Interesting

From the SelectedWorks of Dr. ASADOLLAH KAZEMI

Fall November 17, 2015

کیفیت توان- بخش هارمونیک

asadollah kazemi

Available at: https://works.bepress.com/asadollah_kazemi/42/

به نام خداوند بخشنده و مهربان

کیفیت توان در سیستم های قدرت
(Power Quality in Power Systems)

(Section 3: هارمونیک)

Presenter : Asadollah Kazemi
Email: asadollahk@yahoo.com
Available at : http://works.bepress.com/asadollah_kazemi/

فهرست مطالب

۱- اهمیت کیفیت توان از دیدگاه مصرف کننده و تولید کننده
۲- آشنائی با کمیت ها و پارامتر های موثر بر کیفیت توان
۳- منابع اصلی کاهش کیفیت توان
۴- استاندارد های کیفیت توان
۴- دستگاه مانیتورینگ کیفیت توان (Power Quality Monitoring)
۵- روش های شناسائی محل خطاء در شبکه های توزیع و انتقال (sag voltage)
۶- هارمونیک
۷- روش های بهبود کیفیت توان در شبکه ها توزیع و انتقال

توجه:این پاورپونت ازدکتر سید حسین حسینی، هارمونیک، مادسیج (madsg.com). می باشد

فهرست مطالب:

۱ – شناخت و بررسی مقدماتی هارمونیکها
۱–۱ – کلیات
۱–۲– اعوجاج هارمونیکی

۲– منابع تولید هارمونیک
۲–۱ – منابع تغذیه تکفاز
۲–۲– مبدلهای قدرت سه فاز AC و DC
۲–۳– تجهیزات قوس زننده
۲–۴– عناصر اشباع شونده

۳– اثر اعوجاج هارمونیکی بر روی عملکرد تجهیزات قدرت
۳–۱ – اثر بر روی خازنها
۳–۲– اثر بر روی ترانسفورماتورها
۳–۳– اثر بر روی موتورها

۳

۴– پاسخ سیستم قدرت به منابع هارمونیکی
۴–۱ – امپدانس سیستم
۴–۲– امپدانس خازن
۴–۳– تشدید موازی
۴–۵– اثر بار مقاومتی

۵– شناسایی محل منابع هارمونیکی

۶– کنترل هارمونیکها
۶–۱ – کاهش جریانهای هارمونیکی ناشی از بارها
۶–۲– فیلترگذاری
۶–۳– اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم
۶–۴– تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها– فیلترهای اکتیو، پسیو و هیبرید
۶–۵– طراحی فیلترها

۴

۷– برنامه های کامپیوتری برای محاسبه هارمونیکها
۷–۱ – مدلسازی منابع هارمونیکی
۷–۲– برنامه های کامپیوتری برای محاسبه هارمونیکها
۷–۳– قابلیت برنامه های تحلیل هارمونیکی

۸– اصول و شرایط عمومی محدودکردن هارمونیکها
۸–۱ – کلیات
۸–۲– عوامل تاثیر گذار بر تعیین حدود مجاز هارمونیکها
۸–۳– فلسفه تعیین محدودیتها

۹– مقررات استاندارد حدود مجاز هارمونیکها در برخی از کشورهای جهان

۱۰ – استاندارد مجاز هارمونیکها در شبکه برق ایران (استاندارد توانیر)

۵

۱ – شناخت و بررسی مقدماتی هارمونیکها

۶

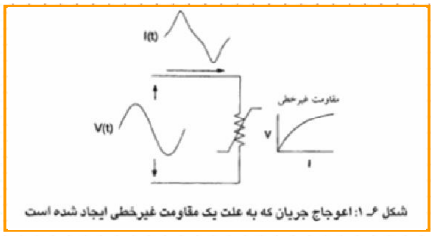
۱-۱ کلیات

- یکی از مسائل و مشکلات مهم کیفیت برق در سیستمهای توزیع و انتقال مسئله **هارمونیکها** می باشد.
- اعوجاجهای هارمونیکی در سیستمهای قدرت **مشکلات خاصی** را بدنبال دارند که عدم عملکرد مناسب تجهیزات، کاهش عمر و پایین آمدن راندمان از مهمترین آنهاست.
- شرکتهای برق بایستی ضمن مانیتورینگ میزان اعوجاجهای هارمونیکی در شبکه **محدودیتهایی** را ارائه نمایند تا از آسیب دیدگی تجهیزات مشترکین خانگی و صنعتی جلوگیری گردد.
- در اغلب مواقع، اعوجاج ولتاژ در سیستمهای انتقال کمتر از یک درصد است و هرچه به سمت مشترکین نزدیکتر می شویم، میزان اعوجاجهای هارمونیکی بیشتر می شود.

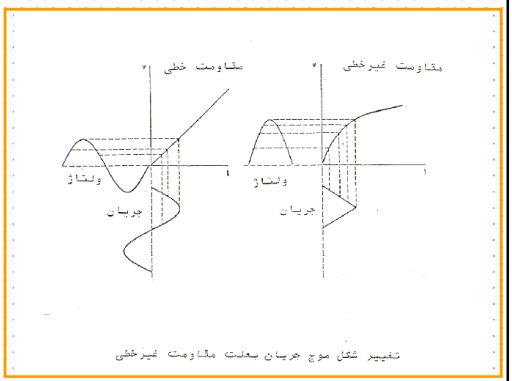
۷

۱-۲ اعوجاجهای هارمونیکی

- اعوجاج هارمونیکی در شبکه های قدرت ناشی از عناصر (و بارهای) غیرخطی است. جریان عنصر غیرخطی، درحالیکه ولتاژ اعمال شده به آن سینوسی است، بصورت غیر سینوسی می باشد.



شکل ۶-۱: اعوجاج جریان که به علت یک مقاومت غیرخطی ایجاد شده است

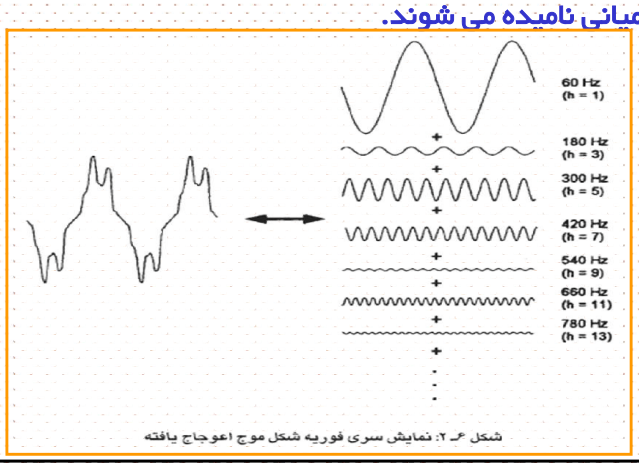


تغییر شکل موج جریان بعلت مقاومت غیرخطی

۸

۱ – ۲ اعوجاجهای هارمونیکی

- هرشکل موج اعوجاجی را می توان بصورت ترکیبی از موجهای سینوسی با فرکانسهای و دامنه های مختلف نشان داد. این موجهای سینوسی که فرکانس آنها ضریب صحیحی از فرکانس اصلی (۵۰ هرتز) باشد، هارمونیکهای مولفه اصلی می نامند. درصورتیکه فرکانس آنها ضریبی صحیح از فرکانس اصلی (۵۰ هرتز) نباشد، هارمونیکهای میانی نامیده می شوند.

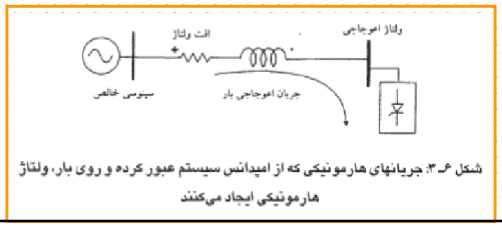


شکل ۶ـ ۲: نمایش سری فوریه شکل موج اعوجاج یافته

۹

۱ – ۲ اعوجاجهای هارمونیکی

- وقتی که دو نیم سیکل مثبت و منفی یک موج شبیه بهم باشند، سری فوریه فقط دارای هارمونیکهای فرد خواهد بود و در اغلب موارد شاهد حضور هارمونیکهای زوج در سیستم قدرت نیستیم.
- وجود هارمونیکهای زوج در سیستم اغلب نشان دهنده اشکالی در سیستم است.
- بارهای غیرخطی منبع تولید هارمونیکهای جریان هستند و هارمونیکها را به سیستم قدرت تزریق می کنند. اعوجاج ولتاژ نیز در اثر عبور جریان اعوجاجی از امپدانس سری و خطی شبکه ایجاد می شود.
- جریانهای هارمونیکی عبور کننده از امپدانس سیستم باعث ایجاد افت ولتاژ برای هر هارمونیک خواهد شد و در نتیجه باعث ایجاد ولتاژ هارمونیکی در دو سر بار می گردد.



شکل ۶ـ ۳: جریانهای هارمونیکی که از امپدانس سیستم عبور کرده و روی بار، ولتاژ هارمونیکی ایجاد می‌کنند

۱۰

۲- منابع تولید

هارمونیک ها

۱۱

عوامل مهم تولید هارمونیکها :

- جریان مغناطیسی ترانسفورماتورها
- بارهای غیرخطی مانند دستگاههای جوشکاری
- کوره های قوس الکتریکی و القایی
- سیستمهای HVDC (انتقال برق فشار قوی DC)
- تجهیزات بکار رفته در کنترل کننده های سرعت ماشینهای الکتریکی
- تجهیزات مورد استفاده در حمل و نقل برقی مانند اتوبوسهای برقی و متروها
- اتصال نیروگاههای خورشیدی و بادی به سیستمهای توزیع
- کاربرد SVC بعنوان کنترل کننده استاتیک توان راکتیو شبکه
- صنایعی نظیر مجتمعهای شیمیایی، پتروشیمی، ذوب که نیاز به یکسوکننده های پرقدرت برای تولید برق DC مورد نیاز خود.

۱۲

۲-۱ منابع تغذیه تکفاز

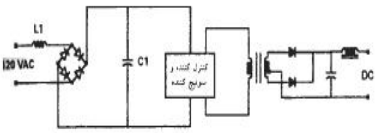
- در حال حاضر بارهای تغذیه شده از طریق مبدلهای الکترونیک قدرت مهمترین بارهای غیرخطی را تشکیل می دهند.

- ادوات الکترونیک قدرت بکار رفته در صنعت :
  - محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت
  - منابع تغذیه سوئیچینگ
  - راه اندازی موتورهای جریان مستقیم
  - شارژرها
  - بالاستهای الکترونیکی
  - یکسوکننده ها

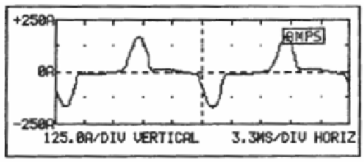
- ادوات الکترونیک قدرت در ساختمانهای تجاری :
  - وجود تجهیزات الکترونیکی تکفاز بیشماری همچون کامپیوترهای شخصی
  - تامین ۴۰ تا ۶۰ درصد روشنایی توسط لامپهای فلورسنت

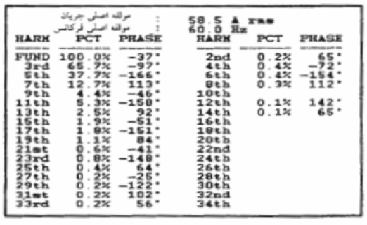
۱۳

۲-۱ منابع تغذیه تکفاز



شکل ۶-۷: منابع تغذیه سوئیچینگ





شکل ۶-۸: منبع تغذیه سوئیچینگ و طیف هارمونیک آن

- منابع تغذیه تکفاز به دو گروه عمده تقسیم می شوند:

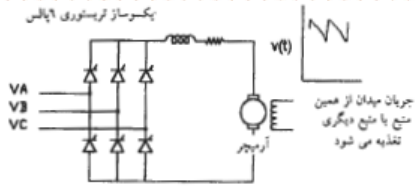
۱) تکنولوژی قدیمی، کنترل ولتاژ در طرف متناوب توسط ترانسفورماتور بود تا ولتاژ را در سطح مورد نظر طرف مستقیم کاهش دهد که بدلیل وجود ترانس، هارمونیکها کاهش می یابند.

۲) در تکنولوژی جدید از منابع تغذیه سوئیچینگ (تبدیل DC/DC) استفاده می کنند که مزایای آن عبارتند از وزن کم، اندازه کوچک، راندمان بالا، عدم نیاز به ترانسفورماتور و عیب عمده آنها تولید هارمونیکهای سوم جریان است که در نوترال باهم جمع می شوند.

۲-۲ مبدلهای قدرت سه فاز AC و DC

➢ مبدلهای الکترونیک قدرت سه فاز برخلاف مبدلهای قدرت تکفاز دارای هارمونیک سوم نیستند و به دو دسته محرکه های AC و DC تقسیم می شوند.

۱) محرکه های DC : یکسوسازی تنها عمل مورد نیاز در محرکه های DC است. اغلب محرکه های DC از یکسو کننده های ۶ پالسه و محرکه های بزرگتر از یکسوکننده های ۱۲ پالسه استفاده می کنند.
درایوهای ۶ پالسه هارمونیکهای ۵ و ۷ بالاتر و درایوهای ۱۲ پالسه هارمونیکهای ۱۱ و ۱۳ قابل ملاحظه ای دارند.

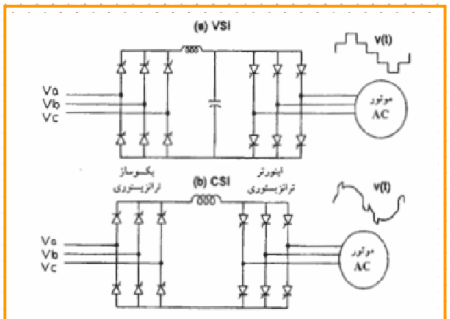


شکل ۶ـ ۱۱: محرکه با قابلیت تنظیم سرعت یک موتور DC شش پالسه

۱۵

۲-۲ مبدلهای قدرت سه فاز AC و DC

۲) محرکه های AC : در محرکه های AC از خروجی یکسوکننده برای تولید ولتاژ AC استفاده می شود که این ولتاژ با فرکانس قابل تنظیم برای تغذیه موتورها بکار می رود. اینوترها به دو دسته اینورتر ولتاژ (VSI) و اینورتر جریان (CSI) تقسیم می شوند.



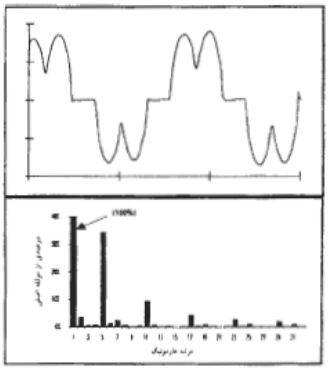
شکل ۶ـ ۱۳: محرکه‌های با قدرت بالا

➢ برای ورودی یک VSI احتیاج به منبع ولتاژ DC ثابت (با ریپل کم) است که این امر توسط یک فیلتر (خازن و سلف) صورت می گیرد. ورودی یک CSI احتیاج به یک منبع جریان ثابت (با ریپل کم) دارد که توسط یک سلف انجام می شود.

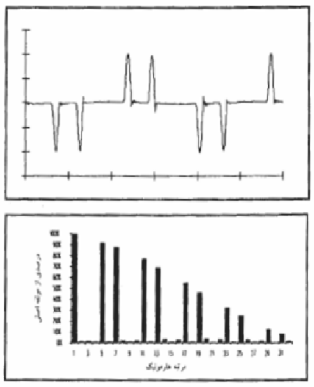
➢ عمومی ترین نوع محرکه های AC از نوع یک VSI همراه با تکنیک PWM کنترل آن است.

۱۶

۲-۲ مبدلهای قدرت سه فاز AC و DC



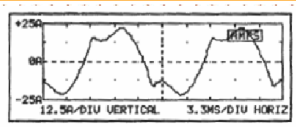
شکل ۶ـ ۹: طیف هارمونیکی یک محرکه AC از نوع CSI



طیف هارمونیکی برای یک محرکه AC که از تکنیک PWM استفاده می‌کند

۱۷

۲-۳ تجهیزات قوس زننده



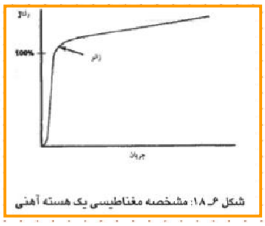
هارمونیک موقعه اصلی	درصد	تاژ(درجه)
1	100.0	124
2	0.2	136
3	19.9	-144
5	7.4	62
7	3.2	-39
9	2.4	-171
11	1.8	111
13	0.8	17
15	0.4	-93
17	0.1	-164
19	0.2	-99
21	0.1	160

شکل ۶ـ ۱۷: جریان لامپ فلورسنت و طیف هارمونیکی آن

- این دسته شامل کوره های قوس الکتریکی، دستگاههای جوشکاری، لامپهای روشنایی (فلورسنت، بخار سدیم، بخار جیوه) با بالاست مغناطیسی است.
- مشخصه ولتاژ- جریان قوسهای الکتریکی غیرخطی می باشد. بدنبال جرقه زدن، جریان قوس افزایش و ولتاژ آن کاهش می یابد و مقدار جریان توسط امپدانس سیستم محدود می شود.
- کوره های قوس الکتریکی بعنوان منبع ولتاژ هارمونیکی دارای جریان متداول بیش از ۶۰ کیلو آمپر بوده و امپدانس محدود کننده آنها شامل کابل و سیمهای رابط، امپدانس سیستم و ترانسفورمر است.
- در لامپهای روشنایی، قسمت عمده هارمونیکها مربوط به رفتار ذاتی قوس است و بالاستهای الکترونیکی هارمونیکهای کمتری نسبت به بالاستهای مغناطیسی تولید می کنند.

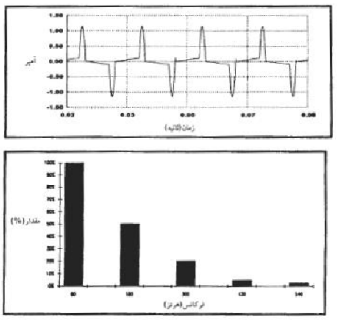
۱۸

۲-۴ عناصر اشباع شونده



شکل ۶-۱۸: مشخصه مغناطیسی یک هسته آهنی

- ترانسفورماتورها و موتورها بدلیل دارا بودن هسته فولادی در دسته تجهیزات فوق قرار می گیرند.
- هارمونیکها در این تجهیزات بدلیل مشخصه مغناطیس کنندگی غیرخطی آهن تولید می شوند.



شکل ۶-۱۹: جریان مغناطیس‌کننده ترانسفورماتور و محتوای هارمونیکی آن

- گرچه جریان تحریک ترانسفورمر دارای هارمونیک زیادی در سطوح ولتاژ کاری است ولی این میزان در حدود ۱% جریان بار کامل است و مانند وسایل قوس زننده دارای هارمونیکی در حدود ۲۰% بار نامی نیستند.
- با این وجود بدلیل اینکه در سیستمهای توزیع صدها ترانسفورمتور بکار می روند، اثر آن خصوصاً در زمان کم باری شبکه قابل ملاحظه خواهد بود.

۹

مقایسه میزان هارمونیکهای تولید شده ناشی از منابع هارمونیکی بررسی شده

جدول ۶-۵: درصد اعوجاج هارمونیکی نمونه تولید شده توسط منابع هارمونیکی مرسوم (هارمونیک‌های فرد مرتبه ۱ تا ۱۳)

مرتبه هارمونیک	محرکه موتور ۶ پالسه	محرکه با تکنیک PWM	روشنایی از نوع قوسی	منابع تغذیه سوئیچینگ
۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۳	—	—	۲۰*	۷۰
۵	۱۸	۹۰	۷	۴۰
۷	۱۲	۸۰	۳	۱۵
۹	—	—	۲/۴*	۷
۱۱	۶	۷۵	۱/۸	۵
۱۳	۴	۷۰	۰/۸	۳

* برای مدلهای تک‌فاز و سه‌فاز غیرمتقارن

۲۰

۳- اثر اعوجاج هارمونیکی

بر روی عملکرد تجهیزات قدرت

۲۱

آثار سوء هارمونیکها بر سیستم قدرت و تجهیزات آن :

- شکست عایقی بانکهای خازنی و افزایش جریان و توان راکتیو آنها
- افزایش تلفات اهمی و تلفات اضافی در هسته و ایجاد حرارت اضافی در ترانسها و موتورها
- افزایش تلفات در کابلها و خطوط هوایی و کاهش میزان بارگذاری آنها
- شکست عایقی کابلها
- عملکرد نامناسب و پاسخ اشتباه رله ها
- ایجاد خطا در دستگاه های اندازه گیری
- ایجاد نویز و تداخل با سیستمهای مخابراتی و PLC

و ....

۲۲

۳-۱ اثر بر خازنها

- اصولاً خازنها در معرض دو نوع هارمونیکهای ۵ و ۷ می باشند.
- اغتشاش ۴ درصدی هارمونیک پنجم و ۳ درصدی هارمونیک هفتم باعث می گردد ۲۰ درصد هارمونیک پنجم جریان و ۲۱ درصد هارمونیک هفتم جریان را بدنبال دارد.

جدول ۶-۱: ارزیابی خازنها

محاسبات مربوط به خازنها هنگامی که توسط ولتاژهای غیر سینوسی تغذیه می‌شوند

اطلاعات مربوط به بانک خازنی

توان نامی	۱۲۰۰ کیلووار	فرکانس مؤلفه اصلی	۵۰ هرتز
ولتاژ نامی	۲۰۰۰۰ ولت	جریان نامی مؤلفه اصلی	۳۲/۶۲ آمپر
ولتاژ کاری	۲۰۰۰۰ ولت	راکتانس خازنی	۳۳۳/۳ اهم

توزیع هارمونیکی در ولتاژ شبکه:

مرتبه هارمونیک	فرکانس (هرتز)	دامنه ولتاژ (درصد نسبت به مولفه اصلی	دامنه ولتاژ (ولت)	جریان خط (درصد نسبت به مؤلفه اصلی)
۱	۵۰	۱۰۰	۱۱۵۲۷	۱۰۰
۳	۱۵۰	-	-	-
۵	۲۵۰	۴	۴۶۱/۸	۲۰
۷	۳۵۰	۳	۳۴۶/۴	۲۱
۱۱	۵۵۰	-	-	-
۱۳	۶۵۰	-	-	-
۱۷	۸۵۰	-	-	-
۱۹	۹۵۰	-	-	-
۲۱	۱۰۵۰	-	-	-
۲۳	۱۱۵۰	-	-	-
۲۵	۱۲۵۰	-	-	-

اعوجاج ولتاژ کل (THD) : ۵ درصد — اعوجاج کل جریان خازن : ۲۹ درصد

ولتاژ مؤثر خازن : ۱۱۵۶۱/۲۸ ولت — مقدار مؤثر جریان خازن : ۳۶/۰۵ آمپر

حدود بانک خازنی:

	محاسباتی (درصد)	حدود مجاز (درصد)
پیک ولتاژ	۱۰۷	۱۲۰
ولتاژ مؤثر	۱۰۰/۱	۱۱۰
مقدار مؤثر جریان	۱۰۴/۱	۱۳۰
توان نامی	۱۰۴/۳	۱۳۵

۲۳

۳-۲ اثر بر ترانسها

- بعنوان یک قاعده عمومی، ترانسی که اعوجاج جریان در آن بیش از ۵% باشد، توان نامی آن کاهش می یابد.
- موارد مختلف ناشی از هارمونیکهای جریان بار که باعث افزایش دمای ترانسفورماتور می گردد عبارتند از:
  - افزایش جریان مجاز به بیشتر از حد مجاز
  - تلفات ناشی از جریانهای گردابی
  - افزایش تلفات هسته ناشی از هارمونیکها (کمتر از موارد قبلی)

۲۴

۳-۲ اثر بر ترانسها

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2)\, P_{EC\text{-}R}$$

$$K = \frac{\sum (I_h^2 \times h^2)}{\sum I_h^2}$$

$$\sqrt{\sum I_h^2} = \sqrt{\frac{1 + P_{EC\text{-}R}}{1 + K \times P_{EC\text{-}R}}}$$

$P_{EC\text{-}R}$: ضریب تلفات جریان گردابی

h : مرتبهٔ هارمونیک

I_h : هارمونیک جریان

۲۵

جدول ۶ـ۲: محاسبه ضریب K برای ترانسفورماتور

توزیع هارمونیکی جریان بار ترانسفورماتور

مرتبه‌هارمونیک	جریان (درصد)	فرکانس (هرتز)	جریان (پریونیت)	I^2	$I^2 \times h^2$
۱	۱۰۰	۵۰	۱	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
۳	۱/۶	۱۵۰	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
۵	۲۶/۱	۲۵۰	۰/۲۶۱	۰/۰۶۸	۱/۷۰۳
۷	۵/۰	۳۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۰۳	۰/۱۲۳
۹	۰/۳	۴۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
۱۱	۸/۹	۵۵۰	۰/۰۸۹	۰/۰۰۸	۰/۹۵۸
۱۳	۳/۱	۶۵۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۰/۱۶۲
۱۵	۰/۲	۷۵۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
۱۷	۲/۸	۸۵۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	۰/۶۶۶
۱۹	۲/۶	۹۵۰	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱	۰/۲۴۲
۲۱	۰/۱	۱۰۵۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
۲۳	۳/۳	۱۱۵۰	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۵۷۶
۲۵	۲/۱	۱۲۵۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۲۷۶
		جمع		۱/۰۸۲	۵/۷۱۲

فاکتور K : ۵/۳

کم شدن توان نامی نسبت به استاندارد : ۰/۸۷ پریونیت

ضریب تلفات جریان گردابی مفروض ($P_{EC\text{-}R}$) : ۸ درصد

جدول ۶ـ۳: مقادیر نمونه‌ای $P_{EC\text{-}R}$

نوع	توان نامی (MVA)	ولتاژ	$\%P_{EC}$
خشک	≤۱	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۳.۸
روغنی	≤۲/۵	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۱
	۲/۵-۵	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۱.۵
	>۵	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۹-۱۵

۳-۳ اثر بر موتورها

- موتورها در مقابل اعوجاج هارمونیکی ولتاژ ضربه پذیر می باشند. اعوجاج هارمونیکی ولتاژ در ترمینالهای خروجی موتور موجب ایجاد فلوهای هارمونیکی در داخل موتور می گردد.
- اثر هارمونیکها روی روتور شبیه به اثر جریان توالی منفی در فرکانس اصلی است.
- اثرات هارمونیکها بر روی موتورها عبارتند از:
  - افزایش تلفات موتور
  - کاهش راندمان
  - لرزش (تنش مکانیکی) و سروصدا
- هنگامیکه اعوجاج ولتاژ بیش از ۵% گردد، تلفات حرارتی اضافی ایجاد مشکل می کند.
- موتورهای با قدرت پایین در میرایی مولفه های هارمونیکی نقش بازی می کنند و بسته به نسبت X/R موتور باعث تضعیف تشدید هارمونیکی می شوند. (برخلاف موتورهای بزرگ بدلیل X/R بزرگ)

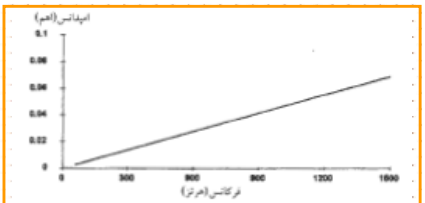
۴- پاسخ سیستم قدرت

به منابع هارمونیکی

۲۷

۴-۱ امپدانس سیستم

- در فرکانس اصلی (۵۰ هرتز) سیستمهای قدرت اصولاً بصورت اندکتیو ند.
- در مطالعات هارمونیکی سیستم قدرت، این فرض که مقاومت سیستم تا فرکانس کمتر از مرتبه ۹ تغییر زیادی نمی کند، قابل قبول است.
- برای کابلها و خطوط با در نظر گرفتن اثر پوستی، مقاومت بصورت تقریبی با مربع فرکانس تغییر می کند.
- مقاومت معادل ترانسهای بزرگ بدلیل تلفات جریان گردابی متناسب با فرکانس افزایش می یابد.
- در ولتاژهای پایین وجه غالب راکتانس معادل سیستم ناشی از امپدانس ترانسها است (در حدود ۹۰%)



شکل ۶-۲۴: امپدانس برحسب فرکانس برای یک سیستم اندوکتیو

۲۸

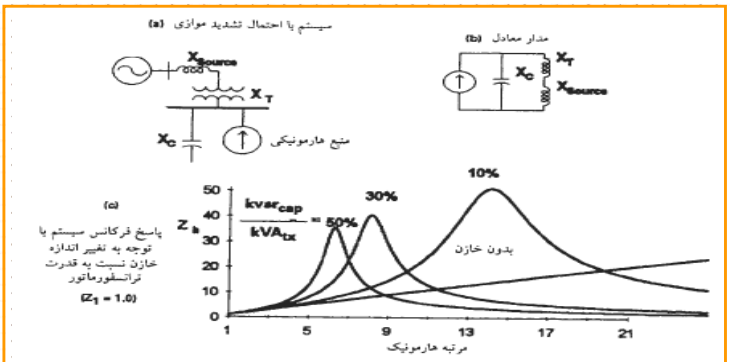
۴-۲ امپدانس خازن

- خازنهای موازی که برای تصحیح ضریب توان بکار می روند، در فرکانسهای مختلف امپدانس سیستم را شدیدا تحت تاثیر قرار می دهند.
- خازنها خود عامل تولید هارمونیک نیستند ولی اعوجاج هارمونیکی گاهی اوقات بدلیل حضور خازنها تشدید می شود.
- درحالیکه راکتانس اندکتیو با افزایش فرکانس و متناسب با آن افزایش می یابد، راکتانس خازن متناسب با فرکانس کاهش می یابد.

۲۹

۴-۳ تشدید موازی

- مدارهای شامل سلف و خازن دارای چندین فرکانس طبیعی هستند که هنگامیکه یکی از این فرکانسها برابر فرکانس سیستم قدرت گردد، پدیده تشدید بوجود می آید و جریان و ولتاژ در آن فرکانس مقدار بالایی را خواهد داشت.

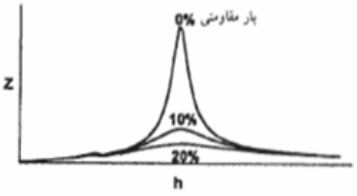


شکل ۶ـ۲۵: تأثیر اندازه خازن روی فرکانس تشدید موازی

۳۰

۴-۴ اثر بار مقاومتی

- میزان میرایی ایجاد شده توسط مقاومت یا بارهای مقاومتی در سیستم قدرت باعث کاهش ولتاژ و جریان در حالت تشدید می گردد بطوریکه تنها افزایش ۱۰% بار مقاومتی تاثیر بسزایی در کاهش پیک امپدانس سیستم دارد.
- اگر طول خط یا کابلهای بین شینه خازنی و نزدیکترین ترانسفورمر زیاد باشد، بدلیل افزایش مقاومت سیستم ناشی از کابلها و خطوط، پدیده تشدید اثر نامطلوب کمتری را ایجاد می کند.
- بدترین شرایط تشدید زمانی است که خازنها در پستهای توزیع اصلی یا پستهای واحدهای صنعتی باشند که در این حالت امپدانس ترانسفورماتور وجه غالب را داشته و نسبت X/R بالاست، لذا مقاومت نسبی کم شده و پیک امپدانس تشدید موازی تیزتر و این پدیده خرابی خازنها، ترانسها و سایر تجهیزات را در پی دارد.



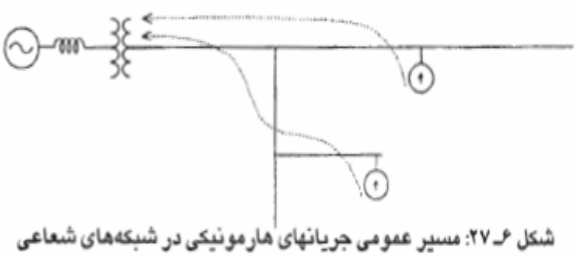
شکل ۶-۲۶: تأثیر بارهای مقاومتی روی پدیدهٔ تشدید موازی

۳۱

۵- شناسایی محل منابع هارمونیکی

۳۲

در فیدرهای توزیع شعاعی و کارخانجات صنعتی، تمایل اصلی هارمونیکهای تولید شده، جریان یافتی از محل تولید (بارهای هارمونیک زا) بطرف منبع تغذیه سیستم است. زیرا امپدانس سیستم کمترین امپدانسی است که جریانها در مقابل خود داشته و میل به اتشار بدان سمت دارند.



شکل ۶ـ۲۷: مسیر عمومی جریانهای هارمونیکی در شبکه‌های شعاعی

۳۳

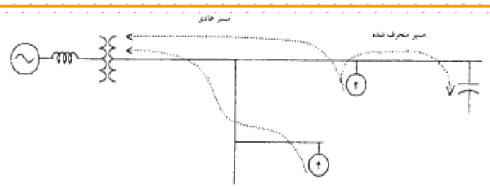
کارهای اصلی در شناسایی محل منابع هارمونیکی:

۱ – نصب تجهیزات اندازه گیری کیفیت توان

۲– قطع و وصل تک تک بارها

۲– مانیتورینگ سیستم

۳– بررسی نتایج اندازه گیری ها و تحلیل وضعیت شبکه



شکل ۶ـ۲۸: خازنهای تصحیح ضریب قدرت قادر به تغییر مسیر یکی از مؤلفه‌های هارمونیکی جریان هستند

تذکر مهم :

لزوم جداسازی تمامی بانکهای خازنی از شبکه
زیرا در تعیین محل بارهای هارمونیک زا ایجاد مشکل می نمایند.

۳۴

- مدت زمان لازم برای اندازه گیری هارمونیک :

کل مدت زمان اندازه گیری برابر یک هفته میباشد.

- بازه های زمانی اندازه گیری :

بازه زمانی بسیار کوتاه مدت : برابر با ۳ ثانیه

بازه زمانی کوتاه مدت : برابر با ۱۰ دقیقه

- شاخص هارمونیک شینه :

– حداکثر هارمونیک اندازه گیری شده در بازه زمانی کوتاه مدت

– احتمال تجمعی ۹۵ درصد هارمونیک اندازه گیری شده در بازه زمانی بسیار کوتاه مدت

(از میان دو مقدار فوق مقدار بزرگتر به عنوان شاخص شینه انتخاب میشود.)

- مکانهای اندازه گیری :

– در پستهای فوق توزیع و انتقال : دو بار در سال

– در پستهای توزیع : یک بار در سال (پستهای با مشترکین هارمونیک زا)

– در صورت شکایت مشترکین

۶– کنترل هارمونیکها

۳۶

۶-۱ کاهش جریان هارمونیکی ناشی از بارها

- راهکارهای کاهش هارمونیک در منابع مختلف تولید هارمونیک شبکه :

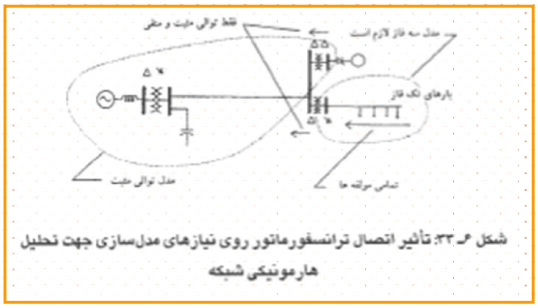
– کاهش ولتاژ اعمالی به ترانس برای خارج شدن از ناحیه اشباع مغناطیسی و تولید هارمونیک کمتر

– اضافه نمودن یک راکتور (سلف) سری در خط DC تغذیه کننده محرکه های AC

– تبدیل مبدلهای ۶ پالسه به ۱۲ پالسه برای کاهش ۹۰% هارمونیکهای ۵ و ۷

– استفاده از ترانسهای مثلث برای انتشار هارمونیکهای مضرب ۳ بارها به شبکه

– استفاده از ترانسهای زیگزاگ و زمین کرد آنها برای انتقال هارمونیکهای مضرب ۳ به زمین



شکل ۶-۳۳: تأثیر اتصال ترانسفورماتور روی نیازهای مدل‌سازی جهت تحلیل هارمونیکی شبکه

۳۷

۶-۲ فیلترگذاری

- فیلترهای موازی با اتصال کوتاه کردن جریان هارمونیکی تا حد امکان اعوجاج را کاهش می دهند. این روش معمولترین نوع فیلترگذاری بوده و بدلیل مسائل اقتصادی بیشتر ترجیح داده می شود.

- استفاده از فیلترهای سری برای سد کردن هارمونیکهای جریان روش دیگر فیلتر گذاری است.این نوع فیلتر از آنجائیکه موجب اعوجاجی شدن ولتاژ بار می شود، کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. کاربرد عملی آن، قرار گرفتن در مسیر اتصال نقطه ستاره بانک خازنی به زمین است تا هارمونیکهای مرتبه ۳ سد شوند.

- فیلترهای اکتیو (فعال) نیز با وارد کردن مولفه هارمونیکی جریان به یک بارغیرخطی، عمل حذف هارمونیکها را انجام می دهند.

۳۸

۶-۳ اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم

- با روشهای زیر می توان پاسخ سیستم به هارمونیکها را بهبود بخشید :

– اضافه کردن فیلتر موازی (برای حذف هارمونیکها)

– اضافه کردن راکتور برای تنظیم مجدد سیستم (برای جلوگیری از تشدید)

– تغییر اندازه خازن با استفاده از خازنهای سوئیچ شونده و کنترل کننده های اتوماتیک (ارزانترین روش)
– نصب خازنها در مراکز صنعتی در محلهای بسیار نزدیک به بارها (جهت کاهش احتمال تشدید)
– جابجاکردن محل نصب خازن به نقاطی با امپدانس اتصال کوتاه متفاوت (برای مشترکان صنعتی امکان پذیر نیست)
– حذف خازن (قبول تلفات بیشتر، ولتاژ پایین تر و پرداخت جریمه اقتصادی مصرف توان راکتیو)

۳۹

۶-۴ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

- سه دسته از انواع فیلترها برای حذف هارمونیکها بکار می روند :

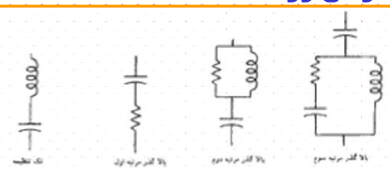
۱) فیلترهای پسیو (غیرفعال) ..... Passive Filters
۲) فیلترهای اکتیو (فعال) ..... Active Filters
۳) فیلترهای هیبرید (ترکیبی) ..... Hybrid Filters

۴۰

۶-۴ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

۱) فیلترهای پسیو :

– فیلترهای پسیو از اندوکتانس و خازن (و مقاومت) ساخته می شوند.
– این فیلترها در روش سنتی بهبود کیفیت توان مورد استفاده بودند.
– مقادیرشان با توجه به امپدانس سیستم بگونه ای انتخاب می گردد تا امکان حذف یک هارمونیک خاص یا یک پهنای هارمونیکی را از طریق کاهش هارمونیکها یا سد عبور آنها بکار فراهم آورد.
– این فیلترها بصورت سری و یا موازی با بار بکار می روند.



شکل ۶ـ ۲۹: آرایشهای معمول برای فیلترهای غیرفعال

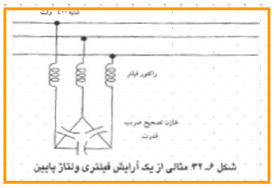
☺ **مزایا :** قیمت بسیار کم و ساختمان ساده

☹ **معایب :**

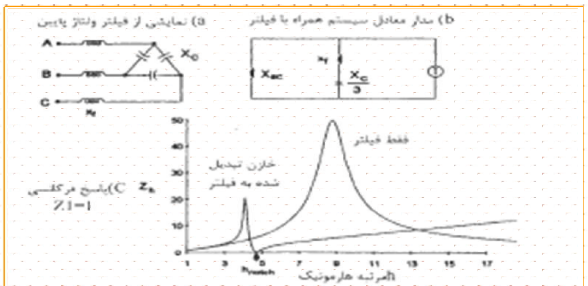
– احتمال تشدید هارمونیکها ناشی از امپدانس فیلتر و منبع
– نیاز به یک فیلتر پسیو برای حذف هر هارمونیک خاص می باشد.

اگر تغییراتی بصورت تصادفی در اندازه دامنه و فرکانس جریانهای دارای اعوجاج رخ دهد، استفاده از آن فیلتر پسیو دیگر موثر نمی باشد.

۶-۴ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها



شکل ۶ـ ۳۲ مثالی از یک آرایش فیلتری ولتاژ پایین



شکل ۶ـ ۳۰ ساختن یک فیلتر برشی برای حذف هارمونیک پنجم و تأثیر آن روی پاسخ سیستم

۴۲

۶-۴ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

۲) فیلترهای اکتیو :

- پیشرفت ادوات الکترونیک قدرت و بوجود آمدن روشهای جدید کنترل
- فیلترهای اکتیو دارای ساختار یک اینورتر بمنظور حذف هارمونیکها و جبرانسازی توان راکتیو بکار گرفته شده اند.
- مجموعه بار غیرخطی و فیلتر اکتیو بصورت یک بار خطی از دید شبکه خواهد بود.
- این فیلترها نیز بصورت موازی یا سری با بار قرار می گیرند. فیلتر اکتیو سری برای تصحیح ولتاژ و فیلترهای اکتیو موازی برای جبران جریان هارمونیکی بکار می روند.

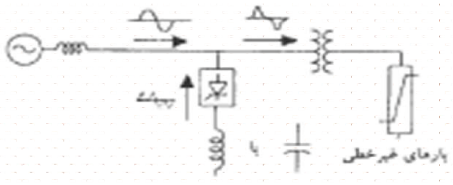
☺ مزایا :

- جبران تمامی هارمونیکها توسط یک وسیله برخلاف فیلترهای پسیو
- تطبیق دینامیک با تغییرات شبکه

☹ معایب :

- فیلترهای اکتیو بدلیل اینکه همواره ولتاژ و جریان زیادی را در دو سر خود می بینند، بایستی توان نامی زیادی داشته باشند و این امر موجب افزایش حجم و افزایش قیمت می گردد.

۶-۴ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها



شکل ۶ـ ۳۱: کاربرد فیلتر فعال در یک بار

۴۴

۶-۴ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

۳) فیلترهای هیبرید :

ترکیب فیلترهای پسیو و اکتیو

☺ مزایا :

- قیمت و توان نامی کمتر
- جبران تمامی هارمونیکها توسط یک وسیله (اکتیو)
- تطبیق دینامیک با تغییرات شبکه (اکتیو)
- عدم حساسیت زیاد به تغییرات المانها و امپدانس منبع (پسیو)
- بازدهی بیشتر و امکان استفاده با آرایشها و سیستمهای کنترلی متعدد

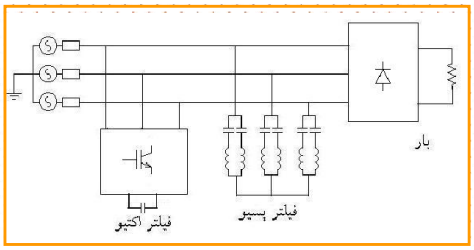
در ادامه چندین آرایش متداول فیلترهای هیبرید در سیستمهای قدرت آورده شده است.

۴۵

۶-۴ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

➢ فیلتر اکتیو و پسیو و بار هر سه باهم موازی

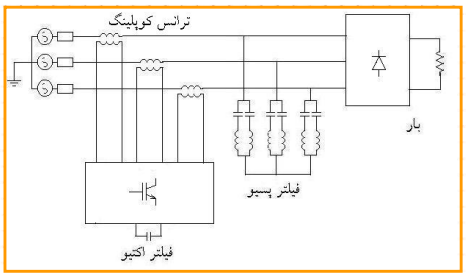
- کار فیلتر اکتیو، جبران جریان هارمونیکی بعد از فیلترهای پسیو می باشد.
- فیلتر هیبرید بعنوان یک منبع جریان تلقی می شود که با بار غیر خطی که منبع هارمونیک است، موازی می باشد.
- فیلتر اکتیو بگونه ای کنترل می شود که همانند یک امپدانس بینهایت در فرکانس اصلی و یک مقاومت کم در فرکانس هارمونیکها از خود رفتار نماید.



۴۶

۴-۶ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

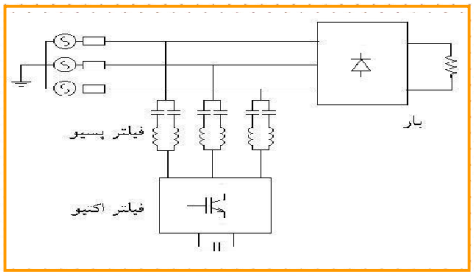
- فیلتر پسیو موازی و اکتیو سری با بار
  - فیلتر اکتیو توسط ترانسهای کوپلینگ به شبکه متصل بوده و با بار غیرخطی سری می باشد درحالیکه فیلتر پسیو با بار موازی است.
  - این ساختار بدلیل توان نامی کم فیلتر اکتیو که در حدود ۵% توان نامی بار است، مورد توجه بیشتری قرار داشته و همانند یک ایزولاتور هارمونیکی بین بار و منبع عمل می نماید.
  - عمل اصلی فیلتر اکتیو در این ساختار، جبران سازی مستقیم هارمونیکها نبوده بلکه ایزولاسیون هارمونیکهای موجود بین بار و منبع می باشد.



۴۷

۴-۶ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

- فیلتر اکتیو و پسیو سری باهم و موازی با بار
  - فیلتر اکتیو و پسیو باهم سری شده و مجموعه با بار غیرخطی موازی بسته شده است.
  - فیلتر پسیو برای جبران سازی هارمونیکهای مرتبه های دلخواه تنظیم می گردد.
  - فیلتر اکتیو نیز مانند یک منبع ولتاژ کنترل شده با جریان بوده و هارمونیکهای جبران کننده را به مدار تزریق می نماید.



۴۸

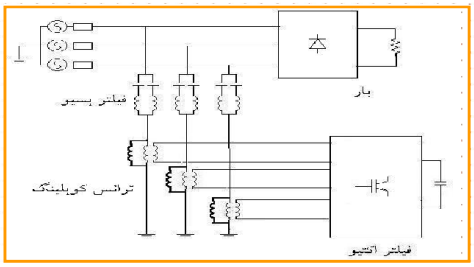
۴-۶ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

- فیلتر اکتیو و پسیو سری باهم و موازی با بار دارای سلف موازی با ترانس کوپلینگ

– یک سلف بصورت موازی با فیلتر اکتیو و ترانس کوپلینگ استفاده شده است.

– در صورت بروز عیب در فیلتر اکتیو و خارج شدن آن از مدار به کمک فیوز، فیلتر پسیو و سلف موازی همچنان در مدار باقی مانده و به حذف هارمونیکها می پردازند.

– با اضافه شدن سلف موازی به سیستم، ولتاژ و جریان کمی بر روی فیلتر اکتیو افتاده و این موضوع موجب کاهش توان نامی فیلتر اکتیو می گردد.



۴۹

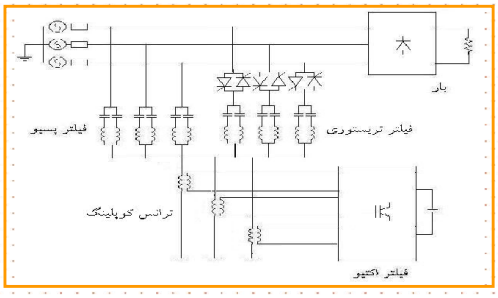
۴-۶ تجهیزات فیلترکردن هارمونیکها

- فیلتر اکتیو و پسیو سری باهم و موازی با بار بهمراه فیلتر پسیو کنترل شده

– فیلتر پسیو کنترل شده تریستوری بموازات فیلتر پسیو در مدار قرار دارد.

– فیلتر پسیو هارمونیکهای مراتب تنظیم شده را حذف نموده و برای رفع مشکلات رزونانس فیلتر پسیو از یک فیلتر اکتیو بصورت سری با آن استفاده می شود.

– با روشن و خاموش شدن تریستورها، جبران توان راکتیو بصورت دینامیکی و بر اساس نیازهای سیستم صورت می گیرد.

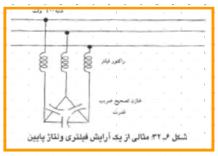


۵۰

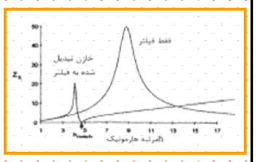
۶-۵ طراحی فیلترها

جدول ۶-۳: مثالی از طراحی فیلتر هارمونیکی

محاسبات مربوط به فیلتر ولتاژ پایین		مثالی در رابطه با طراحی فیلتر	
اطلاعات مربوط به شبکه			
مشخصات فیلتر:	هارمونیک پنجم	فرکانس سیستم:	۵۰ هرتز
توان نامی بانک خازنی:	۵۰۰ کیلووار	ولتاژ نامی خازن:	۲۰۰ ولت
جریان نامی بانک خازنی:	۷۲۱/۷ آمپر	فرکانس نامی خازن:	۵۰ هرتز
ولتاژ نامی شبکه:	۴۰۰ ولت	توان تغییر یافته بانک خازنی:	۵۰۰ کیلووار
جریان خازن (واقعی):	۷۲۱/۷ آمپر	کل بار هارمونیکی :	۵۰۰ کیلوولت آمپر
هارمونیک تنظیم فیلتر:	هارمونیک ۴/۷	فرکانس تنظیم فیلتر:	۲۳۵ هرتز
امپدانس خازن (معادل ستاره):	۰/۳۲- اهم	مقدار خازن (معادل ستاره):	۹۹۴۷/۲ میکروفاراد
امپدانس راکتور:	۰/۰۱۴۴۹ اهم	مقدار نامی راکتور :	۲۶/۱۲ میکرو هانری
جریان بار کامل فیلتر (واقعی):	۷۵۶/۱۲ آمپر	مقدار جبران سازی :	۵۲۴ کیلووار
جریان بار کامل فیلتر (نامی):	۷۵۶/۱۲ آمپر	میزان THD مجاز شرکت برق:	۱ درصد
جریان هارمونیکی بار:	۳۰ درصد مؤلفه اصلی	حداکثر جریان هارمونیکی بار:	۱۸۰/۲ آمپر
جریان هارمونیکی شرکت برق:	۲۷/۷ آمپر	حداکثر جریان هارمونیکی کل:	۲۲۸/۱ آمپر
محاسبات مربوط به خازن			
جریان مؤثر فیلتر	۷۵۶/۱۲ آمپر	ولتاژ مؤلفه اصلی خازن	۲۱۹ ولت
هارمونیک ولتاژ خازن	۳۶/۲ ولت	حداکثر پیک ولتاژ	۲۲۸ ولت
ولتاژ مؤثر خازن	۲۲۰ ولت	حداکثر پیک جریان	۱۰۳۰ آمپر
حدود خازن			
	(٪) حد مجاز	(٪) واقعی	
پیک ولتاژ	۱۲۰	۱۱۲	
جریان	۱۳۰	۱۱۱	
توان نامی	۱۳۵	۱۱۷	
ولتاژ موثر	۱۱۰	۱۰۵	
مشخصات طراحی راکتور فیلتر			
امپدانس راکتور	۰/۰۱۴۴۹ اهم	مقدار نامی راکتور :	۲۶/۱۲ میکرو هانری
جریان نامی مؤلفه اصلی	۷۵۶/۱۲ آمپر	جریان هارمونیکی :	۲۲۸/۱ آمپر



شکل ۶-۳۲ مثالی از یک آرایش فیلتری ولتاژ پایین



۵۱

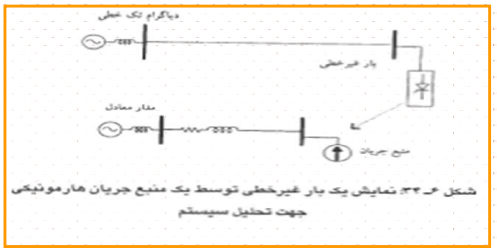
۷- برنامه های کامپیوتری

برای تحلیل هارمونیکها

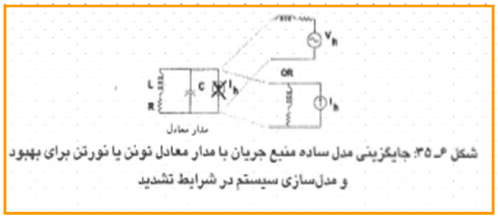
۵۲

۷-۱ مدلسازی منابع هارمونیکی

مدلسازی منابع هارمورنیک ولتاژ بصورت یک منبع ولتاژ سری با شبکه قدرت و منبع هارمونیک جریان بصورت یک منبع جریان موازی با شبکه قدرت می باشد که اندازه آنها برابر مجموع میزان هارمونیکهای موجود در شبکه با فرکانسهای مربوطه است.



شکل ۶-۳۴: نمایش یک بار غیرخطی توسط یک منبع جریان هارمونیکی جهت تحلیل سیستم



شکل ۶-۳۵: جایگزینی مدل ساده منبع جریان با مدار معادل تونن یا نورتن برای بهبود و مدل‌سازی سیستم در شرایط تشدید

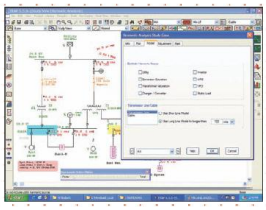
۵۳

۷-۲ برنامه های کامپیوتری تحلیل هارمونیکی

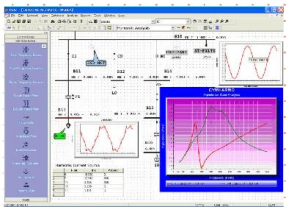
- با گسترش نرم افزارهای تخصصی در تحلیل و آنالیز سیستمهای قدرت که بر اساس مدلسازی تجهیزات شبکه بصورت مدارهای الکتریکی معادل آنها می باشد، برخی به آنالیز هارمونیکی شبکه (*Harmonic Analysis*) می پردازند

- سه مورد از این نرم افزارها که در ایران نیز وجود دارند، عبارتند از :

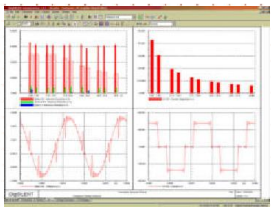
نرم افزار *ETAP*



نرم افزار *CYME*



نرم افزار *DIgSILENT*



۵۴

۳-۷ قابلیت برنامه های تحلیل هارمونیکی

- توانایی حل شبکه های بزرگ با حداقل چند صد گره
- قابلیت حل سیستمهای چند فاز در حالات نامتعادل
- قابلیت تعیین امپدانس سیستم در فرکانسهای مختلف و بدست آوردن مشخصه فرکانسی سیستم
- تحلیل همزمان چندین منبع هارمونیکی مختلف در شبکه
- قابلیت مدلسازی تمامی تجهیزات شبکه با انواع اتصالات رایج موثر در تحلیل شبکه

و سایر امکانات متداول در نرم افزارهای مشابه جهت تحلیل و مدلسازی شبکه های قدرت (توزیع، انتقال و صنعتی)

۵۵

۸- اصول و شرایط عمومی

محدودکردن هارمونیکها

۵۶

۸-۱ کلیات

- در رابطه با حل مسائل هارمونیکی بایستی مسائل زیر را درنظر گرفت:

– کلیه تجهیزات بایستی تحمل هارمونیکهای ولتاژ تا حد منطقی و قابلیت کار در آن را دارا باشند.

– امکان اتصال تجهیزاتی که تولید هارمونیک می کنند با قبول شرایطی وجود داشده باشد.

– در تعیین حد مصونیت یا مقدار مجاز هارمنیکها، بایستی احتمالی بودن هارمونیکها را در نظر گرفت.

– بررسی اثر تکی و تجمعی هارمونیکهای مختلف در شبکه قدرت

۵۷

۸-۱ کلیات

جدول ۶-۷: حد سازگاری هارمونیکهای ولتاژ در شبکه‌های فشار ضعیف و متوسط به درصد

هارمونیکهای فرد که مضرب ۳ نمی‌باشند		هارمونیکهای فرد که مضرب ۳ می‌باشند		هارمونیکهای زوج	
مرتبه(h)	فشار ضعیف و متوسط	مرتبه	فشار ضعیف و متوسط	مرتبه(h)	فشار ضعیف و متوسط
۵	۶	۳	۵	۲	۲
۷	۵	۹	۱/۵	۴	۱
۱۱	۳/۵	۱۵	۰/۳	۶	۰/۵
۱۳	۳	۲۱	۰/۲	۸	۰/۵
۱۷	۲	>۲۱	۰/۲	۱۰	۰/۵
۱۹	۱/۵			۱۲	۰/۲
۲۳	۱/۵			>۱۲	۰/۲
۲۵	۱/۵				
> ۲۵	$0/2 + \frac{1/3 \times 25}{h}$				
اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای سیستمهای فشار ضعیف و متوسط: ۸ درصد					

۵۸

۸-۱ کلیات

۸-۶: مقادیر سطوح طراحی هارمونیکهای ولتاژ در سیستم‌های مختلف به درصد

هارمونیکهای فرد که مضرب ۳ نمی‌باشند			هارمونیکهای فرد که مضرب ۳ می‌باشند			هارمونیکهای زوج		
مرتبه (h)	فشار ضعیف و متوسط	فشار قوی	مرتبه (h)	فشار ضعیف و متوسط	فشار قوی	مرتبه (h)	فشار ضعیف و متوسط	فشار قوی
۵	۵	۲	۳	۴	۲	۲	۱/۶	۱/۵
۷	۴	۲	۹	۱/۲	۱	۴	۱	۱
۱۱	۳	۱/۵	۱۵	۰/۳	۰/۳	۶	۰/۵	۰/۵
۱۳	۲/۵	۱/۵	۲۱	۰/۲	۰/۲	۸	۰/۴	۰/۴
۱۷	۱/۶	۱	> ۲۱	۰/۲	۰/۲	۱۰	۰/۴	۰/۴
۱۹	۱/۲	۱				۱۲	۰/۲	۰/۲
۲۳	۱/۲	۰/۷				> ۱۲	۰/۲	۰/۲
۲۵	۱/۲	۰/۷						
> ۲۵	$\frac{۰/۱۲۵×۲۵}{h}$	$\frac{۰/۱۳×۲۵}{h}$						

اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای شبکه فشارضعیف ومتوسط : ۶/۵ درصد

اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای شبکه فشار قوی: ۳ درصد

۵۹

۸-۲ عوامل تاثیر گذار بر تعیین حدود مجاز هارمونیکها

- همانطور که اشاره گردید پارامترهای مختلفی در تعیین حدود مجاز هارمونیکها موثرند. بطورکلی در تعیین محدودیت هارمونیکی، طبقه بندی مشترکین می تواند عامل مهمی باشد. برای این مسئله توجه به دو نکته زیر الزامی است :

۱) اطمینان از اینکه کلیه تجهیزات مورد استفاده تحت تاثیر قرار نمی گیرند.

۲) مقدار تجمعی هارمونیکها ناشی از بارهای مختلف در حد قابل قبولی قرار بگیرد.

۶۰

۸-۳ فلسفه تعیین محدودیتها

- فلسفه تعیین حدود مجاز هارمونیکها در دو مقوله مختلف قرار می گیرد:

۱) باید حدود هارمونیکهای جریان هر مشترک و همچنین حداکثر هارمونیکهای ولتاژ در هر شینه تعیین و توصیه گردد. (برای مدنظر قراردادن اثرات بارهای تکی و نیز تجمعی بارها)

۲) از آنجائیکه حذف کامل هارمونیکها مقدور نیست، لذا بایستی بین عوامل اقتصادی و کاهش هارمونیکها تعادلی برقرار نمود. (منافع همگانی مشترکان و شرکتهای برق)

- همچنین در تعیین حدود مجاز اعوجاج ولتاژ و جریان بایستی عدم همزمانی بین عوامل ایجاد کننده جریان هارمونیکی را از دیدگاه زمانی مدنظر قرار داد.

۶۱

۹- مقررات استاندارد حدود مجاز هارمونیکها در برخی از کشورهای جهان

۶۲

آلمان

- کلیه تجهیزاتی که نسبت قدرت اتصال کوتاه شینه محل تغذیه آنها به شبکه کمتر از ۱% باشد، احتیاج به بررسی هارمونیکی نبوده و جهت اتصال مجاز است.
- نسبت ظرفیت بار غیرخطی به کل بار مشترک کمتر از ۳۰% باشد.
- مقدار هارمونیکهای ولتاژ در شینه مشترک برای هارمونیکهای پنجم و هفتم کمتر از ۵% و برای هارمونیکهای یازدهم و سیزدهم کمتر از ۳% باشد.

۶۳

فرانسه

- کلیه تجهیزاتی که نسبت قدرت اتصال کوتاه شینه محل تغذیه آنها به شبکه کمتر از ۱% و یا ظرفیت نامی مشترک کمتر از ۵۰۰ کیلو ولت آمپر باشد، احتیاج به بررسی هارمونیکی نبوده و جهت اتصال مجاز است.
- مقدار مجاز جمع هارمونیکهای ولتاژ یک مشترک بایستی کمتر از ۶/۱% و مقدار هریک از هارمونیکهای زوج مشترک نبایستی بیش از ۶/۰% و مقدار مجاز جمع هارمونیکهای ولتاژ شبکه فشار متوسط بایستی کمتر از ۳% باشد.

۶۴

استرالیا

- ماکزیمم ظرفیت یک مبدل سه فاز که می تواند به شبکه توزیع وصل شود برابر ۰.۳% قدرت اتصال کوتاه شینه محل اتصال باشد.
- در شرایط زیر بایستی حدود استاندارد مورد بررسی قرار گیرد:

– حداقل سطح اتصال کوتاه شبکه های فشار ضعیف و متوسط بترتیب کمتر از ۵ و ۵۰ مگاولت آمپر باشد.

– ظرفیت دستگاه نصب شده در شبکه های فشار ضعیف و متوسط بترتیب بیش از ۷۵ و ۵۰۰ کیلوولت آمپر باشد.

– مجموع هارمونیکهای تولید شده بیش از مقادیر مجاز باشد.

جدول ۶-۱۱: حد مجاز هارمونیکهای ولتاژ در شبکه کشور استرالیا

نوع شبکه	ولتاژ شبکه تغذیه	اعوجاج ولتاژ کل (THD)	اعوجاج تکی هارمونیک فرد	ولتاژ به درصد هارمونیک زوج
شبکه توزیع	تا ۳۳ کیلوولت	۵	۴	۲
شبکه انتقال	۲۲ و ۳۳ و ۶۶ کیلو ولت	۳	۲	۱
	۱۱۰ کیلو ـ ولت و بالاتر	۱/۵	۱	۰/۵

۶۵

انگلستان

- ماکزیمم ظرفیت مبدل سه فاز متصل به شبکه های توزیع مطابق جدول باشد.
- ماکزیمم ظرفیت مبدل تکفاز برای ولتاژ ۲۴۰ ولت کمتر از ۵ کیلوولت آمپر و برای ولتاژ ۴۱۵ یا ۴۸۰ ولت کمتر از ۵/۷ کیلوولت آمپر باشد.
- اتصال تجهیزات تولید کننده هارمونیکهای زوج و تزریق کننده جریان DC به شبکه های AC ممنوع است.

جدول ۶-۱۲: ماکزیمم ظرفیت مبدلها برای پذیرش اتوماتیک در کشور انگلستان

نوع سیستم توزیع	ماکزیمم ظرفیت مبدلهای رگولاتورهای سه فاز KVA			ماکزیمم ظرفیت KVA	
	۳ پالسی	۶ پالسی	۱۲ پالسی	۶ تریستور	۳ تریستور / ۳ دیود
فشار ضعیف	۸	۱۲	—	۱۲	۱۰
فشار متوسط	۸۵	۱۳۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۰۰

جدول ۶-۱۳: حد مجاز هارمونیکهای ولتاژ در شبکه برق کشور انگلستان

ولتاژ شبکه	اعوجاج ولتاژ کل (THD) به درصد	اعوجاج تکی ولتاژ به درصد	
		هارمونیک فرد	هارمونیک زوج
۴۱۵ ولت	۵	۴	۲
۶/۶ و ۱۱ کیلوولت	۴	۳	۱/۷۵
۳۳ و ۶۶ کیلوولت	۳	۲	۱
۱۳۲ کیلوولت	۱/۵	۱	۰/۵

۶۶

فنلاند

- اتصال تجهیزات تزریق کننده جریان DC به شبکه های AC ممنوع است.

جدول ۶ـ۱۵: ماکزیمم مقدار مجاز جمع هارمونیکها و مقدار هر نوع هارمونیک ولتاژ در کشور فنلاند

ولتاژ شبکه	اعوجاج کلی ولتاژ به درصد	اعوجاج تکی ولتاژ به درصد
کمتر از ۱۰۰۰ ولت	۵	۴
۳ تا ۲۰ کیلو ولت	۴	۳
۳۰ تا ۴۵ کیلو ولت	۳	۲
۶۰ تا ۱۱۰ کیلو ولت	۱/۵	۱

جدول ۶ـ۱۶: ماکزیمم مقدار مجاز هارمونیکهای جریان بر مشترک در کشور فنلاند

ولتاژ شبکه	جمع هارمونیکهای جریان به‌درصد نسبت به بار نامی مشترک	مقدار هر هارمونیک جریان به درصد نسبت به بار نامی مشترک
۳ تا ۲۰ کیلو ولت	۱۰	۸
۳۰ تا ۴۵ کیلو ولت	۷	۶
۶۰ تا ۱۱۰ کیلو ولت	۵	۴

۶۷

بلژیک

جدول ۶ـ۱۲: ماکزیمم ظرفیت مبدلها برای پذیرش اتوماتیک در کشور بلژیک

ماکزیمم ظرفیت مبدلهای سه فاز KVA			ماکزیمم ظرفیت رگولاتورهای سه‌فاز KVA	
۳ پالسی	۶ پالسی	۱۲ پالسی	۶ پالسی	۳تریستور / ۳ دیود
۸۵	۱۳۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۰۰

۶۸

لهستان

- چنانکه ظرفیت مبدل ۶ پالسی کمتر از ۲% قدرت اتصال کوتاه محل تغذیه و ظرفیت مبدل ۱۲ پالسی کمتر از ۵/۳% قدرت اتصال کوتاه محل تغذیه باشد، اجازه وصل مشترک بدون بررسیهای هارمونیکی صورت می گیرد.

- درصورتیکه مشترک در ۹۰% ساعات مقادیر هارمونیکهای ولتاژی بیش از مقادیر جدول ذیل را ایجاد ننماید، اجازه کار داده می شود. مشترک می تواند در ۱۰% ساعات دیگر روز، تا دو برابر اعداد داده شده در جدول را تولید نماید.

جدول ۶ـ۱۷: ماکزیمم مقدار مجاز جمع هارمونیکهای ولتاژ در کشور لهستان

ولتاژ شبکه	جمع هارمونیک‌های ولتاژ مجاز به درصد
کمتر از ۱۰۰۰ ولت	۷
۱ تا ۳۰کیلو ولت	۵
۳۰کیلو ولت به بالا	۱/۵

۶۹

۱۰ – استاندارد مجاز هارمونیکها در شبکه برق ایران

(استاندارد توانیر)

۷۰

هارمونیک ولتاژ

حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز در شبکه‌های با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز

ولتاژ شبکه	اعوجاج تکی ولتاژ		اعوجاج کل ولتاژ
	فرد	زوج	(THD)
۴۰۰ ولت، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت	۳	۱/۵	۵
۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت	۱/۵	۰/۷	۲/۵
۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت	۱	۰/۵	۱/۵

۷۱

هارمونیک جریان

حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه‌های توزیع ۴۰۰ ولت، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت

بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک										اعوجاج کلی جریان
	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n										
	n<۱۱		۱۱≤n<۱۷		۱۷≤n<۲۳		۲۳≤n<۳۵		n≥۳۵		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R>۵	۴	۱/۰	۳/۰	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۵
۵≥R>۲	۷	۱/۷	۳/۵	۰/۹	۲/۵	۰/۶	۱/۰	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۸
۲≥R>۱	۱۰	۲/۵	۴/۵	۱/۱	۳/۰	۱/۰	۱/۵	۰/۴	۰/۷	۰/۲	۱۲
۱≥R>۰/۱	۱۲	۳/۰	۵/۵	۱/۴	۵/۰	۱/۲	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۱۵
R≤۰/۱	۱۵	۳/۸	۷/۰	۱/۷	۶/۰	۱/۵	۲/۵	۰/۶	۱/۴	۰/۳	۲۰

۷۲

هارمونیک جریان

حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین فوق توزیع ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت

بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n										اعوجاج کلی جریان
	n<۱۱		۱۱≤n<۱۷		۱۷≤n<۲۳		۲۳≤n<۳۵		n≥۳۵		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R>۵	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰	۲/۵
۵≥R>۲	۳/۵	۰/۹	۱/۷	۰/۴	۱/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۰	۴
۲≥R>۱	۵/۰	۱/۲	۲/۲	۰/۶	۲/۰	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۶/۰
۱≥R>۰/۱	۶/۰	۱/۵	۲/۷	۰/۷	۲/۵	۰/۶	۱/۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۷/۵
R≤۰/۱	۷/۵	۱/۹	۳/۵	۰/۹	۳/۰	۰/۷	۱/۲	۰/۳	۰/۷	۰/۲	۱۰/۰

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک

۷۳

هارمونیک جریان

حدود مجاز اعوجاج جریان برای شبکه‌های انتقال فشارقوی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت ایران

بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n										اعوجاج کلی جریان
	n<۱۱		۱۱≤n<۱۷		۱۷≤n<۲۳		۲۳≤n<۳۵		n≥۳۵		
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R>۲	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	۲/۵
R≤۲	۳/۰	۰/۷	۱/۵	۰/۴	۱/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۱	۰/۲	۰/۰۵	۴/۰

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک

۷۴

منابع

1. Asadollah kazemi. *Power Quality Monitor Placement Optimization* (first ed.). Germany: Lambert Academic Publishing, 2013. Available at: http://works.bepress.com/asadollah_kazemi/16.
2. Asadollah kazemi. *Identify the Exact Location of Voltage Sag Source* (first ed.). Germany: Lambert Academic Publishing, 2013. Available at: http://works.bepress.com/asadollah_kazemi/17.
3. A. Kusko, M. T. Thompson. Power Quality in Electrical System. Mc Graw Hill, 2007.
4. T. J. E. Miller. Reactive Power Control in Electrical System, 1984.

۵. دکتر اسدالله کاظمی، کنترل توان راکتیو در شبکه های توزیع، انتشارات صفار، ۱۳۹۴.

۶. دکتر روحی و هیات مولفان، کیفیت توان سیستم های الکتریکی، انتشارات دانشگاه مازندران.

۷. دکتر سید حسین حسینی، کیفیت توان، مادسیج (madsg.com).

۸. دکتر سید حسین حسینی، هارمونیک، مادسیج (madsg.com).

۹. دکتر حسین طباطبائی یزدی، کیفیت انرژی الکتریکی، انجمن مهندسین برق و الکترونیک- شاخه خراسان.

۱۰. مهندس مهدی منصوری، کیفیت توان الکتریکی.