سیزدهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق
۱۱و ۱۲ اردیبهشت ۱۳۸۷- گیلان

ارائه روشی جهت تشخیص و ارزیابی تاثیر هارمونیک بر تلفات خطوط شبکه های توزیع

مهدی توکلی نوید اقتدارپور فرشاد فرامرزی محمد علی کریمی

شرکت برق منطقه ای فارس

کلمات کلیدی: تلفات، مولفه های هارمونیک، THD_i ، TPF ، کیفیت توان

خلاصه :

یکی از مسایل و مشکلات کیفیت برق در سیستمهای قدرت مسئله هارمونیکها می باشد که استفاده روزافزون از بارهای الکترونیکی موجب شده در دهه های اخیر این موضوع مورد توجه زیادی قرار گیرد. یکی از مشکلاتی که هارمونیکها در شبکه ایجاد می کنند تلفات اضافی است که در اثر اعوجاج جریان ایجاد می گردد در همین راستا این مقاله با دیدگاه جدیدی به مساله تلفات هارمونیکی در خطوط می پردازد که با توجه به آن میزان نیاز سیستم به جبران سازی جهت کاهش تلفات مشخص می گردد.

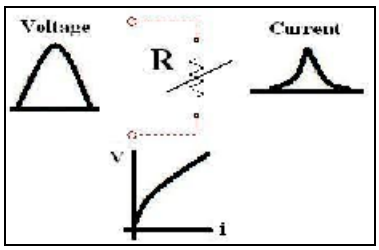
۱- مقدمه:

استفاده روزافزون از مبدل های الکترونیک قدرت و عناصر نیمه هادی در شبکه های قدرت باعث ایجاد اعوجاج هارمونیکی در سیستم قدرت شده است. چرا که این عناصر به طور ذاتی دارای رفتارهای غیر خطی می باشند. بطور مثال درایورهای کنترل کننده سرعت موتورها، دستگاههای جوشکاری، کوره های القایی و الکتریکی، منابع تغذیه مدارات الکترونیکی و ... را می توان نام برد.

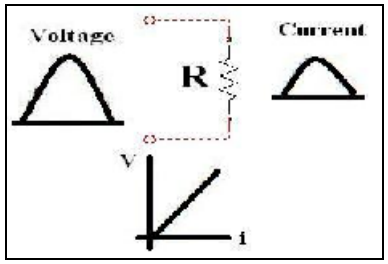
بارهای غیر خطی حتی زمانیکه توسط ولتاژهای سینوسی تغذیه می شوند از شبکه، جریانهای اعوجاج دار (یا دارای هارمونیک) می کشند. در شکل (۱) این مفهوم توسط یک مقاومت غیر خطی نشان داده شده است. در این شکل، ولتاژ اعمالی به مقاومت کاملا سینوسی بوده ولیکن بعلت ماهیت غیر خطی بار جریان دارای اعوجاج می باشد. افزایش چند درصدی ولتاژ ممکن است باعث شود جریان تا دو برابر افزایش یافته و شکل موج آن نیز تغییر یابد[۱] ولیکن اعمال همین ولتاژ سینوسی به بار خطی یک جریان سینوسی از سیستم می کشد که در شکل (۲) نمایش داده شده است.

وجود اعوجاج هارمونیکی در شبکه های قدرت باعث بوجود آمدن آثار نامطلوبی می شود که در ادامه به برخی از آنها اشاره می گردد :

۱- استرس گرمایی بیش از حد که طول عمر تجهیزاتی نظیر کابلها ، ترانسفورمرها و ... را بعلت اضافه بار کاهش می دهد.
۲- استرس عایقی بیش از حد
۳- عملکرد نامطلوب بعضی از تجهیزات
۴- تلفات اضافی
۵- کاهش ضریب توان



شکل ۱ : مشخصه های ولتاژ و جریان تحت بار غیر خطی

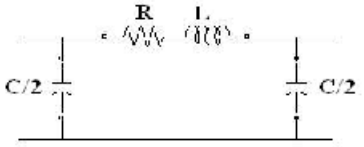


شکل ۲ : مشخصه های ولتاژ و جریان تحت بار خطی

بیشترین درصد تلفات در شبکه های قدرت ناشی از تلفات خطوط می باشد. این تلفات بطور کلی به دو عامل مقاومت و جریان وابسته است. همانطور که گفته شد هارمونیک (اعوجاج) تلفات را افزایش می دهد. در این مقاله سعی شده ابتدا آثار اعوجاج هارمونیکی برروی تلفات مطالعه گردد و سپس روشی پیشنهاد می شود که نخست صفحه دو بعدی بارگذاری هارمونیکی خطوط (TPF و THD_i)، را به نواحی مختلف مشخصه جبران سازی تلفات تقسیم می کند و بعد اطلاعات موجود از بارگذاری خط در این صفحه ترسیم می گردد تا با این عمل بتوان تشخیص داد آیا سیستم نیاز به جبران سازی جهت کاهش تلفات دارد یا خیر؟

۲- تاثیر هارمونیک بر روی پارامترهای الکتریکی خطوط

برای بررسی عملکرد خطوط تحت شرایطی که به بار وصل می باشد از مدل π خطوط با پارامترهای فشرده مطابق شکل (۳) می توان استفاده نمود[۲] . ولیکن از آنجایی که هدف این مقاله بررسی تلفات ناشی از هارمونیک در خطوط می باشد در نتیجه می توان این مدل را به صورت تقریبی ساده کرده و فقط با یک مقاومت در نظر گرفت همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۳ : مدار معادل π خطوط

شکل ۴ : مدار معادل ساده شده خطوط

۲-۱- جریان و ضریب توان

با توجه به اینکه منبع ولتاژ تقریبا سینوسی فرض می شود بنابراین جریان کشیده شده توسط بارهای غیر خطی بصورت اعوجاج دار است. با استفاده از بسط سری فوریه هر شکل موج اعوجاجی پریودیک را می توان بصورت جمعی از شکل موج های سینوسی که فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس موج اصلی می باشد، نشان داد یا بعبارت دیگر مولفه های هارمونیکی شکل موج غیر سینوسی را مشخص کرد [۱]. در رابطه (۱) ارتباط بین مقدار موثر جریان غیر سینوسی با مقدار موثر مولفه های هارمونیکی جریان بیان شده است.

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2} = \sqrt{I_1^2 + I_h^2} \quad (۱)$$

I_n جریان موثر مولفه های هارمونیکی می باشد. مطابق رابطه (۱) مقدار موثر جریان می تواند به دو قسمت اصلی I_1 و هارمونیکی I_h تقسیم شود که با توجه به تعریف پارامتر THD (اعوجاج هارمونیکی کل) بعنوان معمولی ترین معیار عددی جهت نشان دادن اندازه هارمونیک ها به صورت زیر:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{h_{max}} M_n^2}}{M_1} \quad (۲)$$

می توان جریان های اصلی و هارمونیکی I_1 و I_h را به فرم زیر بدست آورد :

$$I_1 = \frac{I_{rms}}{\sqrt{1+THD_i^2}} \quad (۳)$$

$$I_h = \frac{I_{rms}}{\sqrt{1+\frac{1}{THD_i^2}}} \quad (۴)$$

ضریب توان اصلی $Cos\phi_1$ با فرض اولیه، تقریبا سینوسی بودن ولتاژ برابر است با :

$$Cos\phi_1 = TPF\sqrt{1+THD_i^2} \quad (۵)$$

TPF ضریب توان واقعی با در نظر گرفتن مولفه های هارمونیکی می باشد که تعریف دقیق آن عبارت است از[۱-۳] :

$$TPF = \frac{P}{S} \quad (۶)$$

S توان ظاهری و P توان حقیقی است. بنابراین با توجه به روابط (۳) ، (۵) و (۶) جریان اصلی را می توان به دو مولفه اکتیو و راکتیو تقسیم کرد :

(۷)

$$I_1 = I_1\angle\phi_1 = I_1Cos\phi_1 + jI_1Sin\phi_1 = I_{1p} + jI_{1q}$$

در این رابطه I_{1p} جریان اکتیو اصلی و I_{1q} جریان راکتیو اصلی می باشد.

۲-۲- ظرفیت ظاهری عبوری از خطوط

در سال ۱۹۲۷، Constantian I.Budeanu یک مدل ریاضی جهت ظرفیت ظاهری خطوط بدست آورد که به نام مدل Budeanu معروف است . در این مدل ظرفیت ظاهری به سه مولفه اکتیو ، راکتیو و اعوجاجی تقسیم می شود[۱-۳]. طبق رابطه زیر :

$$S = V_{rms}I_{rms} = \sqrt{P^2+Q^2+D^2} \quad (۸)$$

در اینجا P ، Q و D به ترتیب توان های اکتیو ، راکتیو و اعوجاجی را نشان می دهند. بنابراین S نشان دهنده ظرفیت لازم جهت انتقال توان از خطوط می باشد. از آنجایی که اعوجاج باعث بوجود آمدن مولفه های اضافی جریان در شبکه های قدرت می شود در نتیجه ظرفیت مورد نیاز جهت انتقال توان بار بزرگتر می گردد چون علاوه بر انتقال توان اصلی بار باید توان اعوجاجی (هارمونیکی) را نیز درصورت تصحیح نشدن از خود عبور دهد. بدین ترتیب ظرفیت ظاهری رابطه (۸) را می توان به دو قسمت اصلی و هارمونیکی ساده نمود :

$$S^2 = (V_1I_1)^2 + (V_1I_h)^2 + (V_hI_1)^2 + (V_hI_h)^2 \quad (۹)$$

$$S^2 = S_1^2 + S_h^2 \quad (۱۰)$$

S_1 ظرفیت ظاهری اصلی و S_h ظرفیت ظاهری هارمونیکی است. نسبت بین S_1 و S_h با توجه به روابط قبل به صورت زیر می باشد :

$$\left(\frac{S_h}{S_1}\right)^2 = THD_i^2 + THD_v^2 + (THD_i \cdot THD_v)^2 \quad (۱۱)$$

با در نظر گرفتن فرضیات قبلی که منبع ولتاژ، سینوسی فرض شده رابطه فوق با درصد خطای کم به صورت زیر ساده می گردد:

$$\frac{S_h}{S_1} = THD_i \quad (۱۲)$$

طبق رابطه فوق نسبت ظرفیت اشغال شده توسط هارمونیک به توان اصلی بار متناسب با اعوجاج هارمونیکی کل جریان است. بنابراین با افزایش اعوجاج سهم زیادتری از ظرفیت خطوط توسط توان های غیر مفید اشغال می شود.

۳- تلفات خطوط

بخش مهم و عمده ای از تلفات در خطوط تلفات مسی می باشد. بنابراین کاهش آن سهم عمده ای در کم شدن تلفات دارد. تلفات ژول یا تلفات مسی تابعی از مقاومت و مجذور جریان است که طبق رابطه (۱۳) بدست می آید :

$$P_j = \sum_{n=1}^{\infty} R_nI_n^2 = R_1I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} R_nI_n^2 \quad (۱۳)$$

در این رابطه I_n جریان موثر مولفه های هارمونیکی بوده و R_n مقاومت خطوط در فرکانس های هارمونیکی است. مقاومت ac خطوط تحت تاثیر دو اثر مجاورت و پوستی نسبت به مقاومت dc افزایش می یابد. از آنجایی که اثر مجاورت با فاصله بین خطوط و اثر پوستی با فرکانس نسبت مستقیم دارد، لذا با افزایش فرکانس دامنه اثر پوستی بیشتر شده که به تبع آن مقدار مقاومت ac افزایش می یابد. در این مقاله جهت ساده سازی فرض شده که افزایش مقاومت با فرکانس قابل اغماض بوده و R_n تقریبا برابر

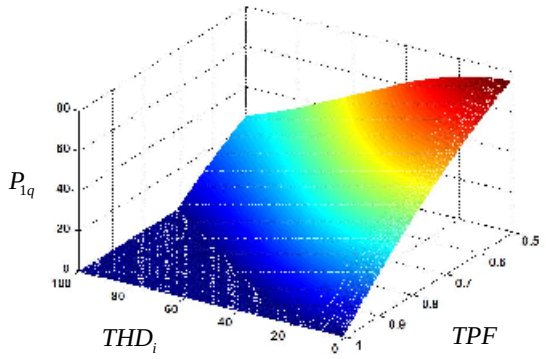
R_1 (مقاومت در فرکانس پایه) در نظر گرفته شده است. بنابراین رابطه (۱۳) را با توجه به روابط (۱) و (۷) می توان بدین صورت بازنویسی کرد :

$$P_j = R_1(I_{1p}^2 + I_{1q}^2 + I_h^2) = P_{1p} + P_{1q} + P_h \qquad (۱۴)$$

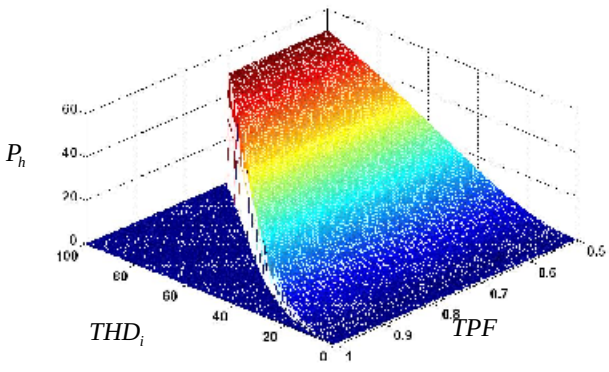
رابطه فوق نشان می دهد که تلفات توان را می توان به دو قسمت تقسیم کرد :

۱) تلفات توان ناشی از جریان اکتیو اصلی (P_{1p}) که مربوط به عملکرد بار بوده و قابل جبران نمی باشد.

۲) تلفات توان ناشی از جریان راکتیو اصلی (P_{1q}) و جریان هارمونیکی (P_h) که نامطلوب بوده و قابل جبران شدن می باشند. بعبارتی دیگر درصورتیکه جریانهای راکتیو اصلی و هارمونیکی در محل بار جبران نشوند می بایستی توسط سیستم تامین گردند که این امر مقداری تلفات به شبکه تحمیل می کند. در شکل های سه بعدی (۵) و (۶) تاثیر دو پارامتر مهم اعوجاج TPF و THD_i بترتیب بر روی تلفات راکتیو اصلی و هارمونیکی نشان داده شده است.



شکل ۵ : نمایش سه بعدی تاثیر پارامترهای هارمونیک بر روی تلفات راکتیو اصلی



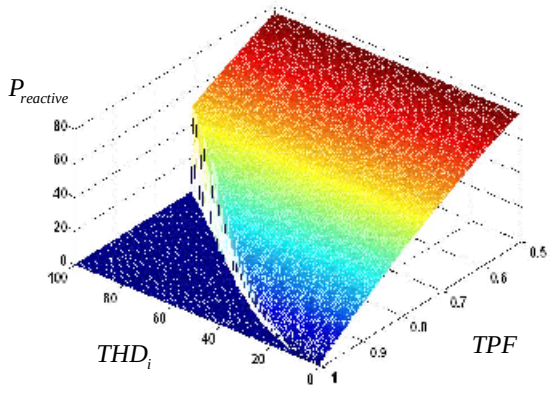
شکل ۶ : نمایش سه بعدی تاثیر پارامترهای هارمونیک بر روی تلفات هارمونیکی

در شکل (۵) مشاهده می شود که تلفات راکتیو اصلی با ضریب توان و اندازه هارمونیک نسبت عکس دارد. ولیکن مطابق شکل (۶) تلفات هارمونیکی با زیاد شدن اندازه هارمونیک افزایش می یابد.

با توجه به اینکه تلفات توان هارمونیکی اساسا ماهیت راکتیوی دارد[۱-۳]. بنابراین هر دو تلفات راکتیو اصلی و هارمونیکی را می توان با هم جمع نمود و به عنوان یک کمیت واحد به نام توان راکتیو کل تعریف کرد :

$$P_{reactive} = P_{1q} + P_h \qquad (۱۵)$$

در شکل (۷) تاثیر هارمونیک برروی تلفات راکتیو کلی نمایش داده شده است.



شکل ۷ : نمایش سه بعدی تاثیر پارامترهای هارمونیک بر روی تلفات راکتیو کلی

با توجه به شکل (۷) تاثیر هارمونیک بر روی تلفات راکتیو کلی با کاهش ضریب توان بیشتر می شود.

۴- نحوه تشخیص نیاز به جبران سازی تلفات

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد فقط بخشی از تلفات مسی خطوط قابل جبران بوده و می توان کاهش داد اما مساله این است که چنین جبرانی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است و اینکه آیا نسبت سود به هزینه قابل توجه می باشد. یکی از روش های تشخیص نیاز سیستم به جبران، استفاده از فاکتور کیفیت توان است که در مقاله [۳] درباره نحوه استفاده از این فاکتور جهت تشخیص، توضیحاتی داده شده است.

$$PQF = \left[\frac{2(TPF)^2 - 1}{(TPF)^2}\right] * 100 \qquad (۱۶)$$

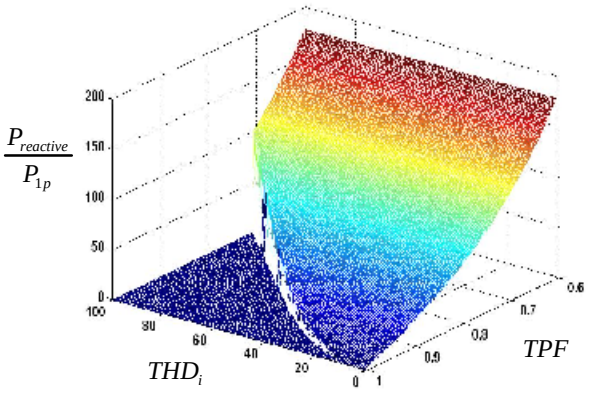
ولیکن ضریب فوق بیشتر متاثر از ضریب توان واقعی بوده و اثر ضریب اعوجاج جریان (THD_i) در آن کمرنگ می باشد. جهت رفع این مشکل، در این مقاله پیشنهاد می شود که در یک فضای سه بعدی (TPF ، THD_i و $\frac{P_{reactive}}{P_{1p}}$) موضوع مورد بررسی قرار گرفته تا از این طریق بتوان نواحی که نیاز به جبران سازی از نظر تلفات دارند، مشخص کرد.

۴-۱- تعریف نواحی نسبت تلفات

از مجموع تلفات کل P_j فقط تلفات جریان هارمونیکی و راکتیو اصلی قابل جبران می باشند. بنابراین با افزایش تلفات راکتیو کلی نسبت به تلفات اکتیو اصلی نیاز سیستم به اصلاح بیشتر می شود. پس یکی از راههای تخمین نیاز به اصلاح شبکه استفاده از نسبت زیر است :

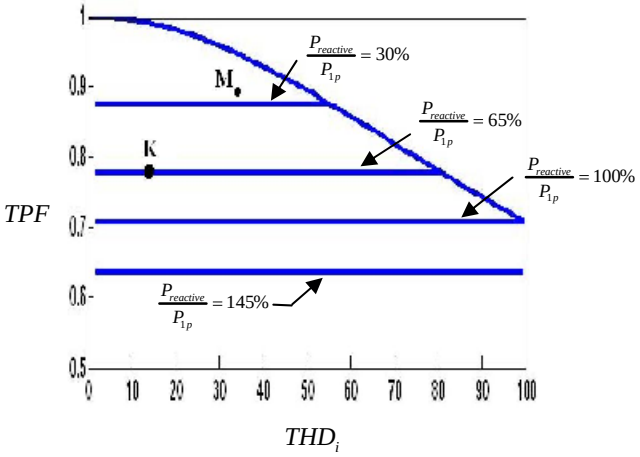
$$\frac{P_{reactive}}{P_{1p}} = \frac{P_{1q}+P_h}{P_{1p}} * 100 = \frac{I_{1q}^2+I_h^2}{I_{1p}^2} * 100 \qquad (۱۷)$$

در رابطه فوق نسبت $\frac{P_{reactive}}{P_{1p}}$ به دو پارامتر متغیر TPF و THD_i وابسته می باشد که در شکل (۸) به صورت یک سطح سه بعدی در صفحه (TPF ، THD_i و $\frac{P_{reactive}}{P_{1p}}$) نشان داده شده است.



شکل ۸ : نمایش سه بعدی تاثیر پارامترهای هارمونیک بر روی نسبت تلفات راکتیو کل به تلفات اکتیو اصلی

شکل (۹) نمایش دو بعدی شکل (۸) در صفحه (TPF و THD_i) به ازای خطوط مختلف نسبت $\frac{P_{reactive}}{P_{1p}}$ می باشد. تغییرات مقادیر هارمونیکی بار با نقاط مختلف در صفحه (TPF و THD_i) در ارتباط است. با توجه به شکل (۹) واضح است که دسته خطوط با نسبت تلفات برابر، صفحه را به نواحی مختلف تقسیم می کند. وقتی که مقادیر هارمونیکی بار در یک ناحیه معین قرار می گیرد نسبت تلفات بصورت تقریبی از طریق خطوط با نسبت برابر قابل تخمین است. بطور مثال اگر بار خط به گونه ای باشد که درنقطه K قرار گیرد در نتیجه با توجه به ناحیه بندی، نسبت تلفات $\frac{P_{reactive}}{P_{1p}}$ این بار برابر با ۶۵ درصد است یا برای نقطه M می توان حدس زد در حدود ۲۵ درصد می باشد.



شکل ۹ : نمایش دو بعدی رابطه (۱۷)

۴-۲- نواحی مشخصه جبران سازی تلفات

در این بخش از مقاله صفحه (TPF و THD_i) را با توجه به معیارهایی که در مقالات مختلف[۱،۳،۵،۷] مورد بحث قرار گرفته است به نواحی متعدد تقسیم کرده بطوریکه با قرار دادن پارامترهای بار هارمونیکی در این صفحه بتوان در یک نگاه تعیین نمود از نظر تلفات، بار هارمونیکی در چه وضعیتی قرار دارد آیا نیاز به جبران سازی جهت کاهش تلفات هست یا خیر؟ بنابراین مطابق شکل (۱۰) صفحه (TPF و THD_i) به ۷ ناحیه مشخصه جبران سازی تلفات تقسیم می شود که به قرار زیر می باشند :

ناحیه A ($Cos\phi_1 > 1$) : از آنجایی که ضریب توان اصلی می بایست همواره کمتر از یک باشد اما طبق را بطه (۵)، $Cos\phi_1$ با پارامترهای TPF و THD_i نسبت مستقیم دارد. بنابراین در بخشی از صفحه (TPF و THD_i) ضریب توان

اصلی بزرگتر از یک می شود که صحیح نمی باشد. با توجه به رابطه زیر ناحیه A دارای این شرایط است.

$$Cos\phi_1 > 1 \quad \Rightarrow \quad TPF\sqrt{1+THD_i^2} > 1 \qquad (۱۸)$$

ناحیه B (بحرانی کلی) : هنگامی که تلفات راکتیو اصلی و هارمونیکی قابل ملاحظه باشند، نسبت تلفات $\frac{P_{reactive}}{P_{1p}}$ مقدار بزرگی را نشان می دهد. بطوریکه در شرایط بحرانی ممکن است این نسبت به بیش از ۱۰۰ درصد برسد. یعنی اینکه تلفات راکتیو کل بیشتر از تلفات اکتیو شده است که تحت این شرایط وضعیت سیستم از نظر کیفیت توان مناسب نبوده و نیاز به رسیدگی زود هنگام جهت کاهش تلفات راکتیو اصلی و هارمونیکی دارد.

ناحیه C (بحرانی هارمونیکی) : همانطور که در بخش (۲-۲) گفته شد ظرفیت مورد نیاز خطوط جهت انتقال توان بار علاوه بر توان اصلی بار به توان هارمونیکی نیز وابسته است. بنابراین هرچه توان هارمونیکی بزرگتر باشد، ظرفیت خط بیشتر اشغال شده و به همان نسبت عبور توان اصلی کاهش می یابد. بر اساس رابطه (۱۲)، اگر THD_i بزرگتر از ۸۰ درصد باشد، در آن صورت بیش از ۴۵ درصد ظرفیت خط توسط توان هارمونیکی (اعوجاجی) اشغال می شود. بنابراین لازم است جهت جبران سازی توان هارمونیکی اقداماتی انجام گردد که ناحیه C در صفحه (TPF و THD_i) این وضعیت (یعنی $S_h > 0.45S$) را نشان می دهد.

ناحیه D (بحرانی $Cos\phi_1$) : از آنجایی که ضریب توان اصلی یکی از شاخص های اصلی کیفیت توان می باشد و در بحث های مختلف مطرح می شود که ضریب توان پایین تر از ۰،۸ مطلوب نمی باشد.

$$Cos\phi_1 < 0.8 \quad \Rightarrow \quad TPF\sqrt{1+THD_i^2} < 0.8 \qquad (۱۹)$$

بنابراین ناحیه D بیانگر کیفیت توان پایین از دید ضریب توان اصلی نامطلوب است که نیاز به جبران سازی جهت کاهش تلفات توان راکتیو اصلی دارد.

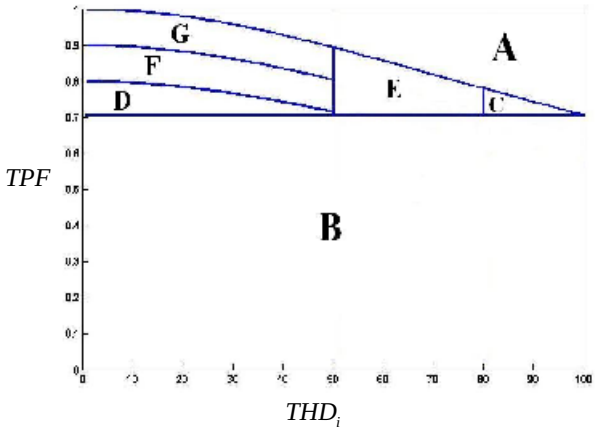
ناحیه E (مجاز هارمونیکی) : در این ناحیه توان هارمونیکی بین ۳۵ تا ۴۵ در صد ظرفیت خط را اشغال می کند که از نظر کیفیت توان مورد قبول است اما از نظر جبران سازی تلفات هارمونیکی می بایست بررسی های بیشتری از دیدگاه سود به هزینه انجام شود تا نیاز به جبران سازی مشخص شود.

ناحیه F (مجاز $Cos\phi_1$) : در صورتیکه ضریب توان اصلی بین ۰،۸ و ۰،۹ باشد. کیفیت توان مجاز بوده اما آنالیز دقیق تری برای تعیین این مساله که آیا جبران سازی تلفات راکتیو از نظر اقتصادی قابل اجرا و عملی می باشد یا خیر، نیاز است.

$$0.8 < Cos\phi_1 < 0.9 \quad \Rightarrow$$

$$0.8 < TPF\sqrt{1+THD_i^2} < 0.9 \qquad (۲۰)$$

ناحیه G (بهینه) : در این ناحیه کیفیت توان در حد مجاز است بطوریکه راکتیو اصلی و هارمونیکی در حد قابل قبول بوده و نیازی به جبران سازی نمی باشد.



شکل ۱۰ : نواحی هفت گانه مشخصه جبران سازی تلفات

۴-۳- روش بررسی نواحی مشخصه جبران سازی تلفات

اولین گام : تقسیم صفحه (TPF و THD_i) مطابق شکل (۱۰) به ۷ ناحیه مشخصه جبران سازی تلفات که در بند قبل توضیح داده شده است.

گام دوم : بررسی نسبت تلفات $\frac{P_{reactive}}{P_{1p}}$ با توجه به شکل تحلیلی که در گام قبل بدست آمده است بدین صورت که مقادیر بارگذاری هارمونیکی خطوط ثبت شده در کنتورها برروی صفحه (TPF و THD_i) ترسیم می شوند. به این ترتیب محدوده نسبت تلفات را می توان تخمین زد و وضعیت کیفیت توان به همراه نیاز به جبران سازی جهت کاهش تلفات مشخص می شود.

گام سوم : توصیه می شود خطوطی که بر اساس گام دوم نیاز به حداقل رساندن تلفات راکتیو دارند، توسط راه کارهای عملی مورد بررسی قرار گیرند. بعضی از این راه کارهای پیشنهادی عبارتند از :

۱) سایز و اندازه خطوط افزایش یابد
۲) اگر تلفات قابل ملاحظه باشد خطی دیگر موازی آن کشیده شود
۳) استفاده از بانکهای خازنی برای کاهش تلفات راکتیو اصلی که در این صورت ممکن است پدیده رزنانس بوجود آید که برای رفع این مشکل اضافه کردن راکتور به خازن پیشنهاد می شود[۱-۳].
۴) درصورت بالا بودن اعوجاج ، بکارگیری فیلتر حذف هارمونیک استفاده گردد.

۵- مثال عملی

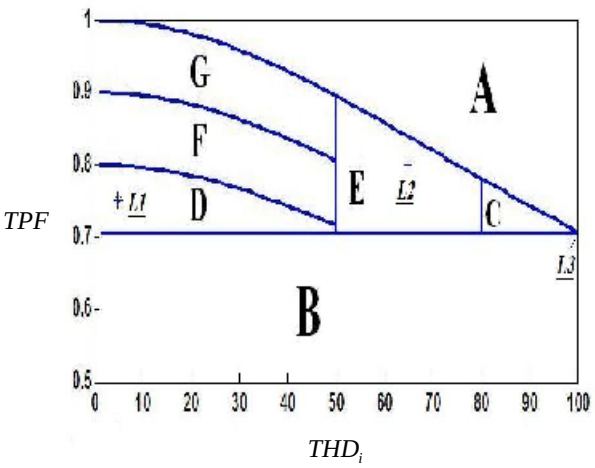
برای بررسی عملی روش پیشنهاد گردیده از برخی نمونه های واقعی اندازه گیری شده درشرکت برق منطقه ای فارس تحت پروژه کیفیت توان و بعضی از اطلاعات مرجع [۱] استفاده گردیده که در جدول (۱) نشان داده شده اند.

خط	مقاومت (اهم)	جریان بار (آمپر)	THD_i	TPF
L1	۰,۸۵۴	۳۸۴	۵	۰,۷۵
L2	۰,۶	۲۰۲	۶۵	۰,۸
L3	۰,۹۴۵	۱۰۵	۹۹	۰,۶۹

جدول ۱ : نتایج اندازه گیری شده

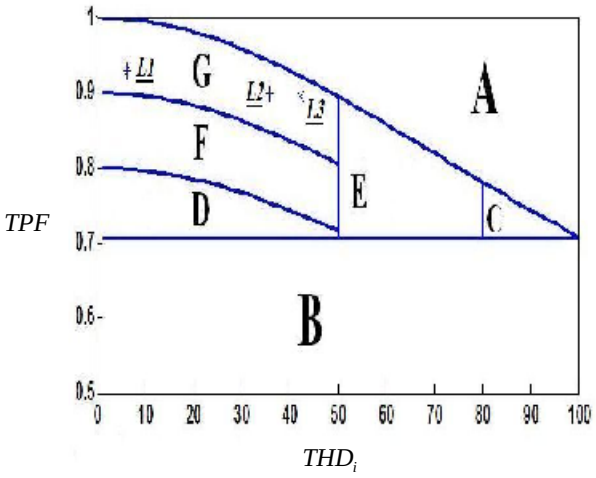
شکل (۱۱) نحوه بارگیری از خطوط ۱ الی ۳ را در صفحه (TPF و THD_i) بیان می کند که به طور بصری با مشاهده این شکل می توان وضعیت هر خط را به صورت زیر تحلیل نمود :

۱- خط L1 با واقع شدن در ناحیه D این مفهوم را می رساند که بار عبوری از این خط از لحاظ ضریب توان اصلی در وضعیت بحرانی قرار دارد یا بعبارتی تلفات راکتیو آن بالا بوده و می بایست با روش های عملی نظیر خازن گذاری اصلاح شود.
۲- خط L2 در ناحیه E بهره برداری می شود. بنابراین این خط در وضعیت مجاز هارمونیکی قرار دارد ولیکن باید از نظر جبران سازی هارمونیکی مطالعات بیشتری انجام گردد که آیا کاهش تلفات هارمونیکی لازم است یا خیر؟
۳- قرار گرفتن خط L3 در ناحیه B نشان دهنده زیاد بودن تلفات راکتیو کلی نسبت به تلفات اکتیو است. یعنی اینکه بار عبوری از نظر هارمونیک یا از نظر ضریب توان اصلی و یا هر دو در وضعیت نا مطلوبی می باشد. پس بایستی عملیات جبران سازی جهت افزایش ضریب توان اصلی و کاهش اندازه هارمونیک انجام شود تا در نهایت تلفات راکتیو کل کاهش یابد.



شکل ۱۱ : نمایش نحوه بارگیری از خطوط ۱ الی ۳ قبل از اصلاح

با توجه به اینکه تقریبا بار هر سه خط نیاز به اصلاح دارد. بنابراین شبکه به گونه ای اصلاح می شود که از این خطوط در ناحیه بهینه (G) بهره برداری گردد (شکل (۱۲)). در نتیجه در این حالت تلفات راکتیو طبق جدول (۲) کاهش می یابد.



شکل ۱۲ : نمایش نحوه بارگیری از خطوط ۱ الی ۳ بعد از اصلاح

خط	تلفات راکتیو کلی قبل از اصلاح (وات)	تلفات راکتیو کلی بعد از اصلاح (وات)	میزان تلفات کاهش یافته (وات)
L1	۵۵۰۹۳	۱۱۳۳۹	۴۳۷۵۴
L2	۸۸۱۳	۳۳۱۹	۵۴۹۴
L3	۵۴۵۸	۱۰۵۲	۴۴۰۶

جدول ۲ : تلفات توان راکتیو کلی قبل و بعد از اصلاح شبکه

نکته قابل ذکر در مورد جدول ۲ پایین بودن تلفات راکتیو خط L3 نسبت به دو خط دیگر است در صورتیکه در بدترین ناحیه صفحه (TPF و THD_i) بهره برداری می گردد. توضیح این مساله متناسب بودن تلفات با مجذور اندازه جریان است و از آنجایی که جریان عبوری از این خط پایین می باشد در نتیجه تلفات آن نیز مقدار کمتری را نشان می دهد. در صورتیکه در شرایط برابر از نظر اندازه جریان، تلفات این خط بیشتر می شد.

۶- جمعبندی و نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا اثرات مولفه های هارمونیکی بر روی تلفات خطوط مورد بررسی قرار گرفت و سپس روشی جهت تشخیص نیاز شبکه به جبران سازی جهت کاهش تلفات بر اساس رابطه بین نسبت تلفات راکتیو کلی به تلفات اکتیو اصلی و پارامترهای بار هارمونیکی در یک فضای سه بعدی پیشنهاد گردید. بر اساس این پیشنهاد نواحی مشخصه جبران سازی تلفات در صفحه (TPF و THD_i) به ۷ قسمت تقسیم شده اند که با توجه به اینکه بارگذاری در چه ناحیه ای از صفحه (TPF و THD_i) قرار می گیرد، نیاز سیستم به جبران سازی جهت کاهش تلفات قابل تخمین است. در نهایت باید راهکارهای عملی مختلف مورد بررسی قرار گیرد تا بهترین راهکاری که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد و از تلفات اضافی در خطوط جلوگیری می کند، انتخاب شود.

۷- مراجع

[1] R.C.Dugan, M.F.McGranaghan, H.W. Beaty, "Electrical Power System Quality", Mc Graw-Hill, 1995.

[2] P.Sh.Kundur, "Power System Stability And Control", Mc Graw-Hill, 1994.

[3] F.L.Tofoli, A.S.Morais, C.A.Gallo, M.R.Sanhueza, "Analysis of Losses in Cables and Transformers Under Power Quality Related Issues", Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04. Nineteenth Annual IEEE, Vol.3, pp. 1521- 1526.

[4] D.Kirschen, G.Strabac, "Fundamentals of Power System Economics", Wiley, 2004.

[5] A.E.Emanuel, "On the Definition of Power Factor and Apparent Power in Unbalanced Polyphase Circuits", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.8, No.3, July 1993, pp.841-852.

[۶] رضا عبدالله زاده سنگرودی، موسی مرزبند و اکبر قصاب زاده، " برآورد میزان تلفات هارمونیکی و بررسی تاثیر شرایط ناشی از کمبود کیفیت توان درشبکه "، دهمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۸۴ ، ص ۳۰۰-۳۰۷.

[7] M.Valcarcel, J.G.Mayordomo, "Harmonic Power Flow for Unbalanced System", IEEE Transactions On Power Delivery, Vol.8, No.4, October 1993, pp.2052-2059.

[۸] علیرضا صفاریان و سید حسین حسینیان، " ارائه روشی نوین در تخمین محل، اندازه و نوع بارهای هارمونیک زا در شبکه قدرت "، بیست و یکمین کنفرانس بین المللی برق، آبان ۱۳۸۵، 98-F-PQA-624.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.