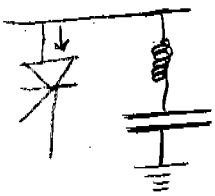
فصل شانزدهم

اصلاح ضریب قدرت با نصب فیلتر هارمونیکی

۱-۱۶ مقدمه

اصلاح ضریب قدرت در شبکه هائی که دارای هارمونیک هستند با نصب فیلترهای هارمونیکی صورت میگیرد. در طراحی فیلترها اهداف متفاوتی از نقطه نظر فنی دنبال میشوند بقرار زیر است :



۱- بوجود آوردن یک مسیر با امپدانس پائین جهت عبور جریانهای هارمونیکی و در نتیجه کاهش ولتاژ هارمونیکی در نقاط مختلف سیستم

۲- اصلاح ضریب قدرت در فرکانس اصلی سیستم

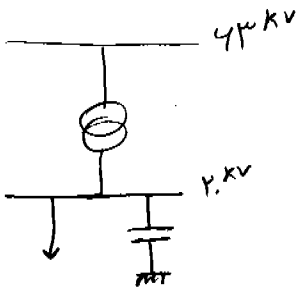
۳- جلوگیری از رزونانس در شرائط مختلف بهره برداری از سیستم

اما در عمل در نظر گرفتن شرائط فوق جهت طراحی فیلتر باتوجه به موارد :

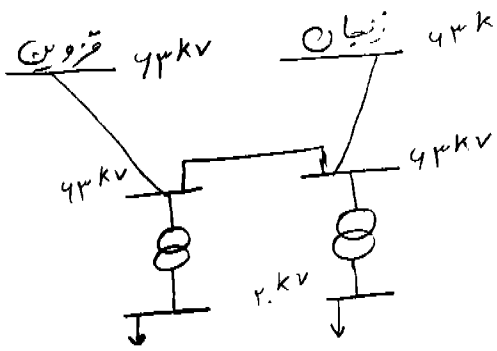
۱- امپدانس هارمونیکی سیستم در شرائط مختلف بهره برداری متغیر است

۲- امپدانس هارمونیکی سیستم بعلت رشد سیستم در طول زمان متغیر است

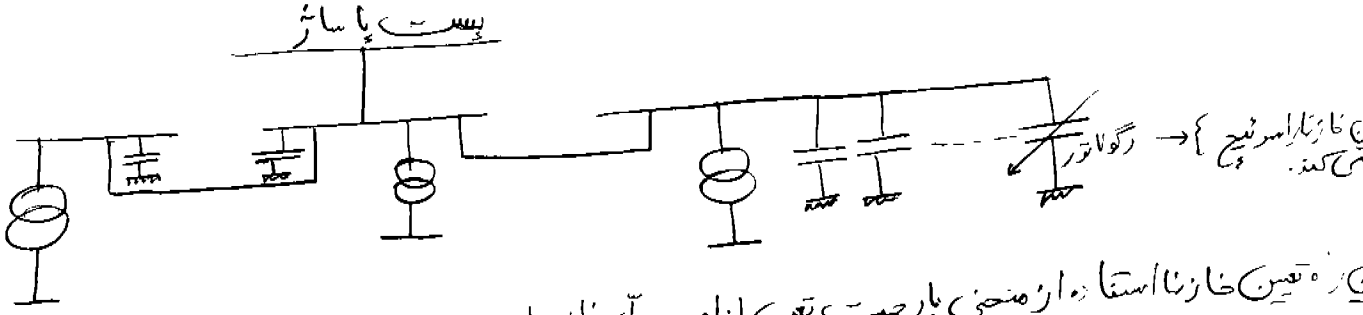
در شبکه های شهری در ولتاژ ۲۰kV خازن گذاری می کنیم. البته بهتر است در ۶۳kV بگذاریم. چون هدف جبران کمبودهای ولتاژ ۶۳kV است. اما مشکل محدودیت ولتاژ این خازنها است. ولی مشکل آنست که در صورت خروج شبکه ۲۰kV، امنت ولتاژهای ۶۳kV کاهش می یابد. البته این مشکل در صورتی است که هدف تنظیم ولتاژ ۶۳kV باشد.



مثلاً در شبکه زیر بهتر آنست که در باس بار ۶۳kV خازن گذاشته شود و با تپ ترانس ولتاژ ۲۰kV کنترل و اصلاح شود. در غیر اینصورت تلفات شبکه ناشی از قرار دادن خازن در ۲۰kV جهت جبران ولتاژ ۶۳kV قابل ملاحظه است. یعنی در اینصورت اگر با رقطع شود، ترانس در مدار است و این بهتر است



پست پاساژ: پستی که برق منطقه‌ای خاص مورد نیاز را از آن تحویل می دهد.



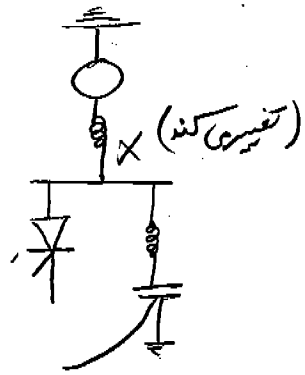
بهترین راه تعیین خازنها استفاده از منحنی بار جهت تعیین اندازه و محل خازن است.
باتکهای خازن چهواره باید در محدوده مجاز کار کنند و نباید خروج و ورود خازنها سبب اضافه یا کاهش ولتاژ شود.
برای بهبود آوردن منحنی بار یکماه یا ۲ ماه نمودارهای گیرنده و محل و ساعات و جریمه را نوشته و خازن گذاری می کنند.
از جهتی به هارمونیک توجه کنیم: مثلاً جاهائی که تاسیسات داریم مثل آلومینیم سازی، خازن کار را به ترمی کند.

فاکتور اختلاف فاز × فاکتور اعوجاج = ضریب مقدر

(چون اگر هارمونیک زیاد باشد ، فاکتور اعوجاج کم شده ← ضریب مقدر بدتر می شود)

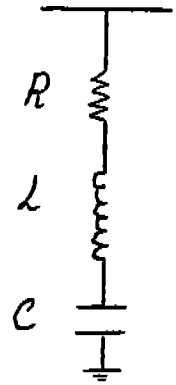
۳- مقادیر مختلف المانهای فیلتر در اثر زمان و همچنین در شرائط مختلف محیطی تغییر می‌باشد

کار آسانی نمی‌باشد. در این فصل سعی خواهد شد که نکات مهم در طراحی فیلتر مورد بحث و بررسی قرار گیرد.



۱۶-۲ فیلتر درجه یک

فیلتر درجه یک شامل یک سلف و یک خازن میباشد با توجه باینکه سلف و خازن دارای مقاومت کمی نیز می‌باشند مدار معادل یک فیلتر درجه یک در شکل زیر نشان داده شده است.

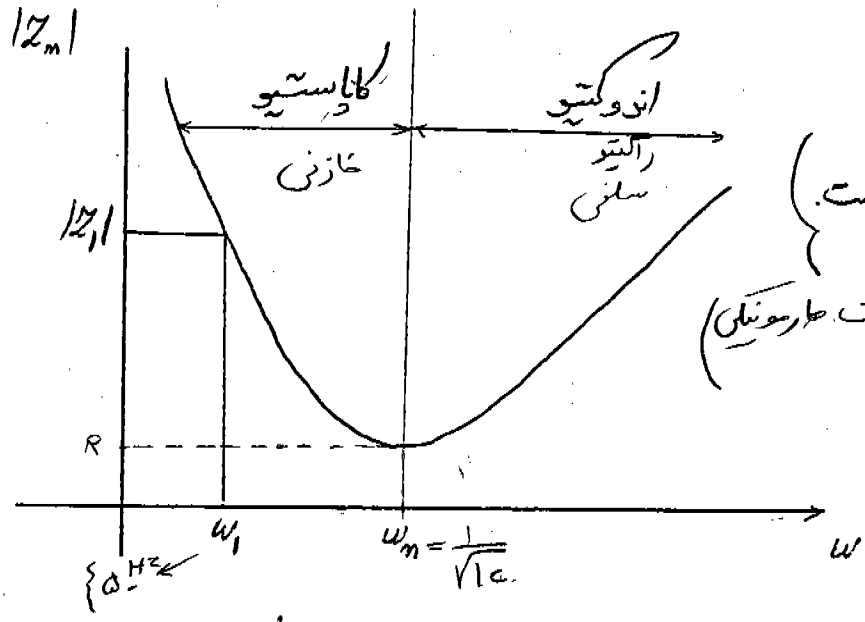


که در اینصورت امپدانس هارمونیکی فیلتر از رابطه‌ی زیر محاسبه میگردد:

$$Z_n = R + J\left(Lw - \frac{1}{Cw}\right)$$

$$|Z_n| = \sqrt{R^2 + \left(Lw - \frac{1}{Cw}\right)^2}$$

شکل زیر مقدار $|Z_m|$ به حسب فرکانس را نشان میدهد.



(فیلترهای موازی ارزانترند. فیلتر سری بخاطر جریان بالا گرانتر است. و مشکلات سری کمتر است.)

(عمدتا از چند فیلتر موازی جهت حذف هارمونیکها استفاده می کنیم)

در طرف چپ منحنی امپدانس فیلتر خصوصیت کاپاستیو و در طرف راست امپدانس خصوصیت انوکتیو است. در فرکانس اصلی فیلتر از دید سیستم بصورت یک بانک خازنی دیده می شود.

۱۶-۳ مدل منابع هارمونیکی

منابع هارمونیکی معمولاً بصورت یک منبع جریان هارمونیکی مدل می شوند. برای یک رکتیفایر ایده آل که تولید موج مربعی می نماید، می توان نشان داد که درجه و مقدار جریان هارمونیک از روابط زیر بدست می آید:

$$n = k q \pm 1$$

$$I_n = \frac{I_1}{n}$$

که n درجه هارمونیک، $k = 1, 2, 3, \ldots$، I_1 جریان در فرکانس

(در واقع هارمونیک باید باولتاژ و امپدانس مدار شود. ولی مهندسین جنبل نمی‌کنند)

اصلی ، I_m مقدار جریان در هارمونیکهای مختلف و n مقدار پالس مورد استفاده در مدار رکتیفایر می‌باشد.

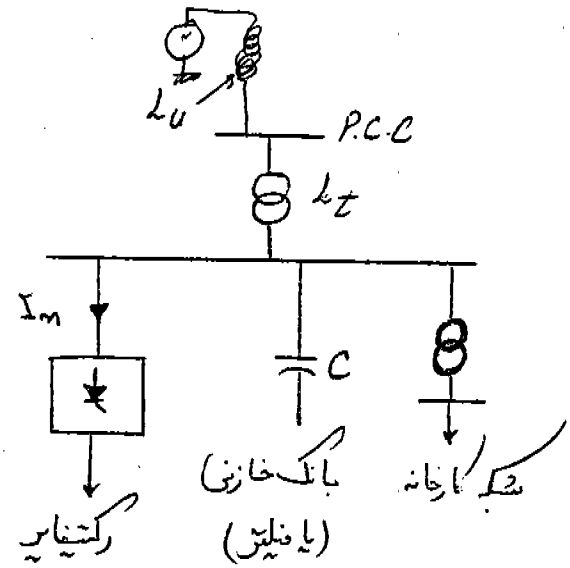
در عمل مقدار جریان هارمونیکی بستگی به راکتانس منبع تغذیه (X_c) و همچنین تأخیر زاویه آتش (α) دارد. همچنین بخاطر عدم تقارن در مدار منبع تغذیه و همچنین در مدارات آتش بعضی از هارمونیکهای غیر مشخصه نیز با دامنه کمتر بوجود می‌آیند. بعنوان مثال یک رکتیفایر ۱۲ پالسه که می‌باید هارمونیکهای ۱۱ ، ۱۳ ، ۲۳ ، ۲۵ ، ..... را تولید نماید ، هارمونیکهای 5 و 7 و 17 و 19 را نیز بمقدار کمی تولید میکند. جدول زیر مقادیر معمول تولید هارمونیک بتوسط رکتیفایرهای مختلف را نشان میدهد. برای بررسی دقیقتر به جداول سازندگان می‌باید مراجعه شود.

تعداد پالس	5	7	11	13	17	19	23	25
6	.175	.110	.045	.029	.015	.010	.009	.008
12	.021	.014	.075	.059	.011	.009	.015	.011
18	.026	.016	.007	.004	.015	.010	.001	.001
24	.026	.016	.007	.004	.002	.001	.009	.008

همچنین بمقدار خیلی کمی هارمونیکهای ضریب 3 یعنی 3-KP تولیدی
اینها جریانهای صفر را در سیستم ایجاد میکنند، و علت اینکه در مسیر زمین جاری
میگردند شبکهٔ صفر سیستم را نیز باید در نظر گرفت، آنالیز آنها بسیار
مشکل است و در اینجا در نظر گرفته نخواهند شد.

۱۶-۴ مدل شبکه

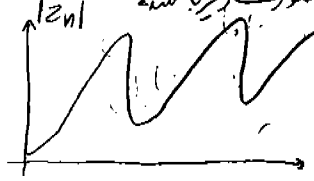
دیاگرام تک خطی یک شبکه تولید کلر در یک کارخانه کلر سازی در شکل
زیر کشیده شده است.



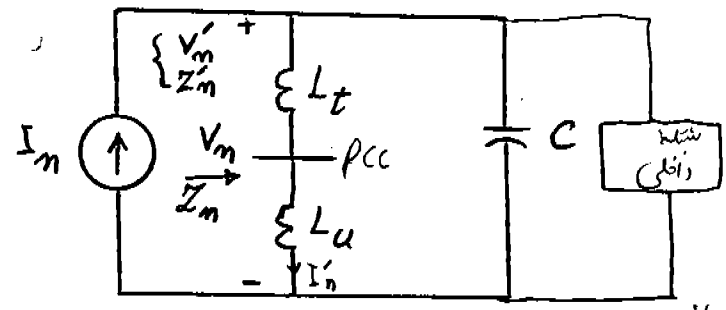
مدار معادل این شبکه از دو منبع هارمونیکی شامل کلیه ترانسها، موتورها،
ژنراتورها و غیره میباشد و برای آنالیز دقیق ما باید مدار معادل هارمونیکی
کلیه این وسائل را بدست آورد. این کاری است که در برنامه PASHA
هم اکنون تحت اقدام است. امّا در مثال ما در اینجا از آنجائیکه با

شبکه داخلی کارخانه کلر سازی که شامل مقداری موتور می باشد خیلی کم است (حدوداً 10٪ بار راکتیو) در نتیجه امپدانس این بارها بسیار زیاد و می توان از آن صرفنظر نمود. با صرفنظر کردن از این بارها مدار معادل هارمونیکی شبکه تحت بررسی بصورت زیر خواهد بود: ولی در فولاد مبارکه اینگونه نیست.

*مشخصه امپدانس هارمونیکی شبکه ممکن است بصورت زیر باشد



هارمونیک دوم بالا باعث امپدانس بالا شده و پس ولتاژ بالا رفته و سبب خراب شدن تجهیزات می گردد.



محاسبات استاتیک:

با توجه به مدار معادل، جهت آنالیز هارمونیکی مدار موارد زیر می باید انجام گیرد:

۱- مقادیر L_t و C و L_u (از روی SCC) بدست آورده شود.

۲- مقدار امپدانس دیده شده از دو سر منبع جریان را بدست آوریم (Z'_n)

۳- مقدار ولتاژ هارمونیکی V'_n بدست می آید ($V'_n = Z'_n * I_n$).

۴- جریان هارمونیکی هر شاخه بدست می آید ($I'_n = \frac{V'_n}{\text{امپدانس شاخه}}$).

۵- ولتاژ هارمونیکی دو سر عرالمان بدست می آید ($V_n = Z_n \cdot I_n$).

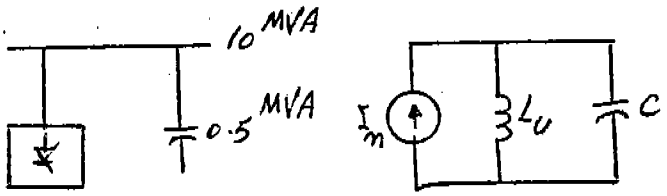
جریان و ولتاژ هارمونیکی در نقطه PCC با مقادیر جریان و ولتاژ هارمونیکی استاندارد شده همانطوریکه در جزوه هارمونیکها آمد مقایسه می شود و در نتیجه معلوم می شود که احتیاج به فیلتر جهت خنثی هارمونیکها داریم یا نه.

(صفحه ۱ تا هارمونیک ۳۹ حساب کن کتاب)

۱۶-۵ استفاده از بانک خازنی

همانطوریکه در فصل ۱۵ بحث شد، بانک خازنی جهت اصلاح ضریب قدرت مورد استفاده قرار میگیرد. امّا در شبکه هائی که دارای هارمونیک هستند استفاده از بانک خازنی سبب کاهش ضریب قدرت بادر نظرگیری ضریب اعوجاج میگردد. این موضوع را در زیر توسط یک مثال نشان می دهیم.

در شبکه زیر که دارای $SCC=10^{MVA}$ است، بانک خازنی به مقدار 0.5^{MVA} جهت اصلاح ضریب قدرت قرار است نصب شود.



مبنا $= 10^{MVA}$.

در فرکانس اصلی $Z_U = J1.0^{P.U.}$

در فرکانس اصلی $Z_C = -J20^{P.U.}$

در فرکانس پنجم $Z_U = J5.0^{P.U.}$

در فرکانس پنجم $Z_C = -J4.0^{P.U.}$

در فرکانس پنجم بدون خازن $Z_{eq} = J5.0$

در فرکانس پنجم با خازن $Z_{eq} = \frac{J5*-J4}{J5-J4} = -J20$

بدون خازن $|V_5| = 5.0 * |I_5|$

با خازن $|V_5| = 20 * |I_5|$

همانطوریکه از محاسبات بالا مشاهده می شود با قرار دادن خازن بمقدار

0.5 MVA ولتاژ هارمونیک پنجم در نقطهٔ Pcc افزایش داشته است. با توجه
باینکه ولتاژ افزایش داشته است جریان نیز افزایش خواهد یافت و در نتیجه فاکتور
اعوجاج در ضریب قدرت کاهش می‌یابد. بنابراین وجود خازن نه تنها
ضریب قدرت را افزایش نداده است بلکه مقدار آنرا کاهش نیز داده
است. اگر در محاسبات بالا بجای خازن از فیلتر استفاده می‌شد و اینپدانس
فیلتر در مقابل این فرکانس برابر R می‌بود و بنابراین ولتاژ و جریان
هارمونیکی کاهش می‌یافت و در نتیجه ضریب قدرت نیز اصلاح می‌شد.
اما در هارمونیک مثلاً یازدهم (در صورت موجود بودن این هارمونیک
در سیستم) اینپدانس معادل سیستم ممکن بود افزایش داشته باشد و
در نتیجه $|V_{11}|$ افزایش یابد. در اینصورت (با توجه به استاندارد) نصب فیلتر یازدهم
نیز ضروری می‌بود.

$$\text{ضریب قدرت} = \cos\phi \times \left(\frac{I_1}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}}\right)$$

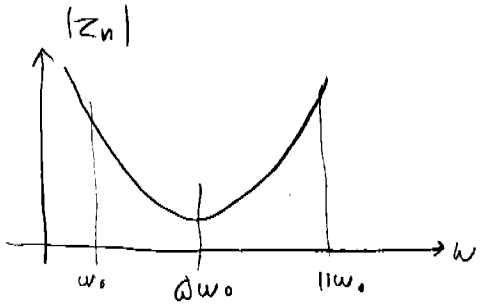
با توجه به مطالبی که در بالا ذکر شد، اگر در نقطهٔ Pcc ما مقادیر ولتاژ
و جریان هارمونیک‌ها را اندازه‌گیری نمودیم و مشاهده شد که هارمونیک
پنجم از مقدار استاندارد زیادتر است. اگر بیائیم و فیلتر هارمونیک
پنجم در آن محل نصب کنیم نمی‌توانیم مطمئن باشیم که استاندارد را رعایت
کرده‌ایم. چرا که با نصب فیلتر هارمونیک پنجم ممکن است باعث

شویم که مثلاً جریان و ولتاژ هارمونیک یازدهم زیادتر و از استاندارد خارج شود. بنابراین محاسبه و آنالیز هارمونیکی سیستم حتماً برای طراحی فیلتر لازم می‌باشد و نمی‌توان به اندازه‌گیری اکتفا نمود. (A)

۱۶-۶ متد طراحی فیلتر

برای طراحی فیلتر دو متد جداگانه مورد استفاده قرار گرفته است.

۱- در متد اول مدار معادل شبکه قدرت با تمامی المانهای آن بدست آمده و شرایط مختلف بهره برداری نیز در نظر گرفته می‌شود و فیلتری طراحی میشود که در شرایط مختلف بهره برداری از سیستم اولاً هارمونیکهای سیستم را کاهش دهد و همچنین امکان ایجاد رزوناس در شبکه، مورد بررسی دقیق قرار میگیرد. (B) برای استفاده از این متد مدل سازی ترانس‌ها، خطوط، ژنراتورها، موتورها الزامی است و این متدی است که هم اکنون در برنامه PASHA در حال پیاده سازی می‌باشد. روشی که در بخش ۱۶-۵ مورد استفاده قرار گرفت اساس و پایهٔ طراحی فیلتر در این متد می‌باشد.



چون ⊙ مشخصه فیلتر بصورت روبرو است:

پس چون امپدانس هارمونیک ۱۱ بالا است، پس ولتاژ آن نیز بالا است. پس درصورت داشتن هارمونیک ۱۱، ولتاژ بالایی ایجاد می‌شود که برای تجهیزات خطرناک است. پس فیلترگذاری برای یک هارمونیک سبب بدتر شدن اوضاع برای هارمونیکهای دیگر است و باید محاسبه کنیم تا به نتیجه درست برسیم.

پس باید یا مدارات را مدل کنیم یا هر بار امپدانس را اندازه‌گیری کنیم تا هارمونیکها را شناسایی کنیم تا ببینیم چه هارمونیکهایی در طراحی فیلتر دخالت دارند.

نکته ۱: دلیل اینکه S_{cc} پایین است یعنی امپدانس بالا است، وجود مولفه‌های هارمونیکی ولتاژ بالایی تولید می‌کند.
(S_{cc} = ۱۵۰ MVA حدوداً در ۲۰ kV)

منابع هارمونیکی:

۱) کوره‌های الکتریکی.
۲) بروز خالت که داریم: هارمونیک زاویه / مضرب صادقی / کم‌اهمیت → inrush current → رفع خالت → بروز خالت

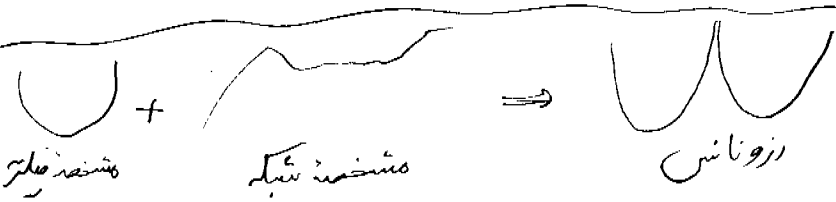
نکته ۲: در محاسبات هارمونیکی خیلی از مسائل قابل صرفنظر کردن هستند. مثلاً در یک خط ۵ km در هارمونیک اول یا بالاتر تغییرات زیادی برای X_c و X_l داریم که باید دقیقاً بررسی شود. چون ⊙ طول موج کم می‌شود.

شواهد وجود هارمونیک:

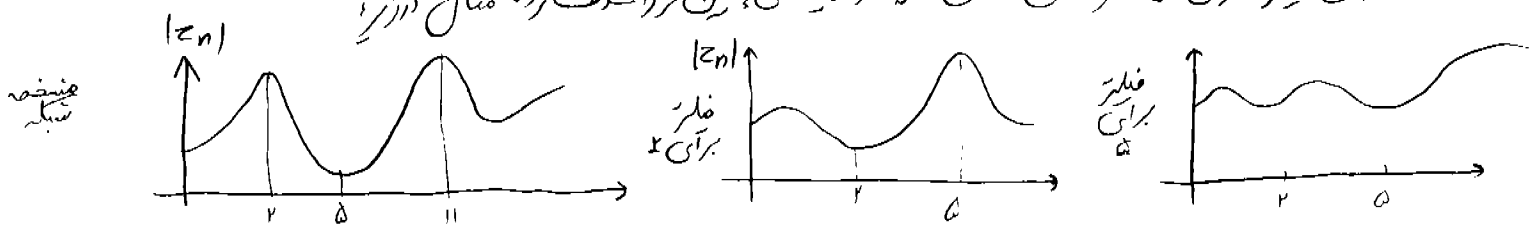
۱) ترکیدن خازنها.
۲) داغ شدن موتورها و یا تاقانهای آنها.
۳) تریپ‌های بی‌دلیل وسائل اندازه‌گیری.

با توجه به وسائل اندازه‌گیری، هارمونیکها را اندازه گرفته و درصورت لزوم فیلتر نصب می‌کنیم.

نکته ۱: درصورت نیاز به خازن در شبکه‌های هارمونیک دار، ابتدا مسائل هارمونیکی را بررسی می‌کنیم و سپس بین خازن و فیلتر یکی را انتخاب می‌کنیم.

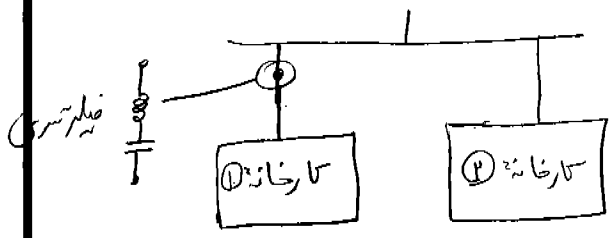


گاهی در طراحی فیلتر برای یک نرگاس خاص، باید هارمونیکهای پایین‌تر را حذف کرد، مثال زیر:



از آنجاکه تنظیم بایداز پایین صورت بگیرد، اگر در شکل فوق نیاز به برطرف کردن ۲ نباشد، ۵ که خوب است، پس مستقیماً به طرف ۱۱ می‌رویم.

نکته ۲: در کارخانجات معمولاً هارمونیک (۵ و ۷) یا (۱۱ و ۱۳) دارند.



یک مثال: در شکل رو برو کارخانه 2 برایش هارمونیک مهم نیست ولی ① مهم است. اگر برای ① فیلتر بگذاریم همه هارمونیکهای رو کارخانه ی آیند درون آن و overload ی شوند. بین دو راه داریم:

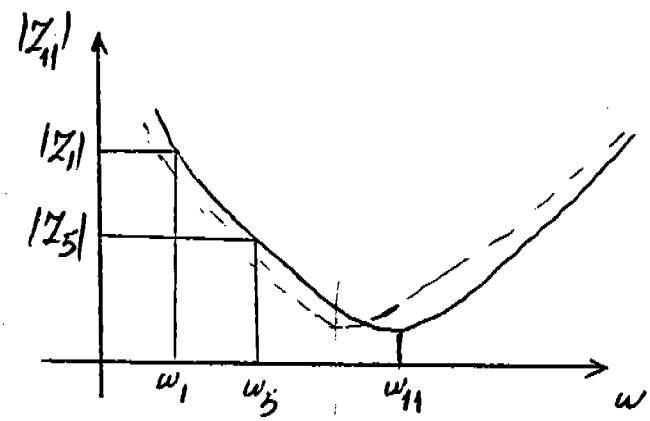
1) همه کارخانه ها فیلتر بگذارند.

2) فیلتر سری در کارخانه ① بگذاریم. (تحقیقات روی سری در هندوستان است)

نکته 1: از بالا معلوم می شود که فیلتر گذاری local هم نسبت و فایده ندارد و باید همه فیلتر بگذارند و این در اختیارات و ... نیز است.

۲- در مثل دوم، بدون توجه به مدار معادل شبکه و بدون توجه به امکان وجود آمدن رزونانس در شبکه فقط با استفاده از ضریب کیفیت فیلتر و همچنین فاکتور تیون بودن فیلتر سعی می‌شود که فیلتری طراحی شود که در تمامی حالات (یعنی چه) بهره‌برداری از شبکه جوابگوی سیستم باشد.

در مثالی که در بخش ۵-۱۶ بیان شد، فرض نمائید که بجای فیلتر هارمونیک پنجم، فیلتر هارمونیک یازدهم را فقط قرار می‌دادیم. در اینصورت با توجه به مشخصه امپدانسی فیلتر یازدهم که در شکل زیر آمده است:



این فیلتر از دید هارمونیک پنجم بصورت یک کاپاسیتور دیده می‌شود. از آنجائیکه شبکه قدرت معمولاً راکتیو است بنابراین امکان رزونانس در هارمونیک پنجم وجود دارد. بدین خاطر در طراحی فیلتر معمولاً فیلترهارمونیک پائین‌تر حتماً می‌باید در مدار قرار داشته باشد تا مطمئن شویم که مقدار جریان هارمونیکی آنها کوچک باشد. همچنین در طراحی فیلترها

معمولاً بجای منحنی توپراز منحنی منقطع چین که کمی نسبت به منحنی توپر جابجاشده است استفاده میگردد تا اینکه اگر تحت شرائطی نقطه ایتم منحنی تغییرمکان دهد (دراثر تغییرمقادیر فیلتر یا زمان) فیلتر در فرکانس هارمونیکی خود بصورت کاپاکتیو دیده نشود و امکان رزوناس از بین برود. ©

با توجه به موارد دیگه بحث شد مثل دوم برای طراحی فیلتر مناسب نمی باشد، درهرحال مراحل طراحی آن در زیر مختصراً اشاره می شود:

دراین مثل مقادیر زیر می بایداز پیش تعیین شود:

۱- مقدار توان راکتیوی که می باید توسط فیلتر تولید شود (Q) (در فرکانس اصلی)

۲- مقدار ولتاژ باس بار (V)

۳- درجه هارمونیک (n)

۴- ضریب کیفیت فیلتر (Q_F) معمولاً بین (30 الی 120)

۵- فاکتور دی تیونینگ (D) معمولاً بین (0.03 الی 0.03-)

هرچه ضریب کیفیت فیلتر را بهتر کنیم، فیلتر در فرکانسی که باید حذف کند بهتر عمل میکند ولی فرکانسهای مجاور را بیشتر تقویت می نماید. فاکتور دی تیونینگ نیز بخاطر تغییر مقادیر مشخصه المانهای فیلتر بازمان درنظر گرفته می شود. باتوجه به مقادیر بالا روش محاسبه بقرار زیراست:

$$K_n = \frac{n-1}{n} \qquad |X_c| = -K_n \cdot \frac{Q}{V^2}$$ امپدانس فیلتر ⑤ (صفحه قبل)

$$X_c = -\frac{1}{[|X_c| \cdot (1+D)]}$$

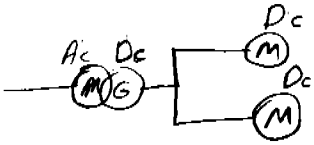
(A) درمورد هارمونیکای ۲ و ۳ و ۵ و ۷ و ۱۱ :

۱) هارمونیک سوم را تراش حذف می‌کرد.

۲) برای دیگر هارمونیکا فیلتر می‌گذاریم.

منبع اصلی هارمونیک : (تبدیل Ac به dc با کانورتور برای موتورها)

محلها : ۱) آلومینیم سازی
۲) ذوب آهن



برای بهبود ازست (MG-set) استفاده می‌توان کرد. بصورت روبرو :

مزیت
حذف مشکل هارمونیکی

معایب
مشکل نگداری
سروصدا
مسائل Reliaability

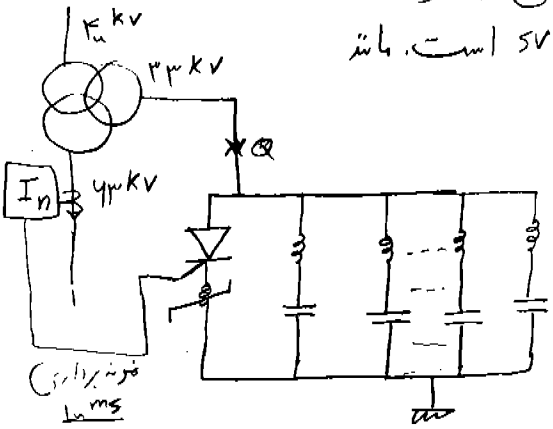
این درجایی که برق با کیفیت مطلوب باشد، استفاده از کانورتور بهینه است.

ولی باعث عبوردادن هارمونیک به بارموتوری شده و سبب مختل شدن کارموتوری گردد.

هدف دراین مرحله طراحی فیلتری جهت رفع این معضل است. راه‌حل‌های زیر را داریم :

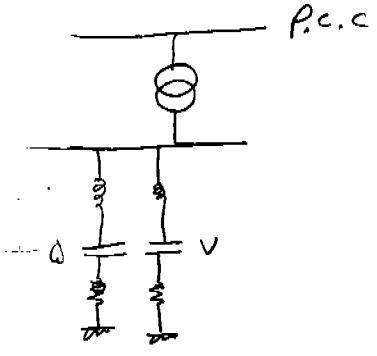
۱) فیلترسری استفاده کنیم : دراین صورت جریان عبوری بالا مشکلی برای فیلتر است.

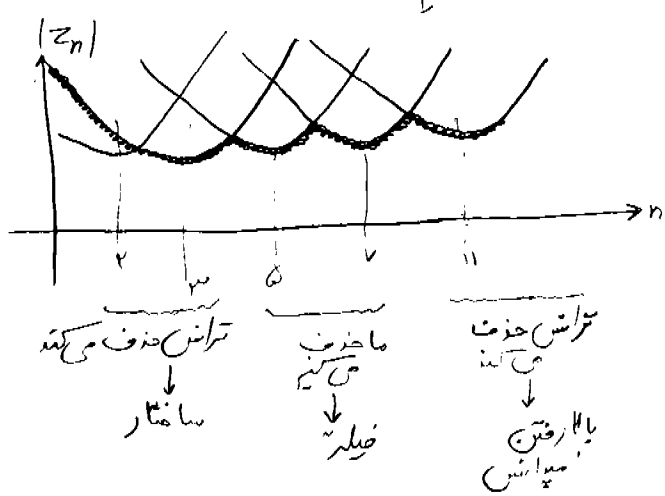
۲) فیلترموازی استفاده کنیم. دراین صورت به صورت باتک SVC است. مانند مولادمبارکه بصورت روبرو.



برای تعیین Q باید اختلاف مابین ولتاژ و جریان و همینطور اندازه‌گیری V و I را حساب کنیم که این کار حداقل یک سیکل زمان می‌خواهد که به دلیل داشتن هارمونیک و به علت بالابردن اطمینان دوسه سیکل دوطول می‌کشد.

درطراحی فیلتر، هرچه فیلتر پائین‌تر از تراش باشد بهتر است. چراکه امپدانس تراش درشرایط هارمونیکی افزایش یافته مجبوری هارمونیکا را می‌گیرد. مثلا درروبرداریم :





فاکتورهای طراحی فیلتر:

Q و V و n و C_f و D که در قبل دیدیم.

پس از طراحی فیلتر باید اثر آنرا روی شبکه بینیسازی کرد و دید که در باس بارهای مختلف آیا:

1) V_n (هارمونیکی) کمتر از مقدار حدی است یا نه.

2) آیا در سیستم رزوناس وجود دارد یا نه، که حالات زیر را بررسی می کنیم:

1) جابجائی بارها.
2) عوض کردن شرایط بهره برداری.
3) حذف اضافی و حذف اکثر load. ← هر ساله بررسی گردد.
4) تولیدهای مختلف ژنراتور (از دید طراحی).

(B) طبق استاندارد Bs: ← (دیپل ولتاژ dc)

1) اگر d_{V_n} کمتر از یک حدی است نیازی به فیلتر نیست.

2) اگر بالاتر از یک حدی بود باید دامنه های هارمونیکی مختلف معین شوند که در صورت پائین بودن از یک حد نیازی به طراحی فیلتر نیست.

3) اگر باز هم از یک حدی بالاتر بود آنگاه مولفه های I_n را تعیین می کنیم و اگر بیش از یک حدی بود باید فیلتر طراحی گردد.
← (دیپل جریان dc)

$$X_L = (1+D)\,[1Y_C 1 \cdot n^2]$$

$$R = \frac{n \cdot X_L}{Q_F}$$

و بنابر محاسبات بالا مقادیر X_C و X_L و R فیلتر محاسبه میگردند. البته در طراحی بتوسط شخص اول نیز ابتدا مقادیر فیلتر با توجه به محاسبات بالا بدست میآیند و سپس این فیلتر در شبکه قرار داده میشوند و در مقابل شرائط مختلف بهره برداری و همچنین امکان بوجود آمدن رزونانس در شبکه فیلترهای طراحی شده تست میشوند و در صورت نیاز مقادیر فیلتر عوض شده و مجدداً در شبکه جهت آنالیز قرار داده میشود تا اینکه به تمامی اهداف طراحی نائل گردیم. (در شبکه های اصفهان و خوزستان فیلتر گذاری بخاطر هماهنگی کلی سخت است.)

(A)

۱۶-۷ مطالعهٔ موردی

مواردی که در زیر بیان میگردند مسائل و مشکلاتی را که طراحی فیلتر در کارخانجات کاغذسازی در امریکا با آنها روبرو شده اند را مورد بحث و بررسی قرار میدهد. قبل از اینکه در مورد این مطالعات صحبت شود از آنجائیکه طراحی فیلتر مربوط به آمریکا میباشد باید استانداردهائی را که IEEE برای ولتاژ و جریان هارمونیکی قرار داده است مرور نمائیم.

(B)

استاندارد IEEE همانند استاندارد B.S که قبلاً توضیح داده شد محدودیت ولتاژ و جریان هارمونیکی را طبق جداولی پیشنهاد نموده

است. نکته مهم در مورد این استاندارد که در استاندارد B.S وجود ندارد این است که این استاندارد فاکتور دیگری بنام فاکتور اثر مخابراتی Telephone Influence Factor (TIF) را معرفی می‌نماید که صورت زیر تعریف شده است:

$$TIF = I*T = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{49} (I_n * T_n)^2}}{I_1}$$

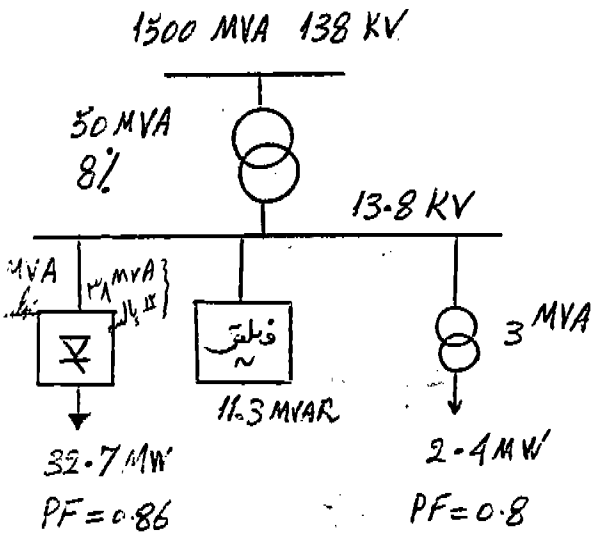
که T_n را ضریب اثر مخابراتی می‌نامد. البته با اینکه این شبکه برتری‌هایی بر روی وسائل مخابراتی مستقلی به شرائط مکانی این دو شبکه نسبت به یکدیگر دارد ولی این فاکتور بدون در نظر گرفتن تفاوت مکانی این دو شبکه نسبت به یکدیگر و فقط از روی یک معنی (TIF 1960) که تمام مراکز مخابراتی در کتب مؤلفانی باشی تعریف شده است. اما جدول زیر محدودیت‌های قرارداده شده برای این فاکتور را نشان می‌دهد:

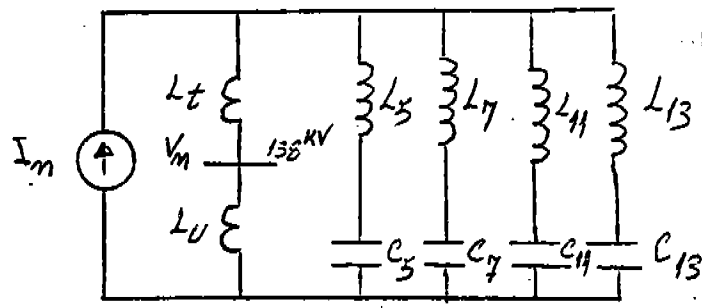
شرط	شرح	محدودیت $I*T$
I	مقواری که باعث تداخل نمی‌گردد	<10,000
II	مقواری که امکان تداخل دارد	10000 <50000
III	مقواری که تداخل ایجاد می‌کند	>50000

در مواردی که در زیر بحث می‌شود به این فاکتور نیز رجوع میگردد.

۱-۷-۱۶ مورد اول

این مورد طراحی فیلتر برای یک کارخانه کاغذسازی تازه ساز را مورد بررسی قرار می‌دهد. دیاگرام تک خطی شبکه و مدار معادل آن در شکل زیر نشان داده شده است (در مدار معادل وجود چهار فیلتر پیش بینی شده است).





رکتیفایر موجود دارای 12 پالس و توان 38 MVA با ضریب قدرت 0.86 را از شبکه دریافت می‌کند. بارهای موتوری تقریبا 3 MVA با ضریب قدرت 0.8 می‌باشند. بررسی این بارها حاکی است که ضریب قدرت مجتمع را به 0.95 برسانیم حدود 9.9 MVAR خازن مورد احتیاج است.

این خازن‌ها بین سه فیلتر 5 و 7 و 11 برحسب محاسبات طراحی فیلتر تقسیم شده و این فیلترها طراحی و در مدار قرار داده شده‌اند. پس از آنالیز معلوم شد که این فیلترها باعث می‌شوند که هارمونیک ولتاژ و جریان

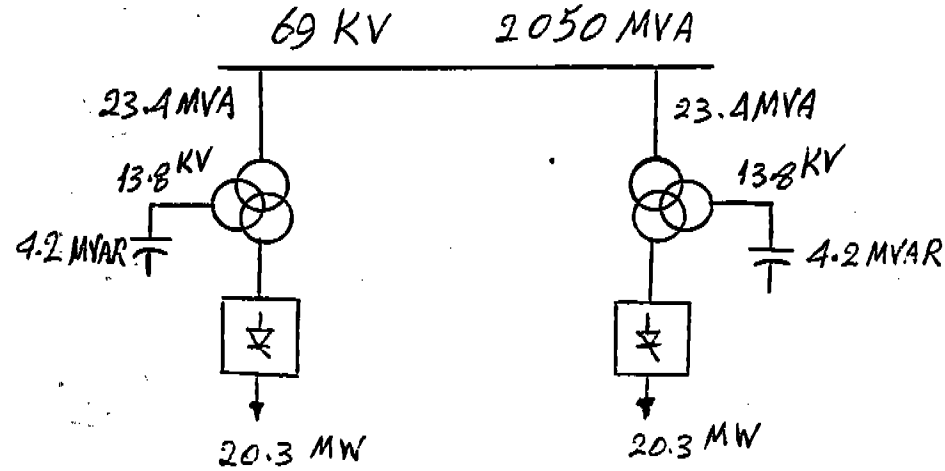
هارمونیکی کاملاً ارضاء می‌شوند اما محدودیت TIF راضی نمی‌شود. بهمین دلیل تصمیم گرفته شد مقدار خازن را به 11.3 MVAR افزایش دهند و فیلتر چهارمی برای هارمونیک پانزدهم پارالل گردد. نمودار حالت نشان داده محدودیتهای ولتاژ و جریان هارمونیکی ارضاء، ولی محدودیت TIF راضی نمی‌گردد. بالاخره طراحان و کارفرمایان مجموعه با برق منطقه‌ای ملبورن تشکیل دادند و آنها را راضی نمودند که محدودیت TIF را در نقطه تلفن حاله این محدودیت در کشورهای دیگر اجرا نمی‌شود.

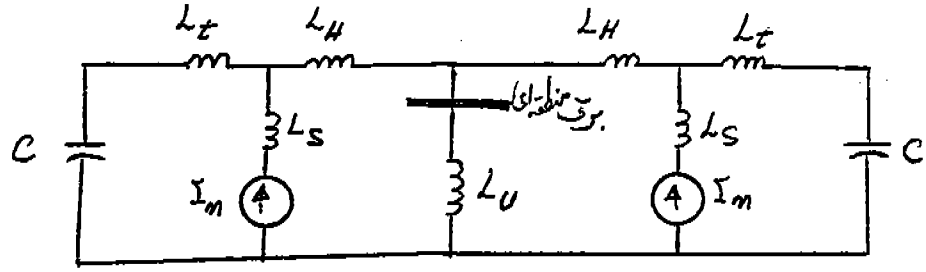
جدول زیر محدودیت های ولتاژ و جریان هارمونیکی آله الکتاوارد IEEE و همچنین الکتاوارد برق منطقه‌ای مذکور بوده است با آنچه که با گزینش چهار فیلتر در طراحی بدست آمده است نشان میدهد.

محدودیت	V_{th} %	I_{th} %
IEEE-519	2.5	8.0
برق منطقه‌ای	3.00	8.0
محاسبه شده	0.47	2.8

۱۶-۷-۲ مورد دوم

در اینجا طراحی یک کارخانه تولید کلر در یک کارخانهٔ موجود مورد بررسی بوده است. برای صرفه جوئی در هزینه ها دو رکتیفایر مورد نیاز مجتمع کلر سازی مستقیماً بر روی ولتاژ 69 KV پست ورودی همانطور شکل زیر که دیاگرام تک خطی طرح را نشان می دهد نصب شده اند.





با ولتاژ 13.8KV

برای اصلاح ضریب قدرت، خازنها در ثالثیه ترانسهای سه سیم پیچه همانطور شکل قرار داده شده اند و قدرت مورد نیاز برای مصارف داخلی مجتمع از محل جداگانه ای تحت ولتاژ 13.8KV برآورده شده است. محدودیت برق منطقه ای با ولتاژ 5000 MVA در این سطح ولتاژ استاندارد شده (Vll) 1.5٪ و

است .

در یک طراحی معمولی وجود فیلتر و طراحی آن در این طرح لازم است اما با توجه با اینکه از ترانس سه سیم پیچه استفاده شده است در همین طرح نیز یک راکتور ($4L$) با خازن سری می باشد . بنابراین بدون استفاده از فیلتری بخودی خود مدار خازن و راکتور ایجاد یک فیلتر می کنند . اما پس از محاسبات معلوم شد راکتور $4L$ مقدار زیادی داشته است فیلتر مذکور فقط هارمونیکهای پائین هارمونیک 3 ام را از بین می برد و نقطه تیون آن پائین تر از هارمونیک 3 ام است . بنابراین نمی توان با عوض کردن یک راکتور با خازن هارمونیکهای پنجم به بالا را از بین برد .

اما محاسبات هارمونیکی نشان داد که محدودیت هارمونیکی ولتاژ به همین صورت نیز ارضاء میشود ولی $T.I.F$ برای این طرح 20,000 بدست آمد که بیشتر از استاندارد برق منطقه ای بود . بنابراین مسئولین طرح مجدداً با مسئولین برق منطقه ای مذاکره نمودند و آنها را قانع کردند که طرح همین صورت اجرا شود ولی اگر شکایتی از طرف مصرفات شد مسئولین کارخانه باید یک راکتور $69\ KV$

۱۶-۱۸

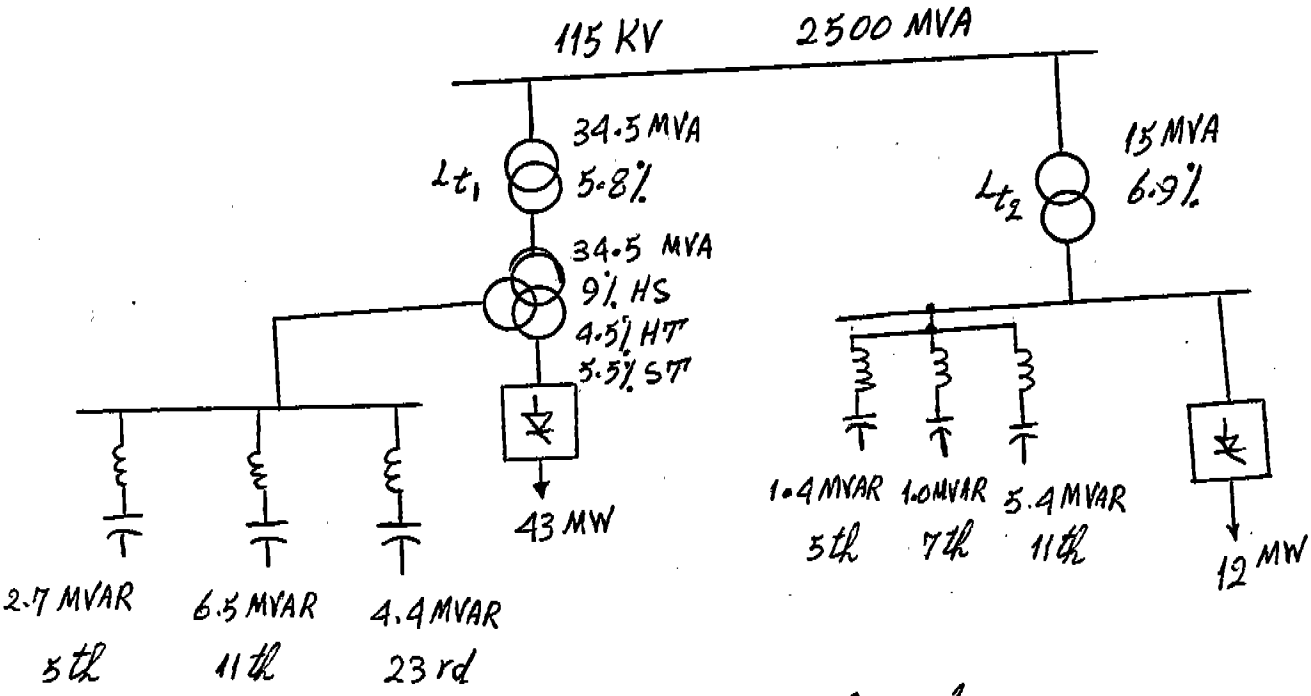
کیلوولتی در مدار ورودی کارخانه قرار دهند.

گذاشتن راکتور در مدار معمولی یک آلترناتیو دیگر بجای فیلتر گذاشتن می باشد چرا که وجود راکتور در مدار ورودی همانطوریکه از دیاگرام معادل این طرح مشخص است باعث کاهش جریان ولتاژ هارمونیکی خواهد شد. ولی عیب اصلی راکتور سری برای کاهش هارمونیک افت ولتاژ دوسر آن در فرکانس اصلی و در نتیجه خراب شدن پروفیل ولتاژ می باشد.

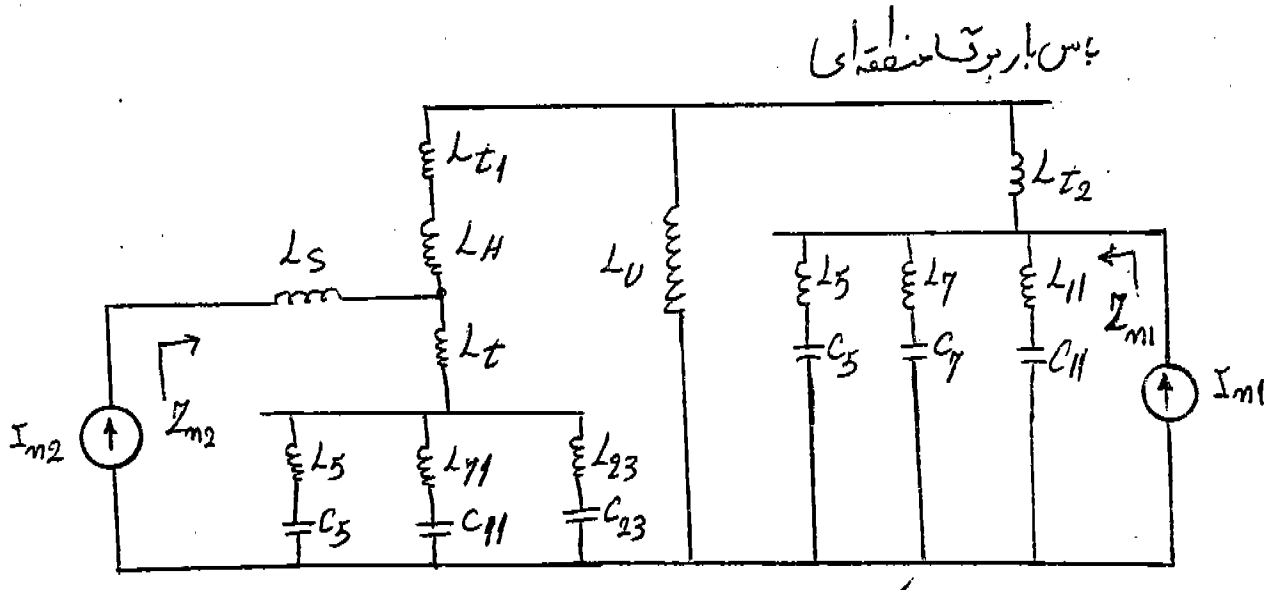
۳-۷-۱۶ مورد سوم

این مورد درباره یک کارخانه ساخت شده کُلر سازی که شامل دو واحد کُلر ساز است و برای هر واحد فیلترهای جداگانه ای منظور شده بود بحث می نماید.

دیاگرام تک خطی کارخانه و همچنین مدار معادل شبکه در شکل زیر رسم شده اند.



(دیاگرام تک خطی کارخانه)

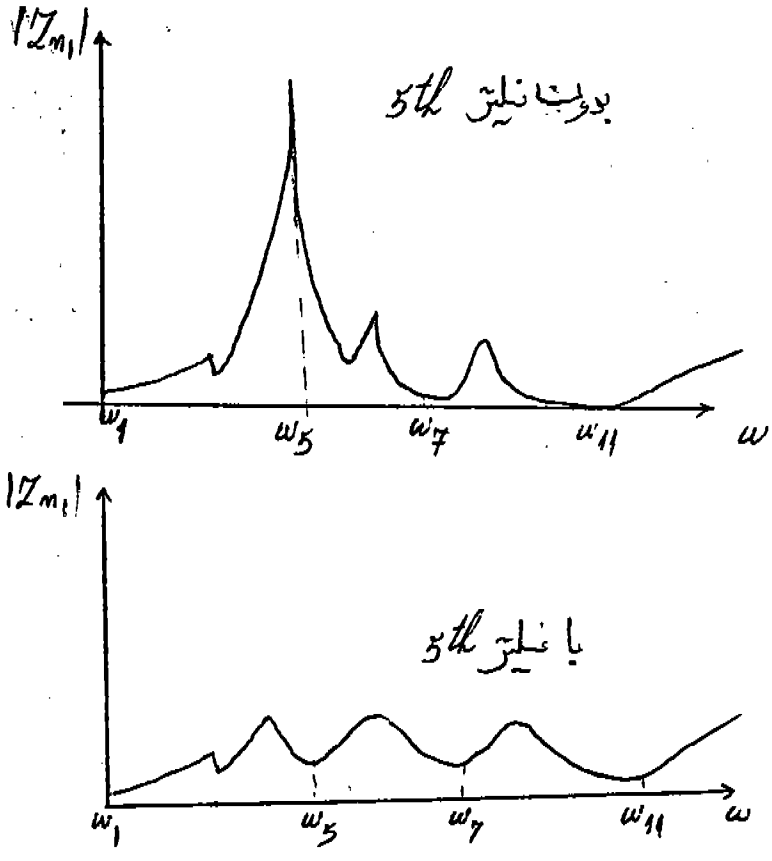


(دیاگرام مدار معادل شبکه)

در یک روز هنگام وصل مجدد کارخانه به شبکه، مشاهده شد که تعدادی فیوز در بانک فیلترهای 1.4 MVAR فیلتر هارمونیک پنجم سوختند. مهندسین برق کارخانه تصمیم گرفتند که فیلترهای 5th، 7th و 11th را از مدار خارج سازند و اینکار را انجام دادند. پس از اینکه فیلتر 5th را برای

تعمیر فیوزهای سوخته شده از بانک فیلترها جدا نمودند. فیلترهای 7th و 11th را مجدداً در مدار قرار دادند. چند ساعت بعد، رله‌ی تور روی فیلتر 11th داغ و مصورت سرخ شده درآمد. علت مشهود شدن این مشکل، مهندسین کارخانه تصمیم گرفتند که رکتیفایر 12MW را همراه با بانکهای فیلترهای آن خارج سازند و موضوع را با مهندسین مشاور در جریان گذاشتند.

در مطالعه اولیه در مورد مشکل، شخصی $|Z_{m1}|$ به حساب نگاشت باوجود فیلتر پنجم و بدون وجود فیلتر پنجم کشیده شد. نتیجه در شکل زیر رسم شده است.



با توجه باشکال بالا واضح است که در اثر خروج فیلتر 5th مدار در فرکانس هارمونیکی پنجم رزونانس می نماید. بنابراین ولتاژ هارمونیکی پنجم بسیار بالا (V5 = I5 * Z5 = V11) در باس بار بانک فیلتری ایجاد میگردد. این ولتاژ زیاد باعث می گردد که جریان زیادی در فیلتر 11th که امپدانس کوچکتری را در برابر این ولتاژ هارمونیک پنجم نشان میدهد برقرار گردد و این جریان زیاد باعث سوختن راکتور هارمونیک 11th شده است. البته جریان در هر دو مدار 7th و 11th برقرار میگردد ولی جریان داخل فیلتر 11th بعلت کم بودن امپدانس آن (توجه شود که توان راکتیو 5.4 MVAR است) بیشتر بوده است.

این مورد پیچیدگی بررسی مسئله هارمونیکی را موضوع نشان میدهد. طراح فیلتر میبایست تمامی منابع هارمونیکی و همچنین حل وسائل موجود در شبکه را کاملاً در نظر گرفته و مسئله را در تمامی شرائط ممکن تحت بررسی و آنالیز قرار دهد. طراحهای فیلتر میبایست از این موضوع که بانک های فیلتری ممکن است بصورت یک منبع جذب هارمونیکی برای منابع هارمونیکی دور از محل تبدیل درآیند آگاه باشند و مسئله میبایست از کلیه جهات مورد بررسی قرار گیرد. تغییرات در یک قسمت از سیستم ممکن است باعث ایجاد مشکل در قسمتی دیگر از سیستم شود.

۱۲-۱۱

در مورد بالا تحقیقات گسترده‌تر نشان داد که مجتمع مسئله هارمونیکی ندارد و کوچکترین فیوزها مربوط به یک دژنکتور نامناسب بوده است که باعث شده است در موقع قطع مسئله Restriking بوجود آمده . . . .

مسئله با تعمیر دژنکتور و جایگزینی راکتور (۱۱th فیلتر) حل شد و مجتمع مجدداً راه‌اندازی شد.