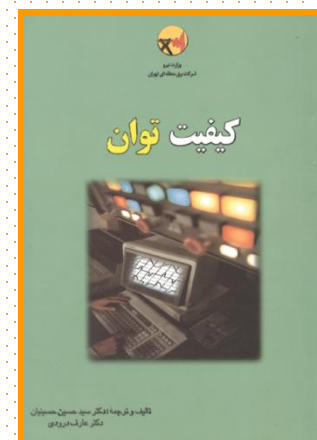


هارمونیک ها

دکتر سید حسین حسینی
دانشگاه تبریز



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

۴- پاسخ سیستم قدرت به منابع هارمونیک

۴-۱- امپدانس سیستم

۴-۲- امپدانس خازن

۴-۳- تشدید موازی

۴-۵- اثر بار مقاومتی

۵- شناسایی محل منابع هارمونیک

۶- کنترل هارمونیکها

۶-۱- کاهش جریانهای هارمونیک 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

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)

۱ - شناخت و بررسی مقدماتی

هارمونیکها



۱-۱ کلیات

➤ یکی از مسائل و مشکلات مهم کیفیت برق در سیستمهای توزیع و انتقال مسئله **هارمونیکها** می باشد.

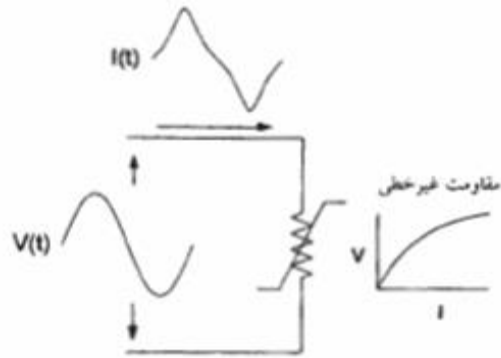
➤ اعوجاجهای هارمونیکی در سیستمهای قدرت **مشکلات خاصی** را بدنبال دارند که عدم عملکرد مناسب تجهیزات، کاهش عمر و پایین آمدن راندمان از مهمترین آنهاست.

➤ 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.

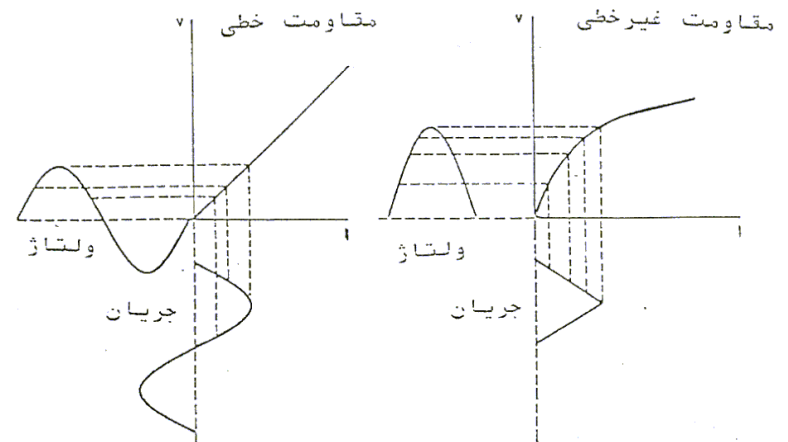
➤ در اغلب مواقع، اعوجاج ولتاژ در سیستمهای انتقال کمتر از یک درصد است و هرچه به سمت مشترکین نزدیکتر می شویم، میزان اعوجاجهای هارمونیکی بیشتر می شود.

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.



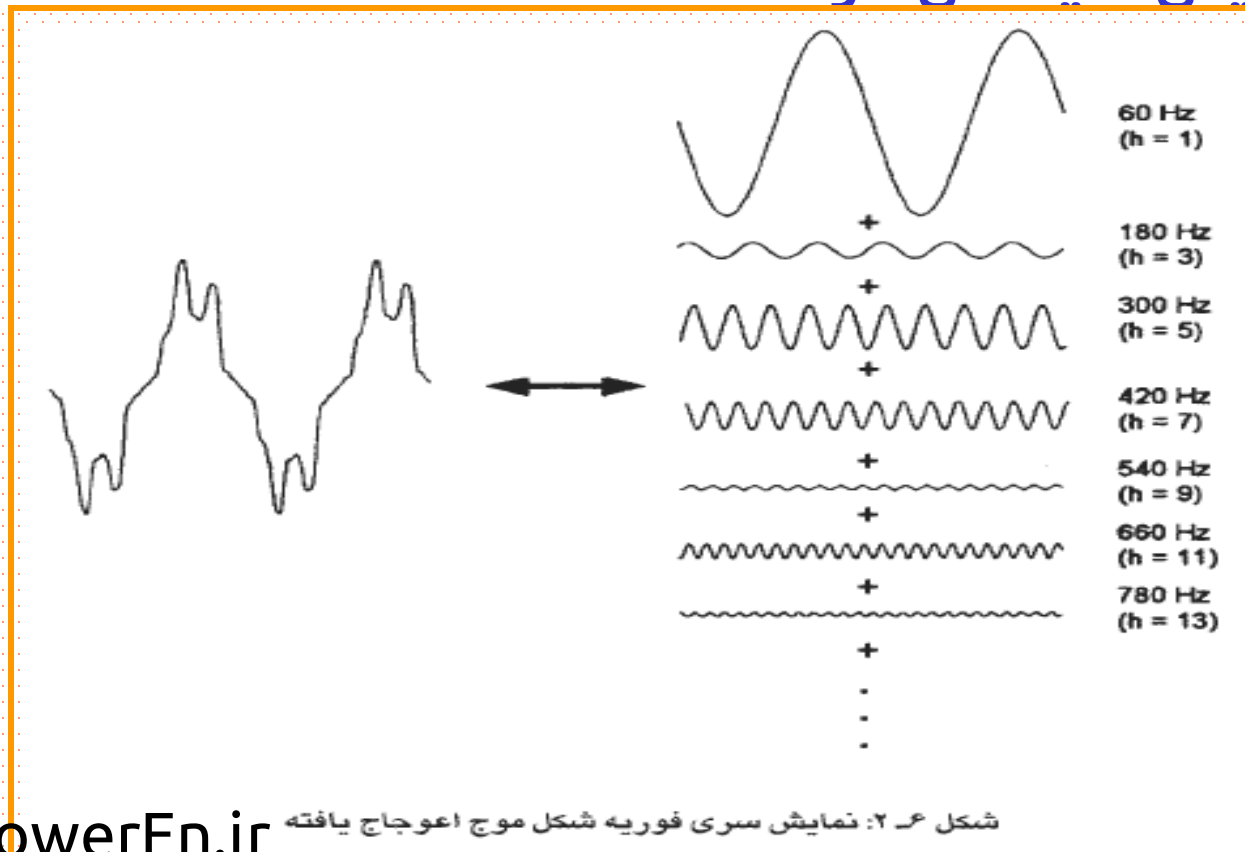
شکل ۱-۲: اعوجاج جریان که به علت یک مقاومت غیرخطی ایجاد شده است



تغییر شکل موج جریان به علت مقاومت غیرخطی

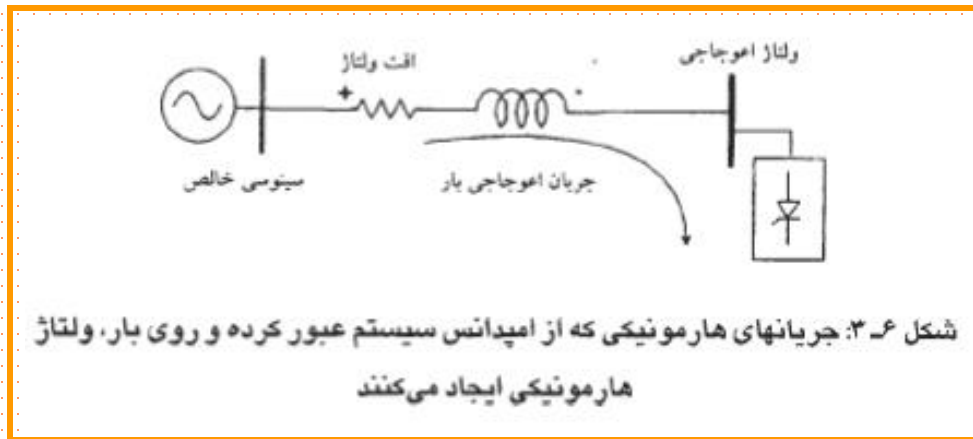
۱-۲ اعوجاجهای هارمونیک

➤ هر شکل 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. در صورتیکه فرکانس آنها ضریبی صحیح از فرکانس اصلی (۵۰ هرتز) نباشد، هارمونیکهای میانی نامیده می شوند.



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.



۲ – منابع تولید

هارمونیک ها



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 یکسوکنده های پر قدرت برای تولید برق DC مورد نیاز خود.

۱-۲ منابع تغذیه تکفاز

➤ در حال حاضر بارهای تغذیه شده از طریق مبدل‌های الکترونیک قدرت مهمترین بارهای غیرخطی را تشکیل می‌دهند.

➤ ادوات الکترونیک قدرت بکار رفته در **صنعت** :

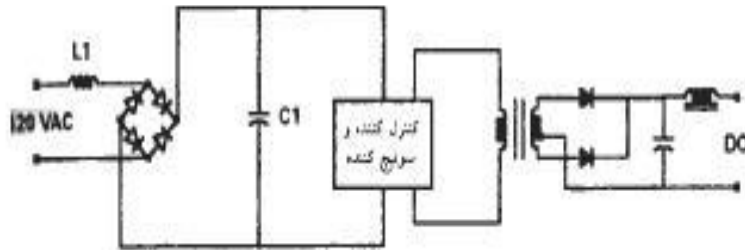
- محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت
- منابع تغذیه سوئیچینگ
- راه اندازی موتورهای جریان مستقیم
- شارژرها
- بالاستهای الکترونیکی
- یکسوکننده ها

➤ ادوات الکترونیک قدرت در ساختمانهای **تجاری** :

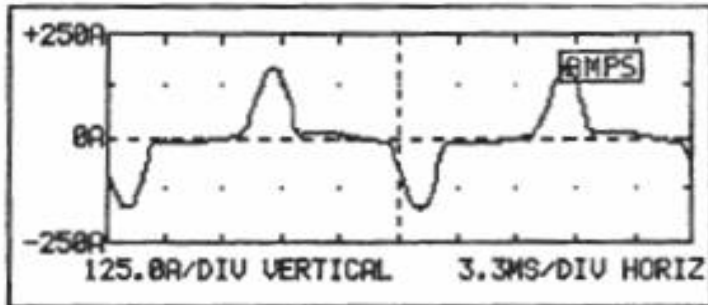
- وجود تجهیزات الکترونیکی تکفاز بیشماری همچون کامپیوترهای شخصی
- تامین ۴۰ تا ۶۰ درصد روشنایی توسط لامپهای فلورسنت

۱-۲ منابع تغذیه تکفاز

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



شکل ۷: منابع تغذیه سوئیچینگ



مواضع اصلی جریان			58.5 A rms		
مواضع اصلی فرکانس			60.0 Hz		
HARM	PCT	PHASE	HARM	PCT	PHASE
FUND	100.0%	-37°	2nd	0.2%	65°
3rd	66.7%	-97°	4th	0.4%	-72°
5th	37.7%	-166°	6th	0.4%	-154°
7th	12.7%	113°	8th	0.3%	112°
9th	4.4%	-46°	10th		
11th	5.3%	-158°	12th	0.1%	142°
13th	2.5%	92°	14th	0.1%	65°
15th	1.9%	-51°	16th		
17th	1.8%	-151°	18th		
19th	1.1%	84°	20th		
21st	0.6%	-41°	22nd		
23rd	0.8%	-148°	24th		
25th	0.4%	64°	26th		
27th	0.2%	-25°	28th		
29th	0.2%	-122°	30th		
31st	0.2%	102°	32nd		
33rd	0.2%	56°	34th		

شکل ۸: منبع تغذیه سوئیچینگ و طیف هارمونیک آن

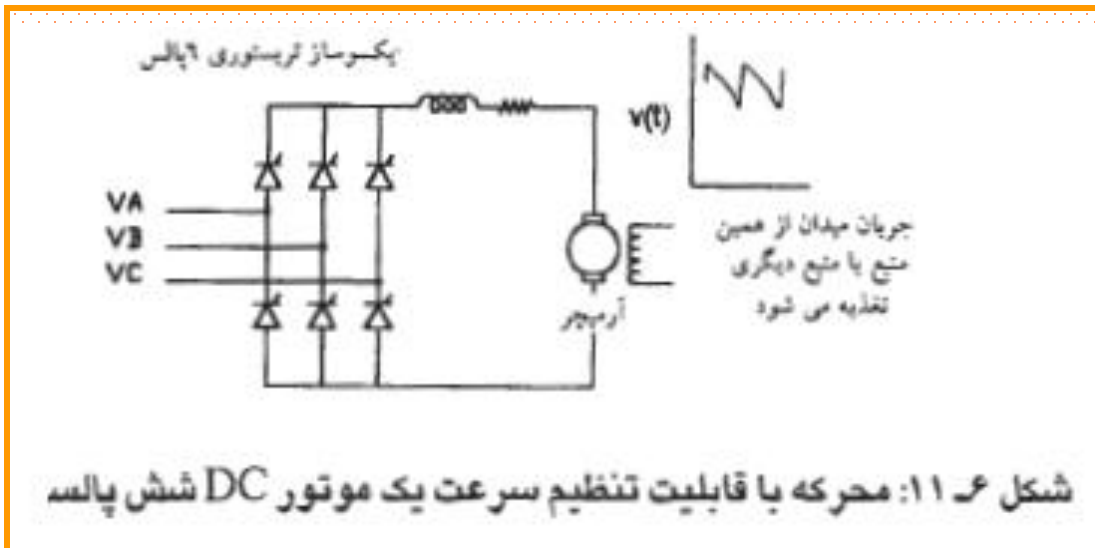
(۲) در تکنولوژی جدید از **منابع تغذیه سوئیچینگ** (تبدیل DC/DC) استفاده می کنند که مزایای آن عبارتند از وزن کم، اندازه کوچک، راندمان بالا، عدم نیاز به ترانسفورماتور و عیب عمده آنها **تولید هارمونیکهای سوم جریان** است که در نوترال باهم جمع می شوند.

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 محرکه‌های AC و DC تقسیم می‌شوند.

(۱) **محرکه‌های DC** : یکسوسازی تنها عمل مورد نیاز در محرکه‌های DC است. اغلب محرکه‌های DC از یکسو کننده‌های ۶ پالسه و محرکه‌های بزرگتر از یکسو کننده‌های ۱۲ پالسه استفاده می‌کنند.

درایوهای ۶ پالسه هارمونیک‌های ۵ و ۷ بالاتر و درایوهای ۱۲ پالسه هارمونیک‌های ۱۱ و ۱۳ قابل ملاحظه‌ای دارند.

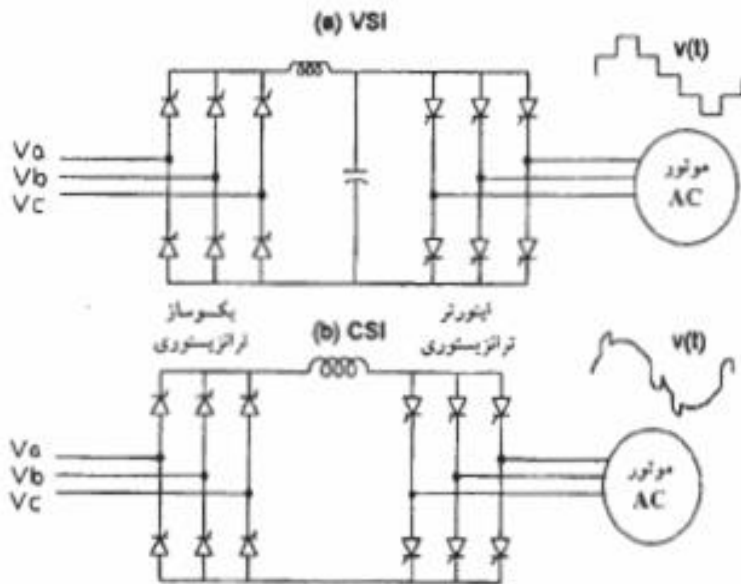


۲-۲ مبدل‌های قدرت سه فاز AC و DC

(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.

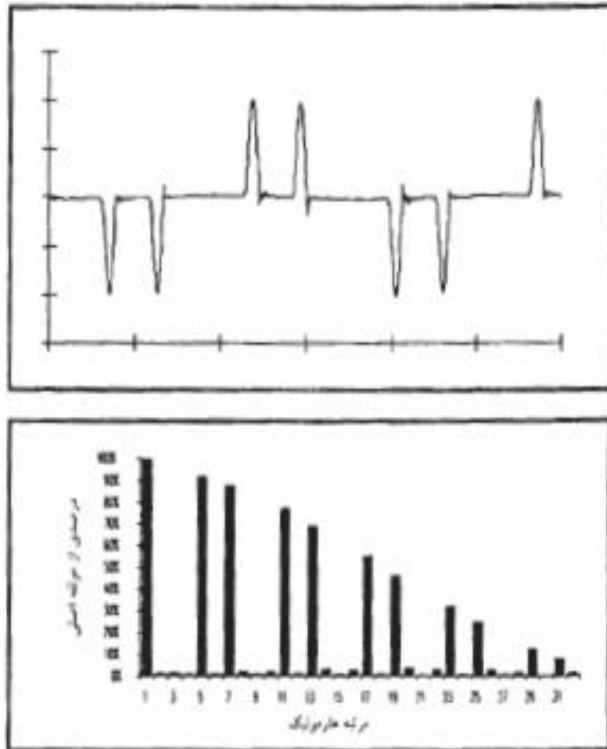
➤ برای ورودی یک VSI احتیاج به منبع ولتاژ DC ثابت (با ریپل کم) است که این امر توسط یک فیلتر (خازن و سلف) صورت می گیرد. ورودی یک CSI احتیاج به یک منبع جریان ثابت (با ریپل کم) دارد که توسط یک سلف انجام می شود.

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

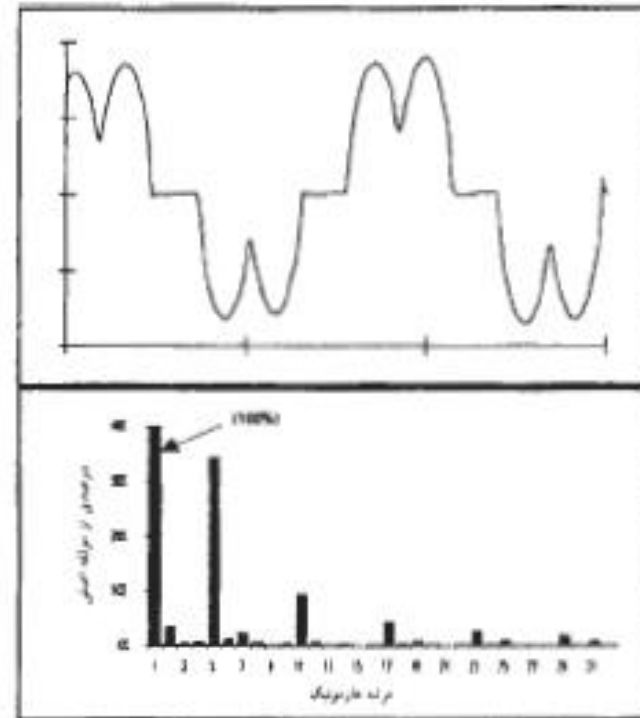


شکل ۶-۱۳: محرکه‌های با قدرت بالا

۲-۲ مبدل‌های قدرت سه فاز AC و DC



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



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

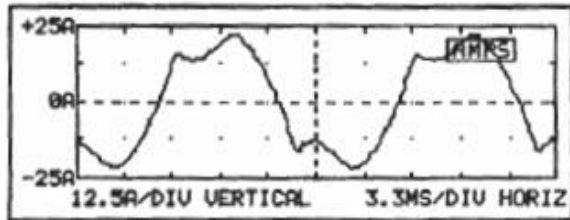
۲-۳ تجهیزات قوس زننده

➤ 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 هارمونیک دارای جریان متداول بیش از ۶ کیلو آمپر بوده و امپدانس محدود کننده آنها شامل کابل و سیمهای رابط، امپدانس سیستم و ترانسفورمر است.

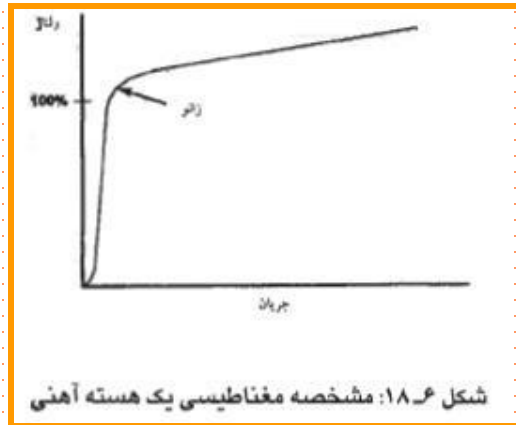
➤ در لامپهای روشنایی، قسمت عمده هارمونیکها مربوط به رفتار ذاتی قوس است و بالاستهای الکترونیکی هارمونیکهای کمتری نسبت به بالاستهای مغناطیسی تولید می کنند.



هارمونیک	درصد	فاز (درجه)
مولفه اصلی	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

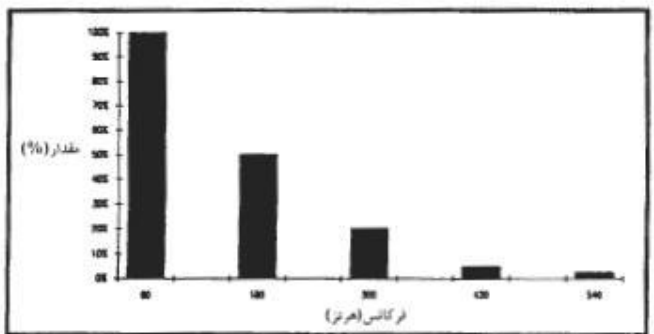
شکل ۱۷-۶: جریان لامپ فلورسنت و طیف هارمونیک آن

۲-۴ عناصر اشباع شونده



➤ ترانسفورماتورها و موتورها بدلیل دارا بودن هسته فولادی در دسته تجهیزات فوق قرار می گیرند.

➤ هارمونیکها در این تجهیزات بدلیل **مشخصه مغناطیس کنندگی غیر خطی آهن** تولید می شوند.



شکل ۱۹-۶: جریان مغناطیس کننده ترانسفورماتور و محتوای هارمونیک 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 **۲% بار نامی** نیستند.

➤ با این وجود بدلیل اینکه در سیستمهای توزیع صدها ترانسفورماتور بکار می روند، اثر آن خصوصاً در زمان **کم باری شبکه** قابل ملاحظه خواهد بود.

مقایسه میزان هارمونیکهای تولید شده ناشی از منابع هارمونیک بررسی شده

جدول ۵-۴: درصد اعوجاج هارمونیک نمونه تولید شده توسط منابع هارمونیک
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

۳- اثر اعوجاج هارمونیکی

بر روی عملکرد تجهیزات قدرت



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

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 می شوند				
اطلاعات مربوط به بانک خازنی				
توان نامی	۱۲۰۰ کیلووار	فرکانس مؤلفه اصلی	۵۰ هرتز	
ولتاژ نامی	۲۰۰۰ ولت	جریان نامی مؤلفه اصلی	۳۴/۶۴ آمپر	
ولتاژ کاری	۲۰۰۰ ولت	راکتانس خازنی	۳۳۳/۳ اهم	
توزیع هارمونیک در ولتاژ شینه:				
مرتبه هارمونیک	فرکانس (هرتز)	دامنه ولتاژ (درصد نسبت به مؤلفه اصلی)	دامنه ولتاژ (ولت)	جریان خط (درصد نسبت به مؤلفه اصلی)
۱	۵۰	۱۰۰	۱۱۵۴۷	۱۰۰
۳	۱۵۰	۰	۰	۰
۵	۲۵۰	۴	۲۶۱/۸	۲۰
۷	۳۵۰	۳	۳۴۶/۴	۲۱
۱۱	۵۵۰	۰	۰	۰
۱۳	۶۵۰	۰	۰	۰
۱۷	۸۵۰	۰	۰	۰
۱۹	۹۵۰	۰	۰	۰
۲۱	۱۰۵۰	۰	۰	۰
۲۳	۱۱۵۰	۰	۰	۰
۲۵	۱۲۵۰	۰	۰	۰
اوجاج ولتاژ کل (THD) : ۵ درصد اوجاج کل جریان خازن : ۲۹ درصد ولتاژ مؤثر خازن : ۱۱۵۶۱/۴۸ 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		

۲-۳ 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)

۳-۲ اثر بر ترانسها

جدول ۳-۲: محاسبه ضریب K برای ترانسفورماتور

توزیع هارمونیک جریان بار ترانسفورماتور					
مرتبه هارمونیک	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	-/۰۱۶	-/۰۰۰	-/۰۰۲
۵	۲۶/۱	۲۵۰	-/۲۶۱	-/۰۶۸	-/۷۰۳
۷	۵/۰	۳۵۰	-/۰۵۰	-/۰۰۳	-/۱۲۳
۹	۰/۳	۴۵۰	-/۰۰۳	-/۰۰۰	-/۰۰۱
۱۱	۸/۹	۵۵۰	-/۰۸۹	-/۰۰۸	-/۹۵۸
۱۳	۳/۱	۶۵۰	-/۰۳۱	-/۰۰۱	-/۱۶۲
۱۵	۰/۲	۷۵۰	-/۰۰۲	-/۰۰۰	-/۰۰۱
۱۷	۴/۸	۸۵۰	-/۰۴۸	-/۰۰۲	-/۶۶۶
۱۹	۲/۶	۹۵۰	-/۰۰۲۶	-/۰۰۱	-/۲۴۴
۲۱	۰/۱	۱۰۵۰	-/۰۰۱	-/۰۰۰	-/۰۰۰
۲۳	۳/۳	۱۱۵۰	-/۰۳۳	-/۰۰۱	-/۵۷۶
۲۵	۲/۱	۱۲۵۰	-/۰۲۱	-/۰۰۰	-/۲۷۶
جمع			۱/۰۸۴	۵/۷۱۲	

فاکتور K : ۵/۳

کم شدن توان نامی نسبت به استاندارد : ۰/۸۷ پریونیت
ضریب تلفات جریان گردابی مفروض (P_{EC-R}) : ۸ درصد

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

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

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

P_{EC-R} : ضریب تلفات جریان گردابی

h : مرتبه هارمونیک

I_h : هارمونیک جریان

جدول ۳-۳: مقادیر نمونه‌ای P_{EC-R}

نوع	توان نامی (MVA)	ولتاژ	% P_{EC}
خشک	≤ 1	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۳-۸
روغنی	$\leq 2/5$	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۱
	$2/5.5$	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۱-۵
	> 5	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۹-۱۵

۳-۳ اثر بر موتورها

➤ موتورها در مقابل **اعوجاج هارمونیک ولتاژ** ضربه پذیر می باشند. اعوجاج هارمونیک ولتاژ در ترمینالهای خروجی موتور موجب ایجاد فلوهای هارمونیک 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.

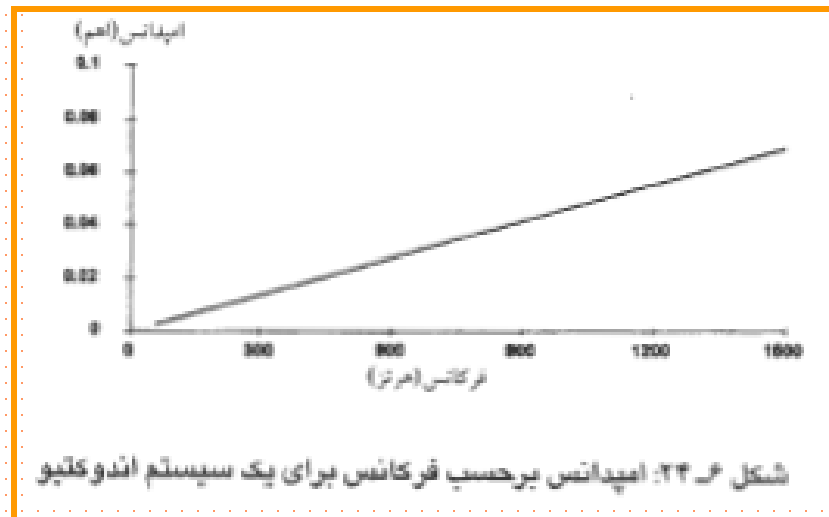
➤ موتورهای با قدرت پایین در میرایی مولفه های هارمونیک نقش بازی می کنند و بسته به **نسبت X/R موتور** باعث تضعیف تشدید هارمونیک می شوند. (برخلاف موتورهای بزرگ بدلیل X/R بزرگ)

۴- پاسخ سیستم قدرت

به منابع هارمونیک

۴-۱ امیدانس 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 نمی‌کند، قابل قبول است.
- برای کابلها و خطوط با در نظر گرفتن اثر پوستی، مقاومت بصورت تقریبی با مربع فرکانس تغییر می‌کند.
- مقاومت معادل ترانسهای بزرگ بدلیل تلفات جریان گردابی متناسب با فرکانس افزایش می‌یابد.
- در ولتاژهای پایین وجه غالب راکتانس معادل سیستم ناشی از امپدانس ترانسها است (در حدود ۹۰٪)



۲-۴ امیدانس خازن

➤ خازنهای موازی که برای تصحیح ضریب توان بکار می روند، در فرکانسهای مختلف امیدانس سیستم را شدیداً تحت تاثیر قرار می دهند.

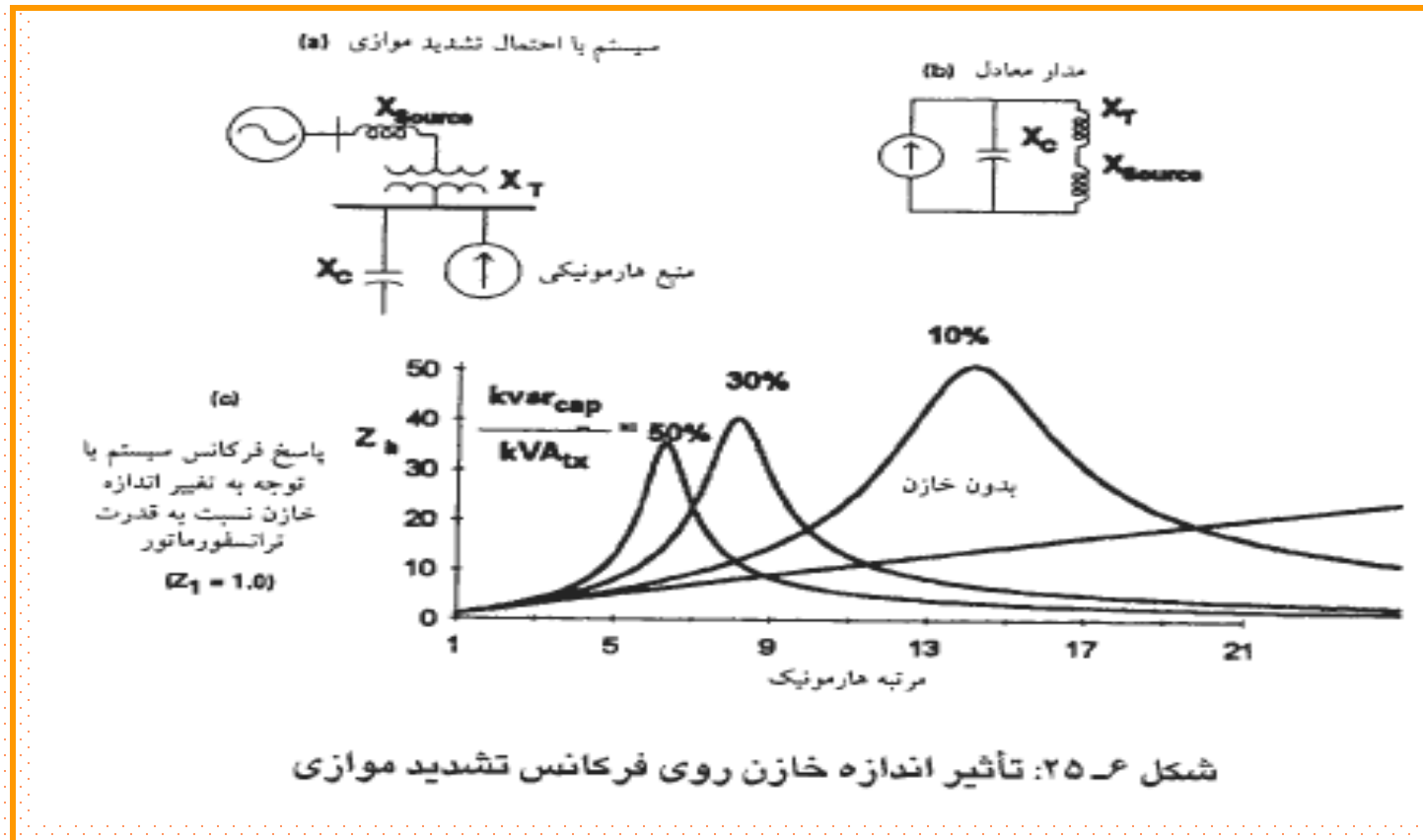
➤ خازنها خود عامل تولید هارمونیک نیستند ولی اعوجاج هارمونیکی گاهی اوقات بدلیل حضور خازنها تشدید می شود.

➤ درحالیکه راکتانس اندکتیو با افزایش فرکانس و متناسب با آن افزایش می یابد، راکتانس خازن متناسب با فرکانس کاهش می یابد.



۳-۴ 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.



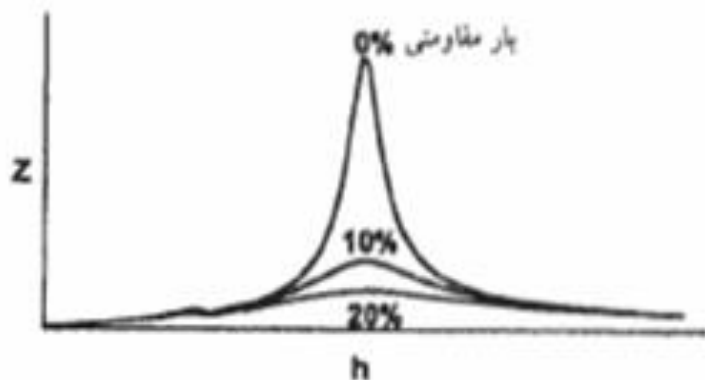
۴-۴ اثر بار مقاومتی

➤ **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

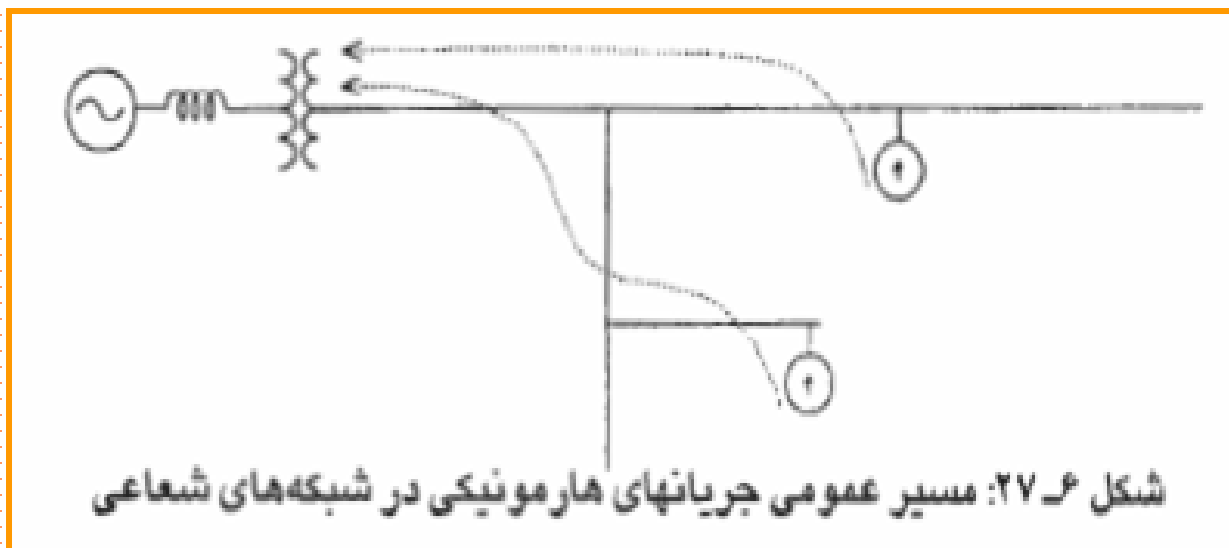
که خازنها در پستهای توزیع اصلی یا پستهای واحدهای صنعتی باشند که در این حالت امپدانس ترانسفورماتور وجه غالب را داشته و نسبت X/R بالاست، لذا مقاومت نسبی کم شده و پیک امپدانس تشدید موازی تیزتر و این پدیده خرابی خازنها، ترانسها و سایر تجهیزات را در پی دارد.



شکل ۴-۲۶: تأثیر بارهای مقاومتی روی پدیده تشدید موازی

۵- شناسایی محل منابع هارمونیک

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 انتشار بدان سمت دارند.



کارهای اصلی در شناسایی محل
منابع هارمونیک:

۱ - نصب تجهیزات اندازه گیری

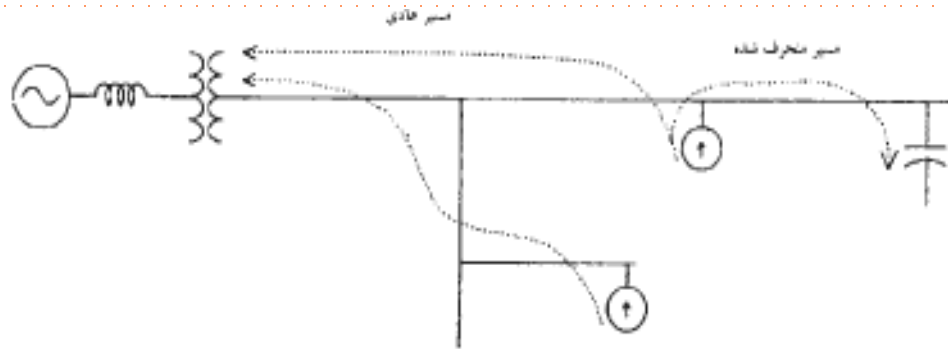
کیفیت توان

۲ - قطع و وصل تک تک بارها

۲ - مانیتورینگ سیستم

۳ - بررسی نتایج اندازه گیری

ها و تحلیل وضعیت شبکه



شکل ۲۸-۶: خازنهای تصحیح ضریب قدرت قادر به تغییر مسیر یکی از مؤلفه‌های
هارمونیک جریان هستند

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

➤ 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)

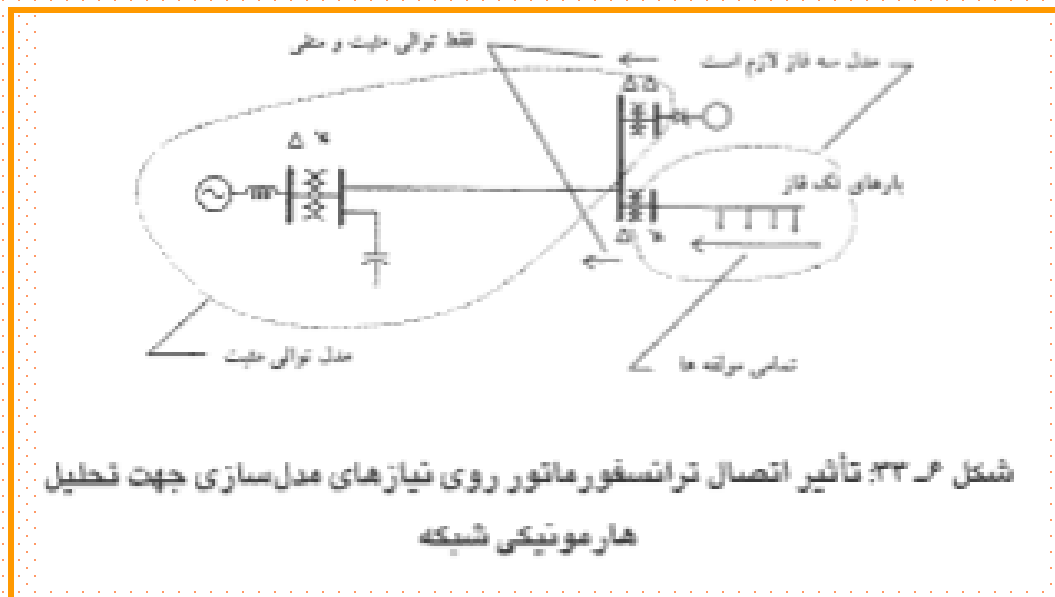
– در صورت شکایت مشترکین

۶۔ کنترل ہارمونیکھا

۶-۱ کاهش جریان هارمونیک 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 مبدل های ۶ پالس به ۱۲ پالس برای کاهش ۹۰٪ هارمونیک های ۵ و ۷
- استفاده از ترانسهای مثلث برای انتشار هارمونیک های مضرب ۳ بارها به شبکه
- استفاده از ترانسهای زیگزاگ و زمین کردن آنها برای انتقال هارمونیک های مضرب ۳ به زمین



۶-۲ فیلترگذاری

➤ فیلترهای موازی با اتصال کوتاه کردن جریان هارمونیک 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 بار غیرخطی، عمل حذف هارمونیکها را انجام می دهند.

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 (ارزاترین 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)

۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

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

- ۱) فیلترهای **پسیو** (غیر فعال) Passive Filters
- ۲) فیلترهای **اکتیو** (فعال) Active Filters
- ۳) فیلترهای **هیبرید** (ترکیبی) Hybrid Filters



۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

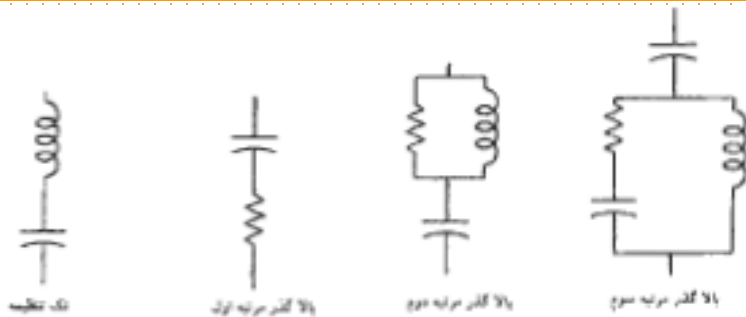
۱) فیلترهای پسیو :

– 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.



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

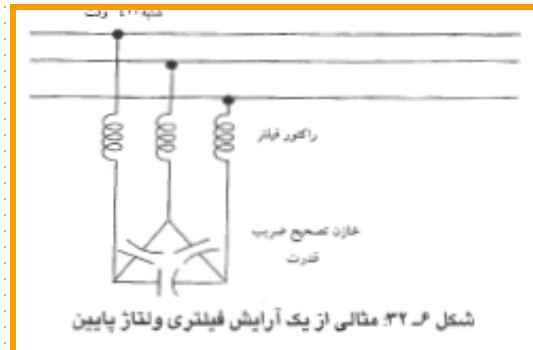
😞 **معایب:**

– احتمال تشدید هارمونیکها ناشی از امپدانس فیلتر و منبع

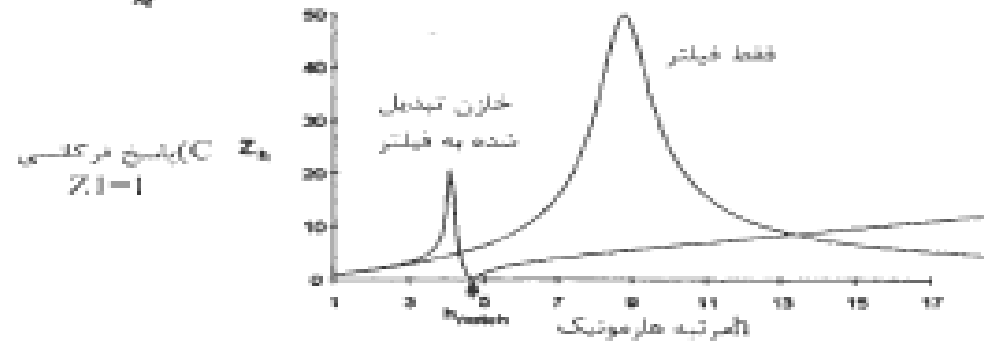
– نیاز به یک فیلتر پسیو برای حذف هر هارمونیک خاص می باشد.

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 فیلتر کردن هارمونیکها



(b) مدار معادل سیستم همراه با فیلتر



شکل ۶-۳۳: ساختن یک فیلتر برشی برای حذف هارمونیک پنجم و تاثیر آن روی پاسخ سیستم

۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

۲) فیلترهای اکتیو :

- پیشرفت ادوات الکترونیک قدرت و بوجود آمدن روشهای جدید کنترل
- فیلترهای اکتیو دارای ساختار یک اینورتر بمنظور حذف هارمونیکها و جبران سازی 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.

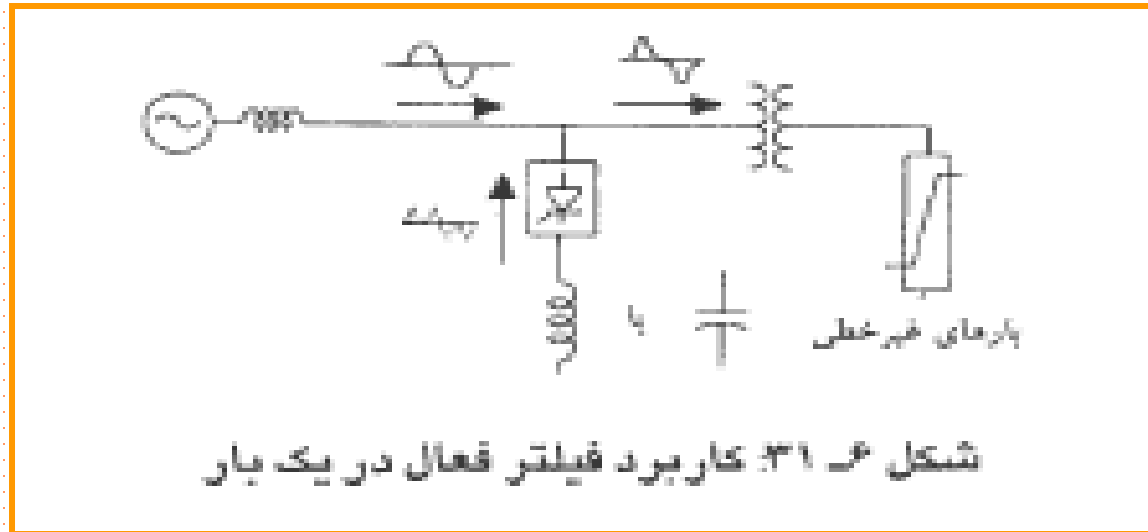
😊 مزایا :

- 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 فیلتر کردن هارمونیکها



۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

(۳) فیلترهای هیبرید :

ترکیب فیلترهای پسیو و اکتیو

😊 مزایا :

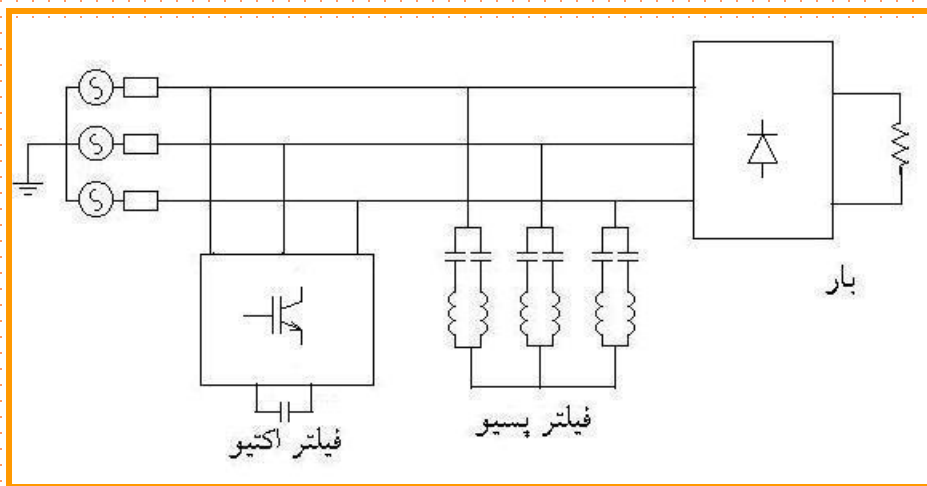
- قیمت و توان نامی کمتر
- جبران تمامی هارمونیکها توسط یک وسیله (اکتیو)
- تطبیق دینامیک با تغییرات شبکه (اکتیو)
- عدم حساسیت زیاد به تغییرات المانها و امپدانس منبع (پسیو)
- بازدهی بیشتر و امکان استفاده با آرایشها و سیستمهای کنترلی متعدد

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

۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

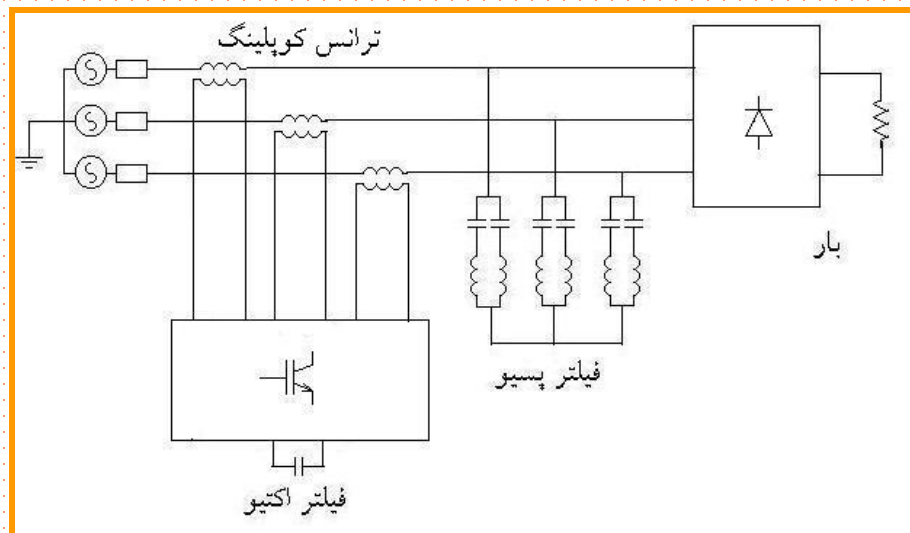
➤ **فیلتر اکتیو و پسیو و بار سه باهم موازی**

- 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.



۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن 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.



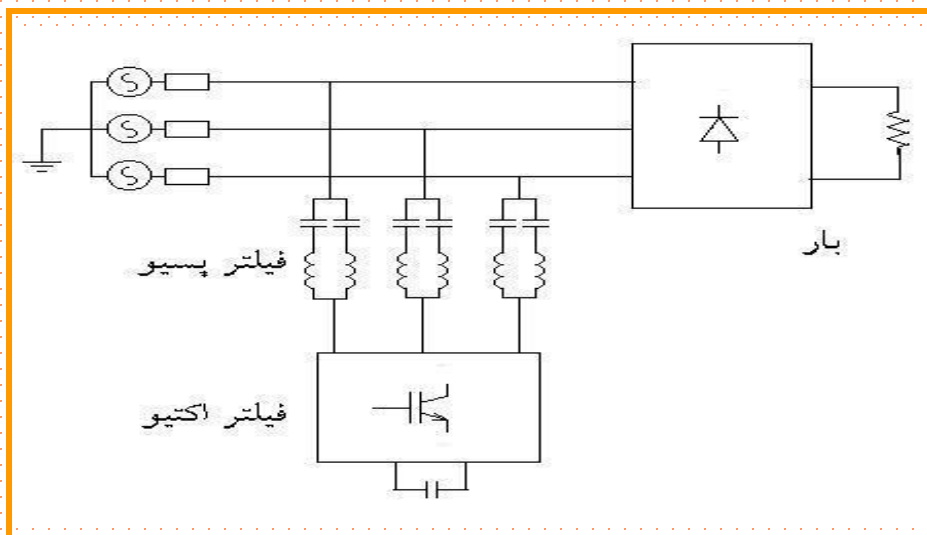
۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

➤ **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.



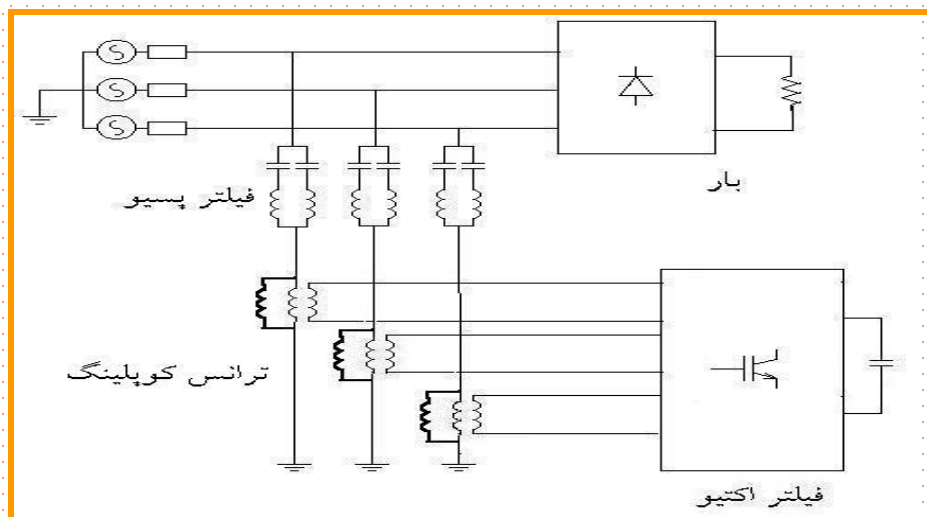
۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

➤ 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.



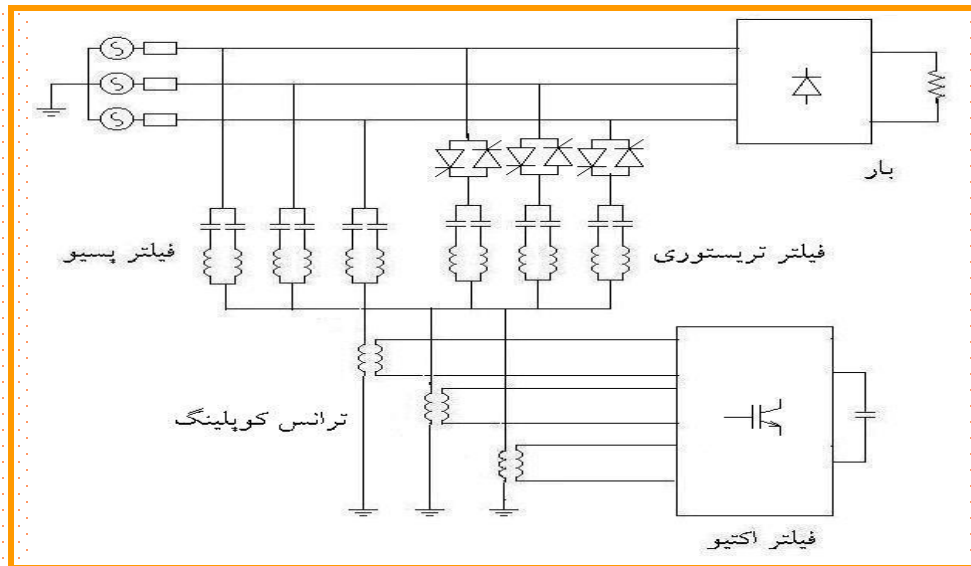
۶-۴ تجهیزات فیلتر کردن هارمونیکها

➤ **فیلتر اکتیو و پسیو سری باهم و موازی با بار به همراه فیلتر پسیو کنترل شده**

– فیلتر پسیو کنترل شده ترisstوری 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.

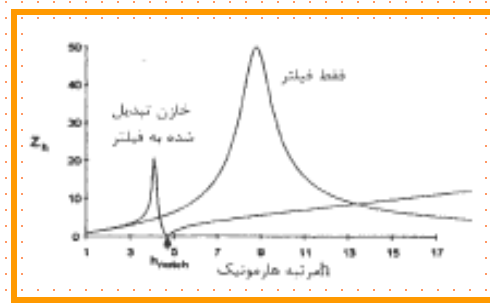
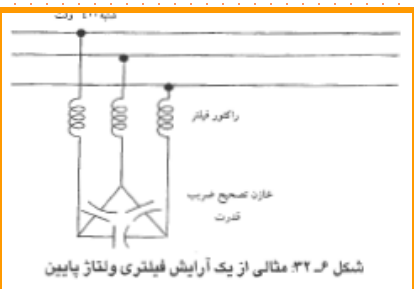
– با روشن و خاموش شدن تريستورها، جبران توان راکتیو بصورت دینامیکی و بر اساس نیازهای سیستم صورت می گیرد.



۶-۵ طراحی فیلترها

جدول ۴-۳: مثالی از طراحی فیلتر هارمونیک

مثالی در رابطه با طراحی فیلتر		محاسبات مربوط به فیلتر ولتاژ پایین	
		اطلاعات مربوط به شبکه	
فرکانس سیستم:	۵۰ هرتز	مشخصات فیلتر:	هارمونیک پنجم
ولتاژ نامی خازن:	۴۰۰ ولت	توان نامی بانک خازنی:	۵۰۰ کیلووالت
فرکانس نامی خازن:	۵۰ هرتز	جریان نامی بانک خازنی:	۷۲۱/۷ آمپر
توان تغییر یافته بانک خازنی:	۵۰۰ کیلووالت	ولتاژ نامی شبکه:	۴۰۰ ولت
کل بار هارمونیک:	۵۰۰ کیلوولت آمپر	جریان خازن (واقعی):	۷۲۱/۷ آمپر
فرکانس تنظیم فیلتر:	۲۳۵ هرتز	هارمونیک تنظیم فیلتر:	۴/۷ هارمونیک
مقدار خازن (معادل ستاره):	۹۹۴۷/۲ میکروفاراد	امپدانس خازن (معادل ستاره):	۰/۳۲ اهم
مقدار نامی راکتور:	۲۶/۱۲ میکرو هنری	امپدانس راکتور:	۰/۱۴۴۹ اهم
مقدار جریان سازی:	۵۲۴ کیلووالت	جریان بار کامل فیلتر (واقعی):	۷۵۶/۱۴ آمپر
میزان THD مجاز شرکت برق:	۱ درصد	جریان بار کامل فیلتر (نامی):	۷۵۶/۱۴ آمپر
حداکثر جریان هارمونیک بار:	۱۸۰/۴ آمپر	جریان هارمونیک بار:	۳۰ درصد مؤلفه اصلی
حداکثر جریان هارمونیک کل:	۲۲۸/۱ آمپر	جریان هارمونیک شرکت برق:	۴۷/۷ آمپر
		محاسبات مربوط به خازن	
ولتاژ مؤلفه اصلی خازن:	۲۱۹ ولت	جریان مؤثر فیلتر:	۷۵۶/۱۴ آمپر
حداکثر پیک ولتاژ:	۴۴۸ ولت	هارمونیک ولتاژ خازن:	۳۶/۴ ولت
حداکثر پیک جریان:	۱۰۳۰ آمپر	ولتاژ مؤثر خازن:	۴۴۰ ولت
		حدود خازن	
		(L) حد مجاز (L) واقعی	
پیک ولتاژ:	۱۲۰	پیک ولتاژ:	۱۱۲
جریان:	۱۳۰	جریان:	۱۱۱
توان نامی:	۱۳۵	توان نامی:	۱۱۷
ولتاژ مؤثر:	۱۱۰	ولتاژ مؤثر:	۱۰۵
		مشخصات طراحی راکتور فیلتر	
امپدانس راکتور:	۰/۱۴۴۹ اهم	مقدار نامی راکتور:	۲۶/۱۲ میکرو هنری
جریان نامی مؤلفه اصلی:	۷۵۶/۱۴ آمپر	جریان هارمونیک:	۲۲۸/۱ آمپر



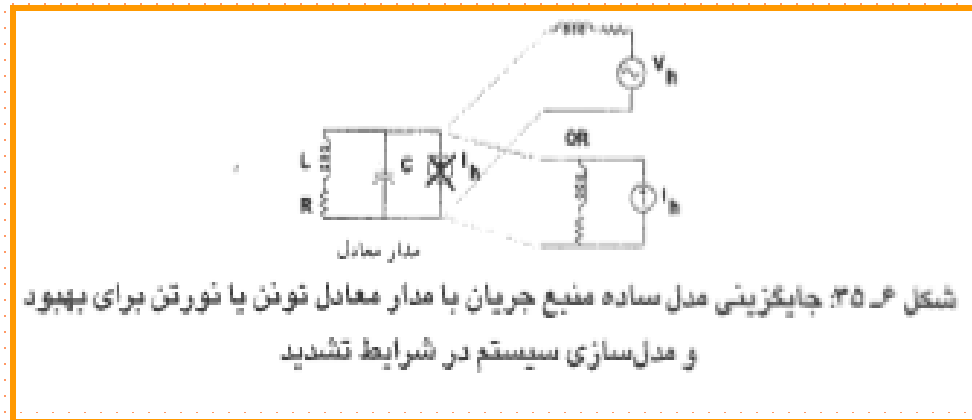
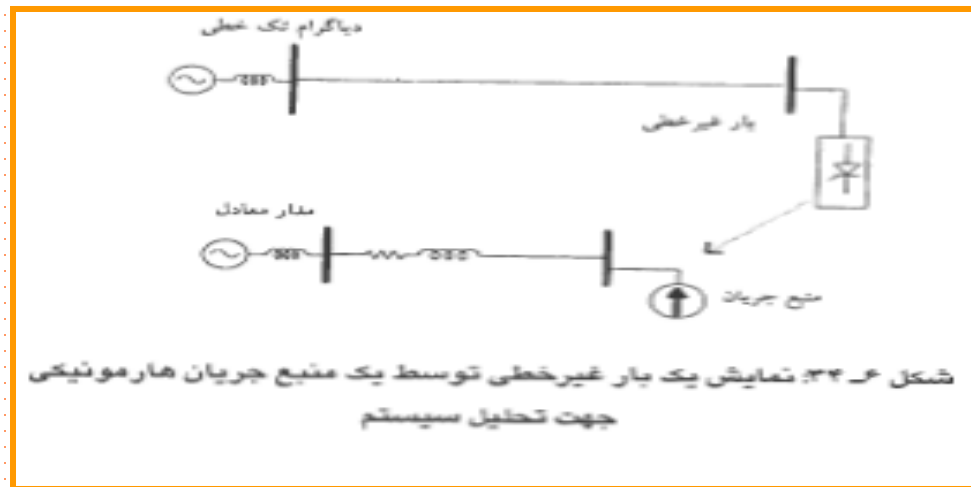
۷- برنامه های کامپیوتری

برای تحلیل هارمونیکها



۷-۱ مدلسازی منابع هارمونیکی

مدلسازی منابع هارمونیک 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.

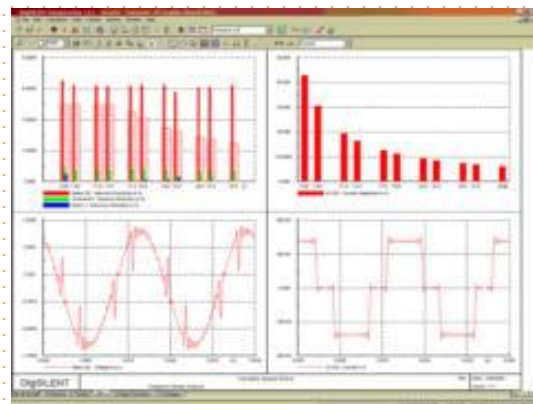


۷-۲ برنامه های کامپیوتری تحلیل هارمونیک

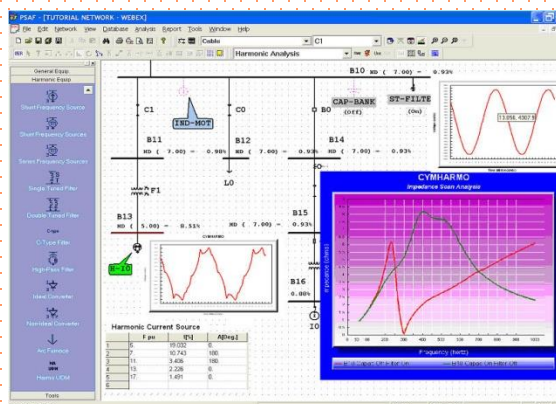
➤ با گسترش نرم افزارهای تخصصی در تحلیل و آنالیز سیستمهای قدرت که بر اساس **مدلسازی** تجهیزات شبکه بصورت مدارهای الکتریکی معادل آنها می باشد، برخی به آنالیز هارمونیک شبکه (*Harmonic Analysis*) می پردازند

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

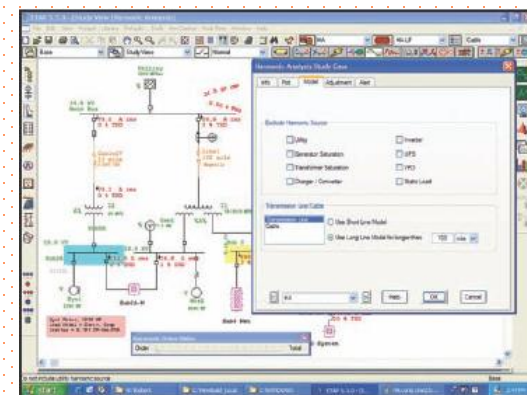
نرم افزار *DIGSILENT*



نرم افزار *CYME*



نرم افزار *ETAP*



۷-۳ 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)

۸- اصول و شرایط عمومی

محدود کردن هارمونیکها



۸-۱ کلیات

➤ در رابطه با حل مسائل هارمونیک بایستی مسائل زیر را در نظر 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 داشته باشد.

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

– بررسی اثر تکی و تجمعی هارمونیکهای مختلف در شبکه قدرت

۸-۱ کلیات

جدول ۴-۷: 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 هارمونیک کل ولتاژ برای سیستم‌های فشار ضعیف و متوسط: ۸ درصد			

۸-۱ کلیات

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

هارمونیکهای فرد که مضروب ۳ نمی باشند			هارمونیکهای فرد که مضروب ۳ می باشند			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	$\frac{100 \times 100}{h}$	$\frac{100 \times 100}{h}$						
			اعوجاج هارمونیک کل ولتاژ برای شبکه فشار ضعیف و متوسط : ۶/۵ درصد					
			اعوجاج هارمونیک کل ولتاژ برای شبکه فشار قوی : ۳ درصد					

۸-۲ عوامل تاثیر گذار بر تعیین حدود مجاز هارمونیکها

➤ همانطور که اشاره گردید پارامترهای مختلفی در تعیین حدود مجاز هارمونیکها موثرند. بطور کلی در تعیین محدودیت هارمونیک، 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.

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 قرار دادن 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.

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



- کلیه تجهیزاتی که نسبت قدرت اتصال کوتاه شینه محل تغذیه آنها به شبکه کمتر از ۱% باشد، احتیاج به بررسی هارمونیک 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.

➤ 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 هارمونیک نبوده و جهت اتصال مجاز است.

➤ مقدار مجاز جمع هارمونیکهای ولتاژ یک مشترک بایستی کمتر از ۱/۶٪ و مقدار هریک از هارمونیکهای زوج مشترک نبایستی بیش از ۰/۶٪ و مقدار مجاز جمع هارمونیکهای ولتاژ شبکه فشار متوسط بایستی کمتر از ۳٪ باشد.

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 مگا ولت آمپر باشد.

- ظرفیت دستگاه نصب شده در شبکه های فشار ضعیف و متوسط بترتیب بیش از ۷۵ و ۵۰۰ کیلو ولت آمپر باشد.

- مجموع هارمونیک های تولید شده بیش از مقادیر مجاز باشد.

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

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

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 مبدلها رگولاتورهای سه فاز KVA			ماکزیمم ظرفیت KVA
۳ پالسی	۶ پالسی	۱۲ پالسی	۶ تریتور	۳ تریتور / ۳ دیود	
۸	۱۲	—	۱۴	۱۰	فشار ضعیف
۸۵	۱۳۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۰۰	فشار متوسط

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
۲۱۵ ولت	۵		۲	۲
۶/۶ و ۱۱ کیلوولت	۴		۳	۱/۷۵
۳۳ و ۶۶ کیلوولت	۳		۲	۱
۱۳۲ کیلوولت	۱/۵		۱	۰/۵

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

جدول ۱۵-۶: 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	۲
۳ تا ۲۰ کیلو ولت	۴	۳
۳۰ تا ۴۵ کیلو ولت	۳	۲
۶۰ تا ۱۱۰ کیلو ولت	۱/۵	۱

جدول ۱۶-۶: ماکزیمم مقدار مجاز هارمونیکهای جریان بر مشترک در کشور فنلاند

ولتاژ شبکه	جمع هارمونیکهای جریان به درصد 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

جدول ۶-۱۳: ماکزیمم ظرفیت مبدلها برای پذیرش اتوماتیک در کشور بلژیک

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



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 هارمونیک صورت می گیرد.

➤ در صورتیکه 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 ۱۷-۴: ماکزیمم مقدار مجاز جمع هارمونیکهای ولتاژ در کشور لهستان

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

• ۱ – استاندارد مجاز هارمونیکها در شبکه برق ایران (استاندارد توانیر)

هارمونیک ولتاژ

حداکثر هارمونیک ولتاژ مجاز در شینه‌های با ولتاژهای مختلف به درصد

نسبت به ولتاژ نامی یا فرکانس ۵۰ هرتز

ولتاژ شینه	اعوجاج تکی ولتاژ		اعوجاج کل ولتاژ (THD)
	فرد	زوج	
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

هارمونیک جریان

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

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

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

هارمونیک جریان

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

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

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

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										بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیمانند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)
	$n \geq 35$		$23 \leq n < 35$		$17 \leq n < 23$		$11 \leq n < 17$		$n < 11$		
	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	
۲/۵	۰/۰۴	۰/۱	۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۱/۰	۰/۵	۲/۰	$R > 2$
۳/۰	۰/۰۵	۰/۲	۰/۱	۰/۴	۰/۳	۱/۱	۰/۴	۱/۵	۰/۷	۳/۰	$R \leq 2$

پرسش و پاسخ

دکتر سید حسین حسینی
دانشگاه تبریز