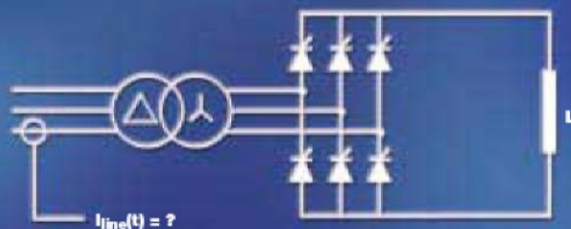


هارمونی و کیفیت توان

۱. آشنایی با هارمونیک ها

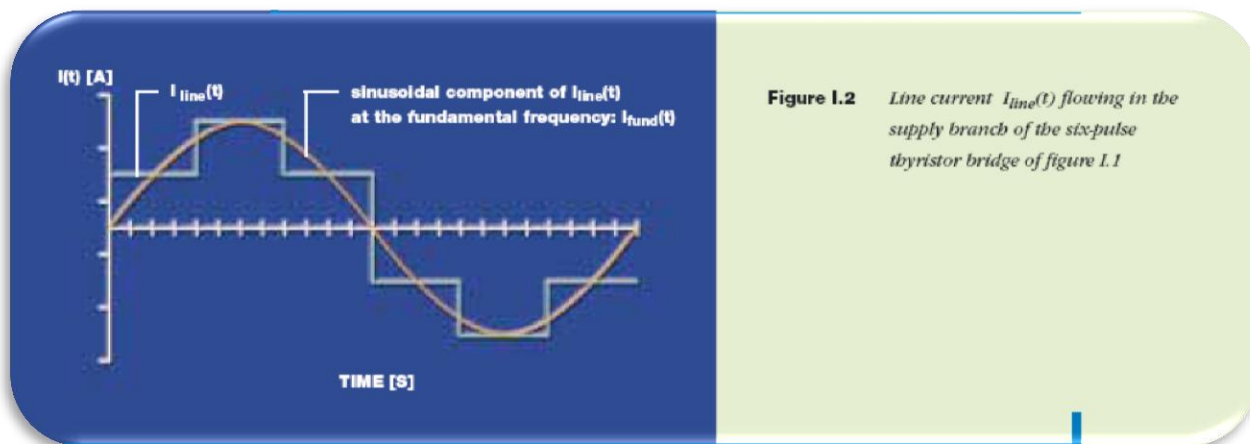
ژنراتورهای تولید کننده انرژی الکتریکی بصورت معمول برق با شکل موج سینوسی را در خروجی خود ارایه می دهند. ولتاژ سینوسی به شکل موج خالص آن اطلاق می گردد و به هرگونه تغییر شکلی در آنرا اعوجاج می نامند. امروزه بارهای مختلف و متفاوت روز به روز هرچه بیشتر در شبکه های فعلی جریان غیر سینوسی را جذب خود می کنند. برای مثال شکل شماره 1 مدار شش پالسه ترستوری را نشان می دهد که یک بار را تغذیه می کند.

Figure 1.1 Example of a load drawing a non-sinusoidal current from the supply.



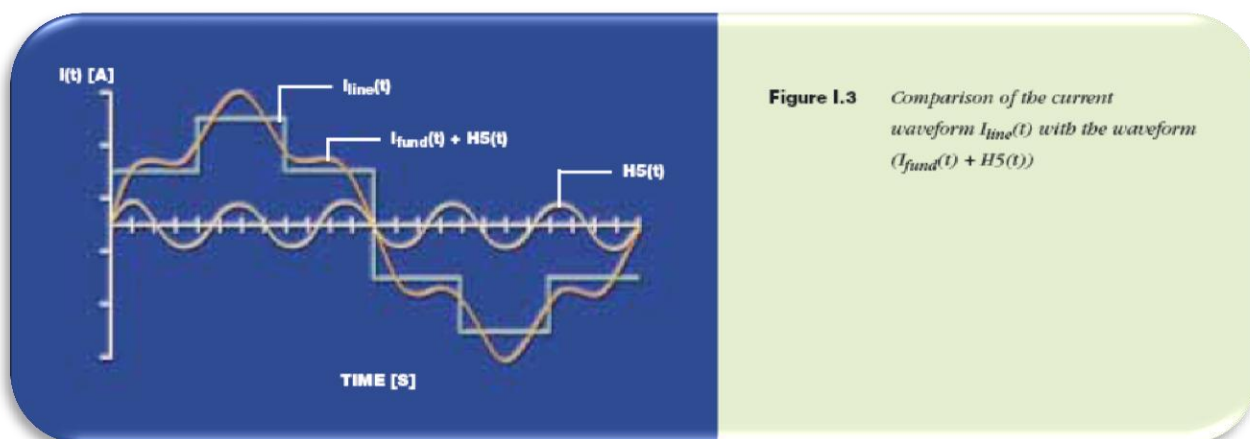
(شکل 1)

همانطور که مشاهده می فرمایید پل ترستوری از طریق یک ترانس به منبع تغذیه سینوسی متصل گردیده است. فرکانس سینوسی این شکل موج ولتاژی را فرکانس پایه یا f_{fund} می نامند. بمجرد اتصال بار به منبع تغذیه جریانی در مدار جاری می گردد که آنرا جریان خط و یا $I_{line}(t)$ می نامیم. شکل شماره 2 شکل موج جریان ها را نشان می دهد.



(شکل 2)

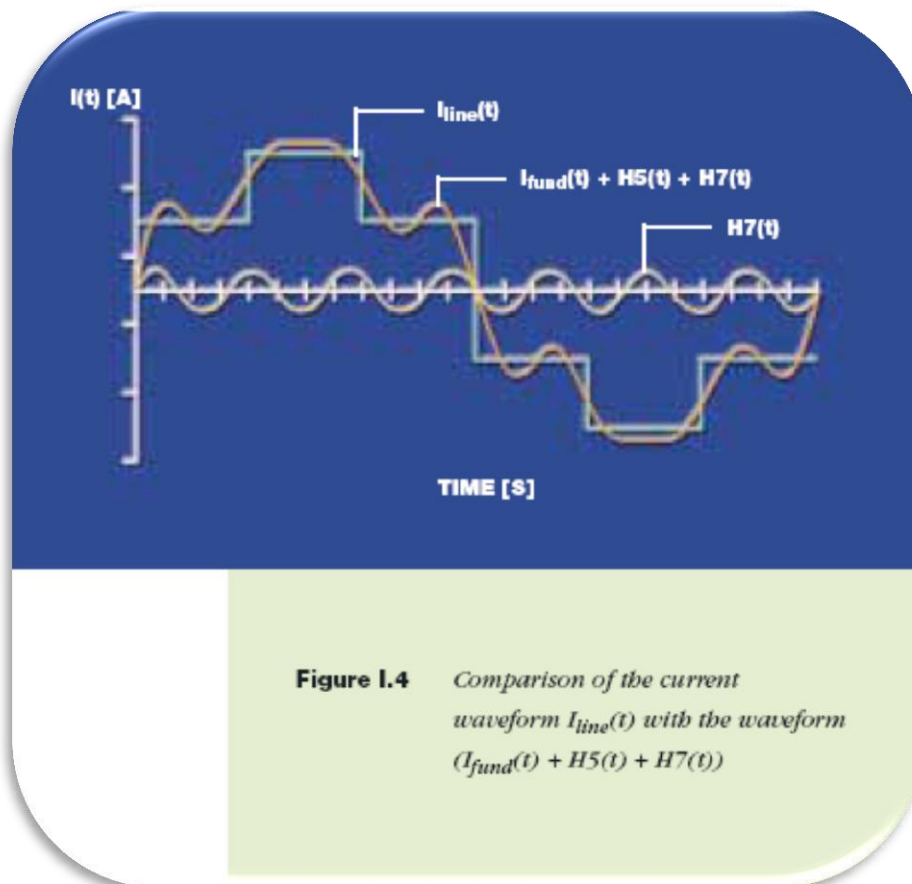
از شکل 2 می توان دید که جریان خط بصورت کاملاً مشهودی از شکل موج سینوسی جریان یا $I_{fund}(t)$ خارج شده است، لذا به نظر می رسد که می بایستی "چیزهایی" را برای تصحیح این شکل موج های اعوجاجی و تبدیل آنها به شکل موج سینوسی بدان اضافه نمود. برای درک بهتر اینکه این "چیزها" دقیقاً چه مولفه هایی هستند خواهشمند است به شکل شماره 3 توجه فرمایید که در آن به موج سینوسی پایه یک موج سینوسی با فرمansi 5 برابر فرکانس پایه اضافه می کنیم که بدان مولفه پنجم یا $H_7(t)$ می گوئیم.



(شکل 3)

همانطوری که در شکل شماره 3 مشاهده می فرمایید برآیند دو موج پایه و مولفه پنجم یا $I_{fund}(t)$ به شکل موج خط ، بیشتر شبیه تر گشته است تا شکل موج پایه به تنهایی. برای رسیدن به شکل موج مطلوب تر می توان یک گام دیگر را نیز به شکل موج قبلی اضافه نمود یعنی مولفه شماره 7 یا $H_7(t)$.

در واقع این مولفه ای است با فرکانس موجی با 7 برابر فرکانس موج پایه . در شکل شماره 4 شکل موج مولفه 7 یا $H_7(t)$ و موج پایه به همراه شکل موج برآیند موج پایه و مولفه پنجم و هفتم به نمایش

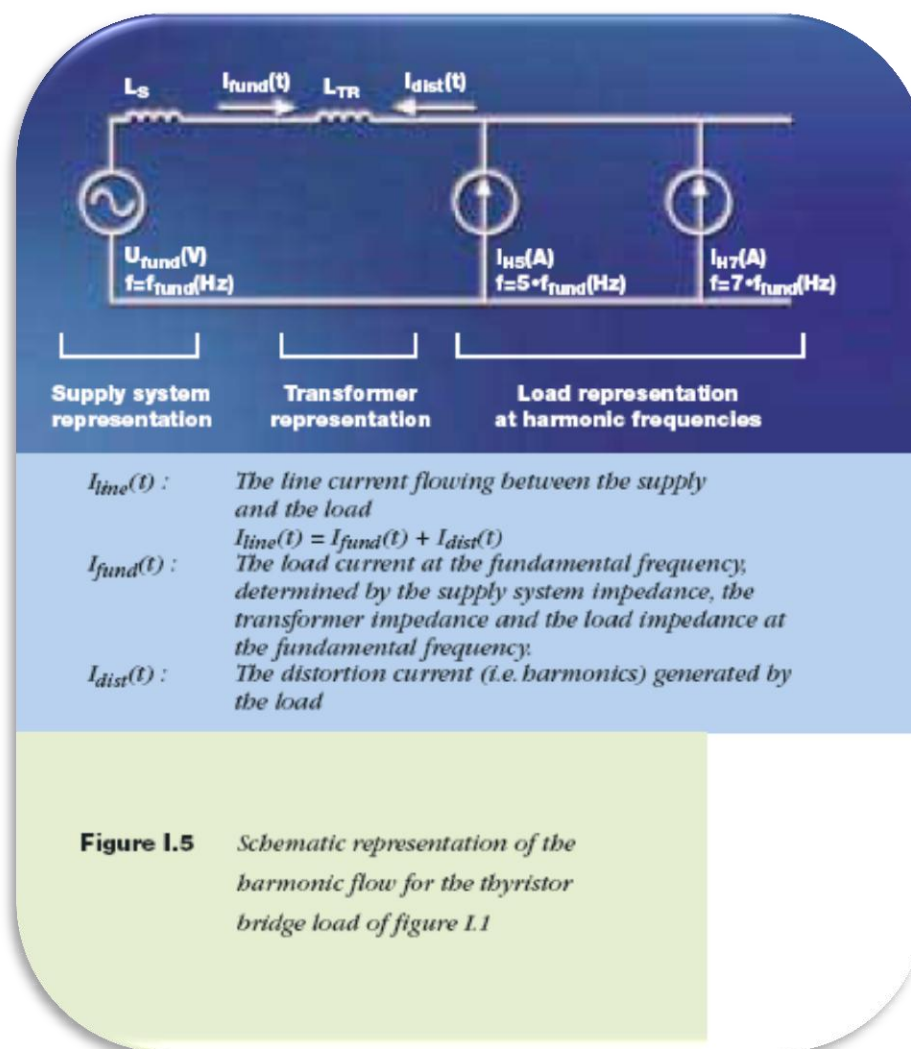


گذاشته شده است.

(شکل 4)

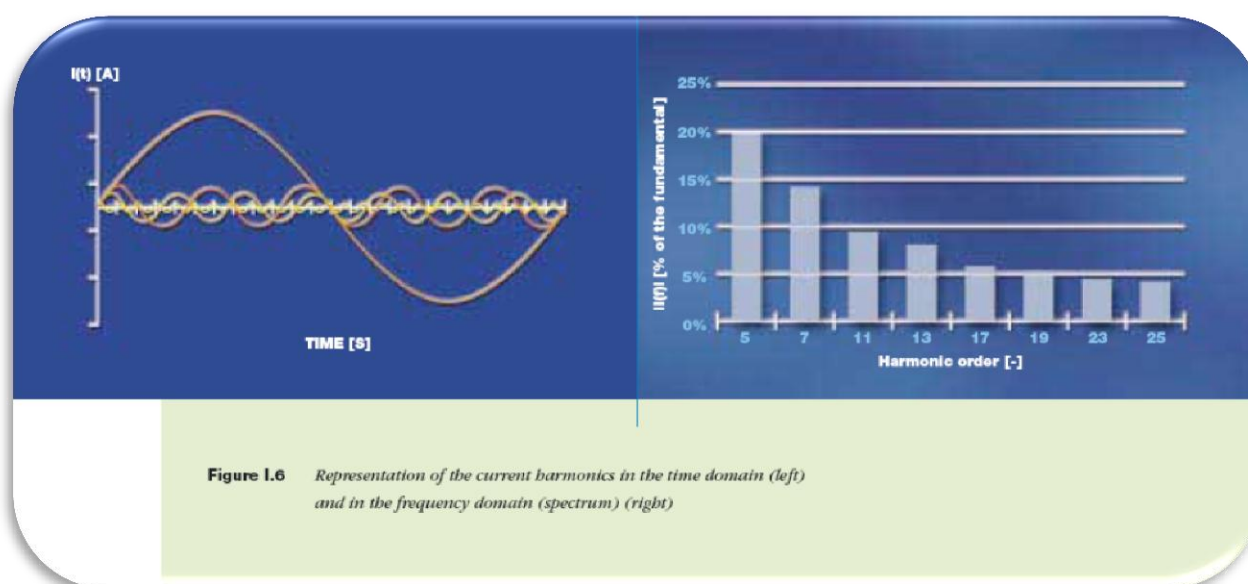
با اضافه نمودن موج $H_7(t)$ به موج $I_{fund}(t) + H_5(t)$ ، شکل موج حاصل به جریان خط $I_{line}(t)$ بسیار شبیه تر از موج قبلی $I_{fund}(t) + H_5(t)$ می باشد. این بیانگر آن است که در صورت اضافه نمودن مولفه های بالاتر یا $H_i(t)$ به آن می توان به شکل موج خط رسید.

مولفه های $H_3, H_5, H_7, \dots$ را که با اضافه شدن به شکل موج پایه $I_{fund}(t)$ آنرا به شکل موج خط تبدیل می کنند را مولفه هایی با ضرایب صحیح از فرکانس پایه یا بصورت خلاصه " هارمونی " می نامند. این هارمونی ها با "ضرایب صحیح از فرکانس پایه" شناخته می گردند. از آنجا که پل ترستوری به منبع تغذیه با ولتاژ سینوسی خالص متصل است لذا اینطور می توان استنتاج کرد که بار(مجموعه پل و بار متصل بدان) منبع هارمونیک می باشد لذا صریحاً می توان گفت که این بار است که تزریق کننده جریان هارمونیکی به سوی منبع تغذیه می باشد. این مطلب در شکل شماره 5 تصویر گشته است. البته باید توجه نمود که تمامی بارها به سیستم تغذیه هارمونی تزریق نمی کنند.



(شکل 5)

همانطور که در شکل های قبلی ذکر شده است، مولفه های هارمونیک جریان خط با متغیر زمان نشان داده شده اند که ساده ترین و معمول ترین روش برای شناسایی و معنا بخشی به طیف جریان می باشد. این نمودار طیفی نمایانگر مقدار یا اندازه هر مولفه هارمونیک می باشد که در آنالیز جریان بدست می آیند. همچنین این نمودار می تواند بیانگر شدت هر هارمونیک برحسب درصدی از مولفه اصلی یا همان فرکانس پایه باشد. محور افقی معمولاً با مرتبه هارمونیک ها و محور عمودی نشان دهنده درصد آنها می باشد.



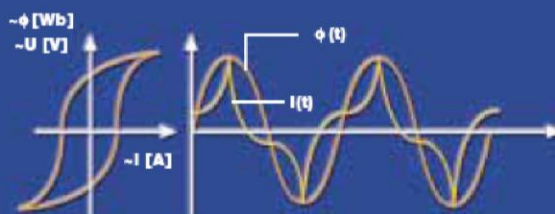
(شکل 6)

موضوع بعدی که در خصوص مولفه های هارمونیک با ضرایب صحیح از نمودار فوق بدست می آید وجود مولفه هایی با ضرایب غیر صحیح مابین این هارمونی ها می باشد. آنها را با نام هارمونی های داخلی می شناسیم. برای نمونه از این نوع بارها می توان مبدل های کاهنده فرکانس سینوسی (Cycloconverter) را نام برد. فرکانس خروجی اینگونه تجهیزات معمولاً در دامنه فرکانس پائین می باشند مثلاً در 15kHz. باید در نظر داشت که شدت مولفه های هارمونیک در شبکه های فشار ضعیف بسیار ناچیز می باشد.

۲. منابع هارمونیک

از آنچه که از گذشته بیاد داریم این است که هارمونیک ها بصورت بنیادی توسط ادوات مغناطیس شونده غیر خطی ایجاد می گردند. برای نمونه شکل شماره 7 نمودار مشخصه مغناطیس شونده یک ترانسفورماتور را نشان می دهد.

Figure 1.7 Illustration of the non-linear magnetisation characteristic of a transformer



(شکل 7)

هنگامی که از منبع ولتاژ سینوسی خالص (با شار سینوسی خالص) برای تغذیه یک ترانسفورماتور در ناحیه مغناطیسی غیر خطی استفاده می گردد ؛ حاصل آن جریان مغناطیسی غیر سینوسی می گردد. (نگاه شود به $i(t)$ در شکل شماره 7). این شکل موج جریان مغناطیسی از مولفه های هارمونی فرد تشکیل شده است که در میان آنها هارمونی سوم غالب ترین آنها می باشد.

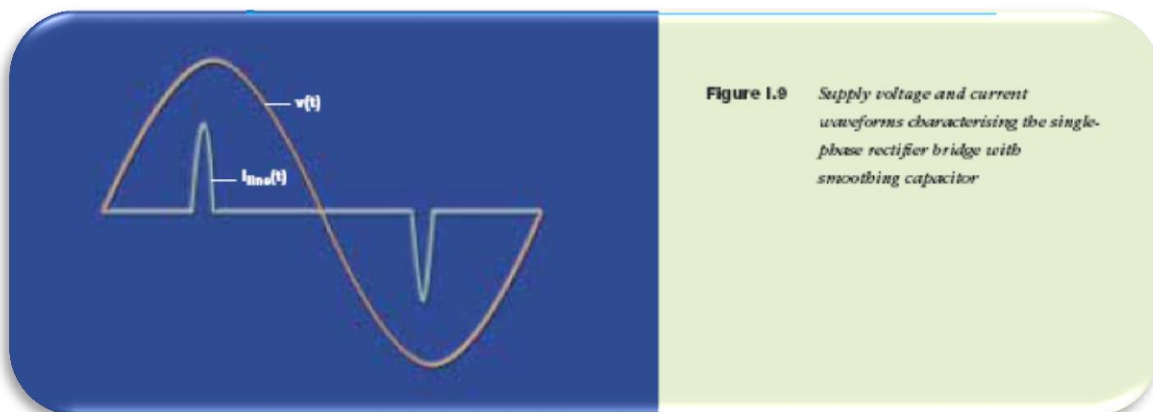
باید توجه داشت که جریان مغناطیسی ، درصد کمی از جریان حاصل از ترانسفورماتور را تشکیل می دهد که آن هم در هنگام کار ترانس در حالت بار کامل ایجاد شده و که تاثیر کم خود را بروز می دهد.

در حقیقت، تجهیزات حوزه الکترونیک قدرت، اصلی ترین تولید کنندگان هارمونی در شبکه های فشار ضعیف می باشند. از آن جمله می توان درایوهای کنترل دور موتور، UPS ها، دستگاه های جوش، رایانه ها ، چاپگرها و غیره را نام برد. معمولاً سوئیچ های نیمه هادی در یک دوره تناوبی ناقص بکار گرفته می شوند. این همان روشی است که براساس آن این تجهیزات می توانند به وظیفه اصلی خویش دست یابند که همانا موضوعاتی همچون صرفه جویی انرژی، کارایی پویا و انعطاف پذیری در کنترل را در بر می گیرد. هرچند ماحصل آن جریان منقطع است که دارای اندازه قابل توجهی اعوجاج می باشد که به سوی منبع تغذیه سوق پیدا می کند. در ادامه چند مثال از بارهای نمونه ای در پیکربندی های متفاوت و نتایج اعوجاجی آنها را ارائه می دهیم.

• یکسو کننده تک فاز با خازن هموار کننده

اینگونه پیکربندی در بسیاری از تجهیزات تک فاز از جمله رایانه، چاپگر و لامپ های کم مصرف و فلوراسنت بکار می رود. جریان کشیده شده از منبع تغذیه با مشخصه صعود تیز و سقوط سریع در یک دوره فرکانس پایه انجام می گیرد. نمایی از نمودار جریان و ولتاژ را در شکل شماره 9 ملاحظه می فرمایید.

شکل موج جریان دارای مقدار قابل ملاحظه ای هارمونی فرد می باشد، اندازه ای که ممکن است از قدر مطلق جریان پایه بیشتر باشد. تجهیزاتی که دارای اینگونه پیکربندی مداری می باشند معمولاً وسایلی با توان کم می باشند که البته روز به روز بر موارد مصرف آنها افزوده می گردد. این



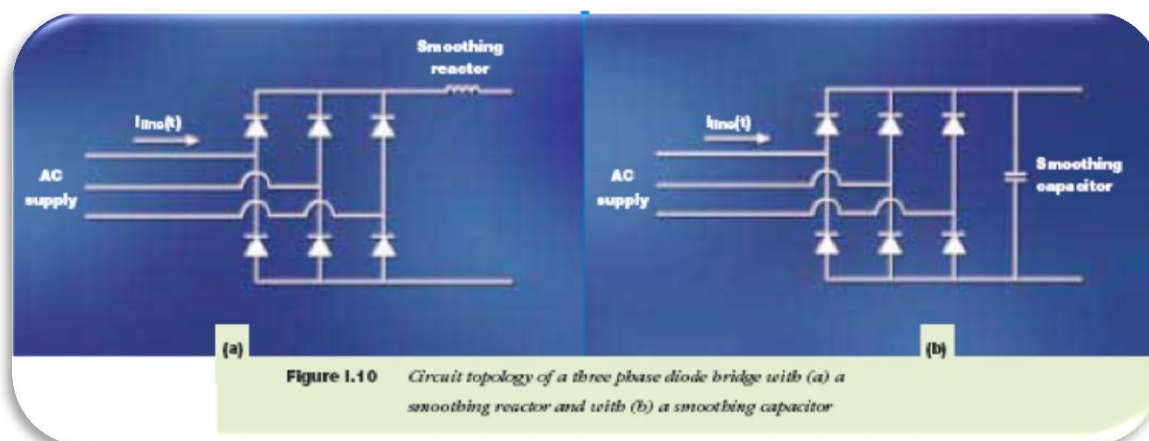
موضوع باعث افزایش میزان هارمونی جاری شده به سوی ترانسفورماتورهای تغذیه و منابع تامین نیروی الکتریک گردیده است.

(شکل 9)

• پل شش پالسه

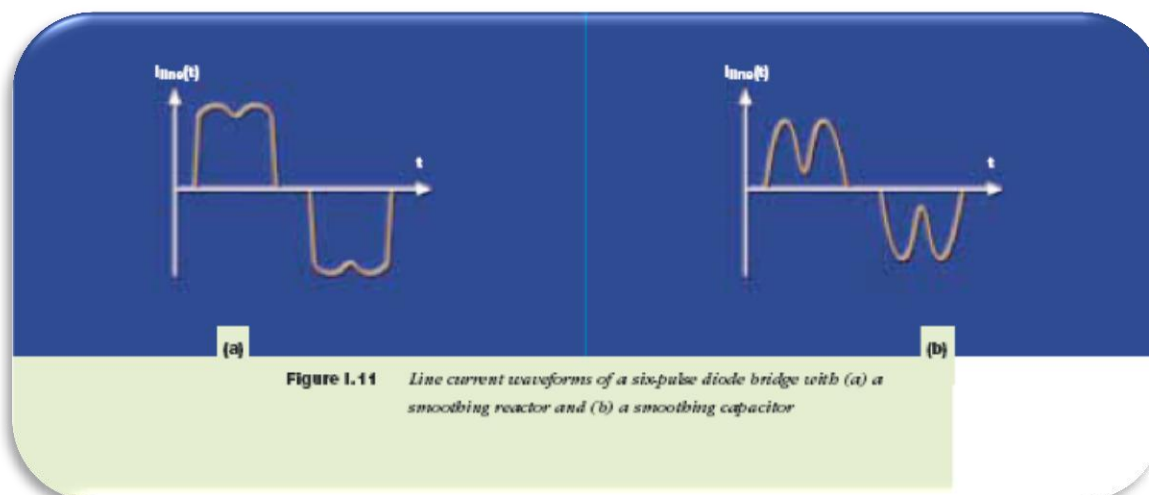
پیکربندی پل شش پالسه بصورت معمول در تجهیزات پایه ای سه فاز از قبیل درایوهای AC و DC و نیز UPS ها استفاده می گردد. مدارات سوئیچینگ هم با قطعات نیمه هادی قابل کنترل (IGBT، ترایستور و...) و هم غیر قابل کنترل (دیود) ساخته میشوند. بسته به نوع تجهیز، سمت DC مدار

به یک خازن صافی و یا یک سلف صافی و یا هردو متصل می گردد. شکل شماره 10(a) بیانگر مداری با خازن صافی و شکل شماره 10(b) نمایانگر مداری با سلف صافی می باشد.



(شکل های 10)

شکل شماره 11(a) نمایش دهنده شکل موج خط می باشد که از مداری با سلف بدست آمده و شکل شماره 11(b)



نشان دهنده نمودار موج جریان خط با مداری دارای خازن صافی می باشد.

(شکل های 11)

می توان جریان خروجی از یک پل شش پالسه را دارای هارمونیک هایی با مرتبه $n=(6i\pm1)$ که در آن i عددی صحیح بزرگتر و یا برابر 1 می باشد ، دانست. بنابراین جریان خط دارای هارمونیک هایی با مرتبه های 5 ، 7 ، 11 ، 13 و

برای یک مدار دیودی شش پالسه با یک سلف صافی کننده، بزرگی هارمونیک ها با معادله ذیل تشریح می گردند:

$$|In| \approx \left(|Ifund| / n \right) \quad (1)$$

که در آن:

$|In|$: بزرگی هارمونی مرتبه n

$|Ifund|$: بزرگی مولفه پایه

n : مرتبه هارمونیک

برای مثال هارمونی مرتبه پنجم دارای بزرگی معادل 20% از مولفه پایه می باشد. خاطر نشان می سازد که هارمونی تولید شده توسط مدارات شش پالسه ای که دارای سلف کوچک می باشند و یا از سلف استفاده نمی کنند بسیار افزون تر از معادله فوق می باشد.

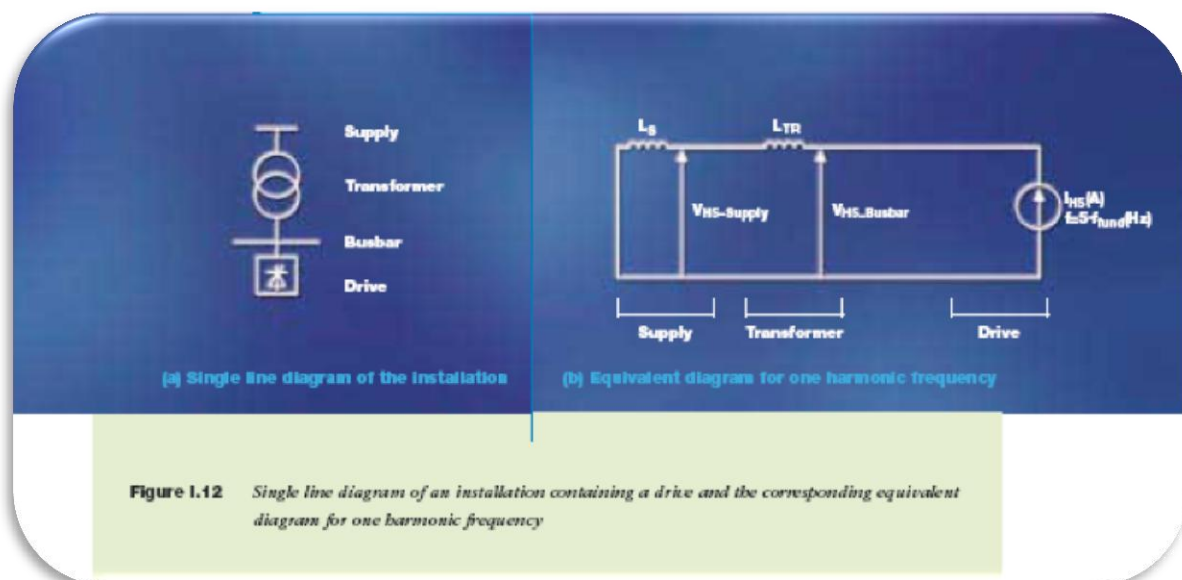
باید توجه نمود که هنگامی که منبع ولتاژ نا متعادل باشد ، هارمونی سوم در جریان خط دیده می شود.

• دستگاه جوش

انواع مختلفی از دستگاه های جوش موجود می باشند. بسیاری از آنها تک فاز می باشند که به دو فاز متصل می شوند که اساساً منبع تولید هارمونی های فرد با مراتب سوم می باشند.

۳. هارمونیک ها و تشدید

از فصل قبل متوجه شدیم که اکثر تجهیزات مدرن بعنوان منابع تولید هارمونی شناخته می شوند. آنان جریان هارمونیکی را به منبع تغذیه تزریق می کنند و باعث افزایش هارمونی های ولتاژ می گردند. این موضوع با توجه به نمودار اتصال الکتریکی با تشریح یکی از هارمونی ها قابل درک می باشد. البته بحث ما در ادامه براساس فرض غیر هارمونیکی بودن منبع تغذیه می باشد.



(شکل 12)

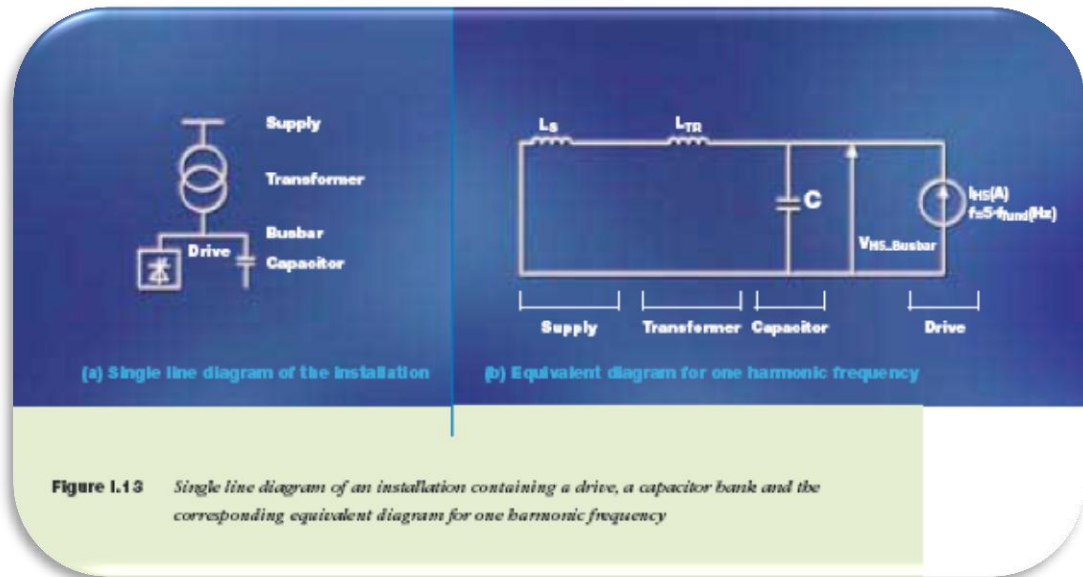
شکل شماره 12 بیانگر اتصال یک درایو به وسیله ترانس به منبع فشار متوسط می باشد. در مدار معادل برای ارزیابی هارمونی منبع با $Z_S = j\omega \cdot L_S$ مدل سازی شده است که در آن L_S معکوس نسبی میزان خطای سیستم می باشد. ترانسفورماتور با امپدانس $Z_{TH} = j\omega \cdot L_{TR}$ مدل سازی شده است. در این معادله Z ضریب کاربری می باشد. برای ساده سازی از مقاومت بخش ترانسفورماتور و منبع تغذیه صرف نظر می کنیم. درایو جریان هارمونی پنجم I_{H5} را به خط تزریق می کند. بهره گیری از قانون اهم امکان تعیین نتیجه هارمونی ولتاژ در باس بار V_{H5_Busbar} و سمت اولیه ترانس V_{H5_Supply} را می دهد. یعنی:

$$V_{H5_Busbar} = (Z_{TR} + Z_S) \cdot I_{H5} \quad (2)$$

$$V_{H5_Supply} = Z_S \cdot I_{H5} \quad (3)$$

از دو معادله فوق می توان این برداشت را داشت که هارمونی جریان تزریقی از سوی درایو باعث افزایش اعوجاج در ولتاژ باس بار و منبع تامین ولتاژ می گردد. این باعث تاثیر سوء بر دیگر بارهایی که به این باس بار متصل اند و یا در همسایگی این مجموعه و به یک منبع تغذیه متصل هستند، می گردد.

در بسیاری از صنایع از بانک های خازنی برای جبران سازی توان راکتیو استفاده می گردد. تصویر شماره 12 این نوع پیکربندی را نشان داده است. شکل شماره 13(a) نمودار تک خطی و شکل شماره 13(b) نمودار مدار معادل این پیکربندی را نشان می دهد.



(شکل های شماره 13)

در این مورد، جریان هارمونیک به امپدانس شبکه ؛ شامل یک مدار موازی سلف و خازن می باشد؛ تزریق می گردد. کل امپدانس موازی با معادله ذیل نشان داده شده است:

$$Z_{parallel} = ((Z_S + Z_{TR}).Z_C)/(Z_S + Z_{TR} + Z_C) \quad (4)$$

که در آن :

$Z_{parallel}$: امپدانس موازی سلف و خازن

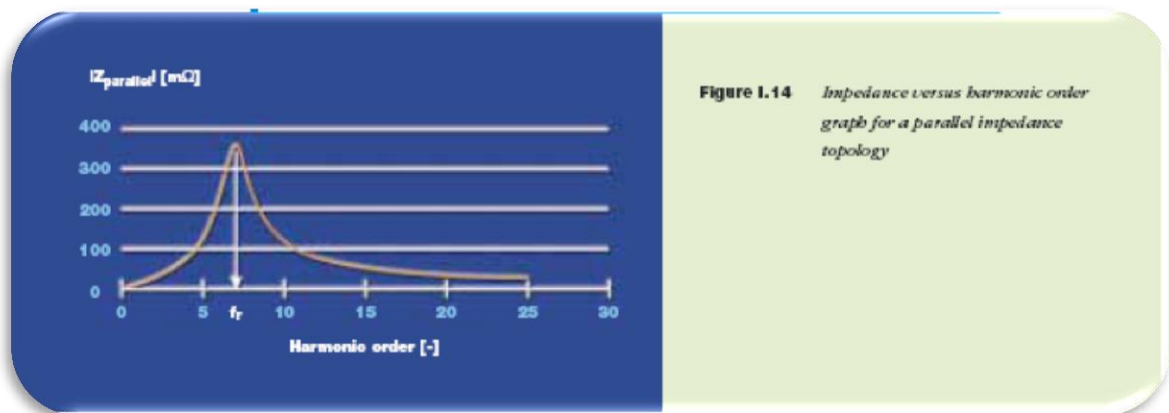
Z_S, Z_{TR} : امپدانس منبع تغذیه و ترانسفورماتور

Z_C : امپدانس خازن ، $Z_C = 1/j.\omega.C$

در بسیاری از موارد امپدانس منبع تغذیه در مقایسه با امپدانس ترانس بسیار ناچیز می باشد، لذا از معادله شماره 4 آنرا حذف می کنیم و معادله ذیل را که نمایانگر بزرگی امپدانس موازی می باشد را معرفی می کنیم:

$$|Z_{parallel}(\omega)| = \omega \cdot L_{TR} / (1 - \omega^2 \cdot L_{TR} \cdot C) \quad (5)$$

از معادله فوق به ردپای فرکانس f_r ، $(\omega_r = 2 \cdot \pi \cdot f_r)$ برای امپدانس موازی برمی خوریم که از لحاظ تئوری می تواند به سوی بینهایت (مخرج صفر) سوق یابد اما در عمل مقدار قدرمطلق در این فرکانس بوسیله مقاومت مدار محدود می گردد. شکل شماره 14 نمایش دهنده یک مثال از امپدانس در مقابل مرتبه هارمونیک ها در حالت پیکربندی موازی می باشد.



(شکل 14)

در مثال ارائه شده در شکل شماره 4 ، فرکانس تشدید در نزدیکی هارمونی هفتم دیده می شود. توجه کنید که نتایج اعوجاج ولتاژ در یک فرکانس هارمونی خاص، حاصل جریان تزریقی و امپدانس در آن فرکانس است که می تواند اعوجاج ، هنگامی که تشدید موازی در نزدیکی فرکانسی از جریان هارمونیکی تزریق شده جا گرفته شده است را بسیار افزایش دهد. برای نمونه در این مورد می توان درایوها را نام برد که هارمونی های پنجم و هفتم را به مقدار قابل توجهی در مدار تزریق می کنند که تشدید در حول و حوش این فرکانس ها رخ می دهد. هنگامیکه منبع ولتاژ دچار آسیبی سخت شود ممکن است بر کارکرد صحیح مابقی تجهیزاتی که به یک منبع یکسان متصل هستند اثر نامطلوب بگذارد. همانند افزایش ولتاژ بر روی خازن ها و درایوهای شبکه ، که می تواند بر شبکه های همسایه نیز تاثیر گذارد.

جهت پیش بینی مشکلات ممکنه در هنگامی که تجهیزات هارمونی زا در شبکه ای وصل می شود که در آن شبکه خازن وجود دارد، این بسیار عملگرایانه است که بدانیم چه هارمونی ای ایجاد تشدید می کند.

معادله 6 تقریب خوبی در این خصوص ارایه می دهد:

$$n_r = \sqrt{\frac{S_{SC}T}{Q_C}} \quad (6)$$

که :

n_r : هارمونی ای که تشدید در آن رخ می دهد.

$S_{SC}T$: جریان اتصال کوتاه ترانس تغذیه : S_T/U_{CC}

که در آن :

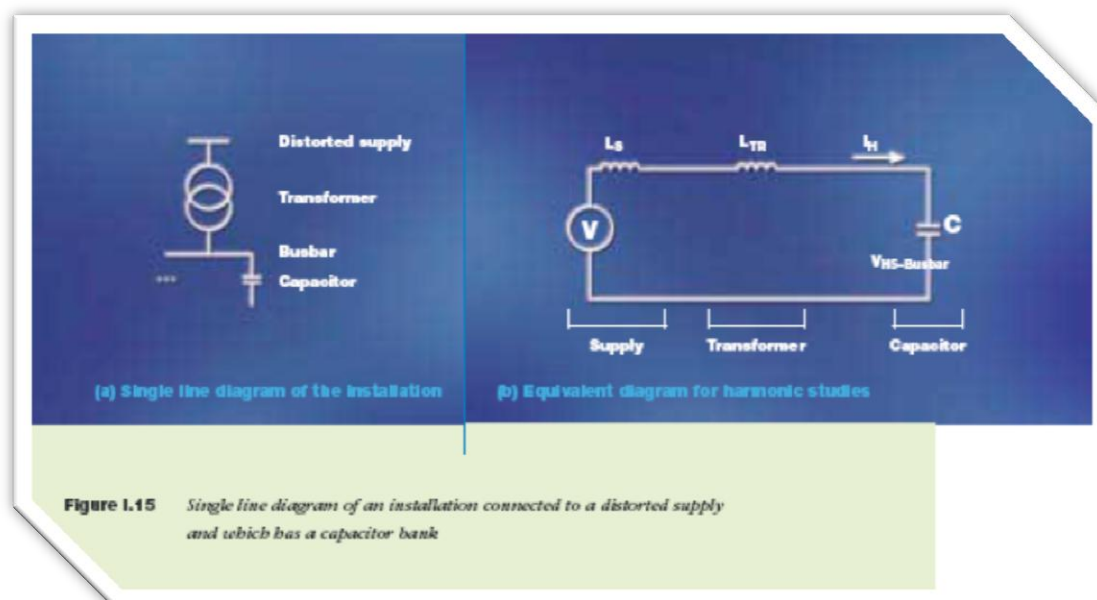
S_T : توان ترانسفورماتور

U_{CC} : ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور

Q_C : توان خازن متصل شده

در مباحث قبلی مشخص شد که هارمونی هایی که توسط تجهیزات الکتریکی تولید می گردند با ایجاد اعوجاج ولتاژی آنرا از بخش خود به منبع تغذیه روانه می کنند. این اعوجاج اگر تشدید موازی با آن در شبکه موجود باشد ، قابل تشدید می باشد. همچنین چنین تاثیری را در شبکه دیگری که به همان منبع تغذیه متصل است نیز پدیدار می گردد.

حالا با فرض اینکه این بخش از شبکه دارای هیچگونه باری که تولید هارمونی کند ، نباشد ولی همچنان دارای بانک خازنی ای باشد که جهت جبران توان مورد استفاده قرار گرفته است به شکل شماره 15(a) نمودار تک خطی شبکه با صرف نظر از بار خطی و شکل شماره 15(b) نمودار مدار معادل برای بررسی هارمونیک می باشد می رسمیم که شامل هارمونیک ارایه شده بروی منبع تغذیه می باشد.



(شکل های 15)

در بخش b شکل فوق می توان هارمونی ولتاژی را دید که بر روی منبع تغذیه افزایش هارمونی جریان را موجب می شود که به داخل شبکه جاری می گردد. این جریان با قانون اهم تعریف می شود:

$$I_H = \frac{V_H}{Z_{seriesH}} \quad (7)$$

که در آن:

I_H : جریان هارمونیک در فرکانس H

V_H : ولتاژ در هارمونی در فرکانس H

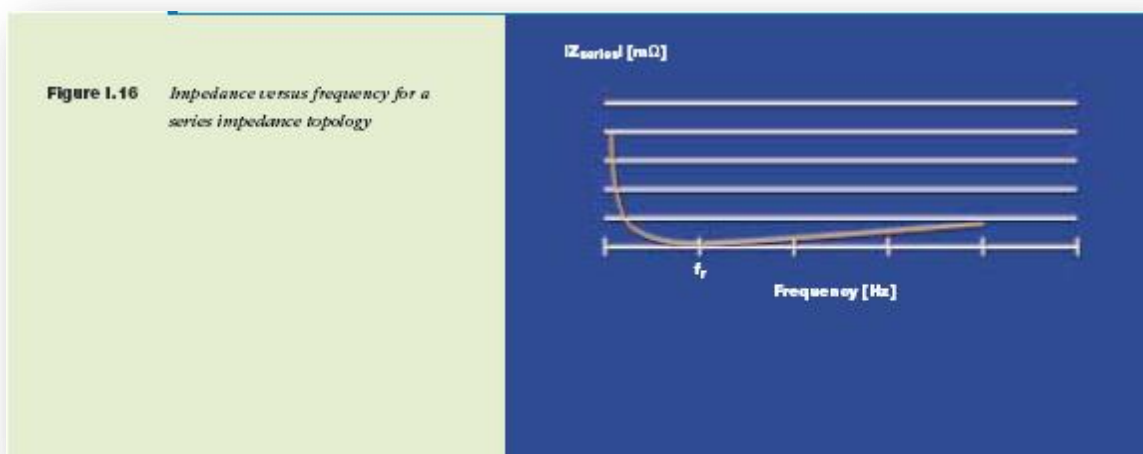
$Z_{seriesH}$: امپدانس در هارمونی در فرکانس H

در معادله شماره 7 بخوبی مشخص می گردد که جریان هارمونیک که به داخل خازن جاری می گردد بسیار زیاد می گردد اگر امپدانس سری شده در همان فرکانس مقدار پائینی باشد. معادله شماره 8 این امپدانس را با چشم پوشی از امپدانس منبع تغذیه و مقاومت اهمی مدار نشان می دهد:

$$|Z_{\text{series}}(\omega)| = \sqrt{(\omega L_{\text{TR}} - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (8)$$

این معادله بیانگر آن است که فرکانس تشدید در حالت سری از لحاظ تئوری به سوی صفر سوق می یابد. اما در عمل این مقدار برابر است با مقاومت اهمی مدار که آنرا در مقدار پائینی نگه می دارد. این نوع تشدید را به نام تشدید سری می شناسند.

شکل 16 نمایانگر نموداری فرضی از تقابل فرکانس و امپدانس در یک پیکربندی سری می باشد.



(شکل شماره 16)

از این مبحث می توان نتیجه گرفت که تشدید سری در یک فرکانس خاص که از مولفه های ولتاژ هارمونیکی تشکیل شده است باعث افزایش سوق جریان هارمونیکی در باس بار سیستم و به داخل خازن می شود که نتیجه آن افزایش بار در خازن ها و دیگر تجهیزات و خروج آنها از سرویس می گردد. هارمونی ایجاد شده در هر بانک خازنی را می توان از معادله شماره 6 بدست آورد.

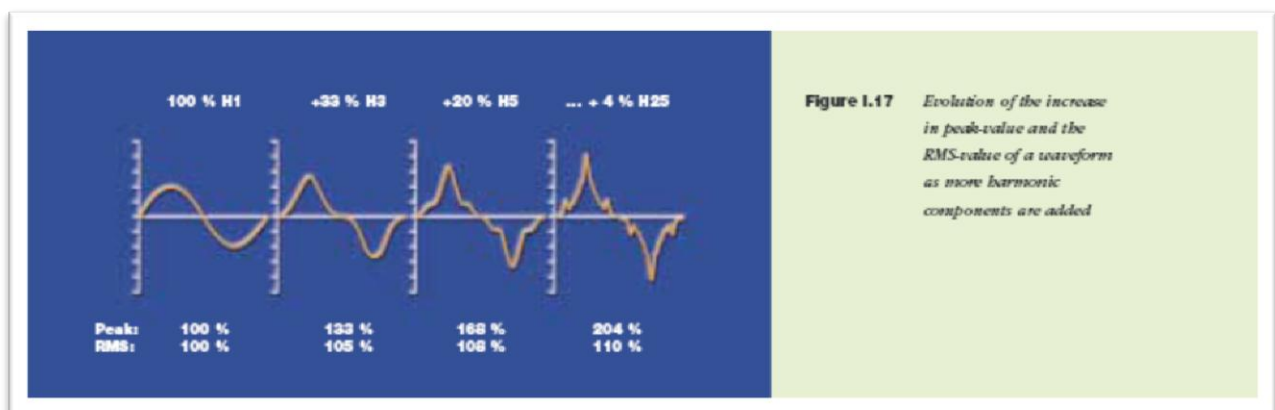
۴. تشدید برای هارمونی های محدود شده

در مبحث قبل به این نتیجه رسیدیم که بسیاری از بارها به منبع تغذیه هارمونی تزریق می کنند. این جریان باعث ایجاد اعوجاج در شکل موج ولتاژ منبع تغذیه می گردد که خود می تواند باعث افزایش جریان هارمونیکی در دیگر بخش های شبکه حتی در صورتی که در آن بخش ها هیچگونه بار هارمونیکی زایی وجود نداشته باشد بشود. به این موضوع پدیده تشدید می گویند.

این مطلب هنگامی رخ می نماید که تعاملی مابین منبع تغذیه سلفی سیستم و بانک خازنی در حول و حوش فرکانس های هارمونی هایی بوجود بیاید که باعث تقویت اعوجاج در این فرکانس ها می گردد.

آلودگی های هارمونیکی باعث مشکلات زیادی می گردند. اولین تاثیر آن در افزایش مقدار RMS جریان ونیز پیک جریان می باشد. این مطلب در شکل شماره 17 نشان داده شده است که در آن افزایش ایندو از افزوده شدن تک تک هارمونی های بالاتر به شکل موج سینوسی خالص بوجود می پیوندد.

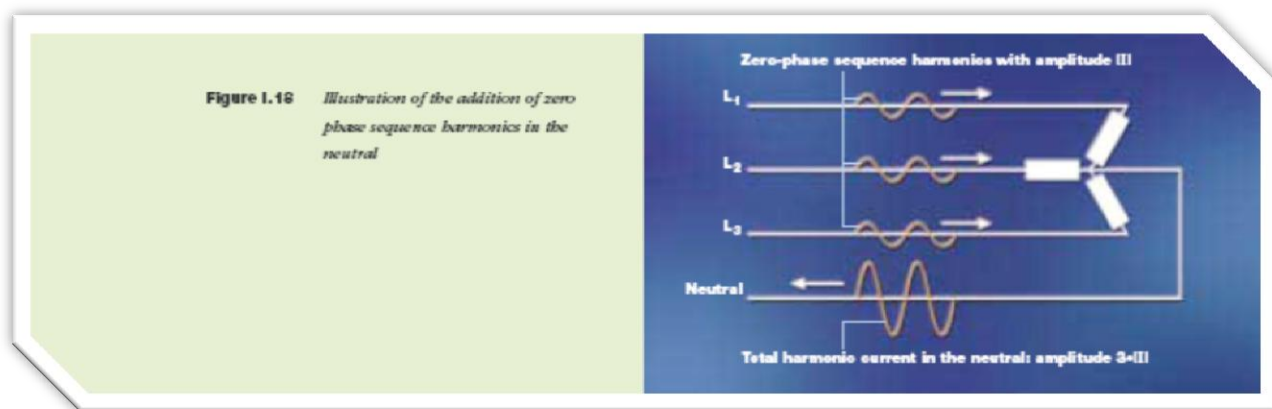
در یک شکل موج بدون اعوجاج یا همان سینوسی خالص مقدار جریان موثر (RMS) و مقدار پیک جریان معادل 100% در نظر گرفته می شود. نرخ رشد افزایش پیک با افزوده شدن هر هارمونی به مقدار ثابتی به مقدار قبلی افزوده می گردد اما درخصوص RMS این نرخ رشد کمتر می باشد برای مثال پیک هارمونی بیست و پنجم تقریباً دوبرابر مقدار آن در سینوسی خالص می باشد در حالی که به مقدار RMS آن فقط 10% افزوده شده است.



(شکل شماره 17)

افزایش RMS باعث افزایش دما در تجهیزات الکتریکی می گردد. از این گذشته کلیدهای حفاظتی (Circuit Breakers) ممکن است باعث بروز خطا در رله ترمال (حراراتی) و یا رله مغناطیسی آن گردد. لذا کلید قطع (ترپ) می کند و نیز فیوزها می سوزد و خازن ها آسیب می بینند. کنترها می توان اکتیو دچار اشتباه در قرائت می شوند و تلفات آهنی و سیم پیچی (مسی) موتورها افزایش می یابند که خود مسبب ایجاد آشفته گی در گشتاور روی شافت موتور می گردد. تجهیزات حساس الکتریکی ممکن است آسیب ببینند و تجهیزاتی که از منبع ولتاژ بعنوان مرجع بهره می گیرند دچار اشتباه در هم زمانی (سنکرون) برای انجام زمان و لحظه دقیق آتش در سوئیچینگ و یا خاموش نمودن سوئیچ ها می گردد. همچنین تداخلات الکترومغناطیسی با دیگر تجهیزات ارتباطی (مخابراتی) را نیز در پی خواهند داشت.

در هنگامی که نصب تجهیزات دارای سیم نول صورت می گیرد ، هارمونی های توالی صفر باعث افزایش بیش از اندازه جریان نول می گردند. این بدان علت است که هم فازی این هارمونی ها در یک سیستم سه فاز در سیم نول با یکدیگر جمع می گردند. شکل شماره 18 این پدیده را نمایش می دهد.



(شکل شماره 18)

مشکلات افزایش بیش از اندازه جریان نول معمولاً در محل هایی دیده می شود که بارهای تک فاز بسیاری حضور داشته باشند. بمانند رایانه ها، فکس ها ، دایرها و هارمونی های مرتبه سوم تولید شده توسط این تجهیزات از نوع توالی صفر می باشند.

کلاً می توان اینطور نتیجه گیری کرد که تولید مقدار زیاد هارمونی باعث کاهش طول عمر تجهیزات نصب شده می گردد. این مهم ترین دلیلی است که شما را برای حل مشکل هارمونیک ها به حرکت وامی دارد.

آلودگی هارمونیکی ممکن است نه تنها در شبکه خود ایجاد اثرات سوء کند بلکه بر روی دیگر تجهیزات از بخش های دیگر نیز تأثیرات مخرب خود را می تواند اعمال کند.

جهت محدود کردن این اختلالات، حداکثر مقدار مجاز وجود اعوجاج در مدارات توسط استانداردها و دستورالعمل ها مشخص شده اند. از حوزه های تصمیم گیرنده در این خصوص کمیسیون بین المللی برق و الکترونیک و یا همان IEC می باشد که گزارشاتی را جهت مشخص نمودن حدود مجاز هارمونی های تولیدی و میزان مجاز آن در هنگام اتصال به منابع تغذیه را تدوین کرده است. در بسیاری از موارد تنظیمات تحمیلی جهت محدود سازی از دو مشخصه THD یا مقدار کل هارمونی اعوجاجی در مولفه ولتاژ و نیز PCC یا جریان حاضر در نقاط اتصال مشترک ، استفاده می گردد. PCC به محلی اطلاق می گردد که شبکه در نقطه ای عمومی به یکدیگر متصل می گردند معمولاً در اولیه ترانس اصلی قدرت این موضوع رخ می دهد.

THD صریحاً مقدار هارمونیک ها را با مقایسه نسبت به مقدار مولفه پایه آشکار می سازد. THD با معادله ذیل مشخص می گردد:

$$THD=100.\frac{\sqrt{\sum_{k=2} C_k^2}}{C_1} \quad (\text{in}\%) \quad (9)$$

که در آن:

THD : درصد اعوجاج کل هارمونی ها

C_1 : بزرگی مولفه پایه

C_k^2 : بزرگی مولفه های دیگر با مرتبه $(k=2,3,...)$

شرکت های خدماتی ، جریمه هایی را برای مصرف کنندگانی که هارمونی تولیدی زیادی را به سوی منابع تغذیه جاری می سازند اعمال می کند. این هم علتی دیگر برای اقدام در محدود سازی هارمونی ها می باشد.

۵. کاهش تاثیر هارمونی ها

روش های گوناگونی برای محدود سازی مشکلات حاصل از هارمونی ها وجود دارد.

یک نظریه در این مورد تغییر و اصلاح ساختار چیدمانی تجهیزات در یک شبکه می باشد. در این روش تجهیزات حساس به هارمونی را به نقاطی عاری از هارمونی منتقل می سازند. نظریه بعدی استفاده از داربوهای 12 پالسه بجای داربوهای 6 پالسه می باشد. هارمونی های تولید شده توسط این داربوها دارای معادله گسترش $n=(12.i \pm 1)$ می باشد که در آن i عددی صحیح می باشد. بنابراین هارمونی های تولید شده از مرتبه های 11 ، 13 ، 23 و ... می باشد که بزرگی هر یک با معادله ذیل مشخص می گردند:

$$|I_n| \approx \frac{|I_{found}|}{n}$$

که این طیف تولید شده بسیار بهتر از طیف حاصل از مدارات 6 پالسه می باشد.

راه حل حفاظت از بانک های خازنی ای که جهت جبران سازی مورد استفاده قرار می گیرند قرار دادن سلف هایی جهت افزایش مقدار امپدانس در هر واحد فرکانس هارمونیک و نیز کنترل فرکانس تشدید می باشد.

هنگامی که سطح هارمونی ها بسیار بالا باشد، به راه حلی با استفاده از فیلترها نیاز می باشد. بصورت سنتی، فیلترهای غیر فعال معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند که در مشکلاتی مشترک می باشند.

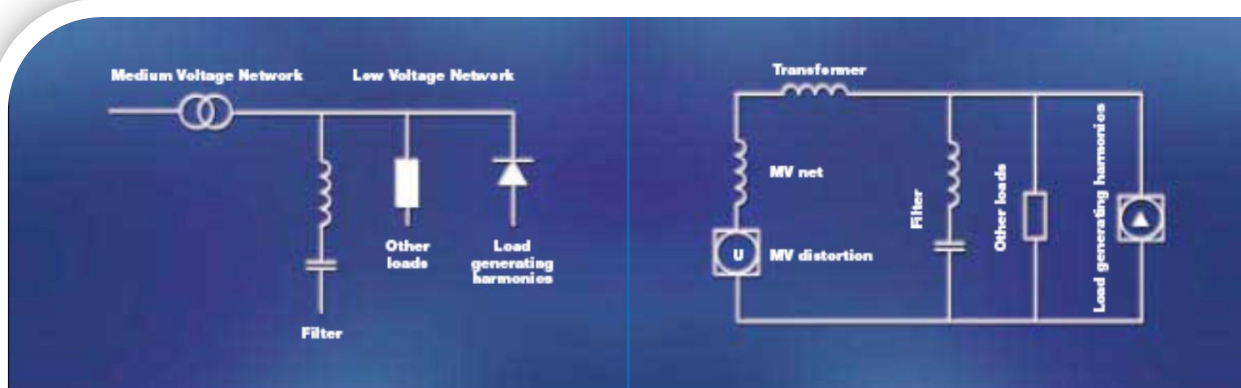


Figure 1.19 Passive filtering of harmonics

Figure 1.20 Equivalent circuit for passive harmonic filtering

(شکل شماره 19)

ساختار فیلترهای غیرفعال متشکل از سلف ها و خازن ها می باشد. هارمونی های تولید شده مثلاً از یک درایو کنترل فرکانسی، توسط این مدار با استفاده از طراحی ویژه جهت ارایه امپدانس کمتر از امپدانس مابقی شبکه، را به سوی خود تغییر جهت می دهند.

شکل شماره 19 شرحی نمادگونه از تولید کننده هارمونی، امپدانس مابقی بارها به همراه یک فیلتر در شبکه را ارایه می دهد. مدار معادل هارمونیکی را در طرح شماره 20 مشاهده می فرمایید. این طرح شامل شبکه فشار متوسط به همراه کلیه ولتاژهای اعوجاجی که در یک تولید کننده هارمونی ولتاژی به نمایش گذاشته شده است.

با توجه به ارایه امپدانس بسیار پائین فیلتر غیرفعال در فرکانس تشدید، جریان هارمونیکی متناظر با آن به سوی فیلتر سرازیر می شود. این موضوع عامل اصلی در امکان Overload شدن فیلتر می باشد که باعث عمل کردن کلید حفاظتی و یا آسیب دیدن فیلتر می گردد. Overload می تواند از بوجود آمدن یک هارمونی غیر پیش بینی شده به سیستم و یا اشکال ایجاد شده در پیکربندی شبکه بوقوع پیوندد، مثلاً نصب دستگاه جدید در شبکه بمانند درایو.

فیلترهای غیرفعال همیشه فراهم کننده مقدار مشخصی توان راکتیو می باشند. چنین جبران سازی ثابتی در هنگامی که درایوها با ارایه بسیار خوب ضریب توان موتورهای AC کار می کنند، مناسب نمی باشد. این می تواند باعث جبران سازی بیهوده نسبت به مقدار مرجع ارایه شده از سوی شرکت های تامین برق شود.

فیلترهای غیر فعال مقدار فیلتر نمودن را با ارایه یک امپدانس ثابت برای تمامی بارهای شبکه انجام می دهند که این سطح از فیلتر نمودن با توجه به تغییرات و عدم تنظیم با نیازهای شبکه که از کهنه شدن تجهیزات که تغییر در امپدانس آنها را در پی دارد و یا تغییر در پیکربندی شبکه دیگر نمی تواند مناسب باشد. این یکی از موارد کاهش کیفیت ارایه شده از سوی این فیلترها می باشد.

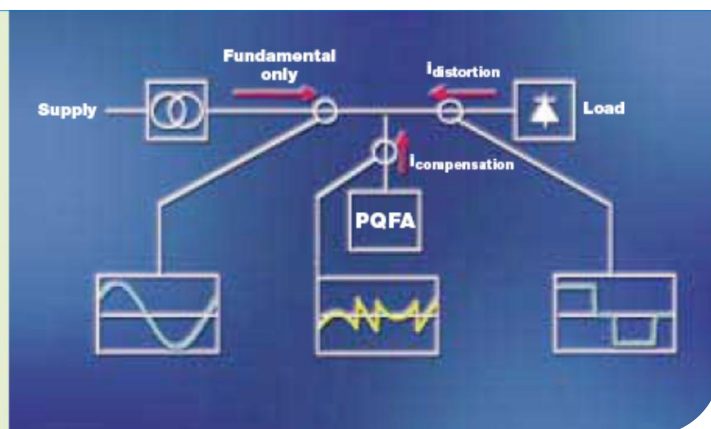
این موضوع حایز اهمیت است که این فیلترها فقط یک مولفه هارمونیک را فیلتر می کنند که این نیاز به فیلترهای غیر فعال جداگانه ای را برای هر مولفه هارمونی مورد استفاده قرار گیرد.

جهت بر طرف سازی تمامی مشکلات هارمونیک و نیز رهایی از اشکالات فیلترهای غیرفعال می بایستی که از فیلترهای فعال استفاده نمود.

۶. فیلترهای فعال

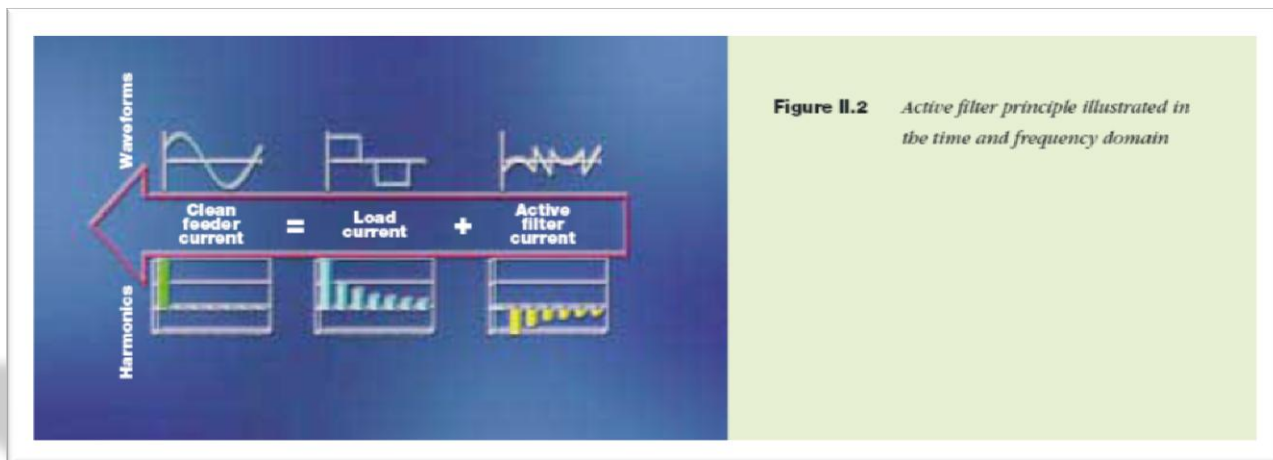
فیلترهای فعال تجهیزاتی هستند که با اندازه گیری هارمونی در شبکه و تولید (ساخت) طیف هارمونیک برابر با طیف هارمونیک اندازه گیری شده و تزریق آن به شبکه درفاز معکوس ، باعث از بین رفتن این هارمونی ها می گردند.

Figure II.1 Principle of active filtering



(شکل شماره 21)

فیلترهای فعال با حذف هارمونیک های شبکه که به سوی خازن های این فیلتر حرکت می کنند از overload شدن خازن ها جلوگیری می کنند و بعلاوه این فیلترها می بایستی که بصورت موازی در مدار قرار گیرند و در صورت نصب سری کارایی آنها بسیار افت کرده و بمانند فیلتر های غیر فعال دچار مشکل خواهند شد. لذا نسب اینگونه فیلترها می بایستی که بصورت موازی با شبکه باشد. شکل 22 پیکرشناسی این فیلترها را به نمایش گذاشته است.



(شکل شماره 22)

ترجمه و تالیف
هانی ادیب آزاد
مهرماه 1387