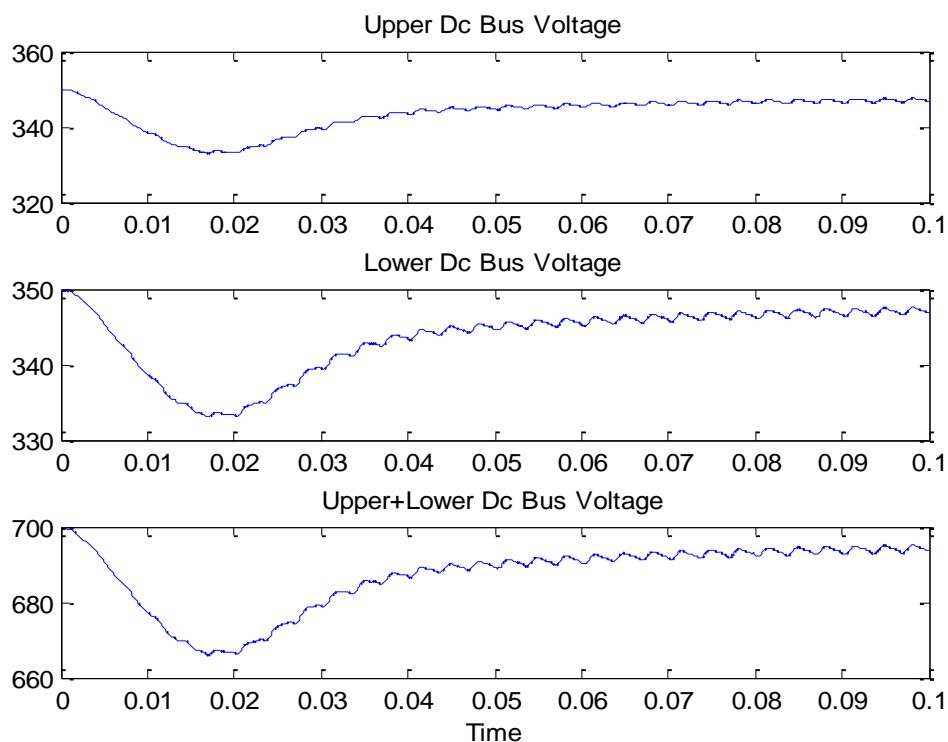
شکل (۶۸-۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۶۹) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۷۰) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۷) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF	Active filters Apparent Power KVA
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930	3.92
پس از جبران جریان	9471.6	2603	9475.2	0.9996	26.18	0.0084	3.76	15.05
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	1	-	-	-	14.4

جدول (۸-۳۴)

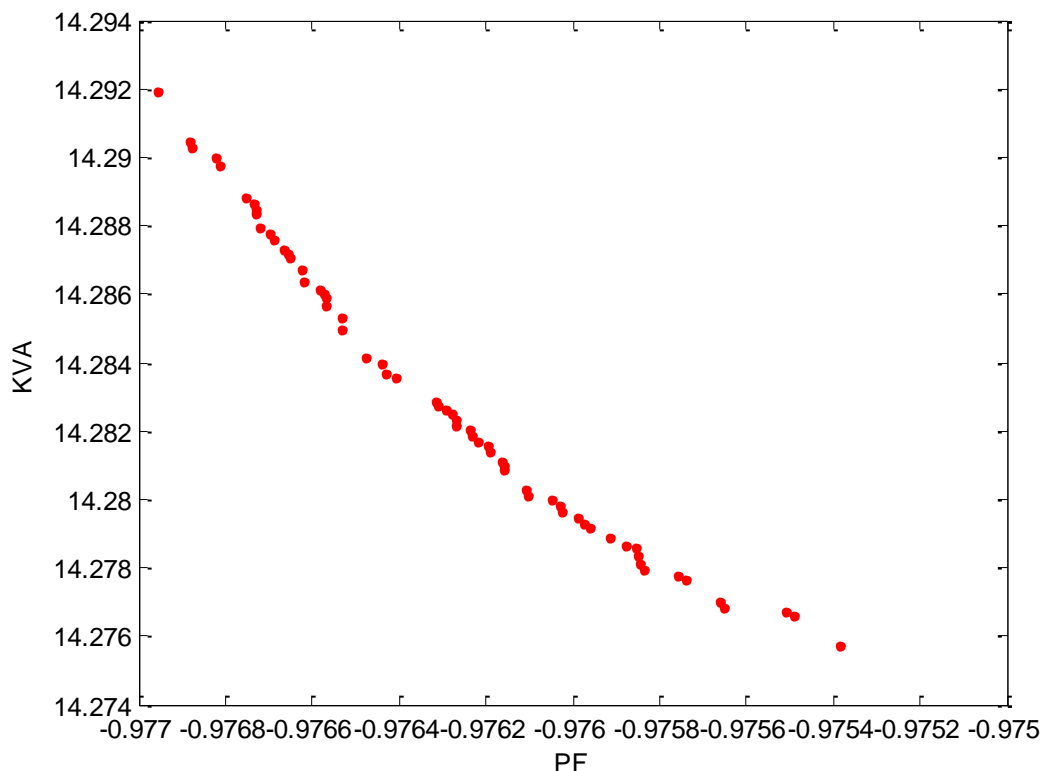
توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12690	2359	55.5	59.6

جدول (۸-۳۵)

۸-۹- بهینه سازی همزمان ضریب توان و توان ظاهری به روش Max-Min:

چنانچه در بهینه سازی همزمان دو تابع PF و KVA رعایت قیودی نظیر قیودی IEEE 519 الزامی می باشد از این روش استفاده می کنیم.

شکل (۸-۷۲) سطح بهینه حاصل از بهینه سازی دو تابع PF و KVA را با قید نشان می دهد.

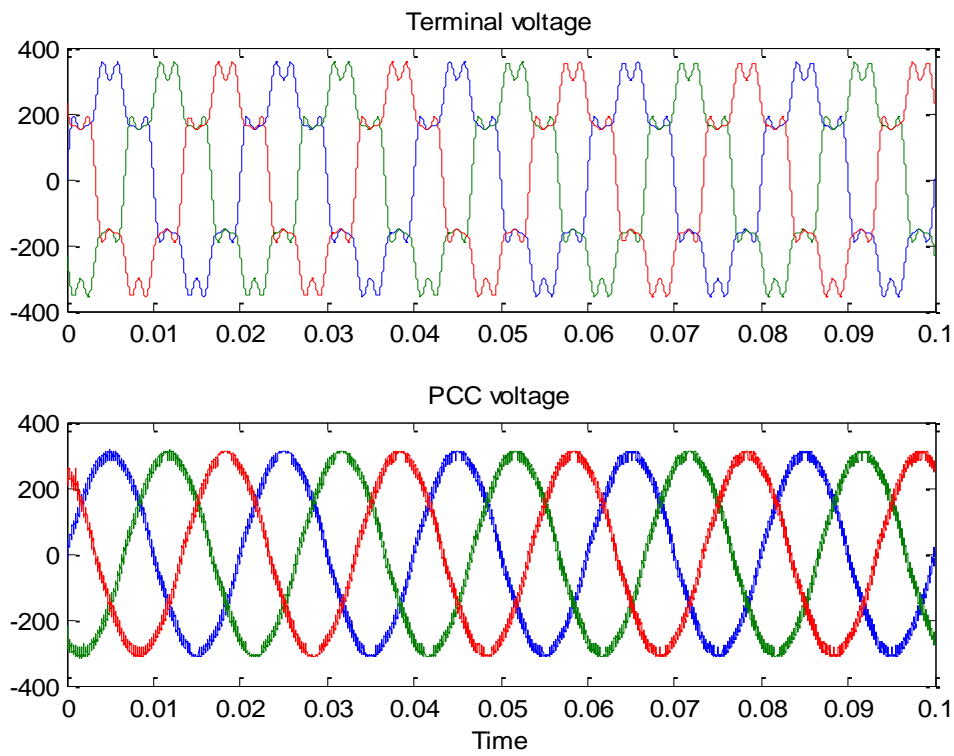


شکل (۸-۷۲) سطح بهینه پرتو توابع PF و KVA

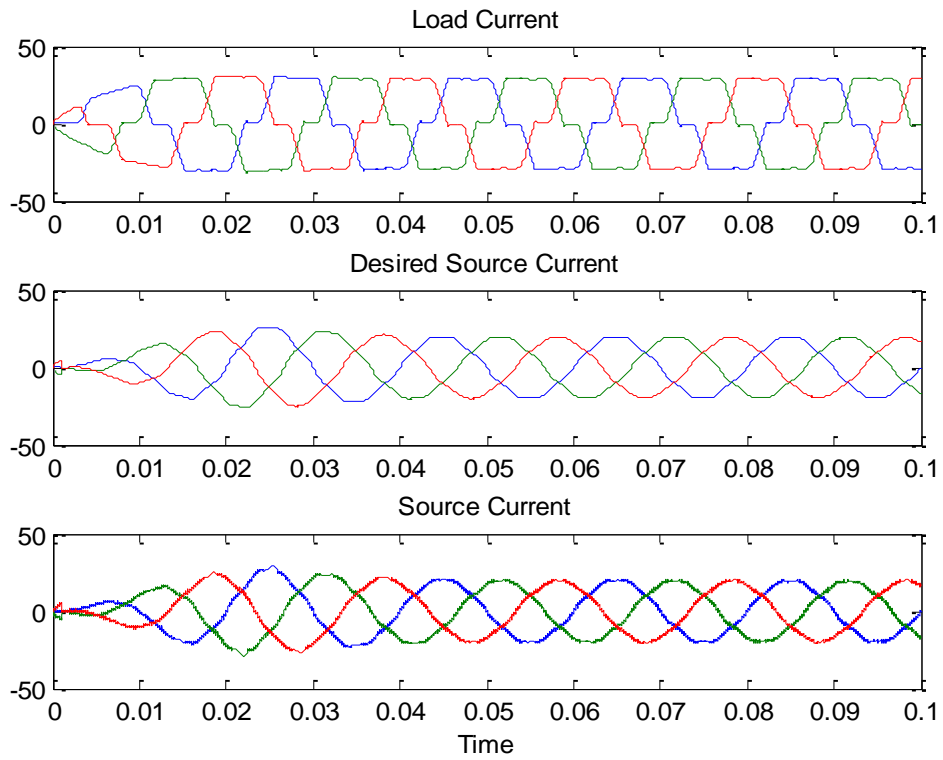
۸-۹-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل KVA

نتایج حاصل از شبیه سازی معادل نقطه کار حداقل KVA در شکل های (۷۳-۸) تا (۷۶-۸) و جداول (۸-۳۶)

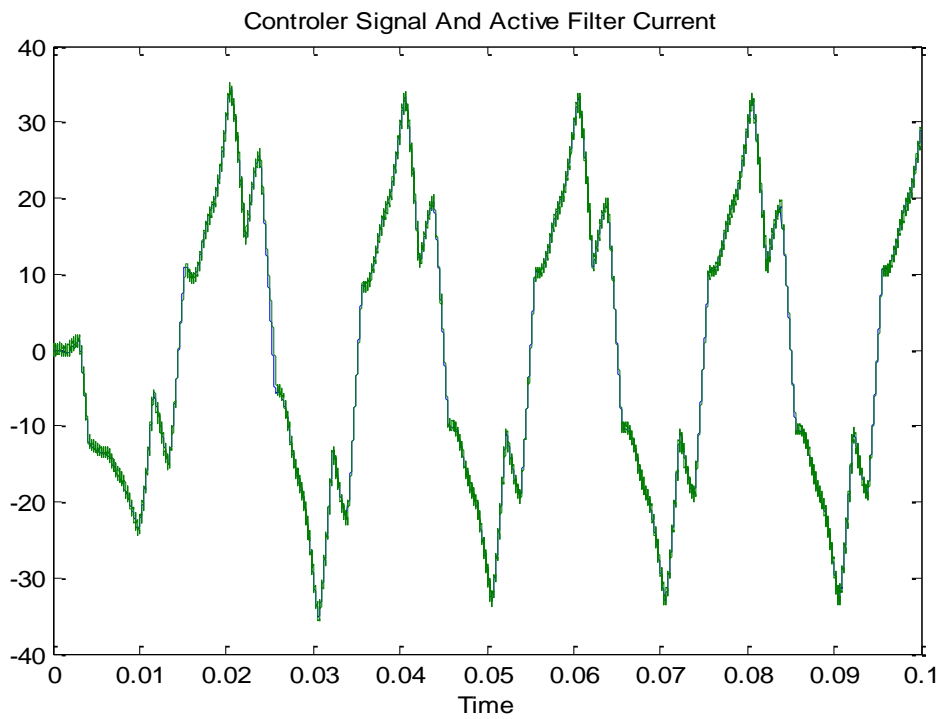
تا (۸-۳۷) آمده است. (PF=14.27, KVA=0.975)



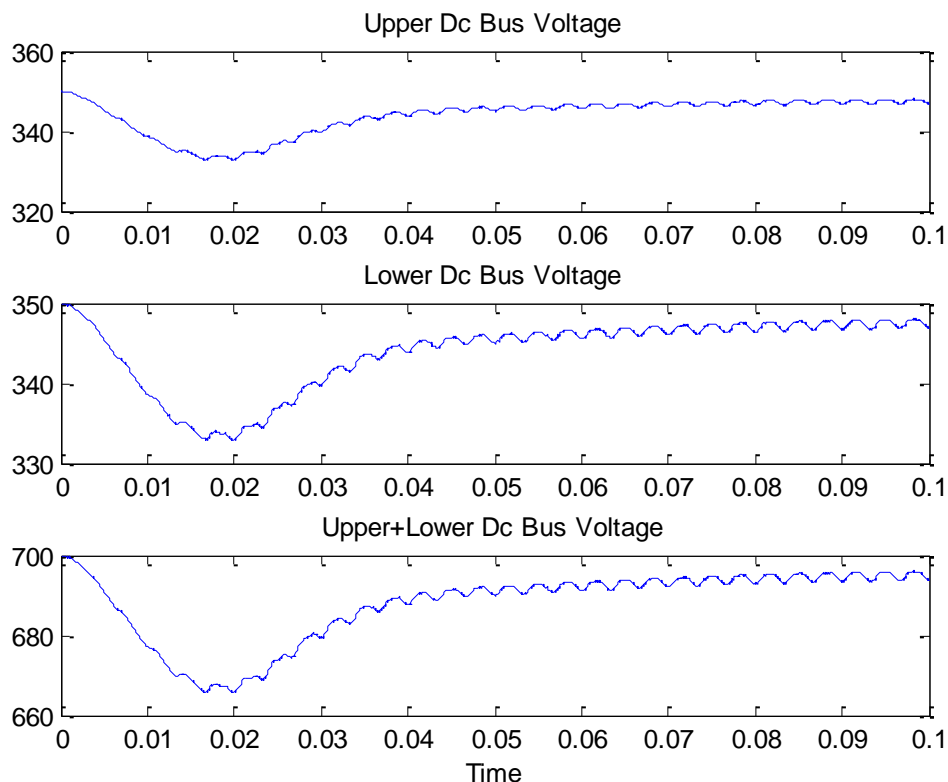
شکل (۷۳-۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۷۴) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۷۵) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۷۶) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF	Active filters Apparent Power KVA
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930	3.92
پس از جبران جریان	9244.8	2128.2	9486.6	0.9745	5.02	0.0011	1.08	14.7
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.975	-	-	-	14.27

جدول (۸-۳۶)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12332	2344	45.7	50.4

جدول (۸-۳۷)

از مقایسه مقادیر توان ظاهری فیلترهای اکتیو مندرج در جداول چنین بر می آید که تغییرات نقطه کار روی سطح بهینه تاثیر قابل ملاحظه ای بر ظاهری فیلترهای اکتیو ندارد.

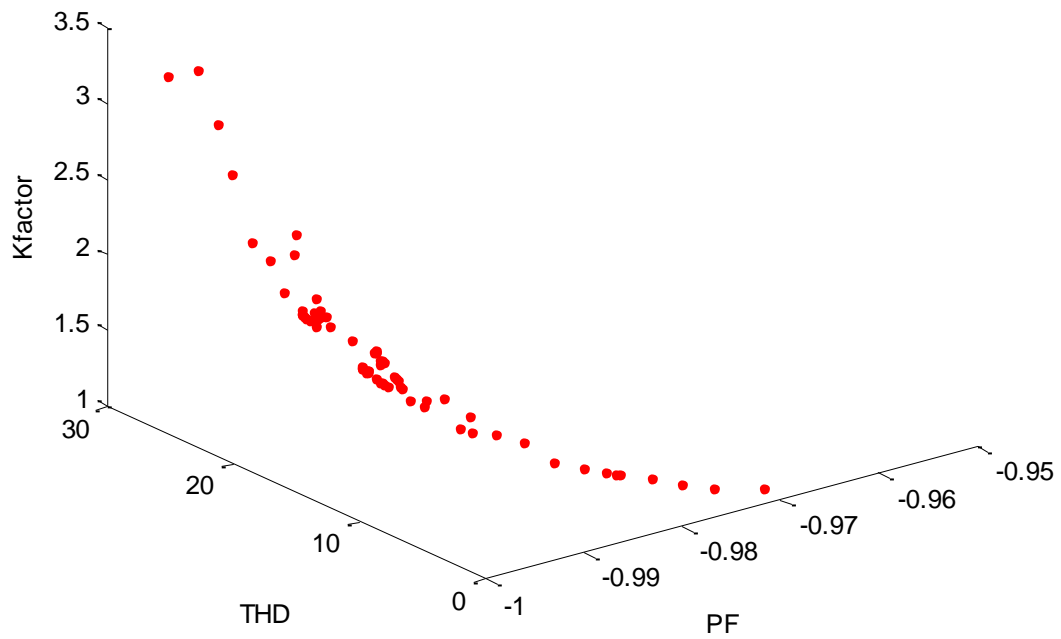
بهینه سازی در سه بعد

از مقایسه دو جدول (۸-۳۲) و (۸-۳۴) می توان دید که با اندکی تغییر در توان ظاهری فیلتر اکتیو دیگر پارامترهایی که در بهینه سازی مد نظر نبوده اند \square نظیر THD به شدت دستخوش تغییرات می گردند. لذا این سوال مطرح می گردد که آیا می توان با در نظر گرفتن همزمان چند پارامتر افق بهتری از مسئله داشت؟

تاکنون مسائل بهینه سازی به صورت دو بعدی مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که در مسائل واقعی معمولاً بیش از دو یا سه پارامتر در حل مسئله مورد توجه قرار دارد، بررسی چگونگی تغییرات سه تابع یا بیشتر به صورت همزمان بسیار مفید است. لذا می توان روشهای بهینه سازی دو بعدی SPareto و min-max را به حالت های چند بعدی تعمیم داد. در این قسمت سه تابع ضریب توان، THD و ضریب K به دو روش مذکور بهینه سازی و نتایج به صورت نمودار، ارائه شده است.

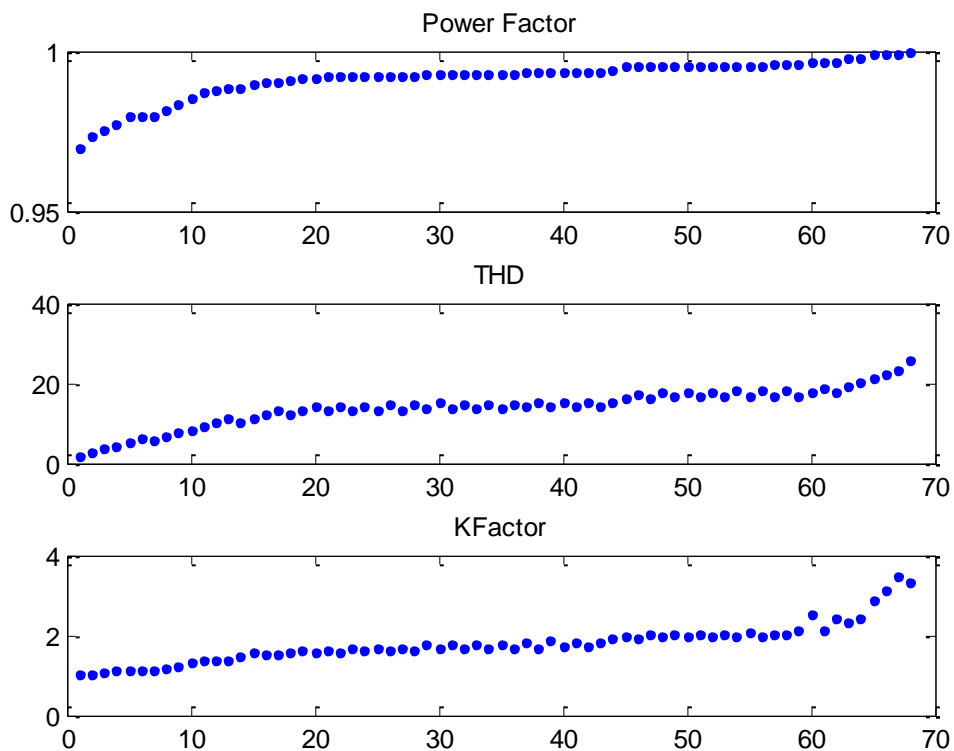
۸-۱۰- بهینه سازی همزمان ضریب توان، THD و ضریب K به روش SPareto:

شکل (۸-۷۷) نقاط بهینه حاصل از بهینه سازی سه تابع ضریب توان، THD و ضریب K را بدون هیچ قیدی نشان می دهد.



شکل (۸-۷۷) نقاط بهینه پرتو توابع PF و THD و KF

به جهت تفکیک بیشتر شکل (۸-۷۸) نقاط بهینه حاصل از بهینه سازی سه تابع ضریب توان، THD و ضریب K را به صورت مرتب شده و جداگانه نشان می دهد.

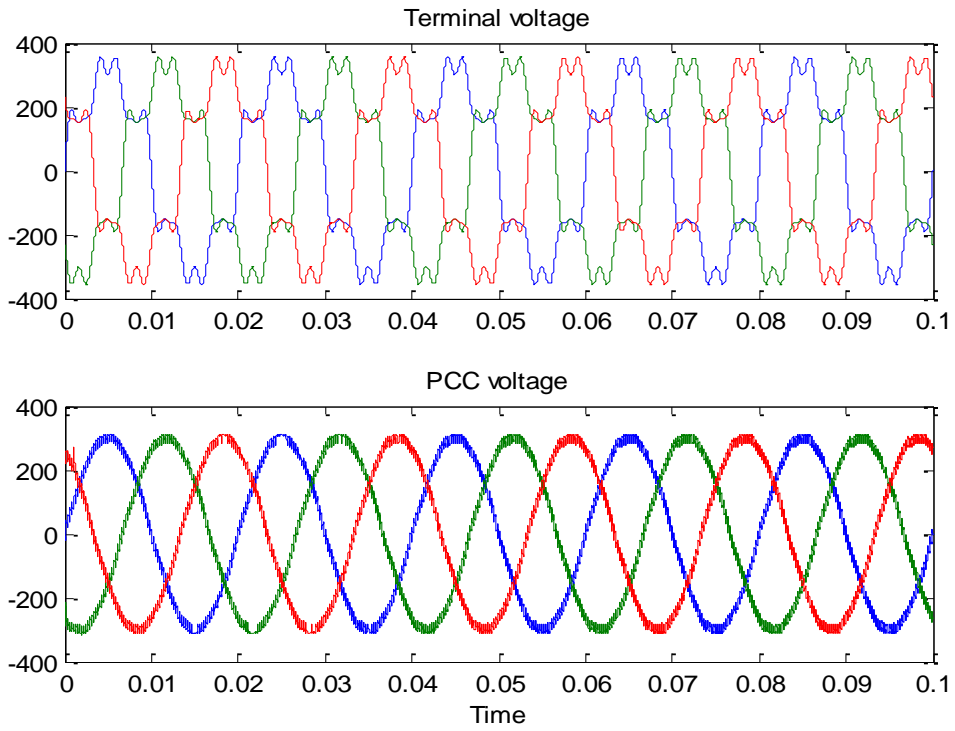


شکل (۸-۷۸) نقاط بهینه پرتو توابع PF و THD و KF

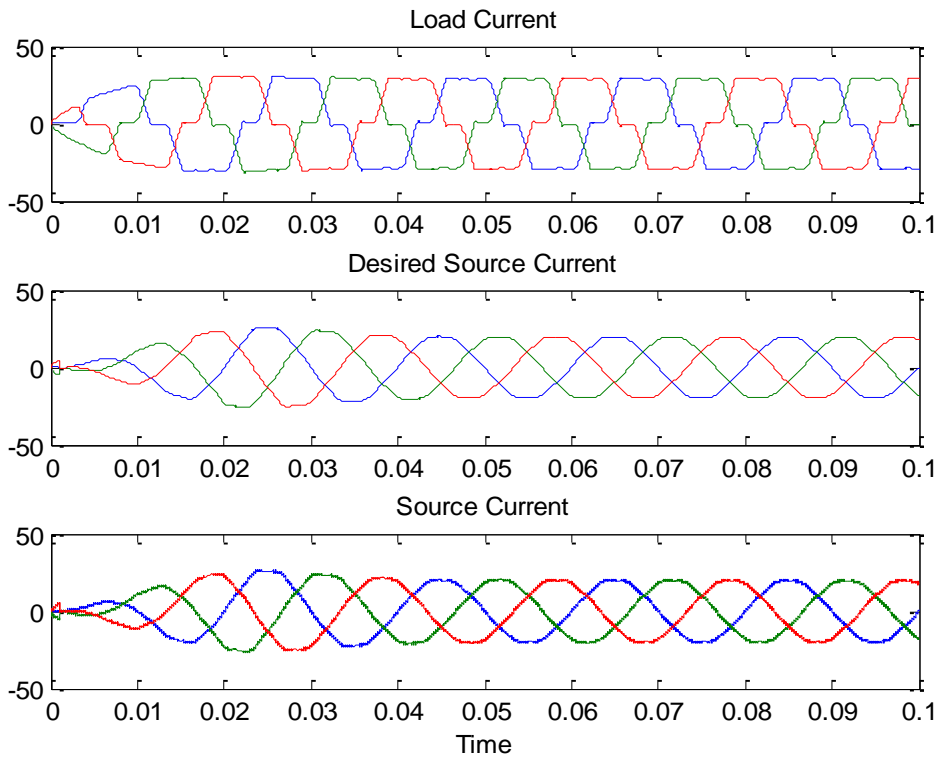
۸-۱۰-۱ - انتخاب نقطه معادل حداقل THD و KF

انتخاب این نقطه معادل استراتژی حداقل اغتشاش است. نتایج حاصل از شبیه سازی معادل نقطه کار

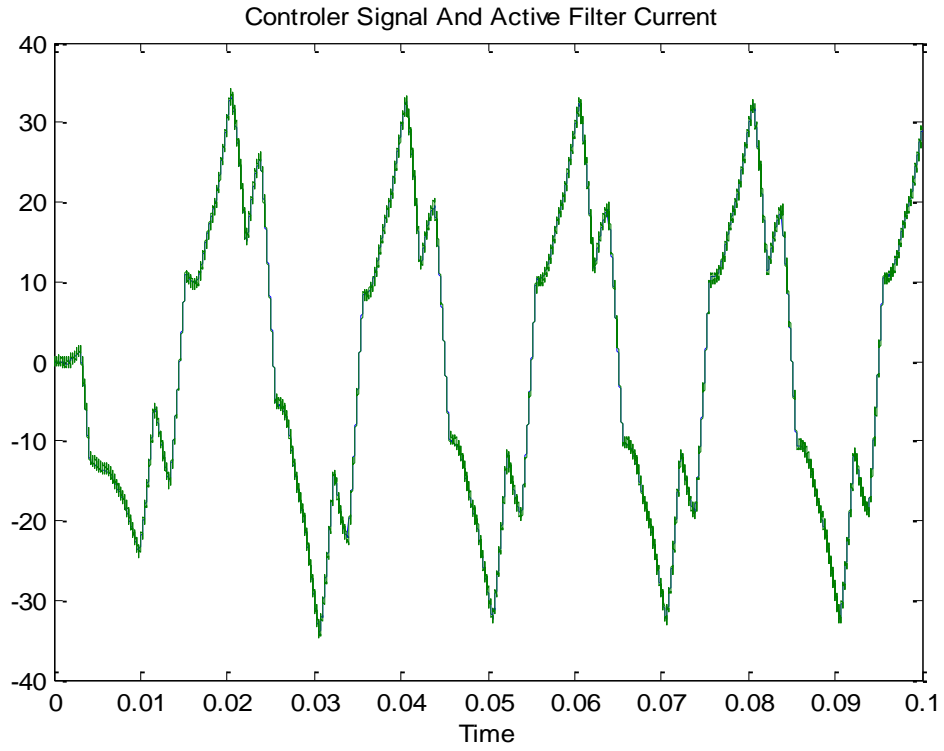
حداقل THD و KF در شکل های (۸-۷۹) تا (۸-۸۲) و جداول (۸-۳۸) تا (۸-۳۹) آمده است.



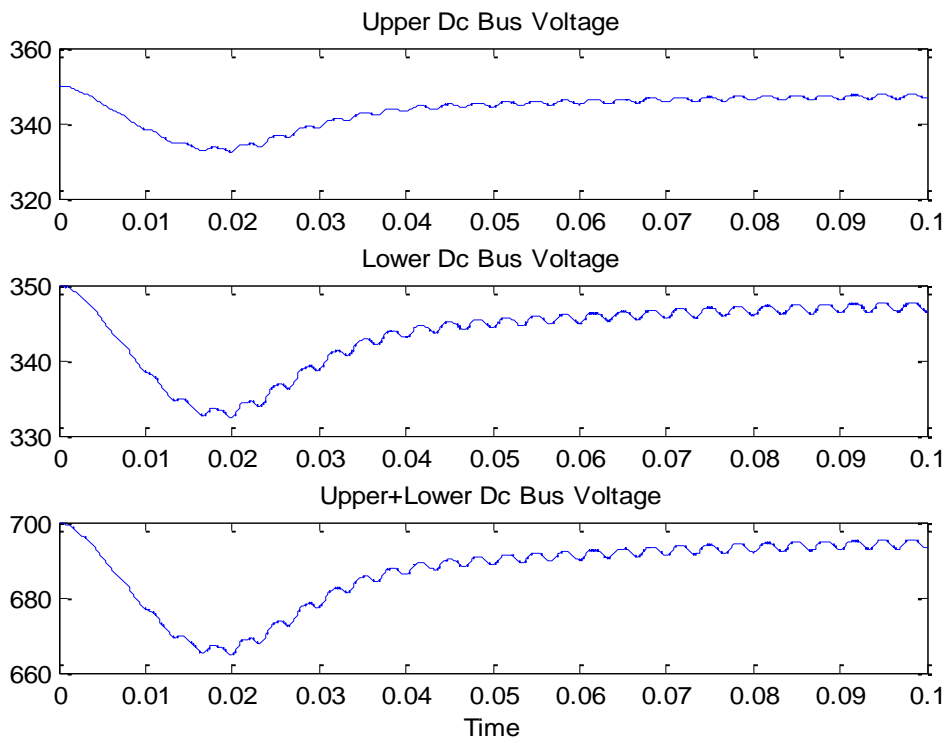
شکل (۷۹-۸) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸۰-۸) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۸۱) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۸۲) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پایینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF	Active filters Apparent Power KVA
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930	3.92
پس از جبران جریان	9363	2412.6	9668.9	0.9664	2.4	0.0005	1.02	14.7
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.967	1.3	-	1	-

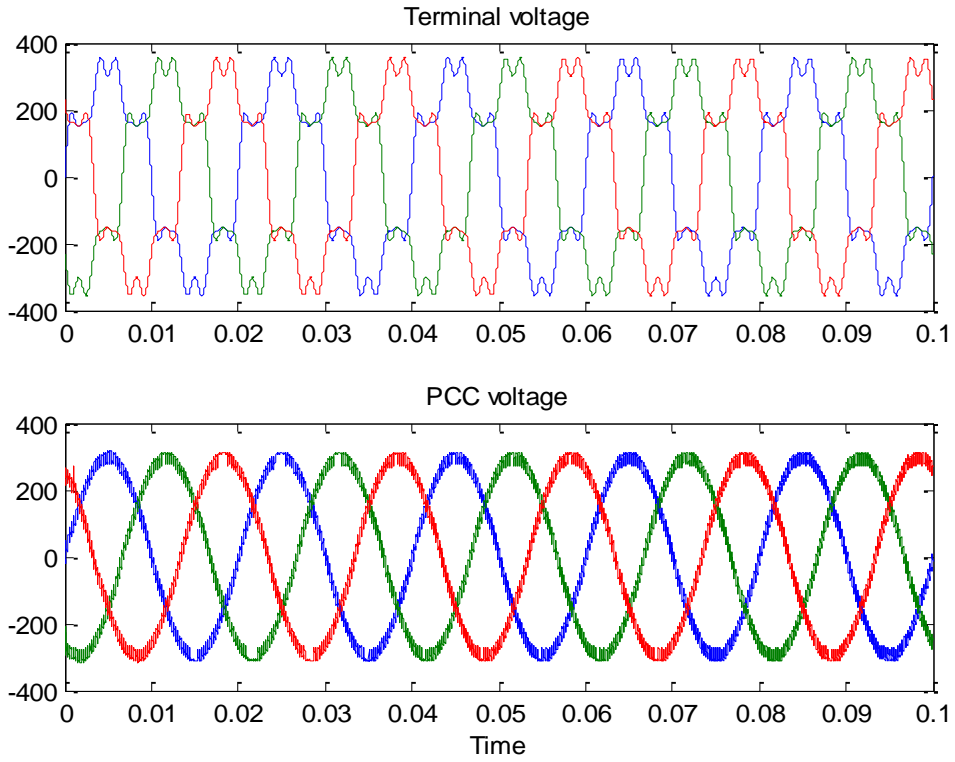
جدول (۸-۳۸)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12313	2402	55.6	58.3

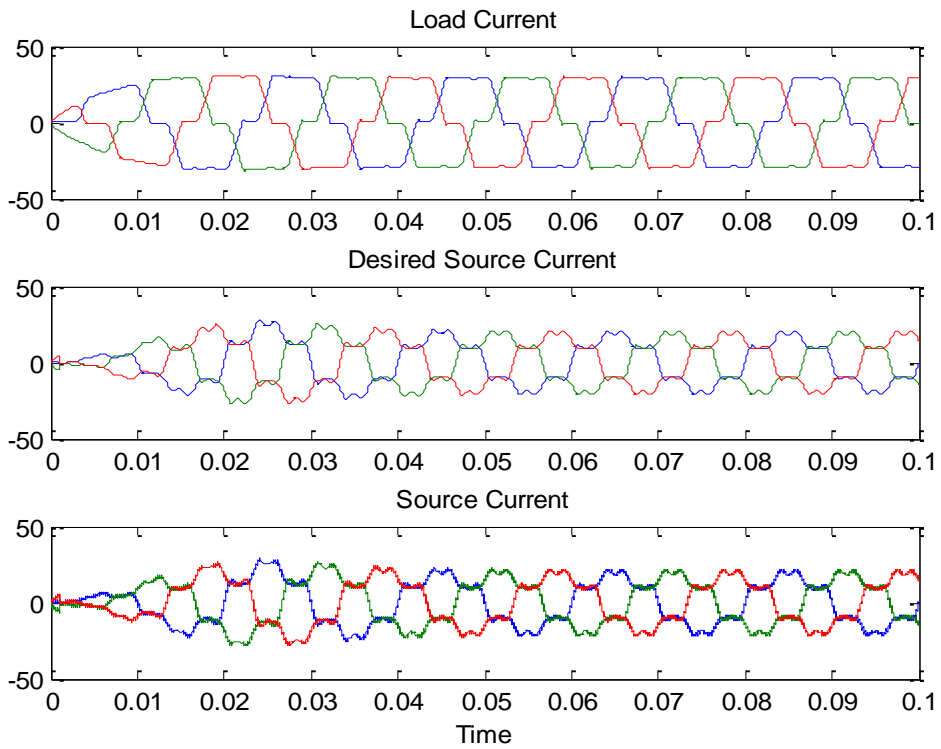
جدول (۸-۳۹)

۸-۱۰-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر ضریب توان

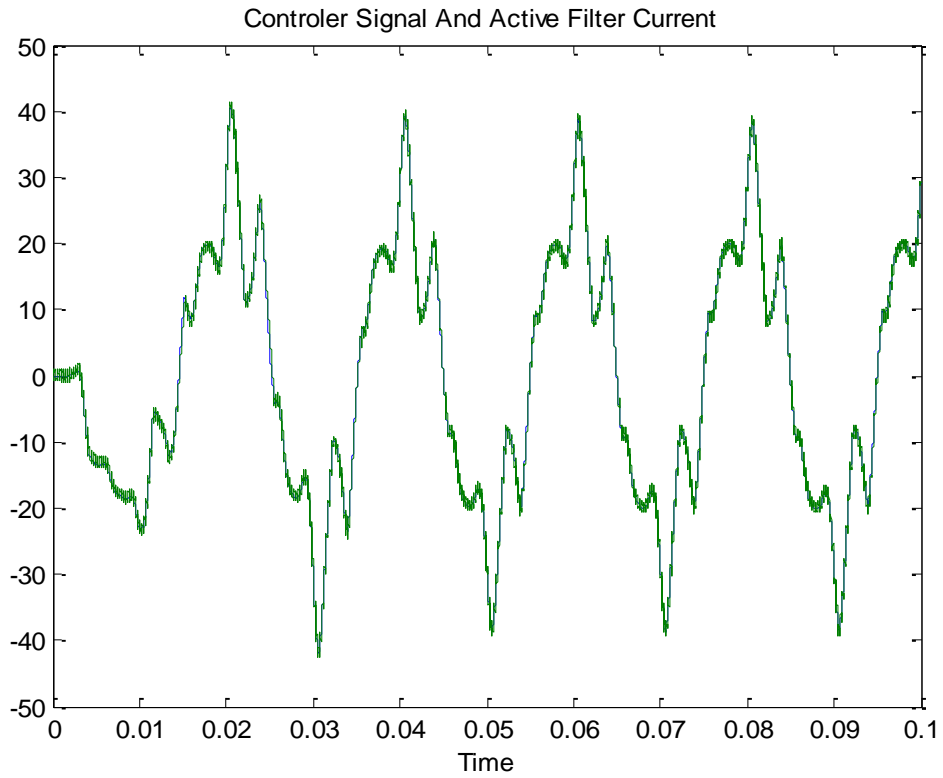
نتایج حاصل از شبیه سازی معادل نقطه کار حداقل KVA در شکل های (۸-۸۳) تا (۸-۸۶) و جداول (۸-۴۰) تا (۸-۴۱) آمده است.



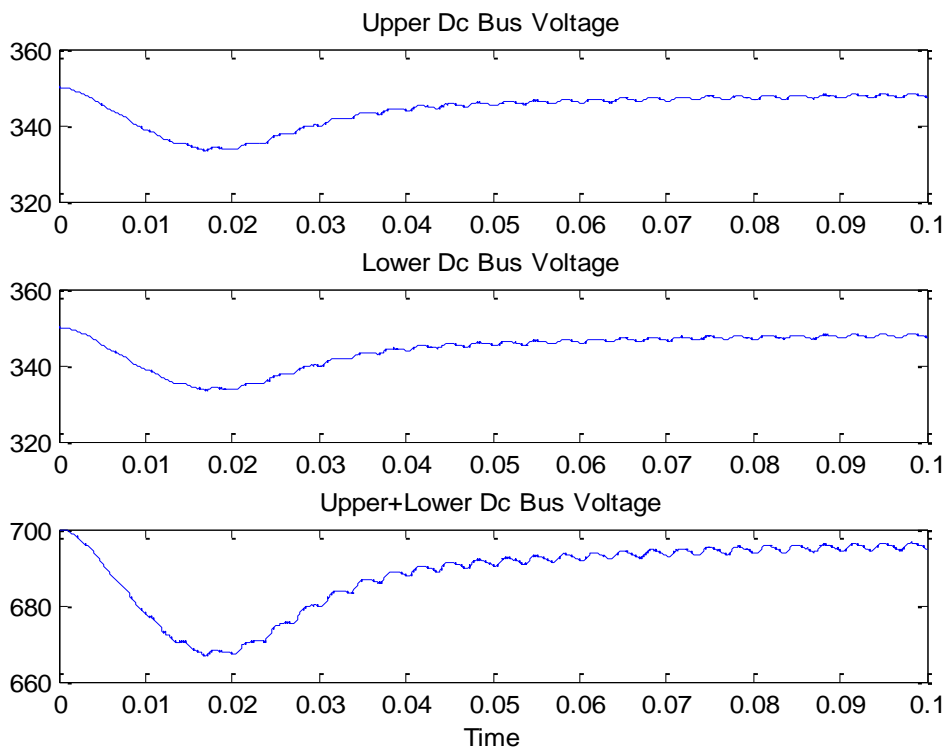
شکل (۸-۸۳) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۸۴) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۸۵) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۸۶) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF	Active filters Apparent Power KVA
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930	3.92
پس از جبران جریان	9307.3	399.5	9315.8	0.9991	25.56	0.0084	3.36	14.9
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	1	25.5	-	3.34	-

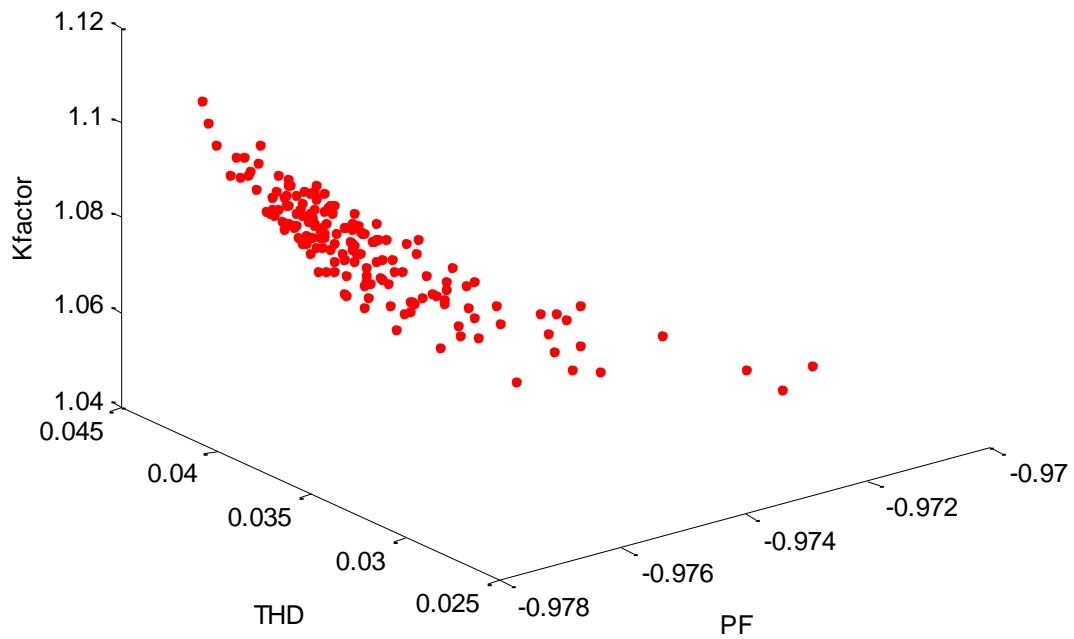
جدول (۸-۴۰)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12606	2310	41.4	44.7

جدول (۸-۴۱)

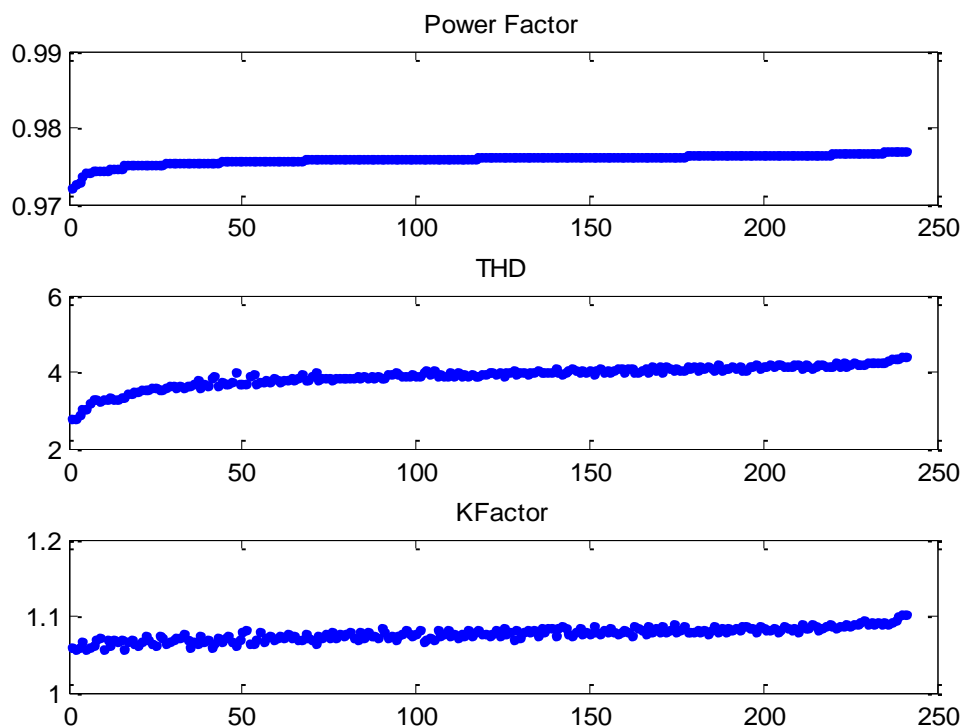
۸-۱۱- بهینه سازی همزمان ضریب توان، THD و ضریب K به روش min-max

در این روش همانگونه که قبلا گفته شد سه تابع PF، THD و KF به صورت همزمان با رعایت قیود IEEE519 بهینه می گردند. شکل (۸-۸۷) نقاط بهینه حاصل از بهینه سازی سه تابع ضریب توان، THD و ضریب K را با قید نشان می دهد.



شکل (۸-۸۷) نقاط بهینه پرتو توابع PF و THD و KF

به جهت تفکیک بیشتر شکل (۸-۸۸) نقاط بهینه حاصل از بهینه سازی سه تابع ضریب توان، THD و ضریب K را به صورت مرتب شده و جداگانه نشان می دهد.

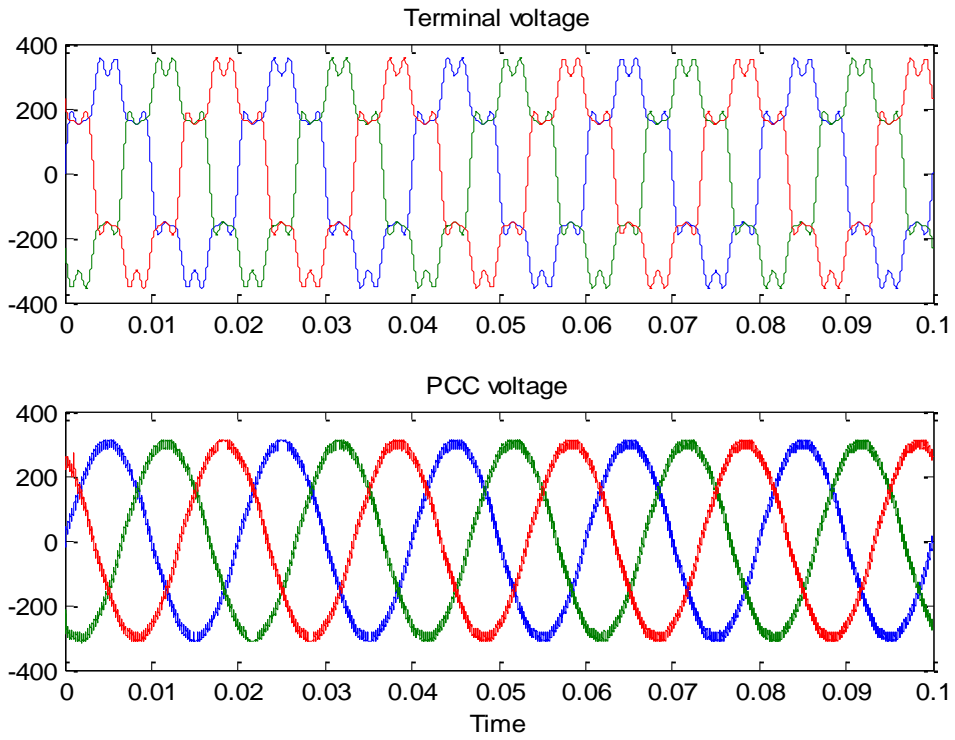


شکل (۸-۸۸) نقاط بهینه پرتو توابع PF و THD و KF

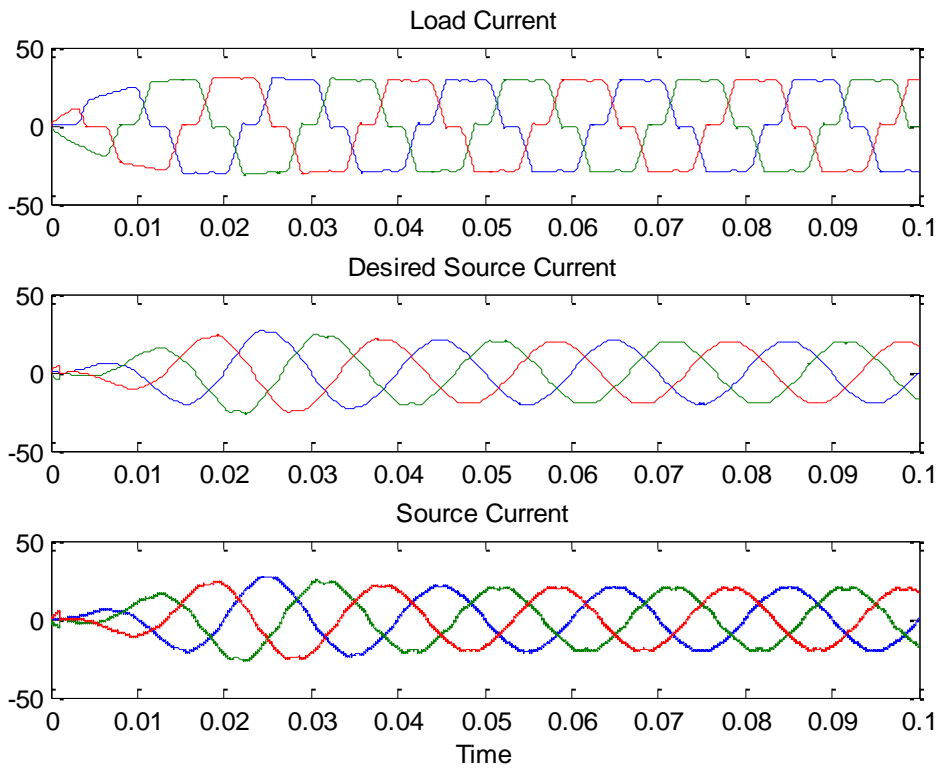
۸-۱۱-۱- انتخاب نقطه معادل حداقل THD و KF

انتخاب این نقطه معادل استراتژی حداقل اغتشاش است. نتایج حاصل از شبیه سازی معادل نقطه کار حداقل

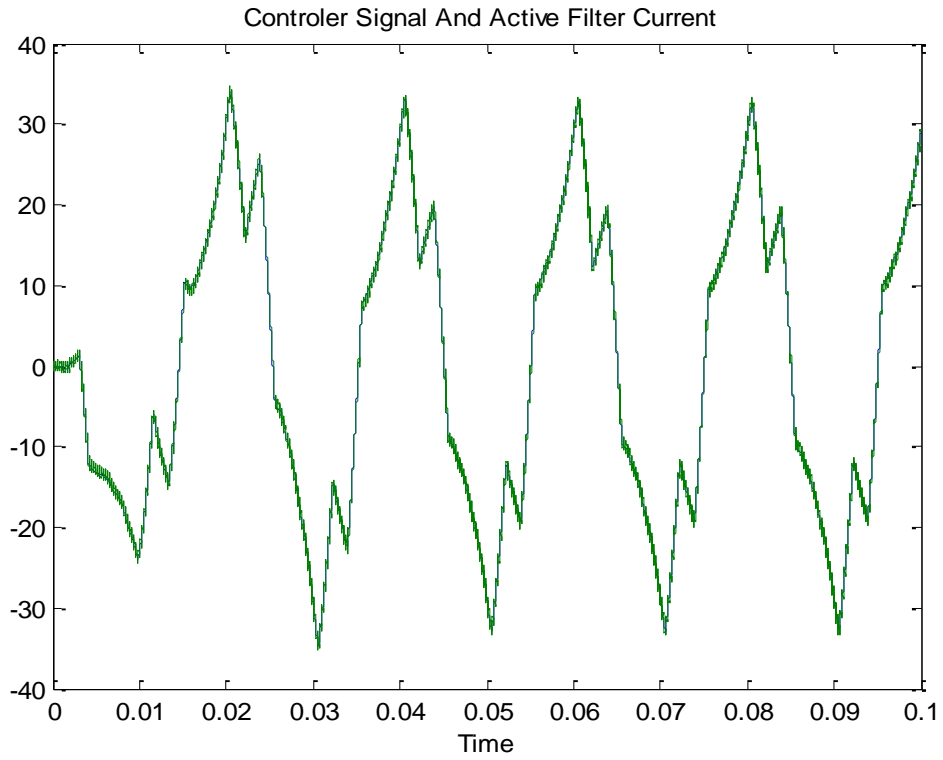
در شکل های (۸-۸۹) تا (۸-۹۲) و جداول (۸-۴۲) تا (۸-۴۳) آمده است.



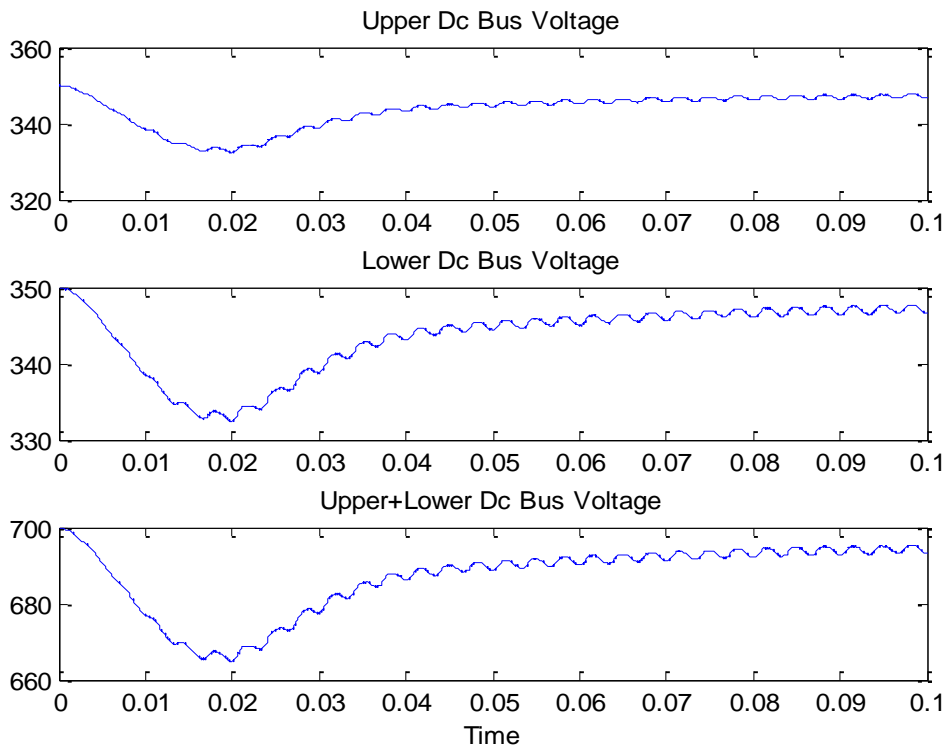
شکل (۸-۸۹) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۹۰) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۹۱) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۹۲) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF	Active filters Apparent Power KVA
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930	3.92
پس از جبران جریان	9363.7	2285.6	9638.6	0.97	3.9	0.0006	1.03	14.7
مقادیر شاخص های مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.97	3	-	1.06	-

جدول (۸-۴۲)

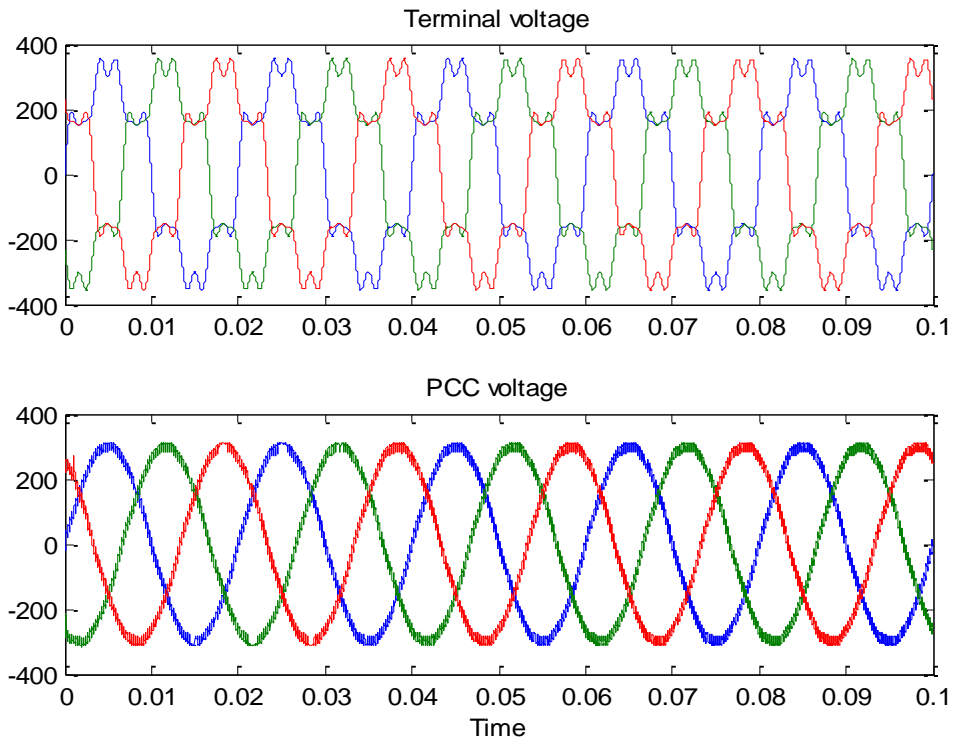
توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12317	2393	55.7	58.8

جدول (۸-۴۳)

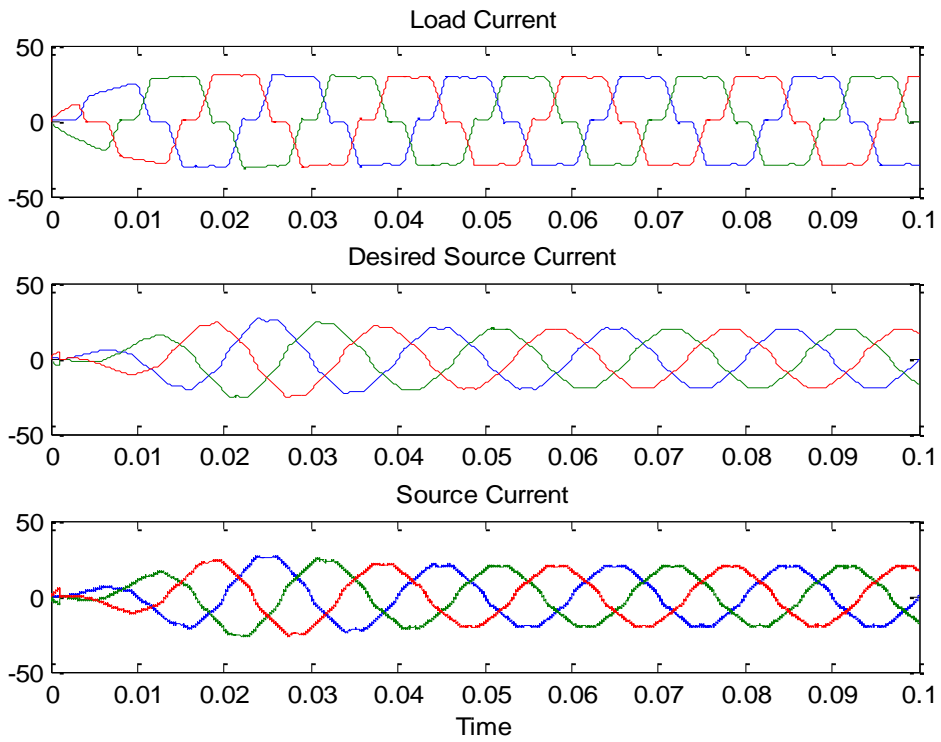
۸-۱۱-۲- انتخاب نقطه معادل حداکثر ضریب توان

نتایج حاصل از شبیه سازی معادل نقطه کار حداقل **THD و KF** در شکل های (۸-۹۳) تا

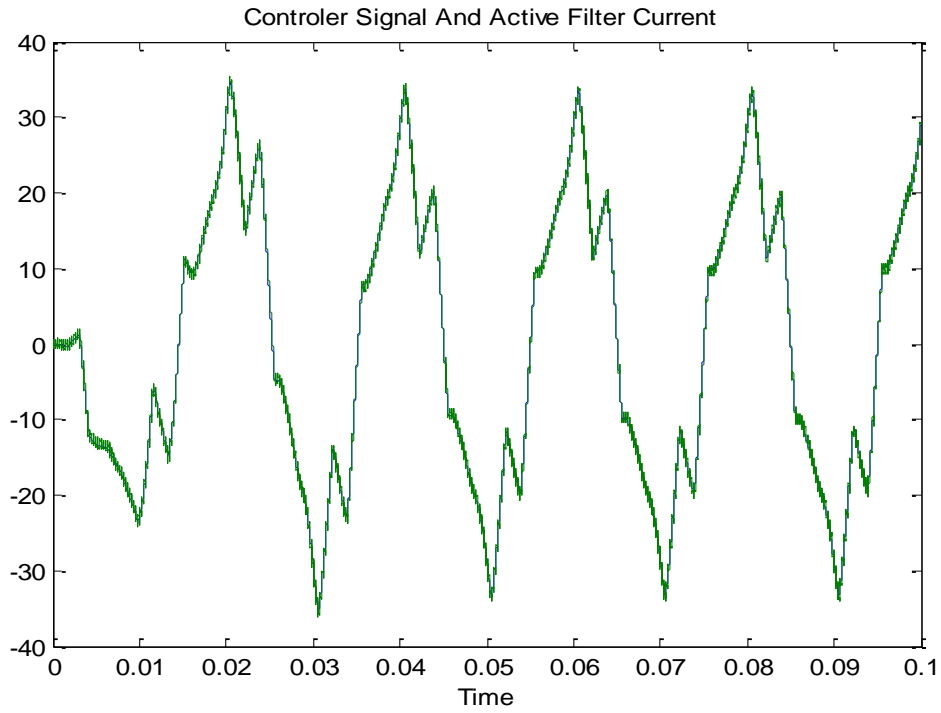
(۸-۹۶) و جداول (۸-۴۴) تا (۸-۴۵) آمده است.



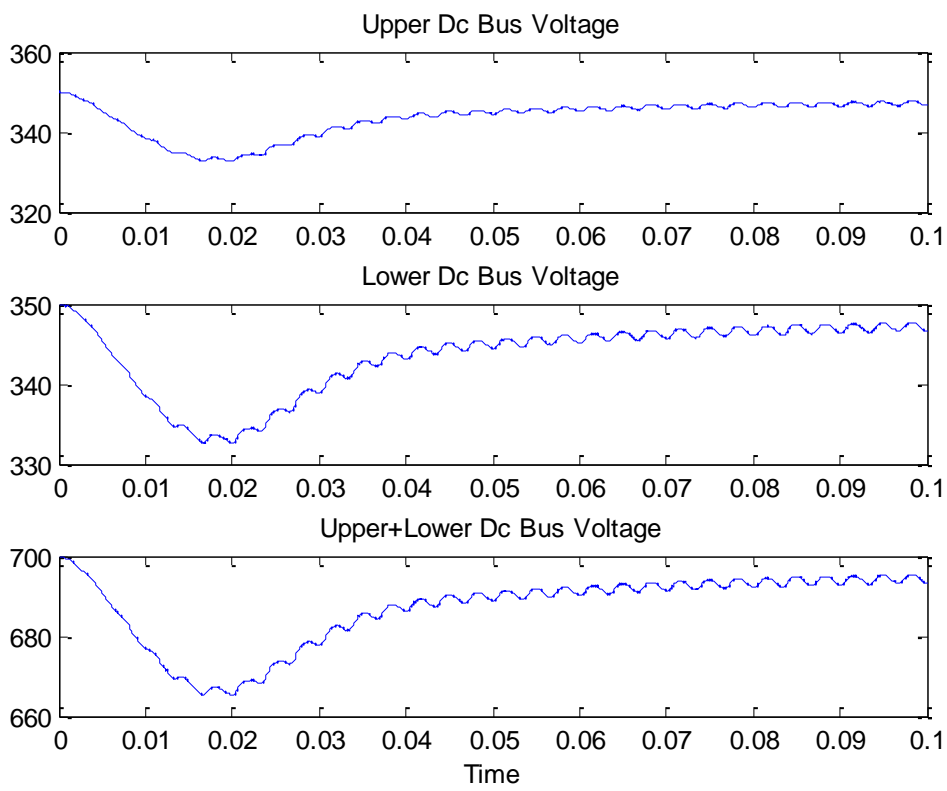
شکل (۸-۹۳) ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر بار



شکل (۸-۹۴) جریان بار، جریان مطلوب منبع، جریان واقعی منبع



شکل (۸-۹۵) سیگنال کنترلی و جریان اکتیو فیلتر



شکل (۸-۹۶) ولتاژ باس DC، خازن بالایی، خازن پائینی و مجموع

مقادیر توان و شاخص های بار از دید منبع	Active Power W	Reactive Power VAR	Apparent Power VA	PF	THD%	DF	KF	Active filters Apparent Power KVA
قبل از جبران جریان	8400	13070	15537	0.5406	18.14	0.0066	1.930	3.92
پس از جبران جریان	9367.9	2072.6	9594.4	0.9764	5.2	0.001	1.125	14.7
مقادیر شاخصهای مورد هدف در بهینه سازی	-	-	-	0.977	4.4	-	1.1	-

جدول (۸-۴۴)

توان ظاهری فیلتر اکتیو موازی VA	توان ظاهری فیلتر اکتیو سری VA	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو موازی KHz	فرکانس سوئیچینگ متوسط فیلتر اکتیو سری KHz
12335	2384	55.6	58.8

جدول (۸-۴۵)

باتوجه به شکل (۸-۸۸) از آنجا که سه تابع مختلف تحت قیود گوناگون بهینه می گردند و هر قید به نوبه خود فضای مورد جستجو را تنگتر می سازد لذا در این مورد تغییرات سطح بهینه جز برای THD چندان محسوس نمی باشد. و توجه بیشتری را معطوف این پارامتر می سازد. با مقایسه نتایج مندرج در جداول (۸-۴۲) و (۸-۴۴) میتوان دید که با کمی عقب نشینی از حداکثر ضریب توان، THD بطور قابل توجهی بهبود می یابد.

جمع بندی:

مطابق مباحث مطرح شده در فصل ششم استراتژی های گوناگونی برای کنترل فیلتر اکتیو موازی وجود دارد. از این میان استراتژی کنترل OFC قادر به لحاظ نمودن شرایط متنوع گوناگون و بهره برداری بهینه از اکتیو فیلتر موازی می باشد. این استراتژی که برای کنترل فیلتر اکتیو موازی بکار برده شده است قابل تعمیم به بخش موازی بهبود دهنده کیفیت توان یکپارچه (UPQC) می باشد.

در استراتژی OFC گین های بانک فیلتری ($G(s)$) نتیجه بهینه سازی پارامترهای کیفیت توان مورد انتظار در جبران سازی UPQC است. روش های گوناگونی نیز در مراجع جهت این بهینه سازی ارائه شده که در واقع به حل مسئله بهینه سازی یک تابع هدف تحت قیود مختلف پرداخته اند که از آن میان می توان به روش گرادیان و الگوریتم ژنتیک اشاره کرد.

در تمامی روشهایی که به حل مسئله بهینه سازی یک تابع هدف تحت قیود می پردازند یک نقطه به عنوان نقطه بهینه شناخته می شود.

در روش بهینه سازی به کار رفته در این پایان نامه که تحت عنوان روش الگوریتم پویای Spareto مبتنی بر مفاهیم تئوری بازی ها از آن یاد می کنیم یک سطح بهینه پرتو بین پارامترهای مورد هدف بهینه سازی به دست می آید که علاوه بر در بر داشتن نتایج بهینه سازی روش های قبلی حاوی مجموعه نقاط بهینه ای است که با اتخاذ استراتژی های مختلف قابل دست یابی است.

به جهت آنکه در حل مسئله ناگزیر به رعایت مجموعه قیودی هستیم از روش دیگری به نام min-max برای تحقق این هدف به همراه روش Spareto بهره جسته ایم.

نتایج شبیه سازی به دست آمده در فصل هشتم حاکی از حسن عملکرد روش بهینه سازی و استراتژی OFC می باشد.

مراجع

" بررسی هارمونیکی سیستم قدرت " آلن ر. وود ، نویل ر. واتسن ، بروس س. اسمیت ، جوز آریلاگا [1]

مترجم : دکتر محمد علی شرکت معصوم

وزارت نیرو ؛ شرکت برق منطقه ای تهران " کیفیت توان " دکتر عارف درودی ، دکتر سید حسین حسینیان [2]

۱۳۸۲ دانشگاه صنعتی خواجه نصیر ؛ " کنترل توانهای غیر اکتیو و هارمونیک ها " محمد توکلی بینا [3]

[4] رضا اسدی

" بهینه سازی پارامترهای مطلوب ساز کیفیت توان یکپارچه به منظور کاهش تلفات، جبران هارمونیک ها و تصحیح ضریب توان " دانشگاه صنعتی شاهرود دانشکده برق و رباتیک پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت.

[5] Hirofumi Akagi "Trends in Active Filters" IEEE Transaction on power Electronics, Vol .9, No.3 , Mar 1924 , PP . 263-268

[6] محمد هارون رشید "الکترونیک قدرت " ترجمه ی سید ابراهیم افجه ای ، نورپردازان ۱۳۷۷

[7] IEEE std 519-1992 , IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical power System.

[8] IEEE Std 1531-2003 , IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic

filters

[9] IEEE Std 1159-1995 , IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality .

[10] IEEE Std 1250-1995 , IEEE Guide for service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances .

[11] Mohan , Undeland Robbins “Power Electronics” 2003 John Wiley .

[12] Moo,C.S., Cheng ,H.L., and Guo, SJ :“ Designing passive LC filters with contour maps for Diode bridge rectifiers” Proc. IEEE Int. Con. On power Electronics and Drive systems,1997, Vol. 2, pp 834-838

[13] B.Singh , V.Verma , A . Chandra and K.Al – Haddad “Hybrid Filters for Power Quality Improvement ” IEE Proc – Gener .Transm . Distrib . Vol . 152 , No . 3 , May 2005 .

[14] A.Elnady , M.M.A . Salama , “New Functionalities of an Adaptive Unified Power Quality Conditioner” , 0.7803-7173, 2001 IEEE

[15] A.Elnady , W.El – Khatam and M.M.A Salama , “Mitigation of Ac Arc Furnace Voltage Flicker Using The Unified Power Quality Conditioner ” , 0.7803-7322 , 2002 IEEE

Beom-Seok , Woo- Cheol Lee , Dony – Seok hyun , Taek – Kie Lee , “An Over Current [16] Protection Scheme for Series Active Compensators ” , 27th IEE Industrial Electronics Society , 2001 IEEE .

[17] F.Z.Peny , H.Akagi , A . Nabae , “A New Approach to Harmonic Compensation in power system- A Combined system of shunt Passive and Series Active Filters ” IEEE Transaction on Industrial Applications , Jan / Feb 1993 .

[18] S.M.R Rafiei , Hamid A.Toliyat , Reza Ghazi and Tilak Gopalarathnam , “An Optimal and flexible Control Strategy for Active Filtering And Power Factor Correction under Non-Sinusoidal Line Voltages” , IEE TRANSACTIONS ON Power DELIVERY , VOL. 16,NO . 2 , APRIL 2001 .

[19] M.Akagi , Y.Kanazawa , And A.Nabue , “ Instantaneous reactive Power Compensator comprising devices without energy storage components . ” , IEEE Trans , on Industrial App . Vol IA-20 , no . 3 , May / June 1984 .

[20] L.Malesani , L.Rossto . P.Tenti , “Active Filter for Reactive Power and Harmonics Compensation ” IEEE-PESC 1986 , PP.321-330

[21] رضا اسدی، سیدمحمد رضا رفیعی

" بهره برداری بهینه از یک فیلتر اکتیو موازی با محدودیت جریان دهی در شرایط ولتاژ غیر سینوسی " دانشگاه صنعتی شاهرود .

[22] S.M.R. Rafiei , Reza Ghazi , Hamid A.Toliyat , “IEEE-519 Based Real- Time and Optimal Control of Active Filter Under Non-sinusoidal Line Voltages Using Neural Networks ” IEEE TRANSACTIONS ON Power DELIVERY , VOL.17 ,NO .3 , JULY 2002 , PP.815-821

[23] S.M.R Rafiei and M.R Iravani , “Optimal and adaptive Compensation of Voltage and Current harmonics Under non-stiff – Voltage Conditions ” IEE Proc - Gener.Transm Distrib , Vol 152 , No .5 , September 2005 , PP.661-672 .

[24] رضا اسدی، سیدمحمد رضا رفیعی

" بهره برداری بهینه از یک فیلتر اکتیو موازی غیر ایده‌آل در شرایط ولتاژ غیر سینوسی " دانشگاه صنعتی شاهرود .

نشر "نظریه بازیها و کاربرد آن در تصمیم گیری های استراتژیک" ی.س.ونتسل، مترجم: دکتر جلیل روشن دل - علی رضا طیب [25]
قوس ۱۳۷۳،

[26] Theodore L.turocy, B.von Stengel "game theory," CDAM research Report Ise-CDAM 2001-09, october 8, 2001.

[27] R .Gibbons, "A primer in game theory ," new York , flarvester wheatsheaf, 1925.

[28] Thomas s.ferguson, "GAME THEORY" , part2 .two-person zero-sum Games ,class notes for math 167, fall 2000.

[29] H. Singh , " introduction to game theory and its application in electric power markets" IEEE camp. application power, vol.12, pp.18-22, oct.1999.

[30] Simon k.k.ng ,c.w.lee , g.zhony, "a game – theoretic a approach to study strategic interaction Between transmission and Generation Expansion planning tEEE, 2006 , pp.115 -120.

[31] kwee-Bo Sim ,Gi-Yoonkim, "solution of multi-objective optimization problems: co-evolutionary algorithm based on evolutionary game theory," school of electrical engineering ,artificial life and robotics, 2004, pp.174-185.

[32] Schaffer JD (1984) Some experiments in machine learning using vector evaluated genetic algorithms .P.h.D. dissertation Vanderbilt University .

[33] Horn J, Nafpliotis N (1993) Multiobjective optimization using the niched Pareto genetic algorithm .IlliCAL report 93005, university of Illinois at urbana-champaing , urbana, IL

[34] Zitzler E, Deb K, Thiele L (1999) Comparison of multi objective evolutionary algorithms: empirical results. Proceedings of the 1999 Genetic and evolutionary computation conference ,Workshop program ,Orlando ,Florida,pp.121-122.

[35] Dep k (1998) Multiobjective genetic algorithms: Problem difficulties and construction of test functions . Technical Report no.CI 49/98,department of computer science /XI, university of Dortmund,Germany .

[36] Cohon JL (1978) Multiobjective programming and planning. Academic, New York

[37] Maynard-smith J(1982) Evolution and the theory of games , cambridge university Press , Cambridge.

[38] Osyczka,A,Kundu,s.(1995) "A new method to solve generalized multi criteria optimization problems using the Simple genetic algorithm" structural optimization,vol.10.pp.94-99

[39] C.M Fontseca and P.J Fleming "An overview of evolutionary algorithms in multi objective optimization , "Evol.Compnt ,vol.3,no.1,pp.1-16,1995.

[40] Sefrioui M,periaun J (2000) Nash genetic algorithm: examples and applications .Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary computation CEC00,IEEE,PP 509-516.

[41] H.Ishibuchi and T.Murata , "Multi-objective genetic local search algorithm,"

In proc .1996 IEEE Int. conf .Evolutionary Computation (ICEC96)Piscataway ,NJ ,may 20-22,1996,PP.119-124 .

[42] E.zitzler ,L. Thiele , “ multi-objective evolutionary algorithms :A comparative case study and the strength pareto approach,” IEEE transactions on evolutionary computation ,Vol .3 ,no.4 ,November 1999,pp.257-271.

[43] E.Zitzler and I.thiele," Multiobjective optimization using evolutionary algorithms - A comparative Case study," in 5th Int. Conf. parallel problem Solving from Nature (PPSN-V) ,A .E.Eiben ,T.Back,M . Schoenauer and H-P Schwefel ,Eds . Berlin ,Germany :Springer Verlag , 1998 ,PP .292-301 .

[44] P .Hajela and C-Y .lin ,"Genetic Search Strategies in multicriterion optimal design ,"in structural optimization ,vol .4 .New York :springer ,June 1992, P.P.99-107.

[45] J .N .Morse," reducing the size of the non dominated set : pruning by clustering ," Comput .Oper .Res, vol.7,nos1-2,1980.

[46] M.A.Rosenman and J.S.Gero, " reducing the pareto optimal set in multi-criteria optimization," Eng .Optim , Vol.8,pp.189-206,1985.

[47] F.gimenez, A.F,gamez-Skarmeta, G.sanchez."An Evolutionary algorithm for constrained multiobjective optimization ,"IEEE, department of mechanical Engineering ,2002,pp.1133-1138.

[48] H.gupta ,K.Deb, "Handling constraints in robust multi-objective optimization ," IEEE, Institute of technology Kanpur,2005,pp,25-32.

[49] Deb,K.pratap ,A.Meyarivan,T.(2001). constrained test problems for multiobjective evolutionary optimization- Lectures Notes in computer science, vol.1993.pp.284-298.

[50] Sales @ xitvontesh.com – suppurti@xitvon tech.com," k-factor Defined", manufactures of engineering and production test equipment, 2000.

[51] "Matlab /genetic algorithm and direct search toolbox users Guided " 1994-2006 the Mthworks,Inc.

