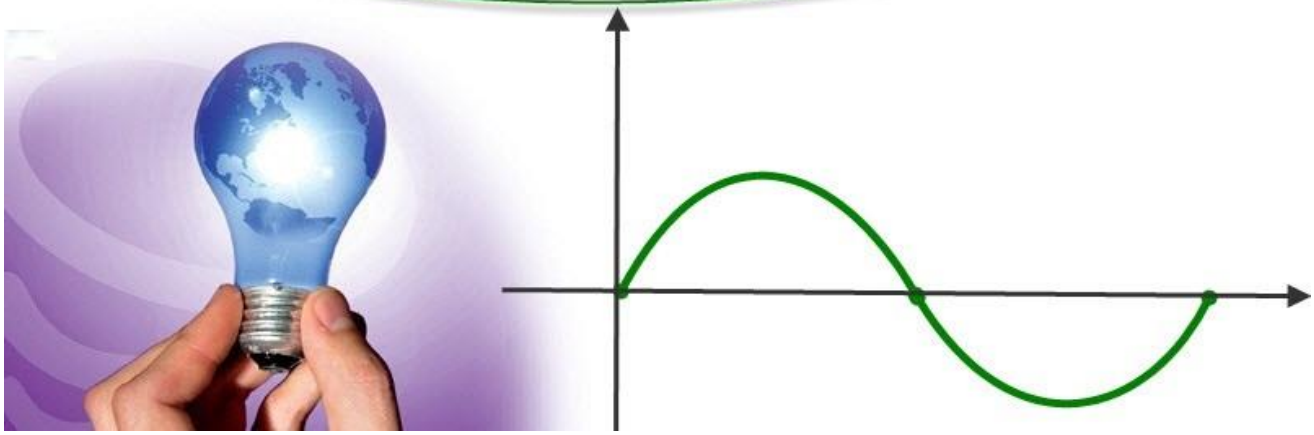
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بسم الله الرحمن الرحیم



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

حدود مجاز هارمونیکها در ادوات سیستمهای قدرت

WikiPower.ir

برای خرید فایل wordاین پروژه اینجا کلیک کنید.
(شماره پروژه = ۴۱۲)
پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فهرست مندرجات

مقدمه ۱

حدود مجاز هارمونیک ها..... ۴

۱- هدف..... ۴

۲- دامنه کاربرد..... ۴

۳- اصلاحات و تعاریف..... ۵

۴- نمادها و یکاها..... ۷

۵- ویژگی ها..... ۹

فصل ۱- شناخت و بررسی هارمونیک ها (اطلاعاتی)

..... ۳۹

فصل ۲- مقررات برخی از کشورها در رابطه با پذیرش مشترکین برق که تولید هارمونیک می نمایند (اطلاعاتی) ۱۳۵

فصل ۳- مقررات برخی از کشورها در رابطه با مقدار مجاز هارمونیک ها در شبکه های برق با ولتاژ مختلف (اطلاعاتی) ۱۴۷

فصل ۴- مقادیر اندازه گیری شده هارمونیک ها در شبکه های برق برخی کشورها..۱۵۳

فصل ۵- روابط ولتاژ جریان و توان در شرایط هارمونیکی

(اطلاعاتی)..... ۱۵۹

منابع و مآخذ..... ۱۷۴

مقدمه :

استاندارد مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) از قسمتهای مختلفی تشکیل شده است که می بایستی همراه مراجع الزامی آنها مورد استفاده قرار گیرند.

در این استاندارد اصول اساسی موردنیاز جهت اتصال بارهای بزرگ اعوجاجی به شبکه و همچنین میزان مجاز هارمونیک ها در شبکه های قدرت آمده است. به عبارت دیگر هدف اصلی این استاندارد تهیه دستورالعملی جهت اتصال بارها و نیز تعیین مقادیر مجاز هارمونیک ها بوده که بتوان با استفاده از آن با ایجاد بستری مناسب، کیفیت برق کلیه مشترکین را از نظر هارمونیک ها بررسی نمود. از سوی دیگر با توجه به اینکه هارمونیک جریان تزریق شده به شبکه ناشی از بارهای غیرخطی و دیگر منابع تولید هارمونیک در بخش های مختلف یک شبکه قدرت می توانند با یکدیگر جمع شوند، لذا تهیه محدوده مقادیر واقعی هارمونیک ولتاژ (سطوح سازگاری هارمونیک ها) در یک شبکه نیز از اهداف این استاندارد خواهد بود. محدوده مجاز بنحوی است که این هارمونیک ها تأثیرات نامطلوبی بر تجهیزات مورد استفاده در شبکه ایجاد ننمایند. چون هارمونیک ولتاژ، ناشی از هارمونیک جریان و امپدانس سیستم در آن فرکانس می باشد لذا محدودیت هایی نیز بر مقدار جریان هارمونیکی اعمال می گردد.

برخی تجهیزات الکتریکی که بخصوص از فن آوری مدرن در ساخت آن ها استفاده شده است باعث اختلال در سیستم قدرت شده و کیفیت برق رسانی را پائین می آورند، بصورتی که باعث تغییر شرایط کار دیگر تجهیزات برقی می گردند. بنابراین ضروری است که شرایط چگونگی اتصال اینگونه تجهیزات که تولید و استفاده از آنها در حال گسترش است تدوین و مشخص

گردد تا شبکه الکتریکی بتواند بطور مناسب و مطمئن برای تجهیزاتی که نسبت به اختلالات حساسیت دارند مورد استفاده قرار گیرد.

در مورد پدیده اختلالات یا اثرات هارمونیک ها بایستی بیان نمود که بیشترین تأثیر ناشی از هارمونیک در ولتاژ بوده ولی هارمونیک جریان نیز ممکن است باعث ایجاد اثرات مستقیمی مانند تداخلات تلفنی گردد.

اثر هارمونیک های ولتاژ و جریان را ممکن است در فاصله دوری از منبع تولید هارمونیک نیز مشاهده نمود.

در رابطه با حل مسائل هارمونیکی بایستی مسائل فنی و اقتصادی ناشی از عوامل زیر را درنظر گرفت:

- شبکه های قدرت بدون استثناء دارای هارمونیک های ولتاژ چه با فرکانس مشخص و یا بصورت طیف پیوسته ای از فرکانس می باشند که فرکانس، دامنه و زاویه فازشان بدون داشتن روند مشخص تغییر می کند.
- کلیه تجهیزات بایستی تحمل هارمونیک های ولتاژ تا حد مشخص را که بصورت منطقی تعیین می گردند داشته باشند و در این شرایط بتوانند کار معمولی خود را انجام دهند.
- امکان اتصال تجهیزاتی که تولید هارمونیک می کنند با قبول شرایطی وجود داشته باشد.

البته این شرایط تنها مربوط به استفاده کنندگان از تجهیزات نمی باشد و بایستی سازندگان تجهیزات را نیز دربرگیرد بصورتی که سازنده، تجهیزاتی را که تولید هارمونیک بیش از حد مجاز کرده و باعث اختلال در سیستم می گردند تولید ننماید.

با توجه به شرایط پیچیده بالا، مسئله محدودکردن هارمونیک ها وقتی امکان پذیر است که شرایط و مقررات بسیار ساده و هماهنگی وجود داشته باشد که بتوان به صورت مطلوب از آن استفاده نمود.

برای تعیین حد مصونیت با مقدار مجاز هارمونیک ها در سیستم بایستی احتمالی بودن پدیده های تعریف شده در بالا را مدنظر داشت. در یک دستگاه، حد اختلال و همچنین حد مصونیت نسبت به زمان و نسبت به یکدیگر تغییر می کند و معمولاً شرایط واقعی عملکرد مانند شرایط زمان آزمون نخواهد بود.

حد سازگاری یا مقدار قابل پذیرش هارمونیک ها که بصورت تقریباً قراردادی تعیین می گردد و از آن بمنظور ایجاد امکان کار مشترک تجهیزات تولیدکننده هارمونیک ها با تجهیزات آسیب پذیر در مقابل هارمونیک ها در سیستم استفاده می گردد باید شناخته شود.

منظور از حد قابل پذیرش برای هر هارمونیک مقداری از هارمونیک است که احتمال تولید مقدار بیشتر از آن بسیار کم است و تنها در حدود ۵ درصد مواقع احتمال دارد که مقدار هارمونیک تولیدشده بیشتر از مقدار تعیین شده توسط حد قابل پذیرش باشد. در ضمن حد قابل پذیرش بایستی طوری تعیین گردد که قسمت اعظم یا تقریباً کلیه تجهیزات با احتمال زیاد بتوانند آن را تحمل کرده و کار عادی خود را انجام دهند.

براساس حد قابل پذیرش مشخص شده می توان آزمون حد مصونیت را برای تجهیزات مختلف انجام داد. حد مصونیت با درنظر گرفتن ضریب اطمینان لازم تعیین می شود و مقدار آن عموماً بیشتر از حد قابل پذیرش یا در موارد کم اهمیت حداقل معادل حد قابل پذیرش است.

برای تعیین حد مجاز تولید هارمونیک های یک تجهیز بایستی حد قابل پذیرش سیستم و اینکه تجهیزات دیگری هم بصورت همزمان کار می کنند در نظرگرفته شود.

حدود مجاز هارمونیک ها

۱- هدف:

هدف از تدوین استاندارد، ارائه حدود مجاز هارمونیک در سطوح مختلف ولتاژ می باشد.

۲- دامنه کاربرد:

این استاندارد بررسی مقادیر مجاز هارمونیک ها، سطوح سازگاری، مصونیت تجهیزات و روش های محاسبه و انتقال هارمونیک در یک شبکه الکتریکی را دربر می گیرد و به کمک آن می توان کیفیت برق در یک شبکه الکتریکی را از دیدگاه هارمونیک ها استاندارد نمود.

۳- اصطلاحات و تعاریف:

در این استاندارد اصطلاحات و/یا واژه ها با تعاریف زیر به کار می روند:

- **سیستم ولتاژ کم [۱](LV)**: شبکه فشار ضعیف توزیع مصارف عمومی (۴۰۰ ولت)
- **سیستم ولتاژ متوسط [۲](MV)**: شبکه فشار متوسط (۲۰ و ۳۳ کیلوولت)
- **سیستم ولتاژ زیاد [۳](HV)**: شبکه فشار قوی فوق توزیع و شبکه فشار قوی انتقال (۶۳ و ۱۳۲ و ۲۳۰ کیلوولت)

---

۱ - low voltage

۲ - Medium voltage

۳ - High Voltage

- **سیستم ولتاژ بسیار زیاد [۱](EHV)**: شبکه فوق فشار قوی انتقال (۴۰۰ کیلوولت)
- **هارمونیک:** مولفه فرکانسی بامرتبه بزرگتر از یک در سری فوریه یک کمیت دوره ای
- **انواع تجهیزات در سیستم قدرت:** این تجهیزات شامل دو رده می باشند:
- وسائلی که تولید هارمونیک های ولتاژ و یا جریان می نمایند.
- وسائلی که در اثر وجود هارمونیک ها عملکرد و یا کارآئی آنها تغییر می کند.

البته برخی وسایل وجود دارند که می توانند همزمان در هردو گروه باشند.

- **سازگاری هارمونیکی:** به توانایی تجهیزات یا سیستم یا عملکرد مطلوب بدون تولید هارمونیک های غیرقابل تحمل برای بقیه تجهیزات و سیستم اطلاق می گردد.
- **حد سازگاری یا قابل پذیرش هارمونیکی:** میزان مشخص شده ای از هارمونیک ها در سیستم بنحوی که تنها در مواقع بسیار کمی، مقدار هارمونیک ها در سیستم می تواند از آن بیشتر گردد.

چنانچه هارمونیک ها در این حد باشند برای اکثر تجهیزات سازگاری هارمونیکی وجود خواهد داشت.

- **هارمونیک غیر مشخصه:** هارمونیک هایی هستند که تجهیزات تولیدکننده هارمونیک بخصوص یکسوکننده ها در طول کار عادی خود تولید نمی نمایند ولی ممکن است در اثر عدم تقارن یا تعادل سیستم برق و یا بعلت اشکالات یکسوکننده ها ایجاد گردند.

[۱] - Extra High Voltage

- **مصونیت هارمونیکی:** توانایی عملکرد مناسب تجهیزات یا سیستم در صورت وجود هارمونیکها
- **حد مصونیت:** حداکثر مقدار هارمونیک مشخص شده ای که تجهیزات یا سیستم با وجود آن می تواند کار عادی خود را انجام دهد.
- **حساسیت و یا آسیب پذیری هارمونیکی:** عملکرد نامطلوب تجهیزات یا سیستم در صورت وجود هارمونیک ها.
- **حد اختلال یا مقدار تولید هارمونیک ها:** مقدار هارمونیک های تولیدشده تجهیزات یا سیستم که از طریقی مشخص اندازه گیری می گردد.
- **حد قابل قبول یا حد مجاز تولید هارمونیک ها:** حداکثر مقدار تعیین شده برای هریک از انواع هارمونیک ها برای یک دستگاه یا تجهیزی که تولید هارمونیک می نماید.
- **نقطه اتصال مشترک [۱](PCC):** نقطه اتصال مشترک با سایر مصرف کنندگان نقطه ای است که مصرف کنندگان جدید درخواست انشعاب بکنند.
- **هارمونیک میانی:** مولفه فرکانسی یک کمیت دوره ای که فرکانس آن ضریب صحیحی از فرکانس مولفه اصلی موج نمی باشد.

۴- نمادها و یکاها

U_{ho}= ولتاژ هارمونیکی شینه بدون حضور کلیه بارها.

[۱] - Point of Common Coupling

K_{hj}= ضریب وابسته

S_{rj}= توان نامی تجهیز موردنظر

S_{sc}= سطح اتصال کوتاه در نقطه اتصال مشترک

U_{hr}= ولتاژ هارمونیک مرتبه hام در نقطه r

a= ضریب ثابت

U_{hi}= ولتاژ هارمونیک مرتبه hام حاصل از منبع iام

G_{hs}= مقدار ماکزیمم هارمونیک hام که توسط بارهای غیرخطی تغذیه شده از شینه تولید می گردد.

C_{hs}= حد قابل پذیرش هارمونیک hام شینه موردنظر.

G_{hu}= مقدار ماکزیمم کل هارمونیک hام در شینه بالادست و تغذیه کننده شینه موردنظر

T_{hus}= ضریب انتقال هارمونیک hام از شینه بالادست به شینه موردنظر.

T_{huu}= ضریب انتقال هارمونیک hام از شینه موردنظر به شینه بالادست.

S_i= قدرت مصرفی مشترک.

S_t= قدرت کل خروجی ممکن شینه یا مجموعه قدرتهای مشترکین مختلف که از شینه تغذیه می شوند.

E_{hi}= حد قابل قبول تولید هارمونیک ولتاژ hام مشترک i ام.

Z_n= امپدنس ورودی در شبکه در فرکانسهای مختلف و در محل اتصال مشترک.

T_{us}= بازده زمانی بسیار کوتاه مدت.

T_{sh}= بازده زمانی کوتاه مدت.

T_L= بازده زمانی بلندمدت

T_D= بازده زمانی یک روزه

T_{Wk}= بازده زمانی یک هفته ای.

N= تعداد دفعاتی که در یک بازده زمانی ۳ ثانیه ای، FFT از یک موج گرفته می شود.

U_{hk}= ولتاژ هارمونیک مرتبه h در اندازه گیری k ام

U_{hvs}= مقدار ماکزیمم ولتاژ هارمونیک در بازده زمانی بسیار کوتاه مدت.

λ= ضریب قدرت مدار

۵- ویژگیها

۵-۱- مفاهیم اساسی، اصول و شرایط عمومی محدودکردن هارمونیک ها

۵-۱-۱- حدود قابل پذیرش

حدود قابل پذیرش مقادیر پایه ای هستند که قبل از تعیین حدود مصونیت و همپنین مقادیر مجاز تولید هارمونیک ها بایستی مشخص گردند. لازم به ذکر است که حد قابل پذیرش برای سیستم های ولتاژ کم (LV)[۱] و ولتاژ زیاد (LV)[۲] دارای معانی یکسانی نیستند. در سیستم ولتاژ متوسط (MV)[۳] و ولتاژ زیاد حدود قابل پذیرش بصورت مستقیم با حدود مصونیت مرتبط نبوده و معمولاً برای هماهنگی بین قسمتهای مختلف سیستم مشخص می گردند.

[۱] - Low voltage
[۲] - High voltage
[۳] - Medium Voltage

هدف نهایی در سیستم با ولتاژ کم نگهداشتن مقدار هارمونیک ها در حدی پائین تر از حد قابل پذیرش است. حد قابل پذیرش در سیستم ولتاژ متوسط و زیاد بسته به شرایط سیستم قدرت و نحوه آن می تواند تغییر نماید. جهت مشخص کردن این تمایز بجای حد قابل پذیرش از عبارت «حد قابل پذیرش مناسب» استفاده می گردد. حدود قابل پذیرش در سیستم ولتاژ کم و حدود قابل پذیرش مناسب در سیستم ولتاژ متوسط توسط کمیته کاری استاندارد بین المللی IEC شماره ۲-۲-۶۱۰۰۰ تعیین شده است که این مقادیر برای هردو سیستم MV, LV یکسان می باشد و در جدول ۱ ارائه شده است. برای سیستم ولتاژ زیاد مقادیر حد قابل پذیرش مناسب از سوی کمیته کاری استاندارد IEC مشخص نشده است.

مقادیر مربوطه به سطوح سازگاری هارمونیک ها، برای هماهنگی بین میزان انتشار و آسیب پذیری یک دستگاه الکتریکی که بخشی از یک شبکه الکتریکی به شمار می رود تهیه شده است. سطوح سازگاری معمولاً براساس سطح احتمال ۹۵ درصد هارمونیک در کل سیستم و با درنظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی آن انتخاب می گردد. در حقیقت با توجه به اینکه شرکت های برق قادر به کنترل کلیه نقاط شبکه در تمامی مواقع نمی باشند. ارزیابی سطوح سازگاری انجام گرفته و نیازی به ارزیابی هارمونیک در کلیه مکان ها نمی باشد.

در ضمن حدود قابل پذیرش برای اعوجاج هارمونیکی کل (THD) در سیستم ولتاژ کم و متوسط را هشت درصد و در سیستم ولتاژ زیاد سه درصد تعیین کرده اند.

مقادیر حد قابل پذیرش در هر کشوری ممکن است با مقادیر فوق تفاوت نماید. این تفاوت بستگی به سیستم قدرت، طرح سیستم و نوع تجهیزات، اندازه و حد مصونیت تجهیزات در مقابل هارمونیک ها و ارزیابی و بررسی های احتمال تداخل و مزاحمت هارمونیک ها خواهد

داشت. به همین دلیل و با توجه به نیازها و خواسته های موردنظر صنعت برق ایران از دیدگاه کیفیت برق استانداردی تدوین گردید تا معیارهای موردنظر صنعت برق و وزارت نیرو در آن گنجانده شود. در این استاندارد مقادیر مجاز هارمونیک های ولتاژ و جریان در سطوح مختلف ولتاژ ارائه شده است که مبنای اصلی این استاندارد نیز می باشد.

جدول ۱- حد سازگاری (قابل پذیرش) هارمونیک های ولتاژ در سیستم ولتاژ کم، متوسط (به درصد نسبت ولتاژ نامی در فرکانس اصلی)

هارمونیک های فرد که مضرب ۳ نمی باشد		هارمونیک های فرد که مضرب ۳ می باشد		هارمونیک های زوج	
مرتبه (h)	ولتاژ کم و متوسط	مرتبه	ولتاژ کم و متوسط	مرتبه (h)	ولتاژ کم 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	$0.2+\frac{1.325}{h}$	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای سیستم ولتاژ کم و متوسط: ۸ درصد			

۵-۱-۲- سطوح طراحی

این مقادیر را می توان در مرحله طراحی سیستم و نیز ارزیابی تأثیر بارهای هارمونیکی مورد استفاده قرار داد. سطوح طراحی معمولاً توسط شرکت های برق و برای تمامی سطوح ولتاژ در

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

آن سیستم مشخص می گردد و از آن می توان بعنوان هدف داخلی شرکت برق یاد کرد. سطوح طراحی برابر یا کمتر از سطوح سازگاری می باشند. این مقادیر بستگی به شرایط و ساختار شبکه دارد. در جدول ۲ مقادیر نمونه ای آن برای سطوح ولتاژ EHV,HV,MV آورده داده شده است.

جدول ۲- مقادیر سطوح طراحی هارمونیک های ولتاژ در سیستم ولتاژ کم، متوسط و زیاد (به درصد نسبت ولتاژ نامی در فرکانس اصلی)

هارمونیک های فرد که مضرب ۳ نمی باشند			هارمونیک های فرد که مضرب ۳ می باشند			هارمونیک های زوج		
مرتبه (h)	ولتاژ کم و متوسط	ولتاژ زیاد	مرتبه	ولتاژ کم و متوسط	ولتاژ زیاد	مرتبه (h)	ولتاژ کم و متوسط	ولتاژ زیاد
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	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای سیستم ولتاژ کم و متوسط: ۵/۶ درصد					
>۲۵	$0.2+\frac{0.525}{h}$	$0.2+\frac{0.525}{h}$	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای سیستم ولتاژ زیاد: ۳ درصد					

۵-۱-۳- تأثیر تجمعی هارمونیک ها

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

هنگام مطالعه هارمونیک ها لازم است که مقدار واقعی هارمونیک جریان و ولتاژ در هر نقطه از شبکه ناشی از بارهای مختلف محاسبه گردد. معمولاً دو روش در این محاسبات مورد استفاده قرار می گیرد.

۵-۱-۳-۱- روش اول

این روش ساده می باشد و از رابطه زیر برای محاسبه هارمونیک ولتاژ استفاده می شود:

$$U_h = U_{ho} + \sum_j K_{hj} U_{hj}$$

که در آن U_{ho} ولتاژ هارمونیکی شینه بدون حضور کلیه بارها می باشد. مقدار ضریب K_{hj} بستگی به عوامل زیر دارد:

- نوع تجهیز موردنظر
- مرتبه هارمونیک
- نسبت بین توان نامی تجهیز موردنظر (S_{rj}) و سطح اتصال کوتاه در نقطه اتصال مشترک S_{sc}
- مقادیر K_{hj} برای تمامی تجهیزات بصورت عمومی در جدول ۳ و برای یکسوکننده غیرکنترل شده همراه با خازن در جدول ۴ آمده است.

جدول ۳- ضریب K_{hj} برای کلیه تجهیزات

S_{rj}/S_{sc}	مرتبه هارمونیک (h)						
	۳	۵	۷	۱۱	۱۳	۱۷	۱۹
<۰/۰۰۱	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	–	–
۰/۰۰۲	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	–

۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۰۰۵
۰/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۷	۰/۷	۰/۰۱۰
۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۰/۰۲۰
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	>۰/۰۵۰

جدول ۳- ضریب K_{hj} برای یکسوکننده غیرکنترل شده همراه با خازن

S_{rj}/S_{sc}	مرتبه هارمونیک (h)						
	۳	۵	۷	۱۱	۱۳	۱۷	۱۹
<۰/۰۰۱	۱	۰/۹	۰/۶	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱
۰/۰۰۲	۱	۰/۹	۰/۶	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۲
۰/۰۰۵	۱	۰/۹	۰/۷	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۳
۰/۰۱۰	۱	۱	۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۴	۰/۴
۰/۰۲۰	۱	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۸	۰/۶	۰/۶
>۰/۰۵۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

WikiPower.ir

۵-۱-۳-۲- روش دوم

هارمونیک ولتاژ در هر نقطه از سیستم، حاصل از جمع برداری هارمونیک های ولتاژ ناشی از منابع مختلف آن نوع هارمونیک خواهد بود. بررسی و مطالعه با جمع آثار هارمونیک ها رابطه زیر را بدست داده است:

$$U_{hr} = [(U_{h1})^a + (U_{h2})^a + (U_{h3}) + ...]^{1/a} = (\sum U_{hi}^a)^{\frac{1}{a}}$$

که U_{hr} ولتاژ هارمونیک مرتبه h ام در نقطه a,r ضریب ثابت و U_{hi} ولتاژ هارمونیک h ام که از منبع iام حاصل می گردد می باشد.

مقدار ضریب ثابت a بستگی به سه عامل زیر دارد:

- حد احتمال کمتربودن هارمونیک های ولتاژ شبکه از یک مقدار مشخص.
- محدوده تغییرات احتمالی و تصادفی دامنه هارمونیک های ولتاژ هر منبع.
- محدوده تغییرات احتمالی و تصادفی زاویه (فاز) هارمونیک های ولتاژ هر منبع.

بدیهی است که هارمونیک های فرد با مرتبه کم دارای مشخصه های زیر هستند.

- این هارمونیک ها در اغلب نقاط شبکه وجود داشته و مقدار آنها قابل ملاحظه است.
- زاویه (فاز) هارمونیک های ولتاژ، محدوده تغییرات نسبتاً کوچکی داشته و این موضوع در مورد هارمونیک های با مرتبه بزرگتر حالت عکس دارد.

با درنظر گرفتن عدد ۹۵ درصد برای حد احتمال کمتربودن هارمونیک های ولتاژ سیستم از یک مقدار مشخص، مقادیر زیر برای ضریب ثابت a حاصل می گردد:

- برای هارمونیک های کوچکتر از پنجم: a=1 (این مقادیر برای هارمونیک های ولتاژ با دامنه ثابت که ممکن است زاویه فازشان بصورت احتمالی و تصادفی بین صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند معتبر است).
- برای هارمونیک های مرتبه پنجم تا دهم: a=1.4 (این مقادیر برای هارمونیک های ولتاژی که ممکن است دامنه آنها بطور احتمالی و تصادفی بین نصف مقدار ماکزیمم و مقدار ماکزیمم تغییر نماید و زاویه فازشان بطور احتمالی و تصادفی بین صفر و ۲۷۰ درجه تغییر نماید معتبر است)
- برای هارمونیک های با مرتبه بیشتر از ده: a=2 (این مقادیر برای هارمونیک های ولتاژی که ممکن است دامنه ولتاژ آنها بطور احتمالی و تصادفی بین مقدار صفر و

ماکزیمم تغییر نماید و زاویه فازشان بطور تصادفی بین مقدار صفر و ۳۶۰ درجه تغییر نماید، قابل قبول است)

توجه: وقتی که هارمونیک ها هم فاز هستند برای هارمونیک های مرتبه پنجم به بالا نیز باید از a=1 استفاده نمود.

۵-۱-۴- حد قابل قبول تولید هارمونیک ها در یک شینه

یکی از کاربردهای اولیه رابطه تعیین مقدار منتجه هارمونیک های ولتاژ یک شینه مشخص است که به آن بارهای هارمونیک زا متصل می گردند. هارمونیک ولتاژ واقعی روی هر شینه از جمع برداری هارمونیک های ولتاژی که از طریق شینه بالادست به این شینه وارد شده و از هارمونیک های ولتاژ بارهای غیرخطی متصل به آن بدست می آید. این هارمونیک ولتاژ نباید با احتمال ۹۵ درصد بیش از حد قابل پذیرش شینه باشد.

بنابراین می توان نوشت:

$$[G_{hu}{}^{a} + (T_{hsu}G_{hs})^{a}]^{1/a} = C_{hu}$$

$$[G_{hs}{}^{a} + (T_{hus}G_{hu})^{a}]^{1/a} = C_{hs}$$

که مقادیر a برای هارمونیک های مرتبه سوم، پنجم و هفتم برابر یک و برای هارمونیک های مرتبه ۱۱ و ۱۳ برابر ۱/۴ و برای هارمونیک های بزرگتر از ۱۳ برابر ۲ می باشد.

حد قابل قبول تولید هارمونیک ها برای تجهیزات متصل به شینه موردنظر می تواند با داشتن ضریب انتقال تعیین گردد. این ضریب بستگی به عوامل زیادی مخصوصاً آرایش شبکه، نوع بارها، وجود خازن ها و غیره دارد. خوشبختانه روش های مناسبی جهت محاسبه ضریب انتقال برای سیستم های پیچیده نیز وجود دارد. یک روش ساده اینست که از نقش بارهای تغذیه

شده توسط شینه، در ایجاد تداخل در شینه بالادست صرفنظر گردد، یعنی Thus=o. با این فرض قسمت اول معادله به صورت زیر در می آید:

$$G_{hu} = C_{hu} \qquad \text{و}$$

و در نتیجه:

$$G_{hs} = [C_{hs}{}^{a} - (T_{hus}C_{hu})^{a}]^{1/a}$$

با داشتن حد قابل پذیرش شینه بالادست و شینه موردنظر و ضریب انتقال Thus می توان با استفاده از رابطه حد قابل قبول تولید هارمونیک ها در بارهای متصل به شینه را بدست آورد. بعنوان اولین تقریب، ضریب انتقال از شینه بالادست به شینه موردنظر، اغلب برابر ۱ در نظر گرفته می شود. این ضریب در عمل بخاطر وجود عواملی در شبکه قدرت ممکن است کمتر از ۱ بوده (حدود ۰/۶۶) یا ممکن است بخاطر تشدید بیشتر از ۱ باشد (بین ۱ تا ۳). شرکت های برق بایستی مقادیر ضرایب انتقال را مشخص نمایند.

۵-۱-۵ حد قابل قبول تولید هارمونیک ها برای هر مشترک

به هر مشترک تنها بخشی از حد قابل قبول تولید هارمونیک در شینه می تواند اختصاص داده شود.

یک پیشنهاد منطقی می تواند این باشد که با توجه به S_t, S_i حد قابل قبول تولید هارمونیک هر مشترک تعیین گردد.

با استفاده از رابطه ۲ خواهیم داشت:

$$E_{h1}{}^{a} + E_{h2}{}^{a} + E_{h3}{}^{a} + \ldots)^{1/a} = G_{hs}$$

یا:

$$E_{h1}{}^{a} + E_{h2}{}^{a} + \ldots = G_{hs}{}^{a}$$

اگر حد قابل قبول تولید هارمونیک هر مشترک متناسب با قدرت مصرفی آن باشد، رابطه زیر برای حد قابل قبول تولید ولتاژ هارمونیک h ام هر مشترک i حاصل می گردد:

$$E_{hi} = G_{hs}(Si/St)^{1/a} \qquad \text{ویا} \quad E_{hi}{}^{a} = G_{hs}{}^{a} \times (Si/St)$$

رابطه فوق بر این فرض استوار است که حداقل مقدار S_t برابر مجموع مقادیر S_iها باشد و همچنین مقدار a مانند گذشته برای هارمونیک های ۳ و ۵و ۷ برابر یک و برای هارمونیک های ۱۱ و ۱۳ برابر ۱/۴ و برای هارمونیک های بزرگتر از ۱۳ برابر ۲ می باشد.

مقدار حد قابل قبول هارمونیک های جریان هر مشترک از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_{hi} = E_{hi} / Z_i$$

روابط فوق برای مشترکین با بار کم ممکن است محدودیت های زیادی را ایجاد کند. جهت احتراز از مسئله فوق، پیشنهاد شده است که چنانکه حد قابل قبول تولید هارمونیک ها از روابط فوق کمتر از ۰/۱ درصد بدست آید مقدار ۰/۱ درصد بعنوان حد قابل قبول تولید هارمونیک ها برای مشترک انتخاب شود.

۵-۱-۶- حقوق مشترکین

از عوامل مهمی که در تعیین استاندارد کیفیت برق نقش اساسی دارد، حقوق مشترکین تحت پوشش این استاندارد است. اصولاً با توجه به تعاریف کیفیت برق و نیز تعاریف بکار گرفته شده

در خصوص هارمونیک ها، مشترکین برق در هر رده ای از نقطه نظر مصرف به حقوق مشخص و اولیه ای آشنا می شوند که می تواند به هر تقدیر بر تعیین استاندارد تأثیر بسزایی را داشته باشد. به عنوان مثال اعمال محدودیت هارمونیکی بصورت مقدار جریان های هارمونیکی برای تمامی مشترکین نمی تواند چندان عادلانه باشد زیرا در آن، سهم هر مشترک از میزان کل بار در نظر گرفته نمی شود و برای مشترکین کم مصرف این امکان را بوجود می آورد که درصد بالایی از هارمونیک ها (نسبت به کل مصرف آن مشترک) را به سیستم اعمال نمایند، در حالی که یک مشترک پرمصرف نمی تواند از این امکان بهره مند شود. بنابراین از دیدگاه مشترکین مختلف این نوع اعمال محدودیت ناعادلانه می باشد. از سوی دیگر این امکان وجود دارد که محدودیت ها به صورت مقدار هارمونیک ولتاژ بیان شود در این حالت نیز معیار وضع شده می تواند غیرمنصفانه باشد، زیرا مشترکینی که به شینه قوی (امپدانس کم) متصل هستند می توانند جریان هارمونیکی بیشتری را نسبت به مشترکینی که به یک شینه ضعیف (امپدانس بالا) وصل هستند تولید نمایند. در نتیجه بعضی از مشترکین از حقوق بیشتری برخوردار خواهند شد. از سوی دیگر استفاده از محدودیت هارمونیک ولتاژ یک عامل محدودکننده غیرمنصفانه برای مشترکین جدید می باشد، چرا که متصل شدن این مشترکین موجب افزایش هارمونیک ولتاژ و در نتیجه تجاوز از حدود تعیین شده می گردد، درحالیکه ممکن است هارمونیک جریانی که این مشترک ایجاد می کند نسبت به مصرف آن زیاد نباشد. این امر موجب استفاده از تجهیزات اضافی جهت کاهش هارمونیک ها می گردد که بالطبع برعهده مشترک جدید قرار می گیرد که امری ناعادلانه خواهد بود. بنابراین در اعمال استاندارد مناسب لازم است مطالب عنوان شده در قبل ملحوظ شود.

۵-۱-۷- عوامل تأثیرگذار بر تعیین محدودیت های هارمونیک

همچنانکه اشاره گردید عواملی متنوعی بر تعیین محدودیت های هارمونیکی تأثیرگذار هستند. به هر حال طبیعت هر مشترک باید کاملاً مدنظر قرار گیرد. بطور کلی در تعیین محدودیت هارمونیکی طبقه بندی مشترکین می تواند عامل مهمی در تعیین محدودیت های هارمونیکی به صورت عادلانه باشد. برای این امر، با توجه به شرایط اشاره شده دو مسئله عمده باید مدنظر قرار بگیرند.

- اطمینان از اینکه تجهیزات مورداستفاده تحت تأثیر هارمونیک ها قرار نمی گیرند.
- مقدار تجمعی هارمونیک ها ناشی از بارهای مختلف در حد قابل قبولی قرار گیرد.

تحقیقات نشان می دهد که تدوین استاندارد هارمونیک های ناشی از بارهای کوچک مانند لوازم خانگی، به سهولت امکان پذیر نیست. چرا که بدلیل طبیعت تصادفی استفاده از لوازم خانگی تعیین محدودیت هارمونیکی بسیار مشکل می گردد. در مورد بارهای صنعتی به دلیل مشخص تر بودن ماهیت مشترک و نیز معین بودن ضریب همزمانی مصارف مختلف آن واحد صنعتی، اعمال محدودیت های هارمونیکی راحت تر امکان پذیر است.

۵-۱-۸ فلسفه تعیین محدودیت ها

فلسفه تعیین استاندارد محدودیت هارمونیک ها در دو مقوله مختلف قرار می گیرد. این استاندارد باید حدود هارمونیک های جریان هر مشترک و همچنین حداکثر هارمونیک های ولتاژ در هر شینه را تعیین و توصیه نماید. با این فلسفه می توان اثرات بارهای تکی و نیز تجمعی بارهای هارمونیک زا را مدنظر قرار داد.

از سوی دیگر استاندارد باید منافع همگانی، چه از نقطه نظر مشترک و چه از نقطه نظر شرکت های برق را مدنظر قرار دهد. به عبارت دیگر با توجه به اینکه حذف کامل هارمونیک ها امکان پذیر نیست، لذا در واقع بایستی بین عوامل اقتصادی و نیز کاهش هارمونیک ها تعادلی برقرار نمود. در استاندارد تهیه شده سعی شده است که با تعیین حدود مشخص برای شاخص های هارمونیکی در هر شینه، اثرات هارمونیک ها در بقیه شینه ها در محدوده قابل قبولی قرار بگیرد. این شاخص ها بنحوی تعیین شده اند که متناسب با تأثیر هارمونیک ها باشند. از سوی دیگر اندازه گیری شاخص ها باید براحتی امکان پذیر باشد.

در این استاندارد پیشنهاد شده است که با توجه به پیچیدگی تولید هارمونیک و اثرات تجمعی بارهای مختلف، مطالعات کامپیوتری هارمونیکی و نیز اندازه گیری هارمونیک ها در پریودهای زمانی مختلف صورت پذیرد.

از سوی دیگر مطالعات لازم توسط مشترکین بزرگ که عامل تولید هارمونیک می باشند بصورت تعیین وضعیت داخلی سیستم و نیز تأثیر بر شبکه توزیع انجام پذیرد. این مطالعات بطور کلی باید در رابطه با میزان تولید هارمونیک تجهیزات مختلف و امکان ایجاد تشدید در سیستم انجام شود.

در تعیین حدود مجاز اعوجاج ولتاژ و جریان باید عدم همزمانی بین عوامل ایجاد جریان هارمونیکی در نظر گرفته شود. این عدم همزمانی از دو دیدگاه مختلف یکی اختلاف زمانی در تولید مقادیر هارمونیکی هر مشترک و دیگری اختلاف فاز بین هارمونیک های هم مرتبه تولیدشده توسط تجهیزات مختلف ارائه می گردد.

پیشنهاد دیگر این استاندارد بدین صورت است که اگر میزان جریان هارمونیکی هر مشترک در زیر حدود تعیین شده توسط استاندارد قرار بگیرد، لیکن مقادیر حدود مجاز هارمونیک ولتاژ رعایت نگردد، لازم است که با هماهنگی لازم بین مشترکین و شرکتهای برق تمهیدات لازم مانند استفاده از فیلتر یا جابجایی خازن در شینه های مختلف شرایط مناسب فراهم آید.

۵-۲- استاندارد مجاز هارمونیک ها در شبکه برق ایران

استاندارد هارمونیک ها در ایران حدود هارمونیک های جریان مجاز هر مشترک و همچنین حداکثر هارمونیک های ولتاژ که در شبکه با ولتاژهای مختلف در نقطه تحویل برق به مشترک می تواند وجود داشته باشد را تعیین و توصیه می نماید. به طور کلی شاخص های هارمونیکی زیر جهت این استاندارد تعیین گردیده اند:

- اعوجاج تکی و کلی ولتاژ
- اعوجاج تکی و کلی جریان

اتکای تنها به حدهای مجاز شاخص های هارمونیکی همواره باعث جلوگیری از مسائل و مشکلات نمی گردد که در نتیجه لازم است در زمان تغییرات شکل سیستم قدرت، بررسی های هارمونیکی تکرار گردد. بطور کلی مشترک بایستی مطالعات لازم در مورد سیستم داخلی برق خود را انجام داده و موارد زیر را تأیید نماید:

- خازن های اصلاح ضریب قدرت و یا فیلترهای هارمونیکی بیش از حد تحمل خود تحت فشارهای ناشی از هارمونیک ها نمی باشند.
- رزونانس یا تشدید سری یا موازی وجود ندارد.

- مقادیر هارمونیک ها یعنی اعوجاجهای تکی و کلی جریان و ولتاژ در محل اتصال به شبکه از حدود مشخص شده در این استاندارد پایین تر می باشند.

در این استاندارد سقف بار یا سقف دیماند که به علت کمی مصرف نیاز به بررسی هارمونیک های آنها نمی باشد به طور مشخص تعیین نگردیده است. این سقف بار که می تواند حدود ۰/۱ تا ۱ درصد قدرت اتصال کوتاه نقطه محل اتصال مشترک به شبکه باشد یا توجه به امکانات و وضعیت شرکت های برق رأساً توسط خود شرکت های برق تعیین می گردد.

فلسفه تعیین حدود مجاز برای هارمونیک ها در این استاندارد به شرح زیر است:

- محدود کردن تزریق هارمونیک توسط هر مشترک به صورتی که باعث اعوجاج ولتاژ غیرقابل قبول در شرایط عادی کار سیستم برق نگردد.
- محدودکردن اعوجاج کلی ولتاژ در سیستم برق بخصوص در محل تغذیه مشترکین.

اعوجاج ولتاژ در سیستم تابعی از کل جریان های هارمونیکی تزریقی و امپدانس سیستم در هر فرکانس هارمونیک ها می باشد. کل جریان های هارمونیکی تزریق شده بستگی به تعداد و اندازه مشترکین دارد که تولید هارمونیک جریان می نمایند.

در نتیجه روش منطقی برای محدودکردن جریان های هارمونیکی برای هر مشترک، تعیین حدود مجاز جریان های هارمونیکی براساس اندازه و یا مقدار بار هر مشترک می باشد. مشترکین بزرگتر بخاطر اینکه قسمت بیشتری از بار را مصرف می کنند امکان بیشتری برای تزریق جریان های هارمونیکی به سیستم خواهند داشت.

۵-۲-۱- حدود مجاز اعوجاج جریان برای هر مشترک

اتکای تنها به حدهای مجاز شاخص های هارمونیکی ولتاژ همواره باعث جلوگیری از مسائل و مشکلات نمی گردد در نتیجه لازم است در زمان تغییرات شکل سیستم قدرت، بررسی های هارمونیکی تکرار گردد. به طور کلی مشترک بایستی مطالعات لازم در مورد سیستم داخلی برق خود را انجام داده و موارد زیر را تأیید نماید:

- خازن های اصلاح ضریب قدرت و یا فیلترهای هارمونیکی بیش از حد تحمل خود تحت فشارهای ناشی از هارمونیک ها قرار نگیرند.
- رزونانس یا تشدید سری یا موازی وجود نداشته باشد.
- مقادیر هارمونیک ها یعنی اعوجاج های تکی و کلی جریان و ولتاژ در محل اتصال به شبکه از حدود مشخص شده در این استاندارد به شرح زیر است:
- محدودکردن تزریق هارمونیک توسط هر مشترک به صورتی که باعث اعوجاج ولتاژ غیرقابل قبول در شرایط عادی کار سیستم برق نگردد.
- محدودکردن اعوجاج کلی ولتاژ در سیستم برق بخصوص در محل تغذیه مشترکین.

اعوجاج ولتاژ در سیستم تابعی از کل جریان های هارمونیکی تزریقی و امپدانس سیستم در هر فرکانس هارمونیک ها می باشد. کل جریان های هارمونیکی تزریق شده وابستگی به تعداد و اندازه مشترکین دارد که تولید هارمونیک جریان می نمایند.

در نتیجه روش منطقی برای محدودکردن جریان های هارمونیکی برای هر مشترک، تعیین حدود مجاز جریان های هارمونیکی براساس اندازه و یا مقدار بار هر مشترک می باشد. مشترکین بزرگتر بخاطر اینکه قسمت بیشتری از بار را مصرف می کنند امکان بیشتری برای تزریق جریان های هارمونیکی به سیستم خواهند داشت. این موارد در محاسبه تعیین مقادیر

مجاز انتشار هارمونیک ها که در بخش های قبل توضیح داده شد بطور کامل مورد استفاده قرار گرفته است.

حدود اعوجاج هارمونیکی مشخص شده در این استاندارد ماکزیمم مقدار مجاز اعوجاج جریان هر مشترک می باشد. مقدار مجاز اعوجاج جریان با توجه به مقدار ماکزیمم جریان مصرفی هر مشترک و بصورت درصدی از آن تعیین می گردد.

جداول ۵، ۶ و ۷ حدود مجاز جریان های هارمونیکی را براساس اندازه بار مصرفی مشترکین نسبت به اندازه و قدرت شبکه برق در نقطه محل تغذیه یا اتصال مشترک در سیستم های با ولتاژ مختلف را ارائه می دهد. حدود ارائه شده در جداول فوق برای مشترکین عمومی و آنهایی که دارای یکسوکننده های شش ضربه ای هستند صادق می باشند. اگر یکسوکننده ها به نحوی باشد که نتیجه آن برای سیستم تغذیه بصورت یکسوکننده های بیش از شش ضربه ای به حساب آید حدهای مجاز برای انواع هارمونیک های مشخصه آنها متناسب با ضریب $\sqrt{\frac{q}{6}}$ که q مشخص کننده تعداد ضربه آنها می باشد و اندازه مجاز انواع هارمونیک های غیرمشخصه آنها به مقدار ۲۵ درصد مقادیر تعیین شده در جداول ۵ تا ۷ کاهش می یابد.

در رابطه با استفاده از حدود مجاز اعوجاج جریان هارمونیکی مشخص شده در جداول ۵ تا ۷ باید ظرفیت ترانسفورماتورهای ارتباطی بین مشترک و شرکت برق نیز موردبررسی قرار گیرد به نحوی که از ترانسفورماتوری که مصرف کننده را به شرکت برق ارتباط می دهد بیش از معادل ۵ درصد ظرفیت ترانسفورماتور جریان هارمونیکی عبور نکند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵-۲-۲- حدود مجاز اعوجاج ولتاژ در شبکه

جدول ۸ حدود مجاز اعوجاج ولتاژ در شینه های محل تغذیه مشترکین در ولتاژهای مختلف را نشان می دهد در این جدول حد اعوجاج هارمونیک ولتاژ، همچنین حد اعوجاج کلی ولتاژ به درصد داده شده است.

هرگاه در قسمتی از شبکه برق رسانی اعوجاج ولتاژ از مقادیر حدی جدول ۸ تجاوز کند لازم است شرکت های برق اقدام به اندازه گیری هارمونیک ها در نقاط مختلف شبکه خود نمایند تا مشترک یا مشترکینی که دارای سیستم های هارمونیک بوده و بیش از حد مجاز تولید جریان هارمونیکی می نمایند مشخص گردند. بایستی از اینگونه مشترکین خواسته شود که با تمهیداتی از جمله نصب فیلتر مقدار جریان هارمونیکی تزریقی خود را تا حدود مجاز کاهش دهد.

جدول ۵- حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه های توزیع ۳۸۰ ولت، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت

WikiPower.ir

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک										
بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n									اعوجاج کلی جریان
	n<11		11≤n<17		17≤n<23		23≤n<35		n≥35	
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج
R > 5	۴	۱/۰	۳/۰	۰/۵	۱/۵	۰/۴	۰/۶	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۵

5≥R>2	۷	۱/۷	۳/۵	۰/۹	۲/۵	۰/۶	۱/۰	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۸
2≥R>1	۱۰	۲/۵	۴/۵	۱/۱	۴/۰	۱/۰	۱/۵	۰/۴	۰/۷	۰/۲	۱۲
1≥R>0.1	۱۲	۳/۰	۵/۵	۱/۴	۵/۰	۱/۲	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۱۵
R≤0.1	۱۵	۳/۸	۷/۰	۱/۷	۶/۰	۱/۵	۲/۵	۰/۶	۱/۴	۰/۳	۲۰

جدول ۶- حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین فوق توزیع ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک										
بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n									اعوجاج کلی جریان
	n<11		11≤n<17		17≤n<23		23≤n<35		n≥35	
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	
R > 5	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۲/۵
5≥R>2	۳/۵	۰/۹	۱/۷	۰/۴	۱/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۰	۴
2≥R>1	۵/۰	۱/۲	۲/۲	۰/۶	۲/۰	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۶/۰
1≥R>0.1	۶/۰	۱/۵	۲/۷	۰/۷	۲/۵	۰/۶	۱/۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱	۷/۵
R≤0.1	۷/۵	۱/۹	۳/۵	۰/۹	۳/۰	۰/۷	۱/۲	۰/۳	۰/۷	۰/۲	۱۰/۰

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۷- حدود مجاز اعوجاج جریان برای شبکه های انتقال فشارقوی ۲۳۰ و ٤۰۰ کیلوولت ایران

ماکزیمم اعوجاج جریان مجاز هر مشترک به درصد نسبت به ماکزیمم جریان مصرف یا دیماند بدون هارمونیک مشترک										
بزرگی مشترک یا درصد ماکزیمم جریان مصرفی (دیماند) بدون هارمونیک به جریان اتصال کوتاه محل تغذیه (R)	اعوجاج تکی جریان هر هارمونیک مرتبه n									اعوجاج کلی جریان
	n<11		11≤n<17		17≤n<23		23≤n<35		n≥35	
	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج	فرد	زوج
R > 5	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	۲/۵
R≤0/1	۳/۰	۰/۷	۱/۵	۰/۴	۱/۱	۰/۳	۰/۴	۰/۱	۰/۲	۰/۰۵	۴/۰

WikiPower.ir

جدول ۸- حدود مجاز اعوجاج ولتاژ در شبکه

ماکزیمم اعوجاج ولتاژ مجاز در شینه های با ولتاژهای مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز			
ولتاژ شینه	اعوجاج تکی ولتاژ هارمونیک		اعوجاج کلی ولتاژ
	فرد	زوج	
۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلوولت	۳/۰	۱/۵	۵/۰
۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت	۱/۵	۰/۷	۲/۵
۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت	۱/۰	۰/۵	۱/۵

۵-۲-۳- اعوجاج هارمونیکی در شرایط گذرا

همانطور که می دانیم هارمونیک های گذرا یا کوتاه مدت احتمالاً اثر کمتری را نسبت به هارمونیک های پایدار و ثابت روی تجهیزات شبکه دارند. هرچند تأثیر آنها در مورد سیستم های کنترل و مخابراتی مشابه هارمونیک های پایدار می باشد. در نتیجه چنانچه اعوجاج جریان ناشی از هارمونیکهای مشترکین برای مدت کوتاهی، (کمتر از یک ساعت در روز) از مقادیر حدود معین شده در این استاندارد بیشتر گردد این افزایش ممکن است با نظر شرکت های برق تا مقدار ۵۰ درصد افزایش نسبت به مقادیر جداول ۵ تا ۷ به صورت مجاز شناخته شود.

۵-۲-۴- روش ارزیابی مشترکین جدید تولیدکننده هارمونیک

اگر بررسی و مطالعات اولیه اضافه شدن مشترک جدید به شبکه مشخص نماید که مقدار هارمونیک های جریان و یا اعوجاج تکی و کلی جریان کمتر از حدود تعیین شده در این استاندارد می باشند بررسی و مطالعات بیشتری موردنیاز نبوده و مشترک جدید می تواند مورد پذیرش قرار گیرد.

اگر مقدار اعوجاج تکی و کلی جریان بیش از مقادیر تعیین شده در این استاندارد باشد لازم است محاسبات لازم جهت تعیین اعوجاج های ولتاژ تکی و کلی در شینه محل تغذیه انجام گیرد.

در صورتی که نتایج بدست آمده از حدود مجاز اعوجاج تکی و کلی ولتاژ تعیین شده در این استاندارد کمتر باشد و آزمون های محلی جهت تعیین مقادیر زمینه ای اعوجاج ولتاژ و همچنین میزان تولید هارمونیک های دیگر مشترکین اجازه دهد، مشترک جدید می تواند با تعیین شرایطی که توسط شرکت برق تعیین می گردد پذیرفته شود.

۵-۲-۵- مقادیر مجاز هارمونیک های میانی

تا به حال مقادیر هارمونیک های میانی ولتاژ به طور کامل بررسی نشده است. به هر حال مطالب زیر به اثبات رسیده است:

- سیکلوکانورترها فرکانس هایی در محدوده صفر تا ۱۰۰۰ هرتز تولید نموده که دامنه حداکثر آنها تقریباً برابر ۰/۵درصد ولتاژ نامی می باشد. در صورت بروز پدیده تشدید مقادیر بالاتر نیز امکان ظهور خواهند یافت. تاکنون مقادیر مشاهده شده هارمونیک

های میانی در سیستم حدود ۰/۰۲ درصد ولتاژ نامی و پهنای باند آنها در حدود ۱۰ هرتز بوده است.

- تنها مورد گزارش شده در رابطه با تأثیر نامطلوب این نوع هارمونیک ها در رابطه با گیرنده های ریپل کنترل بوده و ملاحظات زیر در رابطه با عملکرد بدون اشکال این گونه وسایل آمده است:
- در حال حاضر سطح پاسخ گیرنده ها روی ولتاژی برابر یا بالاتر از ۰/۳ درصد ولتاژ نامی منبع تغذیه تنظیم می شود. براساس این عدد، سطح سازگاری هارمونیکی برای هر هارمونیک میانی حدود ۰/۲ درصد ولتاژ نامی تغذیه انتخاب می گردد. این نکته نیز باید به خاطر سپرده شود که امکان عبور مقداری هارمونیک میانی از فیلتر ورودی به گیرنده همواره وجود خواهد داشت.
- برای جلوگیری از آسیب دیدگی گیرنده های ریپل کنترل می توان از یک مدار جذب (مدار تشدید سری) که روی فرکانس کنترل تنظیم شده است استفاده نمود. در جایی که استفاده از اینگونه مدارها عملی نیست، تجهیزاتی که در معرض سطوح بالای هارمونیک های میانی قرار می گیرند را باید به نحو مناسب طراحی نمود.

۵-۳- حدود مجاز هارمونیک در وسایل مورداستفاده در مصارف خانگی

این بخش از استاندارد برای وسایل الکتریکی و یا الکترونیکی که جریان آن زیر ۱۶ آمپر در هر فاز بوده و به شبکه ولتاژ پایین توزیع وصل می شوند قابل استفاده است. بعضی از وسایل خاص که به وفور مورد استفاده قرار نمی گیرند و یا قادر به پذیرفتن محدودیت های این استاندارد نیستند باید از نظر تعداد و یا محل نصب دارای محدودیت هایی شوند. از سوی دیگر برای اجازه اتصال اینگونه وسایل خاص به شبکه باید به کارشناسان شرکت های برق اطلاع داده شود.

۵-۳-۱- دسته بندی تجهیزات

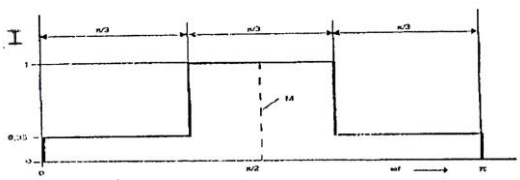
بمنظور اعمال محدودیت جریان هارمونیکی تجهیزات بصورت زیر طبقه بندی می شوند:

رده A: تجهیزات سه فاز متعادل و بقیه تجهیزات، بجز تجهیزاتی که در دسته بندی های زیر آمده است.

رده B: تجهیزات قابل حمل (به تجهیزاتی گفته می شود که در هنگام استفاده قابل گرفتن با دست باشند و برای مدت کوتاهی استفاده شوند).

رده C: وسایل روشنایی، شامل وسایلی که میزان نور آنها قابل کنترل است.

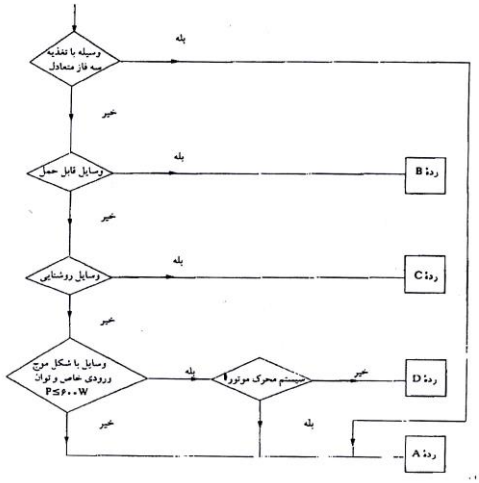
رده D: تجهیزاتی که جریان ورودی آنها دارای شکل موج خاصی می باشند (رجوع شود به شکل ۱) توان حقیقی ورودی به این تجهیزات زیر ۶۰۰ وات در نظر گرفته می شود.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۱- شکل موج خاص مربوط به رده D دستگاه ها

بمنظور تعیین رده یک دستگاه مشخص می توان از فلوچارت شکل ۲ استفاده نمود.



۱: از نوع زاویه فاز کنترل شده

شکل ۲- فلوچارت رده بندی تجهیزات

محدودیت های هارمونیکی برای رده های مختلف تجهیزات طبق جداول شماره ۹ تا ۱۱ خواهد بود.

جدول ۹- محدودیت های جریان در تجهیزات رده A

حداکثر جریان هارمونیکی مجاز (آمپر)	مرتبه هارمونیک h
هارمونیک های فرد	
۲/۳	۳
۱/۱۴	۵
۰/۷۷	۷

۰/۴	۹
۰/۳۳	۱۱
۰/۲۱	۱۳
$0.15\frac{15}{h}$	15≤h≤39
هارمونیک های زوج	
۱/۰۸	۲
۰/۴۳	۴
۰/۳	۶
$0.23\frac{8}{h}$	8≤h≤39

جدول ۱۰- محدودیت های جریان در تجهیزات رده C

حداکثر جریان مجاز برحسب درصدی از جریان ورودی در فرکانس اصلی (٪)	مرتبه هارمونیک h
۲	۲
۳۰ λ	۳
۱۰	۵
۷	۷
۵	۹
۳	11≤h<39 (تنها هارمونیک های فرد)

جدول ۱۱- محدودیتهای جریان در تجهیزات رده D

حداکثر جریان هارمونیک مجاز	ماکزیمم جریان هارمونیکی مجاز بر هر وات	مرتبه هارمونیک
A	mA/W	H

۲/۳	۳/۴	۳
۱/۱۴	۱/۹	۵
۰/۷۷	۱/۰	۷
۰/۴	۰/۵	۹
۰/۳۳	۰/۳۵	۱۱
رجوع شود به جدول ۹	$\frac{3.85}{h}$	13<h<39 (فقط هارمونیکهای فرد)
یادآوری۱: برای تجهیزات رده B مقادیر مجاز از حاصل ضرب عدد ۱/۵ در حداکثر مقادیر مجاز داده شده در جدول ۹ بدست می آید. یادآوری ۲: مقادیر داده شده در جدول ۱۱ برای تجهیزاتی که توان ورودی آن بیش از ۷۵ وات است معتبر می باشد. برای تجهیزات با توان ورودی ۷۵ وات و کمتر هیچگونه محدودیتی اعمال نخواهد شد.		

۵-۴- بازه های زمانی برای انجام مطالعات آماری برروی مقادیر اندازه گیری شده هارمونیک ها برای مقایسه اطلاعات اندازه گیری شده، بازه های زمانی زیر پیشنهاد می گردد:

بازه زمانی بسیار کوتاه مدت: ۳ ثانیه

بازه زمانی کوتاه مدت: ۱۰ دقیقه

بازه زمانی بلندمدت: ۱ ساعت

بازه زمانی یک روزه: ۲۴ ساعت

بازه زمانی یک هفته ای: ۷ روز

۵-۴-۱- بازه زمانی بسیار کوتاه مدت

مقدار جذر مربعات یک هارمونیک در این حالت بصورت زیر تعریف می شود:

$$U_{hvs} = \sqrt{(\sum_{K=1}^{N} U_{hk}^2)/N}$$

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بمنظور بررسی مسائل خاص مرتبط با پالس های هارمونیکی کوتاه، مجموع پنجره زمانی ۸۰ تا ۱۶۰ میلی ثانیه برای هر اندازه گیری مناسب به نظر می رسد.

۵-۴-۲ بازه زمانی کوتاه مدت

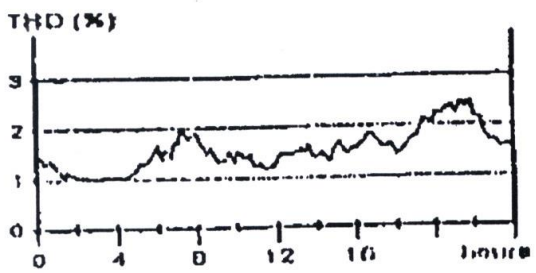
بازه T_{sh} به مدت ۱۰ دقیقه پیشنهاد می گردد. مقدار موثر U_{hsh} در هر بازه زمانی ۱۰ دقیقه ای به وقوع پیوسته است بدست آورد. تعیین U_{hsh} بسیار مفید است، زیرا تخمین خوبی از اثرات گرمایی هر هارمونیک خاص را در یک دوره بلندمدت نشان می دهد.

۵-۴-۳ بازه زمانی بلندمدت

انتخاب بازه زمانی بلندمدت از طرف استاندارد IEC بصورت اختیاری تعیین شده است. پیشنهاد می گردد که این زمان ۱ ساعت انتخاب شود.

۵-۴-۴ بازه زمانی یک روزه

در مطالعه هارمونیک های شبکه بازه زمانی یک روزه برای نمایش آماری اطلاعات به فرم مناسب بکار می رود. هنگام بررسی اثرات کوتاه مدت، مقدار U_{hvs} را باید برای بررسی در بازه زمانی یک روزه نگهداری نمود. علاوه بر آن، احتمال تجمعی مقادیر موثر مربوط به بازه زمانی بسیار کوتاه مدت را باید محاسبه نمود. به کمک این اطلاعات می توان مقادیر موثر ولتاژ در هر مرتبه هارمونیکی و نیز کل اعوجاج هارمونیکی را برای یک بازه زمانی یک روزه محاسبه نمود. شکل ۳ نمایش تغییرات زمانی روزانه THD یک شینه را نشان می دهد.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۳- تغییرات زمانی روزانه THD یک شینه نمونه

۵-۴-۵- بازه زمانی طولانی مدت

برای این بازه مدت یک هفته پیشنهاد می شود. اطلاعات مربوط به این بازه زمانی براساس اطلاعات خلاصه شده روزانه آماده می گردد. باید بخاطر داشت که اختلافات فاحشی بین مقادیر بدست آمده برای روزهای کاری و تعطیلی وجود خواهد داشت.

۵-۵- روش بررسی کیفیت ولتاژ در ارتباط با هارمونیک ها

در انتهای یک دوره زمانی مشاهده اطلاعات، هدف اصلی پیداکردن یک مقدار برای هر هارمونیک یا هارمونیک میانی می باشد. این مقادیر می توانند برای نمایش کیفیت ولتاژ و مقایسه با سطح هارمونیکی مجاز استفاده شوند.

مشخص است که $U_{hvs.max}$ را نمی توان برای مقایسه با سطوح مجاز بکار برد. در این استاندارد احتمال تجمعی ۹۵درصد هارمونیک ولتاژ $U_{hvs.95\%}$ را باید برای مقایسه با سطوح مجاز بکار برد.

به دلیل اثرات بلندمدت هارمونیک ها، $U_{hvs.max}$ را نیز نباید از نظر دور داشت. مطالعات و بررسی ها نشان می دهند که $U_{hsh.max}$ نزدیک به مقدار $U_{hvs.95\%}$ می باشد. ماکزیمم این دو مقدار را می توان برای مقایسه با سطوح مجاز نیز بکار برد.

اندازه گیری ها در شبکه نشان می دهند که $U_{hvs.max}$ حدوداً ۱/۵ تا ۲ برابر بزرگتر از $U_{hvs.95\%}$ است. در نتیجه اگر قرار است از پارامتر $U_{hvs.max}$ برای بررسی کیفیت ولتاژ استفاده شود باید این پارامتر با ۱/۵ تا ۲ برابر سطح مجاز مقایسه گردد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل اول

شناخت و بررسی هارمونیک ها

WikiPower.ir

شناخت و بررسی هارمونیک ها

(اطلاعاتی)

یکی از مسائل و مشکلات کیفیت برق در سیستمهای توزیع، فوق توزیع و انتقال، مسئله هارمونیک ها می باشد که توجه زیادی را به خود جلب نموده است و مطالب بسیاری را در این خصوص می توان در استانداردها و مقالات مختلف جستجو نمود.

اعوجاجات هارمونیکی تولیدشده در شبکه قدرت منشاء داخلی دارند. برای مثال ژنراتورها، ترانسفورماتورها و تجهیزات تریستوری کنترل شده مانند پست های تبدیل که در سیستم های HVDC استفاده می شوند و می توانند باعث ایجاد اعوجاجات هارمونیکی گردند.

اعوجاجات هارمونیکی باعث ایجاد مسائل خاصی در شبکه های قدرت می شوند. از جمله این مسائل می توان به عدم عملکرد نامناسب تجهیزات و نیز کاهش عمر و پایین آمدن راندمان دستگاهها اشاره نمود که این مسئله در این شرایط مقوله کیفیت برق است. در چنین حالتی مطالعه هارمونیک ها و ارائه یک سری قواعد و مقررات اجتناب ناپذیر خواهد شد. محدود نمودن اعوجاج هارمونیکی هم از نظر شرکت های برق و هم از نظر مشترکین لازم می باشد. شرکت های برق باید تمهیداتی را ارائه نمایند تا از آسیب دیدگی تجهیزات مشترکین، اعم از مشترکین خانگی و صنعتی جلوگیری شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه ایجاد یک موج کاملاً سینوسی از طرف شرکت های برق نمی تواند تضمین شود، لذا مشترکین باید اعوجاجات تولیدشده توسط تجهیزات خود را محدود نمایند.

در این خصوص استانداردهای مختلفی تهیه شده است که از جمله می توان به استانداردهای بین المللی IEC, IEEE اشاره نمود. با توجه به ارائه مقررات هارمونیکی برای شبکه ایران و با

درنظر گرفتن اهمیت هارمونیک ها در مقوله کیفیت برق، بخش های جدیدی که از دیدگاه کیفیت برق اهمیت خاصی داشته اند نیز در این ضمیمه آورده شده است.

شرکت های برق فرض می کنند که موج ولتاژ سینوسی تولیدشده در مراکز تولید انرژی الکتریکی، بدون هارمونیک است. در اغلب مواقع، اعوجاج ولتاژ در سیستم های انتقال کمتر از ۱درصد است.

بهرحال هرچه به سمت مصرف کننده نزدیکتر می شویم، میزان اعوجاج بیشتر می گردد. از سوی دیگر در بعضی بارها موج جریان، کاملاً از حالت سینوسی خارج شده و دارای اعوجاج زیادی می گردد.

مبدل های الکترونیک قدرت شکل موج جریان را به شکل دلخواه در می آورند. در حالی که حالتهای مختلفی وجود دارد که اعوجاج در سیستم به صورت تصادفی می باشد لیکن اغلب اعوجاجات به صورت پریودیک می باشند. بدین معنی که سیکل های متوالی تقریباً شبیه به هم بوده و ممکن است به آرامی تغییر کنند. این مفهوم در اصل همان واژه هارمونیک را توصیف می کند. در این ضمیمه کوشش خواهد شد که بعضی از مفاهیم مبهم هارمونیک ها در سیستم های قدرت مشخص گردد. وقتی که استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت در اواخر دهه ۱۹۷۰ معمول گردید، توجه بسیاری از مهندسین شرکت های برق در مورد توانایی پذیرش اعوجاج هارمونیکی توسط سیستم های قدرت را برانگیخت.

پیش بینی های مأیوس کننده ای از سرنوشت سیستم های قدرت در صورت اجازه استفاده از این تجهیزات انجام گرفت. در حالی که بعضی از این نگرانی ها احتمالاً بیش از آنچه می باشد قلمداد گردید، لیکن بررسی مفهوم کیفیت برق مدیون این افراد بدلیل پیگیری آنها روی این

مسئله جدید می باشد. بررسی مسائل هارمونیک ها منجر به تحقیقاتی گردید که نتایج آن بدست آوردن نقطه نظرات بسیاری در خصوص کیفیت برق بود. به نظر برخی از محققین، اعوجاج هارمونیکی هنوز مهمترین مسئله کیفیت برق می باشد. مسائل هارمونیکی با بسیاری از قوانینی معمولی طراحی سیستم های قدرت و عملکرد آن تحت فرکانس اصلی مغایر است. بنابراین مهندس با پدیده های ناآشنایی روبرو می شود که نیاز به ابزارهای پیچیده و تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات و تجزیه و تحلیل آنها دارد. گرچه تحلیل مسائل هارمونیکی می تواند دشوار باشد، ولی خوشبختانه همه سیستم قدرت دارای مشکل هارمونیکی نیست و فقط درصد کمی از فیدرهای مربوط به سیستم های توزیع تحت تأثیر عوامل ناشی از هارمونیک ها قرار می گیرند. در عوض، وقوع فلش ولتاژ و قطعی ها تقریباً در هر فیدر امری عادی بوده و مسائل زیادی را در کیفیت برق ایجاد می کند. مشترکین برق در صورت وجود هارمونیک ها مشکلات زیادتری از شرکت های برق را تحمل می کنند. مشترکین صنعتی که از محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت، کوره های قوس الکتریکی، کوره های القایی و نظایر آن استفاده می کنند، نسبت به مسائل ناشی از اعوجاج هارمونیکی ضربه پذیرتر از بقیه مشترکین می باشند.

اعوجاج هارمونیکی یک پدیده جدید در سیستم های قدرت به شمار نمی رود. نگرانی ناشی از اعوجاج در بسیاری از دوره ها در سیستم های قدرت الکتریکی جریان متناوب وجود داشته و دنبال شده است. جستجوی منابع و مطالب تکنیکی دهه های قبل نشان می دهد که مقالات مختلفی در رابطه با این موضوع انتشار یافته است. اولین منابع هارمونیکی شناخته شده، ترانسفورماتورها بودند و اولین مشکل نیز در سیستم های تلفن پدید آمد. استفاده گروهی از

لامپ های قوس الکتریک بدلیل مولفه های هارمونیکی خود توجهات بخصوصی را برانگیخت ولی این توجهات خاص به اندازه مسئله مبدل های الکترونیک قدرت در سال های اخیر نبوده است.

خوشبختانه در طی این سال ها پژوهشگران متوجه شده اند که اگر سیستم انتقال به نحو مناسبی طراحی گردد، به نحوی که بتواند مقدار توان موردنیاز بارها را به راحتی تأمین نماید، احتمال ایجاد مشکل ناشی از هارمونیک ها برای سیستم قدرت بسیار کم خواهد بود، گرچه این هارمونیک ها می توانند موجب مسائلی در سیستم های مخابراتی شوند. اغلب در سیستم های قدرت مشکلات زمانی بروز می کنند که خازن های موجود در سیستم باعث ایجاد تشدید در یک فرکانس هارمونیکی گردند. در این شرایط اغتشاشات و اعوجاجات، بسیار بیش از مقادیر معمول می گردند. امکان ایجاد این مشکلات در مورد مراکز کوچک مصرف وجود دارد ولی شرایط بدتر در سیستم های صنعتی بدلیل درجه بالایی از تشدید رخ می دهد.

۱-۱ منابع تولید هارمونیک

الف-۱-۱ هارمونیک

پیدایش عناصر نیمه هادی و استفاده فراوان از آن ها در شبکه های قدرت عامل جدیدی برای ایجاد هارمونیک در سیستم های قدرت بوجود آورد. کاربرد این عناصر را می توان در تجهیزات و سیستم های قدرت زیر دید:

- سیستم های HVDC
- تجهیزات مورداستفاده در کنترل کننده های سرعت ماشین های الکتریکی
- اتصال نیروگاههای خورشیدی و بادی به سیستم های توزیع.

- کاربرد SVC بعنوان ابزار مهمی در کنترل توان راکتیو
- استفاده زیاد از یکسوکننده ها برای دشارژ باطریها

از سوی دیگر عوامل زیر را می توان به عنوان تولیدکننده هارمونیک نیز در نظر گرفت.

- تولید شکل موج غیرسینوسی توسط ماشین های سنکرون ناشی از وجود شیارها و عدم توزیع یکنواخت سیم پیچی های استاتور
- عدم یکنواختی در راکتانس ماشین های سنکرون
- توزیع غیرسینوسی فوران مغناطیسی در ماشین های سنکرون
- جریان مغناطیسی ترانسفورماتور
- بارهای غیرخطی شامل دستگاههای جوشکاری.
- کوره های الکتریکی و القایی.

از نظر صنایع و کارخانجات، صنایع زیر را می توان از جمله عوامل تولید هارمونیک در شبکه های الکتریکی محسوب نمود:

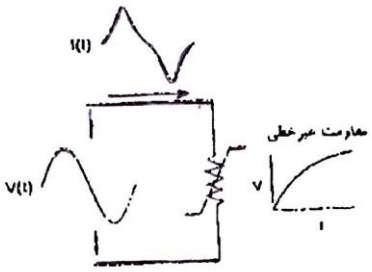
- صنایع شامل مجتمع های شیمیایی و پتروشیمی و نیز صنایع ذوب آلومینیم که از یکسوکننده های پرقدرت برای تولید برق DC موردنیاز انجام فرآیندهای شیمیایی و ذوب آلومینیوم استفاده می کنند. با توجه به قدرت بالا، این یکسوکننده ها هارمونیک قابل ملاحظه ای در شبکه قدرت به وجود می آورند.

از سوی دیگر استفاده از سیستم های HVDC به منظور ارتباط بین دو نقطه با فواصل طولانی باعث ایجاد هارمونیک در سیستم می گردد.

- استفاده از سیستم های الکترونیک قدرت در سیستم حمل و نقل برقی مانند اتوبوس برقی و متروها باعث می شود که سطوح بالایی از هارمونیک به سیستم توزیع تزریق شود.
- بارهای غیرخطی مانند کوره های قوس الکتریکی که در صنایع ذوب آهن استفاده می شود از عوامل تولید هارمونیک در مقیاس بزرگ می باشند.
- استفاده از SVC جهت تنظیم ولتاژ کنترل توان راکتیو باعث ایجاد هارمونیک در شبکه قدرت می گردد.

۱-۲ اعوجاج هارمونیکی

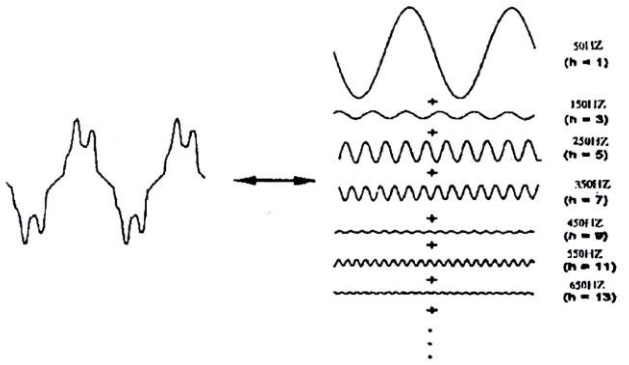
اعوجاج هارمونیکی در سیستم های قدرت ناشی از عناصر غیرخطی می باشد. عنصر غیرخطی عنصری است که جریان آن متناسب با ولتاژ اعمالی نمی باشد. شکل ۱ جریان غیرسینوسی یک مقاومت غیرخطی در حالی که ولتاژ اعمالی به آن سینوسی است را نشان می دهد. افزایش چنددرصدی ولتاژ ممکن است باعث شود که جریان دوبرابر شده و نیز موج جریان شکل دیگری به خود بگیرد. این مورد ساده ای از منبع تولید اعوجاج در سیستم قدرت می باشد.



شکل ۱- اعو طی ایجاد شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود هر شکل موج اعوجاجی پریودیک را می توان به صورت جمع موجهای سینوسی بیان نمود. یعنی وقتی که شکل موج از یک سیکل به سیکل دیگر تغییر نکند، این موج را می توان به صورت جمع امواج سینوسی خالص که در آن فرکانس هر موج سینوسی، مضرب صحیحی از فرکانس اصلی موج اعوجاجی است نمایش داد. این موج های سینوسی که فرکانس آن ها ضریب صحیحی از فرکانس اصلی می باشند را هارمونیک های مولفه اصلی گویند.

جمع این موج های سینوسی به سری فوریه معروف است این مفهوم ریاضی اولین بار توسط فوریه ریاضیدان فرانسوی مورد توجه قرار گرفت.



شکل ۲- نمایش سری فوریه شکل موج اعوجاج یافته

مزیت استفاده از سری فوریه در نمایش شکل موج های اعوجاجی، سادگی بدست آوردن پاسخ های سیستم به یک ورودی سینوسی است. همچنین در این حالت تکنیک های معمولی حل شبکه در حالت مانا نیز قابل استفاده خواهد بود. در این روش سیستم برای هر هارمونیک جداگانه بررسی شده و سپس خروجی ها در هر فرکانس ترکیب می گردد تا سری فوریه جدید بدست آید. با استفاده از این سری فوریه شکل موج خروجی را می توان محاسبه نمود. شایان ذکر است که بیشتر مواقع دامنه هر هارمونیک برای ما جالب خواهد بود.

وقتی که هر دو نیم سیکل مثبت و منفی یک موج شبیه یکدیگر باشند، سری فوریه فقط شامل هارمونیک های فرداست. این مطلب مطالعه روی سیستم های قدرت را ساده تر می کند زیرا اغلب وسایلی که تولید هارمونیک می کنند رفتار یکسانی را در برابر هردو نیم سیکل مثبت و منفی از خود نشان می دهند. در حقیقت وجود هارمونیک های زوج اغلب نشان دهنده وجود اشکالی در سیستم است. این اشکال می تواند ناشی از بار و یا ترانسدیوسری که برای اندازه گیری استفاده شده است باشد. استثنائاتی در این مورد مانند یکسوکننده های نیم موج و کوره های قوس الکتریک که در آن قوس بصورت اتفاقی زده می شود نیز وجود دارد.

معمولاً هارمونیک های مرتبه بالا (بالاتر از ۵۰ ام) در سیستم های قدرت ناچیز می باشند. در حالیکه این هارمونیک ها سبب تداخل با وسایل الکتریکی قدرت پایین می شوند، لیکن معمولاً آسیبی به سیستم های قدرت وارد نمی آورند. از سوی دیگر جمع آوری اطلاعات کاملاً دقیق در این فرکانس ها بمنظور مدل سازی سیستم های قدرت مشکل می باشد. اگر سیستم قدرت را به عناصر سری و موازی (همچنانکه در عمل هستند) تقسیم کنیم، بخش عمده ای از عناصر غیرخطی در سیستم قدرت جزء عناصر موازی محسوب می شوند (بارها). امپدانس های سری در سیستم قدرت (امپدنس اتصال کوتاه بین منبع و بار) معمولاً خطی می باشند. شاخه موازی (امپدانس مغناطیس کننده) در مدار معادل ترانسفورماتور منبع تولید هارمونیک می باشد. این جمله به آن معنا نیست که تمام مشترکین که اعوجاج هارمونیکی بر آن ها اعمال می شود خود منبع مهم تولید هارمونیک هستند بلکه باید گفت که اعوجاج هارمونیکی بعضی از بارهای مشترکین و یا ترکیبی از آنها معمولاً می توانند عامل تولید هارمونیک باشند.

۱-۳ اعوجاج ولتاژ و جریان

کلمه هارمونیک اغلب بدون هیچگونه کلمه توضیحی دیگر و به تنهایی استفاده می شود. برای مثال، بسیار شنیده می شود که یک محرکه موتور با قابلیت تنظیم سرعت یا یک کوره القایی بدلیل وجود هارمونیک ها بصورت مناسبی نمی تواند کار کند. چرا این مسئله پدید آمده است؟ جواب می تواند یکی از سه مورد زیر باشد:

۱- هارمونیک ولتاژ آنقدر زیاد است که سیستم کنترل زاویه آتش، بخوبی عمل نمی کند.

۲- هارمونیک جریان زیادتر از ظرفیت بعضی از تجهیزات در سیستم تغذیه (مانند ترانسفورماتور و ماشین) است که باید در زیر قدرت نامی خود کار کند.

۳- هارمونیک ولتاژ زیاد است زیرا هارمونیک جریان ناشی از آن وسیله زیاد می باشد.

همچنانکه این موارد نشان می دهد دلایل و اثرات جداگانه ای برای هارمونیک های ولتاژ و جریان و همچنین روی بعضی روابط بین این دو وجود دارد. بنابراین، واژه هارمونیک به تنهایی مبهم بوده و نمی توان بکمک آن بصورت دقیق یک مسئله را توصیف کرد.

بارهای غیرخطی منبع جریان هارمونیکی هستند و باعث تزریق این جریان در سیستم قدرت می شوند. برای بیشتر بررسی ها، کافی است که بارهای تولیدکننده هارمونیک ها در سیستم را بصورت منبع جریان مدل سازی کرد. البته استثنائاتی در این خصوص وجود دارد که در ادامه توضیح داده می شود.

همانطوریکه شکل ۳ نشان می دهد، اعوجاج ولتاژ در اثر عبور جریان اعوجاجی از امپدانس خطی و سری سیستم انتقال قدرت ایجاد می گردد. گرچه در این جا فرض شده است که منبع فقط شامل ولتاژ با فرکانس اصلی است، لیکن جریان های هارمونیکی عبورکننده از امپدانس سیستم باعث ایجاد افت ولتاژ برای هر هارمونیک خواهد شد و در نتیجه باعث ایجاد

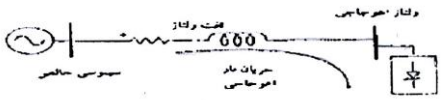
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ولتاژ هارمونیکی در دو سر بار می گردد. مقدار اعوجاج ولتاژ بستگی به امپدانس و جریان دارد. با فرض اینکه اعوجاج شینه در حد قابل قبولی باقی بماند (مثلاً کمتر از ۵درصد) مقدار جریان هارمونیکی تولیدشده توسط بار تقریباً برای هر سطح باری ثابت است.

در حالی که هارمونیک های جریان بار در نهایت باعث اعوجاج ولتاژ می گردند، لیکن باید اشاره نمود که بار هیچگونه کنترلی روی اعوجاج ولتاژ ندارد. یک بار یکسان در دو محل مختلف یک سیستم قدرت دو مقدار متفاوت اعوجاج ولتاژ ایجاد می کند. درک این حقیقت پایه ای برای تقسیم مسئولیتها در کنترل هارمونیک ها است که مثلاً در بخش استاندارد هارمونیک ها به آن اشاره شده است.

۱- کنترل برروی مقدار هارمونیک جریان تزریق شده به سیستم در نقطه ورودی به مشترک انجام می شود.

۲- با فرض اینکه هارمونیک جریان تزریقی در حد قابل قبولی قرار گرفته باشد، کنترل برروی اعوجاج ولتاژ با کنترل برروی امپدانس سیستم صورت می گیرد.



شکل ۳- جریان های هارمونیکی که از امپدانس سیستم عبورکرده و روی بار ولتاژ هارمونیکی ایجاد می کنند.

۱-۴- هارمونیک ها و حالت های گذرا

به جای بسیاری از اغتشاشات که در واقع گذرا هستند هارمونیک ها مورد مواخذه قرار می گیرند اندازه گیری هر پدیده ممکن است که شکل موج اعوجاجی با فرکانس های بسیار بالا را نشان دهد.

گرچه اغتشاشات گذرا نیز شامل مولفه های فرکانس بالا می باشند، اما حالت گذرا و هارمونیک ها پدیده های متمایزی بوده و به صورت متفاوتی بررسی و تحلیل می گردند. فرکانس موج های گذرا، بالا می باشند و تنها لحظه ای پس از یک تغییر ناگهانی در سیستم قدرت بوجود می آیند. این فرکانسها لزوماً فرکانس هارمونیکی نیستند و فرکانس طبیعی سیستم در لحظه کلیدزنی می باشند و ارتباطی با فرکانس مولفه اصلی سیستم ندارند.

طبق تعریف هارمونیک ها در حالت مانا اتفاق می افتند و مضرب صحیحی از فرکانس مولفه اصلی می باشند. موج های اعوجاج یافته که دارای هارمونیک هستند، به صورت پیوسته وجود داشته و یا حداقل برای چندین ثانیه باقی می مانند. گذراها معمولاً در طی چندین سیکل از بین می روند. حالت گذرا در ارتباط با یک تغییر در سیستم مانند کلیدزنی خازن ها رخ می دهد. در حالی که هارمونیک ها همراه با عملکرد پیوسته بار بوجود می آیند.

حالتی که این تمایز را از بین می برد برقدارکردن ترانسفورماتور است. این یک پدیده گذرا به شمار می آید ولی موج اعوجاجی قابل ملاحظه ای را به مدت چند ثانیه تولید می کند و می توان موجب ایجاد تشدید در سیستم شود.

۱-۵ مقادیر موثر و اعوجاج هارمونیکی کلی

چندین معیار عددی برای نشان دادن مقادیر هارمونیک های یک موج وجود دارد. از معروفترین آنها می توان به اعوجاج هارمونیکی کل (THD) که برای ولتاژ و جریان قابل محاسبه است اشاره نمود:

$$THD = \frac{\sum_{h=2} M_h}{M_1}$$

که در آن M_h مقدار موثر مولفه هارمونیک h ام کمیت M می باشد. THD معیار اندازه گیری مقدار موثر مولفه هارمونیکی یک موج اعوجاجی است.

با توجه به اینکه مقدار موثر کلیک مورج (RMS) برابر با جمع مولفه های آن نمی باشد بلکه مجذور جمع مربعات است. توسط رابطه شماره (۲) می توان THD را به مقدار موثر شکل موج ارتباط داد:

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} = M_1\sqrt{1+(THD)^2}$$

THD کمیتی مفید برای بسیاری از کاربردها می باشد ولیکن محدودیت هایش را نیز باید مورد لحاظ قرار داد. این کمیت می تواند ایده خوبی از حرارت اضافی ایجادشده در یک بار مقاومتی هنگامی که ولتاژ اعوجاجی به آن اعمال شده است ارائه دهد. همچنین می تواند نشانه ای برای تلفات اضافی ناشی از جریان عبوری از یک هادی نیز باشد. ولی این کمیت نشانه خوبی از تنش ولتاژی بر خازن نمی باشد زیرا این تنش با مقدار پیک شکل موج ولتاژ در ارتباط است.

همانطوری که مشاهده شد شاخص THD به منظور مشخص نمودن مقدار هارمونیک ها بصورت نسبت آنها به مقدار مولفه اصلی تعریف گردید. اگر مولفه نداشته باشیم در نتیجه

مقدار THD بی نهایت می شود. برای مثال برای سیگنال $I(t)=\cos(3wt)+\cos(5wt)$ مقدار THD=∞ خواهد بود.

این شرایط زمانی پدید خواهد آمد که ولتاژ و جریان با فرکانس نامی شبکه بصورت الکترونیکی یا توسط کلیدزنی زیر سنکرون و یا توسط اعوجاج ناشی از سیگنالهای کنترل کننده که برای بهتر کردن استراتژی کلیدزنی استفاده می شود مدوله شود.

اگر یک ولتاژ ۵۰ هرتز با استفاده از سیستم مدوله شده با پهنای پالس (PWM) برای کنترل موتور القایی کنترل شود، ولتاژ استاتور موتور القایی دارای مولفه 50 ±fm خواهد بود که fm فرکانس بسیار پایین به اندازه ۰/۲ هرتز است. بنابراین فرکانس ۵۰ هرتز در شکل موج ولتاژ دیگر وجود ندارد.

بمنظور جلوگیری از چنین مشکلی از شاخص دیگری استفاده می شود. این شاخص اعوجاج هارمونیکی (DIN) می باشد و تعریف آن بصورت:

$$DIN=\left[\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty}I_i^2}\Big/\sqrt{\sum_{i=1}^{\infty}I_i^2}\right]$$

است. این شاخص اعوجاج در کتب قدیمی و نیز استانداردهای IEC آمده است. IEEE و بسیاری از سازمان های بین المللی استفاده از THD را بجای DIN ترجیح می دهند. این دو شاخص با تعاریف زیر به یکدیگر مرتبط می شوند.

$$DIN=\frac{THD}{\sqrt{1+(THD)^2}}$$

$$THD=\frac{DIN}{\sqrt{1-(DIN)^2}}$$

در صورتی که مقدار اعوجاج هارمونیکی کم باشد از بسط سری تیلور $\sqrt{1+x}, \frac{1}{x+1}$ می توان استفاده نمود و روابط تقریبی زیر را بدست آورد.

$$DIN \approx THD(1-\frac{1}{2}(THD)^2)$$

$$THD \approx DIN(1+\frac{1}{2}(DIN)^2)$$

در صورتی که اعوجاج کم باشد مقادیر THD و DIN با هم برابر هستند.

هارمونیک های ولتاژ همیشه در زمان نمونه برداری به مقادیر مولفه اصلی شکل موج ارجاع داده می شوند. چون ولتاژ فقط برای چنددرصد تغییر می کند مقدار THD ولتاژ دارای مفهوم مهندسی می باشد. ولی در مورد جریان این مورد صادق نیست. یک جریان کم ممکن است که THD بزرگی داشته باشد اما خطر مهمی برروی سیستم ایجاد نکند. با توجه به اینکه اغلب وسایل مونیتورینگ، مقدار THD را برحسب نمونه های موجود محاسبه می کنند، در نتیجه ممکن است استفاده کنندگان نسبت به اینکه این جریان برای سیستم خطرناک می باشد یا خیر دچار اشتباه شوند.

برخی از تحلیل گران سیستم، با استفاده از ارجاع به مقدار حداکثر جریان مورد تقاضا بجای ارجاع به مولفه اصلی نمونه های موجود، از این مشکل پرهیز می کنند. این کمیت به اعوجاج مصرفی کلی یا TDD معروف بوده و در استاندارد IEEE شماره ۵۱۹ به آن اشاره شده است.

۱-۶ قدرت و ضریب قدرت

اعوجاج هارمونیکی محاسبه توان و ضریب قدرت را مشکل می سازد، زیرا بسیاری از ساده سازی های صورت گرفته برای تحلیل فرکانس قدرت در این حالت قابل اعمال نخواهد بود.

سه کمیت استاندارد در رابطه با توان استفاده می شوند:

توان ظاهری (S): از ضریب مقدار موثر ولتاژ و جریان حاصل می شود.

توان اکتیو (P): مقدار متوسط توان تحویلی

توان راکتیو (Q): بخشی از توان ظاهری که ۹۰ درجه با توان اکتیو اختلاف فاز دارد.

در فرکانس مولفه اصلی، این مقادیر را براحتی می توان به یکدیگر به صورت زیر مرتبط نمود:

$$P = S\cos\theta$$

$$Q = S\sin\theta$$

که در آن θ زاویه فاز بین ولتاژ و جریان می باشد.

پارامتر $\cos\theta$ ضریب قدرت نامیده می شود. بهرحال تعریف دقیق تر آن بصورت رابطه زیر است:

$$PF = \frac{P}{S}$$

مقادیر S,P را می توان بدون ابهام حتی در صورت وجود اعوجاج ولتاژ و جریان تعریف نمود. در حالیکه هیچ مفهوم روشنی از زاویه فاز در شرایطی که چندین فرکانس داشته باشیم وجود ندارد.

$$S = V_{rms} \times I_{rms}$$

$$P = \frac{1}{T}\int_o^T u(t)i(t)dt$$

وقتی که ولتاژ فقط دارای فرکانس مولفه اصلی باشد، توان حقیقی بصورت شکل آشنای زیر در می آید:

$$P = \frac{V_1 I_1}{2}\cos\theta = V_{1rms} I_{1rms}\cos\theta_1$$

این معادله نشان می دهد که توان اکتیو متوسط فقط تابعی از کمیت های با فرکانس مولفه اصلی است. بدلیل اینکه اعوجاج ولتاژ در سیستم های قدرت بسیار کم است (معمولاً کمتر از ۵ درصد) این معادله تخمین خوبی صرفنظر از مقدار اعوجاج جریان می باشد.

از سوی دیگر، واژه های توان ظاهری و توان راکتیو تحت تأثیر اعوجاج قرار می گیرند. توان ظاهری (S) متناسب با مقدار موثر جریان اعوجاج یافته است و در نتیجه محاسبه آن به آسانی امکان پذیر است گرچه این محاسبه کمی پیچیده تر از حالت موج سینوسی می باشد. همچنین در حال حاضر بسیاری از وسایل اندازه گیری می توانند بصورت مستقیم مقدار واقعی موثر شکل موج اعوجاجی را اندازه بگیرند. افراد خبره در خصوص تعریف Q، هنگام وجود هارمونیک ها اختلاف عقیده دارند. چون بسیاری از شرکت های برق مقدار Q را اندازه گیری و ضریب قدرت را با استفاده از آن محاسبه می نمایند، این موضوع قابل بحث است. تعیین مقدار S,P بسیار مهم است زیرا P مقدار توان مصرف شده را مشخص نموده و S ظرفیت لازم سیستم قدرت بمنظور انتقال توان P را تعریف می کند. در نتیجه Q به نوبه خود واقعاً مفید نیست. در نظر مهندسین میزان توان راکتیو وقتی که اعوجاج وجود دارد مسئله جالبی است.

مفهوم پخش توان راکتیو در سیستم های قدرت عمیقاً در ذهن بسیاری از مهندسین برق نقش بسته است. وقتی اعوجاج وجود دارد، مولفه ای از S که بعد از کم کردن P حاصل می شود یک کمیت کنسرواتیو نیست یعنی مجموع آن در یک گروه صفر نمی شود. در یک سیستم قدرت فرض می شود که کلیه کمیت های قدرت جاری در آن به صورت کنسرواتیو باشند.

برخی از محققین پیشنهاد داده اند که Q به مولفه های راکتیو کنسرواتیو اشاره کند و کمیت جدیدی برای مولفه هایی که کنسرواتیو نیستند معرفی شود.

بسیاری این مولفه جدید (D) را توان اعوجاجی می نامند یا به شکل ساده ولت آمپر اعوجاجی گفته می شود. واحد آن ولت آمپر است ولی به راحتی نمی توان به آن کمیت توان اطلاق کرد زیرا در سیستم همچنانکه توان حقیقی پخش می شود، جریان نمی یابد. با این مفهوم، Q شامل جمع مقدار توان راکتیو در هر فرکانس است و D از ضریب خارجی مقادیر ولتاژ و جریان در فرکانس های مختلف حاصل می شود. و مقدار متوسطی ندارد. پارامترهای S,D,Q,P با رابطه زیر به یکدیگر مرتبط می شوند:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

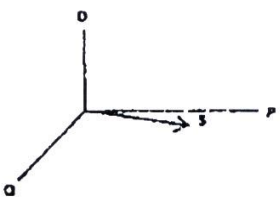
$$Q = \sum_K V_k I_k \sin\theta_K$$

بنابراین D را می توان بعد از تعیین Q,P,S چنین محاسبه نمود:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

برخی از یک بردار سه بعدی، برای نشان دادن روابط بین این کمیات استفاده می کنند (رجوع شود به شکل ۴)

مولفه فرکانس اصلی توان راکتیو (Q_1) برای تعیین اندازه خازن لازم برای تصحیح ضریب قدرت مفید می باشد. خازن ها فقط Q_1 را تصحیح می کنند.



شکل ۴- ارتباط مولفه های مختلف توان ظاهری

واژه ضریب قدرت جابجایی برای توصیف ضریب قدرتی بکار می رود که تنها از مولفه های فرکانس اصلی بدست می آید. وسایل مونیتورینگ کیفیت برق این مقدار را می توانند اندازه گیری کنند. علاوه بر آن ضریب قدرت واقعی که بصورت PF قبلاً معرفی شده است (رابطه ۱۰) را اندازه می گیرند.

بسیاری از تجهیزات مانند محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت دارای ضریب قدرت جابجایی برابر یک می باشند درحالیکه ضریب قدرت واقعی آنها ۰/۵ تا ۰/۶ می باشد. خازن نصب شده در طرف AC در این حالت اثر کمی در جهت اصلاح ضریب قدرت واقعی خواهد داشت. در حقیقت، اگر در شرایط تشدید قرار گیرد، اعوجاج بیشتر شده و نتیجه ضریب قدرت بدتر می شود. ضریب قدرت واقعی، اندازه سیستم انتقال قدرت را که باید بمنظور تغذیه بار ساخته شود مشخص می کند. در این مثال، استفاده از ضریب قدرت جابجایی استنباط نادرستی را در رابطه با ایمنی سیستم بوجود می آورد.

بسیاری از وسایل اندازه گیری دیماند فقط Q_1 را محاسبه می کنند. خوشبختانه، در اکثر حالات، جریان هارمونیکی در محل اندازه گیری به اندازه جریان های دیگر بارها نبوده و در نتیجه خطا کوچک می باشد (به نفع مشترکین). در این خصوص چندین استثناء مانند ایستگاه های پمپاژ که در آن محرکه های موتور تنها بار موجود در محل می باشند وجود دارد. درحالیکه

اندازه گیری های انرژی به دلیل اعوجاج کم ولتاژ به اندازه کافی دقیق هستند ولی دستگاههای اندازه گیری دیماند می توانند خطاهای زیادی را در بر داشته باشند.

در انتها می توان گفت که اعوجاج باعث ایجاد مولفه های اضافی جریان در سیستم می شود که خود سبب تلفات انرژی در عناصری از سیستم قدرت می گردد که این جریان ها از آن عبور می کند. در نتیجه لازم است سیستم ظرفیت بزرگتری برای انتقال توان به بار داشته باشد. به منظور آشنایی بیشتر با کمیت های توان، ولتاژ و جریان در یک محیط هارمونیکی به ضمیمه ب مراجعه شود.

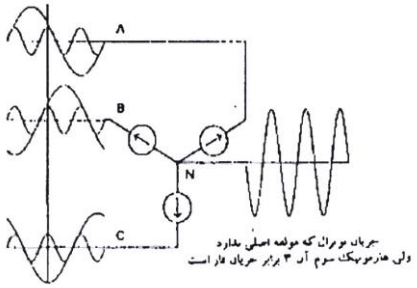
۱-۷ هارمونیک های مرتبه سه

هارمونیک های مرتبه سه ضرایب فردی از هارمونیک سوم هستند (h=۳،۹،۱۵،۲۱،...) این هارمونیک ها احتیاج به بررسی های ویژه ای دارند زیرا پاسخ سیستم در برابر این هارمونیک ها متفاوت از پاسخ آن در برابر دیگر هارمونیک ها می باشد.

هارمونیک های مرتبه سه یکی از مهمترین موضوعات در سیستم های با ستاره زمین شده است که جریان در نوترال آنها وجود دارد. دو مشکل عمده، اضافه بار نوترال و تداخلات تلفنی می باشد.

همچنین بعضی از دستگاهها بدلیل اینکه عمل نمی نمایند، برای یک سیستم کاملاً متعادل متشکل از بارهای تک فاز در شکل ۵ فرض کنید که مولفه های هارمونیک سوم و اصلی هردو وجود داشته باشند. با جمع جریان ها در گره نوترال (گره N) جریان مولفه اصلی صفر می شود. ولی بدلیل همفاز بودن مولفه های فاز هارمونیک سوم، مقدار این مولفه ها سه برابر جریان فاز هارمونیک سوم خواهد بود.

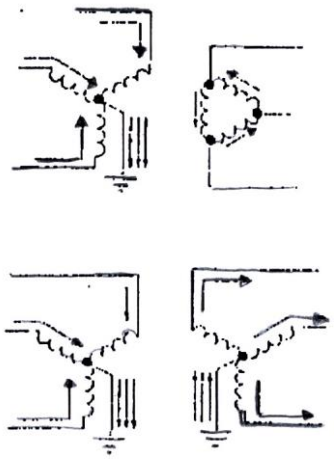
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل۵- جریان زیاد نول در مدارهای تغذیه کننده بارهای غیرخطی تکفاز

نوع اتصال سیم پیچ ترانسفورماتورها تأثیر بسزایی در عبور جریان های هارمونیک مرتبه سه ناشی از بارهای غیرخطی تک فاز دارد. دو حالت در شکل ۶ نشان داده شده است.

در ترانسفورماتور با اتصال ستاره- مثلث جریان های هارمونیک مرتبه سه به طرف ستاره وارد می شوند. چون آن ها هم فاز هستند در نقطه نوترال با یکدیگر جمع می شوند. به دلیل قانون تعادل آمپر دورها در سیم پیچی های طرف مثلث جریان هارمونیک سوم بوجود می آید. ولی این جریان ها در داخل مثلث گرفتار شده و در جریان های خط ظاهر نمی شوند. وقتی که جریان ها متعادل باشند، جریان های هارمونیک مرتبه صفر رفتار کنند.



شکل ۶- مسیر عبور جریان هارمونیک سوم در ترانسفورماتور سه فاز

این نوع اتصال در اغلب ترانسفورماتورهای پست های توزیع وجود داشته که در آن ها طرف مثلث به فیدر تغذیه اتصال می یابد. با استفاده از سیم پیچی ستاره زمین شده در هر دو طرف ترانسفورماتور، هارمونیک مرتبه سه اجازه می یابد که بدون مانعی از طرف فشار ضعیف به فشار قوی منتقل شود. این هارمونیک ها در هر دو طرف با نسبت مساوی وجود دارند.

برخی نکات مهم در خصوص مسئله کیفیت برق بشرح زیر است:

۱- ترانسفورماتورها، بخصوص اتصالات نوترال آنها در صورت تغذیه بارهای تک فاز در طرف ستاره در معرض اضافه حرارت خواهند بود (بدلیل وجود مقدار زیادی هارمونیک سوم)

۲- با اندازه گیری جریان در طرف مثلث یک ترانسفورماتور نمی توان مولفه های هارمونیک سوم را بدست آورد. در نتیجه ایده صحیحی از مقدار گرمایی که ترانسفورماتور در معرض آن قرار می گیرد وجود نخواهد داشت.

۳- عبور جریان های هارمونیک مرتبه سوم را می توان با انتخاب اتصال مناسب ترانسفورماتور مسدود نمود.

قطع کردن اتصال نوترال در یک یا دو طرف سیم بندی های ستاره عبور جریان هارمونیک مرتبه سوم را سد می نماید. در نتیجه تعادل آمپر دورها ایجاد نمی شود. شبیه به سیم پیچی مثلث که عبور هارمونیک مرتبه سوم به خط را مسدود می نماید.

باید توجه نمود که ترانسفورماتورهای با هسته سه ستونه در صورتی که دارای سیم پیچ سوم با اتصال مثلث باشند رفتار مناسبی را از خود نشان خواهند داد. بنابراین، ترانسفورماتور ستاره-ستاره با یک نقطه نوترال متصل شده به زمین هارمونیک های مرتبه سوم را هدایت می کند. قواعد مربوط به عبور جریان های هارمونیک سوم در تراسنفورماتورها فقط در مورد شرایط بارگذاری متعادل قابل اعمال هستند. وقتی که فازها متعادل نیستند هارمونیک های مرتبه سوم حتی در هنگامی که انتظار وجود آنها نمی رود ایجاد می شوند. حالت عادی برای هارمونیک های مرتبه سوم توالی صفر است. در هنگام عدم تعادل، هارمونیک های مرتبه سوم ممکن است که دارای مولفه های توالی مثبت و منفی نیز باشند. یک مورد قابل توجه از این حالت وجود کوره قوس الکتریکی سه فاز می باشد.

گرچه این کوره ها توسط اتصال مثلث تغذیه می شوند، لیکن وقتی که در حال کارکردن در حالت نامتعادل هستنند هارمونیک سوم زیادی را در جریان خط بوجود می آورند.

۱-۸ منابع تغذیه تک فاز

بارهای تغذیه شده از طرف مبدلهای که تولید هارمونیک می کنند در حال حاضر مهمترین بارهای غیرخطی سیستم های قدرت را تشکیل می دهند. در دهه گذشته، پیشرفت در تکنولوژی نیمه هادیها، انقلابی را در مبحث الکترونیک قدرت بوجود آورده است و نشانه های زیادی وجود دارد که این روند ادامه خواهد داشت. این تجهیزات شامل محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت، منابع تغذیه الکترونیک قدرت، راه اندازی های موتورهای جریان مستقیم، شارژ کننده های باطری، بالاستهای الکترونیک و بسیاری از یکسوکننده ها می باشند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مهمترین نگرانی در ساختمان های تجاری وجود تجهیزات الکترونیکی تک فازی است که اعوجاج های زیادی را در سیستم سیم کشی ایجاد می کنند.

توان جریان مستقیم برای تجهیزات مدرن الکترونیکی و میکروپروسسوری مورد استفاده در این ساختمان ها از طریق یکسوکننده تمام موج دیودی تک فاز، تأمین می شود. از سوی دیگر درصد بارهایی که شامل المان های الکترونیک قدرت هستند بطور افزاینده ای بدلیل استفاده از کامپیوترهای شخصی در بخش های تجاری رشد یافته است.

دو نوع اصلی منبع تغذیه تک فاز وجود دارد. تکنولوژی قدیمی تر از کنترل ولتاژ در طرف متناوب (مانند ترانسفورماتور) استفاده می کند تا ولتاژ را در سطح موردنیاز طرف مستقیم کاهش دهد.

اندوکتانس ترانسفورماتور دارای این حسن جانبی است که شکل موج جریان ورودی صاف تر شده و هارمونیک ها کاهش می یابند.

در تکنولوژی جدیدتر، از منابع تغذیه سوئیچینگ (رجوع شود به شکل ۷) استفاده می کنند. در این سیستم از تبدیل DC/DC برای ایجاد خروجی مطلوب تر استفاده می شود و در نتیجه تجهیزات مورد استفاده سبک تر خواهند بود. پل دیود ورودی بصورت مستقیم به خط AC متصل می شود در نتیجه نیازی به ترانسفورماتور نخواهد بود. این حالت باعث ایجاد یک ولتاژ AC متصل می شود در نتیجه نیازی به ترانسفورماتور نخواهد بود. این حالت باعث ایجاد یک ولتاژ DC تنظیم شده نه چندان خوب در دو سر خازن می گردد. این ولتاژ DC سپس توسط یک سوئیچ کننده فرکانس بالا به حالت AC بر می گردد و بعد از آن دوباره یکسو می شود.

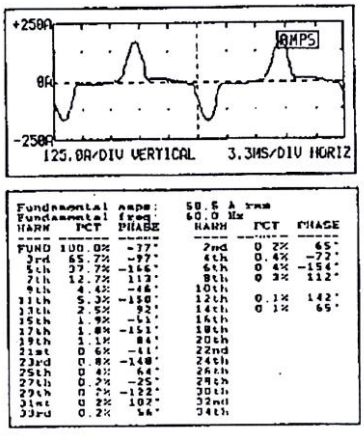
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کامپیوترهای شخصی، چاپگرها، دستگاههای کپی و بسیاری از وسایل الکترونیکی تک فاز در حال حاضر از این نوع منابع تغذیه استفاده می کنند.

شکل۷- منابع تغذیه سوئیچینگ

مزیت اصلی این سیستم وزن کم، اندازه کوچک، راندمان بالا و عدم نیاز به ترانسفورماتور می باشد. این سیستم تغییرات شدید در ولتاژ ورودی را نیز تحمل می کند.

بدلیل اینکه اندوکتانس بزرگی در طرف AC آن نیست، جریان ورودی به منبع تغذیه در هنگام شارژ خازن C1 بصورت پالس های کوتاهی در هر نیم سیکل در خواهد آمد. شکل ۸ موج جریان و نیز طیف هارمونیکی آن را برای یک مدار تغذیه کننده وسایل الکترونیک با روش تغذیه سوئیچینگ نشان می دهد.



شکل ۸- جریان منبع تغذیه سوئیچینگ و طیف هارمونیک آن

مشخصه متمایز منابع تغذیه سوئیچینگ وجود مولفه های هارمونیک سوم بسیار بالا در جریان آنهاست. چون مولفه های هارمونیک سوم جریان در نقطه نوترال با یکدیگر جمع می گردند لذا افزایش کاربرد منابع تغذیه سوئیچینگ باعث اضافه بار در هادی های نوترال می گردد. این نگرانی در مورد ساختمان های قدیمی که نوترال آنها کوچک انتخاب شده اند نگرانی بیشتری را به دنبال دارد. در صورتی که بار شامل مقدار زیادی منابع تغذیه سوئیچینگ باشد گرم شدن ترانسفورماتورها نیز باید مدنظر قرار گیرد.

از این روش تغذیه در سیستم های روشنایی فلورسنت با بالاست الکترونیک نیز استفاده می شود. ایجاد ولتاژ خروجی کنترل شده با فرکانس بالا که توسط اینورترهای ترانزیستوری امکان پذیر شده است باعث افزایش راندمان فلورسنت ها شده و اجازه کنترل های پیچیده تری مانند کم و زیاد کردن نور را نیز خواهد داد. جریان های هارمونیکی توسط بسیاری از بالاست های الکترونیک مورد استفاده در منابع تغذیه کامپیوترها و دیگر تجهیزات الکترونیکی تولید می شوند. افزایش تولید هارمونیک ناشی از استفاده فراوان از روشنایی فلورسنت ها بسیار مهم می باشد، زیرا این نوع روشنایی برای ۴۰ تا ۶۰ درصد ساختمان های اداری- تجاری استفاده می شود. بعضی تولیدکنندگان طراحی های خود را به نحوی انجام می دهند که شکل موج جریان را به حالت سینوسی نزدیک نمایند.

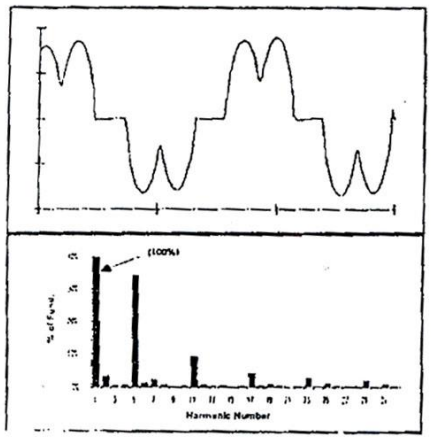
۱-۹ مبدل های قدرت سه فاز

مبدل های الکترونیکی قدرت سه فاز با مبدل های تک فاز تفاوت دارند، چون جریان آن ها حاوی هارمونیک سوم نیست. با توجه به اینکه قدرت این دستگاهها زیادتر می باشد لذا نداشتن هارمونیک سوم یک مزیت به شمار می رود. به هر حال، این دستگاهها می توانند همچنان

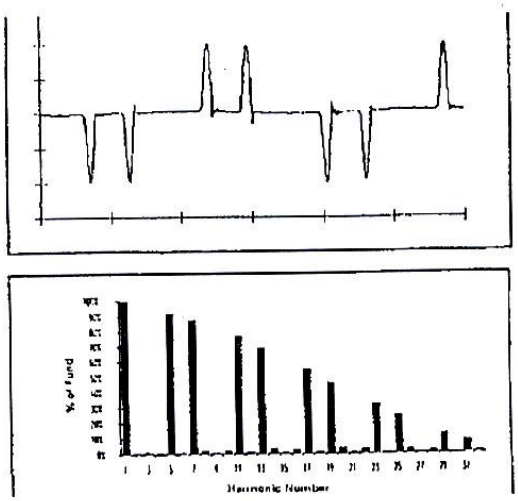
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

منابع اصلی تولید هارمونیک در فرکانس های مشخصه خود باشند. طیف هارمونیکی نشان داده شده در شکل ۹ می تواند به عنوان نمونه، جریان ورودی به یک محرکه موتور DC در نظر گرفته شود. محرکه های اینورتری منبع ولتاژی مانند محرکه هایی که از تکنیک PWM استفاده می کنند، سطح اعوجاجی بسیار بزرگتری را می توانند ایجاد کنند (رجوع شود به شکل ۱۰).

منابع تغذیه سوئیچینگ برای قدرت های کم استفاده شده در حالی که محرکه هایی که از تکنیک PWM استفاده می کنند برای بارهای تا ۵۰۰ اسب بخار مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۹- طیف یان (CSI)



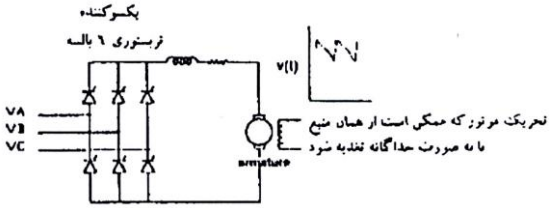
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۱۰- طیف هارمونیکی برای یک راه اندازی AC از نوع PWM

الف-۹-۱ محرکه های DC

یکسوسازی تنها عمل موردنیاز برای محرکه های DC است. بنابراین، سیستم کنترل آنها نسبتاً ساده می باشد. در مقایسه با سیستم های با محرکه های AC، محرکه های DC محدوده وسیعتری از کنترل سرعت ایجاد نموده و همچنین گشتاور راه اندازی بالایی را بوجود می آورند. بهرحال، قیمت و هزینه نگهداری موتورهای DC زیاد می باشد ولی در عوض هزینه تجهیزات الکترونیک قدرت هر ساله کم می شود. بنابراین از نقطه نظر اقتصادی کاربرد محرکه های DC محدود به کاربردهایی می شود که در آن ها مشخصه گشتاور- سرعت یک موتور DC موردنیاز باشد.

اغلب محرکه های DC از یکسوکننده های شش پالسی (رجوع شود به شکل ۱۱) استفاده می کنند. محرکه های بزرگتر از یکسوکننده های ۱۲ پالسی بهره می گیرند. این کار باعث کاهش جریان هر تریستور شده و بعضی از هارمونیک ها در طرف AC را نیز کاهش می دهد. دو مولفه پنجم و هفتم جریان درایوهای شش پالسی دارای مقدار قابل ملاحظه ای هستند. این مولفه های نیز اثرات مشکل زایی را در سیستم قدرت ایجاد می کنند. یکسوکننده های ۱۲ پالسی در حدود ۹۰ درصد هارمونیک های پنجم و هفتم را با توجه به میزان عدم تعادل سیستم حذف می کنند. یکی از معایب درایوهای ۱۲ پالسی هزینه بالای تجهیزات الکترونیکی و ترانسفورماتور اضافی دیگری است که موردنیاز خواهد بود.



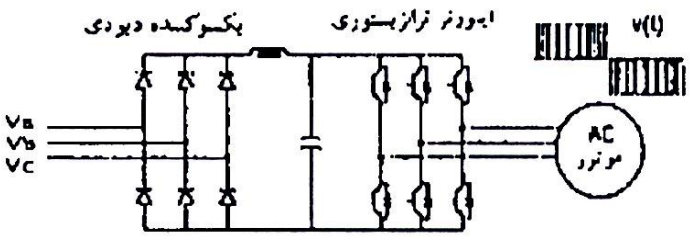
شکل ۱۱- محرکه با قابلیت تنظیم سرعت یک موتور DC شش پالسی

الف-۹-۲ محرکه های AC

در محرکه های جریان متناوب [۱](ASD) از خروجی یکسوکننده برای تولید ولتاژ AC استفاده شده که این ولتاژ با فرکانس قابل تنظیم برای تغذیه موتورها بکار می رود. اینورترها به دو دسته تقسیم می شوند:

- اینورترهای ولتاژ [۲](VSI)
- اینورترهای جریان [۳](CSI)

برای ورودی یک VSI احتیاج به یک منبع ولتاژ DC ثابت (با ریپل کم) است. این امر را می توان با استفاده از یک خازن یا فیلتر LC در طرف DC فراهم نمود. ورودی یک CSI احتیاج به یک منبع جریان ثابت دارد. بنابراین در بخش DC یک اندوکتور سری قرار داده می شود. محرکه های AC معمولاً برای موتورهای القایی قفس سنجابی استفاده می شوند. قیمت این موتورها نسبتاً کم و هزینه تعمیرات کمی دارند. موتورهای سنکرون زمانی استفاده می شوند که نیاز به کنترل دقیق سرعت باشد. عمومی ترین نوع محرکه های AC از یک VSI همراه با تکنیک PWM استفاده می کند (رجوع شود به شکل ۱۲).



۱ - Automatic Speed
۲ - Voltage Source Ir
۳ - Current Source Ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

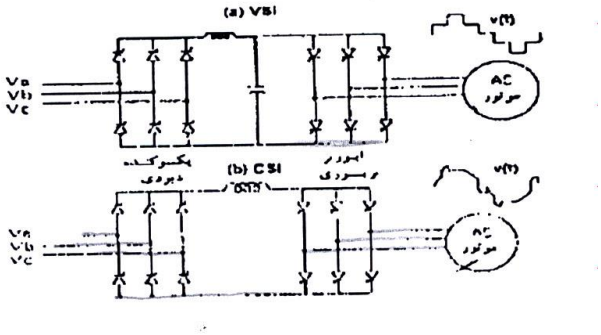
شکل ۱۲- شمای یک محرکه با قابلیت تنظیم سرعت که از تکنیک PWM استفاده می کند.

در اینورترها از یکسوکننده های سیلیکونی (SCR) تریستورهای از نوع GTO و یا از ترانزیستورهای قدرت استفاده می شود. در حال حاضر، محرکه های از این نوع بیشترین بازدهی انرژی را روی محدوده وسیعی از سرعت برای قدرتهای تا ۵۰۰ اسب بخار بوجود می آورند.

مزیت دیگر محرکه های فوق این است که به تغییر ولتاژ خروجی یکسوکننده برای کنترل دور موتور نیازی نیست. این مزیت موجب می شود که بتوان از دیود بجای تریستور در یکسوکننده استفاده نمود و در نتیجه مدار کنترل تریستورها نیز حذف می شود.

محرکه های با قدرت بالا از یکسوکننده های SCR و اینورتر استفاده می کنند. این محرکه ها می توانند بصورت ۶ پالسی (رجوع شود به شکل ۱۳) و یا برای قدرت های بالا ۱۲ پالسی باشند. درایوهای VSI (رجوع شود به شکل ۱۳a) در شرایطی استفاده می گردند که به تغییرات مربع سرعت احتیاج نیست. درایوهای CSI (رجوع شود به شکل ۱۳b) دارای مشخصه خوب شتاب گیری یا کاهش سرعت هستند ولی نیاز به موتورهایی با ضریب قدرت پیش فاز (سنکرون یا القایی همراه با خازن) یا مدار کنترل که عمل کموتاسیون تریستورهای اینورتر را انجام دهند دارد. در هردو حالت، محرکه های CSI باید برای یک موتور با قدرت خاص مشخص طراحی گردند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

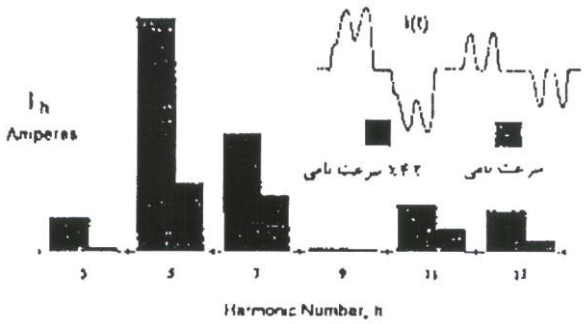


شکل ۱۳- محرکه های با قدرت بالا

الف-۹-۳ اثر شرایط کاری

اعوجاج هارمونیکی جریان در محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت مقداری ثابت نمی باشد. شکل موج جریان برای گشتاورها و سرعتهای مختلف به مقدار قابل ملاحظه ای تغییر می کند. شکل ۱۴ دو شرایط کاری یک محرکه با قابلیت تنظیم سرعت را نشان می دهد که از تکنیک PWM استفاده می کند.

WikiPower.ir



شکل ۱۴- تأثیر سرعت یک محرکه با قابلیت تنظیم سرعت روی هارمونیک های جریان

در حالی که شکل موج در ۴۲ درصد سرعت نامی دارای اعوجاج بیشتری بوده، ولی در مقام مقایسه مقدار هارمونیک جریان در سرعت نامی بیشتر است. نمودار ستونی، مقدار جریان را نشان می دهد. در نتیجه، این مطلب یک محدودیت اصلی در طراحی است و نه بیشترین مقدار THD مهندسین باید ابتدا مفاهیم پایه داده ها و مقادیر اندازه گیری ها در ارتباط با این نوع محرکه ها را کاملاً درک نموده و سپس تصمیمات مقتضی در زمینه طراحی گرفته شود.

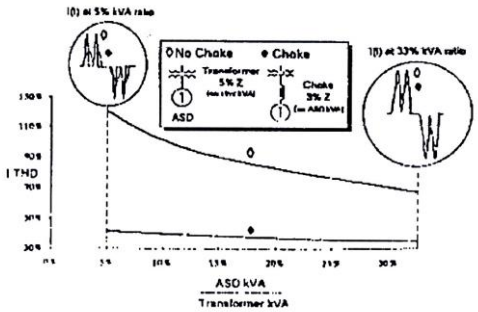
الف-۹-۴ اثرات چک های AC روی هارمونیک ها

قراردادن راکتانس اضافی بین محرکه و منبع، مقدار هارمونیک جریان در طرف AC را کاهش می دهد. این روش برای محرکه های استفاده کننده از تکنیک PWM موثر است.

شکل ۱۵ اعوجاج جریان را برحسب نسبت کیلوولت آمپر محرکه به کیلوولت آمپر ترانسفورماتور برای دو حالت مختلف، یکی بدون و دیگری با چک ۳ درصدی نشان می دهد. مقدار چک براساس توان پایه محرکه جریان متناوب محاسبه شده است. همچنین شکل موجهای جریان برای هردو حالت در ابتدا و انتهای منحنی نشان داده شده است. منحنی بالایی برای حالت بدون چک می باشد.

اضافه کردن چک، کاهش THD جریان را از محدوده ۹۰ تا ۱۰۰ درصد به محدوده ۳۰ تا ۴۰ درصد به دنبال خواهد داشت. اندوکتانس، سرعت شارژ خازن در طرف DC را کاهش می دهد و باعث می شود که محرکه، جریان لازم را در مدت زمان طولانی تری بکشد. اثر نهایی کاهش دامنه جریان و محتوای هارمونیکی بوده، در حالیکه انرژی تحویلی در همان مقدار سابق باقی می ماند. چک ها همچنین اثرات حالت گذرای مربوط به کلیدزنی خازن ها را کاهش می دهند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱۵- تأثیر چک ها روی هارمونیک های جریان محرکه های AC

۱-۱۰ تجهیزات قوس زننده

این دسته شامل کوره های قوس الکتریکی، دستگاه های جوشکاری با قوس، لامپ های روشنایی نوع تخلیه مانند فلورسنت، بخار سدیم و بخار جیوه با بالاست های مغناطیسی (بجای بالاست های الکترونیکی) می باشند. همانطور که در شکل ۱۶ نشان داده شده است قوس را می توان با یک منبع ولتاژ سری شده با راکتانس که جریان را به مقدار معقولی محدود می کند نشان داد.

مشخصه ولتاژ- جریان قوس های الکتریکی غیرخطی می باشد. به دنبال جرقه زدن، جریان قوس افزایش و در نتیجه ولتاژ آن کاهش می یابد. مقدار جریان قوس فقط توسط امپدانس

سیستم محدود می شود. در چنین حالتی قوس بصورت یک مقاومت منفی برای بخشی از سیکل کاری خود ظاهر می شود. در لامپ های فلورسنت، امپدانس بالاست برای محدودکردن جریان در مقدار قابل قبول و پایداری قوس لازم می باشد. بنابراین این نوع سیستم روشنایی دارای یک امپدانس خارجی خواهد بود که بالاست نامیده می شود.

شکل ۱۶- مدار معادل برای یک تجهیز قوس زننده

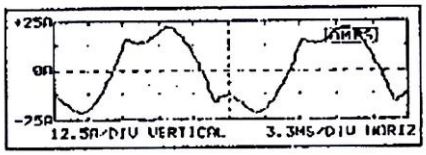
بالاست های مغناطیسی معمولاً هارمونیک های کمی تولید می کنند، ولی اعوجاج هارمونیکی از رفتار قوس بوجود می آید. بهرحال، بعضی بالاست های الکترونیکی که برای اصلاح بازدهی انرژی در منابع تغذیه سوئیچینگ استفاده می شوند ممکن است هارمونیک ها را دو تا سه برابر نمایند. انواع دیگر بالاست های الکترونیکی به نحوی طراحی می گردند که هارمونیک ها را کاهش داده و در واقع هارمونیک های کمتری از بالاست های مغناطیسی ایجاد نمایند.

در کوره های قوس های الکتریکی، امپدانس محدودکننده شامل کابل و سر سیم های کوره، امپدانس سیستم و ترانسفورماتور کوره می باشد. مقدار جریان بیش از ۶۰ کیلوآمپر در این کوره ها عادی می باشد. کوره های قوس الکتریکی بهتر است به صورت منابع هارمونیک ولتاژ نمایش داده شوند. اگر ولتاژ دو سر قوس بررسی گردد، شکل موج آن تقریباً به صورت ذوزنقه بوده و مقدار آن تابعی از طول قوس است. به هر حال امپدانس بالاست به صورت یک بافر

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

عمل نموده به نحوی که ولتاژ منبع دارای اعوجاج کمی می گردد. بنابراین بارهای قوس زننده به صورت منابع هارمونیک جریان نسبتاً پایداری ظاهر شده که برای اغلب بررسی ها لازم است. حالت استثناء زمانی اتفاق می افتد که سیستم نزدیک به حالت تشدید قرار بگیرد در این حالت مدل معادل تونن با استفاده از شکل موج ولتاژ قوس پاسخ های واقع بینانه تری را ارائه می دهد.

شکل ۱۷ جریان لامپ فلورسنت و طیف هارمونیکی آن را نشان می دهد. این لامپ دارای بالاست مغناطیسی است. محتوای هارمونیکی این شکل موج شبیه به کوره قوس الکتریکی و دیگر وسایل قوس زننده می باشد. وسایل قوس زننده سه فاز به نحوی قرار می گیرند که بتوان هارمونیک های مرتبه ۳ را از طریق اتصال ترانسفورماتور حذف نمود. بهرحال نمی توان به این روش حذف هارمونیک تکیه نمود زیرا در هنگام مرحله ذوب فلز شرایط نامتعادل پدید می آید. در مرحله تصفیه وقتی که قوس ثابت تر است حذف هارمونیک های مرتبه سوم بهتر صورت می گیرد. روشنایی فلورسنت ها در ساختمان های تجاری را می توان بین فازهای مختلف توزیع نمود بنحوی که مقدار هارمونیک مرتبه سومی را که وارد سیستم می شود کاهش داد. باید توجه نمود که ترانسفورماتورهای ستاره- ستاره هر قدر هم که بارها بین فازها به خوبی توزیع شده باشد نمی تواند جلوی عبور هارمونیک مرتبه سوم را بگیرد.



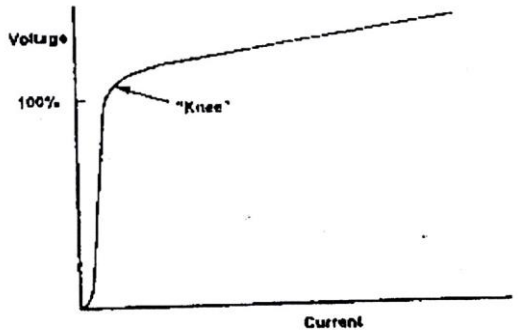
Harmonic	Percent	Phase (deg)
Fund	100.0	124
2	0.2	176
3	19.9	-141
5	7.4	62
7	3.3	-58
9	2.4	121
11	1.5	111
13	0.8	47
15	0.4	-91
17	0.1	-176
19	0.2	-77
21	0.1	164

شکل ۱۷- جریان لامپ فلورسنت و طیف هارمونیکی آن

۱-۱۱ عناصر قابل اشباع

تجهیزات قرار گرفته در این دسته شامل ترانسفورماتورها و دیگر وسایل الکترومکانیکی با هسته فولادی شامل موتورها نیز می باشند. هارمونیک ها بدلیل مشخصه مغناطیس کنندگی غیرخطی آهن تولید می شوند (رجوع شود به شکل ۱۸) ترانسفورماتورهای قدرت به نحوی طراحی می گردند که در ناحیه خطی، مشخصه مغناطیس کنندگی کار نمایند.

حداکثر چگالی فوران یک ترانسفورماتور براساس بهینه کردن قیمت آن، تلفات بی باری، نویز و دیگر فاکتورها انتخاب می گردند. بسیاری از شرکت های برق تولیدکنندگان و فروشندگان ترانسفورماتور را برای تلفات بی باری و بارداری ترانسفورماتور جریمه می نمایند. در نتیجه تلاش سازندگان بر این پایه خواهد بود که ترانسفورماتور را به نحوی طراحی نموده که کمترین هزینه را داشته باشد. جریمه بالا برروی تلفات بی باری و نویز سبب می شود که از آهن بیشتری در هسته استفاده شود و همچنین از جنسی استفاده می گردد که منحنی اشباع بالاتری داشته تا هارمونیک کمتری ایجاد کند.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۱۸- مشخصه مغناطیسی ترانسفورماتور

گرچه جریان تحریک ترانسفورماتور دارای هارمونیک زیادی در سطوح ولتاژ کاری خود می باشد (رجوع شود به شکل ۱۹) ولی در عین حال مقدار این جریان حدود ۱ درصد جریان بار کامل است و در نتیجه تأثیر ترانسفورماتورها مانند مبدل های الکترونیک قدرت و وسایل قوس زننده که تولید هارمونیک جریان حدود ۲۰ درصد مقدار نامی می کنند نخواهد بود. ولی به هر حال، بخصوص در سیستم های توزیع که دارای صدها ترانسفورماتور است اثر آن قابل توجه می باشد. باید توجه نمود که هارمونیک های مرتبه سوم در هنگام کم بودن بار بدلیل بالا رفتن ولتاژ به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می یابند. در این حالت جریان تحریک ترانسفورماتور در مقابل جریان بار ترانسفورماتور قابل مقایسه می گردد. اعوجاج هارمونیکی ولتاژ ناشی از جریان تحریک فقط در شرایط بار کم در سیستم بوجود می آید.

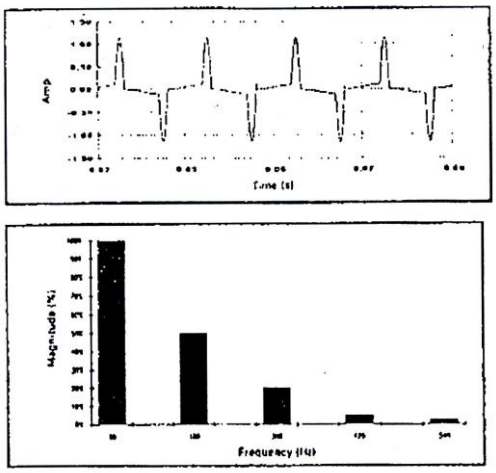
بعضی ترانسفورماتورها عمداً در ناحیه اشباع کار می کنند. نمونه ای از این ترانسفورماتورها، ترانسفورماتورهایی هستند که برای تولید فرکانس ۱۵۰ هرتز در کوره های القایی استفاده می شوند. در صورتی که ولتاژ اعمالی به یک موتور از ولتاژ نامی آن بالا رود جریان آن دچار اعوجاج می شود.

گرچه این امر عواقب کمی را به دنبال دارد. به هر حال شکل موج جریان بعضی موتورهای تک فاز با قدرت پایین بصورت مثلثی بوده و دارای هارمونیک های مرتبه سوم بالایی می باشند.

شکل موج نشان داده شده در شکل ۱۹ جریان ترانسفورماتور تک فاز یا سه فاز ستاره زمین شده را نشان می دهد. به وضوح دیده می شود که جریان دارای هارمونیک سوم بالایی است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اتصال مثلث یا ستاره زمین نشده از عبور مولفه صفر (هارمونیک های مرتبه سوم) جلوگیری می کند. بنابراین جریان خط شامل این دسته هارمونیک ها نمی باشد. مگر اینکه بنحوی شرایط عدم متعادل در سیستم پدید آید.



شکل ۱۹- جریان مغناطیس کننده ترانسفورماتور و محتوای هارمونیکی آن

۱-۱۲- اثرات اعوجاج هارمونیکی

الف-۱۲-۱ اثرات سوء اعوجاجات هارمونیک ها

برخی از آثار سوء هارمونیک ها بر سیستم قدرت و تجهیزات آن به قرار زیر است:

- شکست عایقی بانک های خازنی و افزایش جریان و توان راکتیو بانک های خازنی
- تداخل با سیستم های ریپل کنترل و تداخل در وظیفه کنترل از راه دور سیستم های کلیدزنی و اندازه گیری .

- تلفات اضافی اهمی و نیز تلفات اضافی در هسته و ایجاد حرارت زیاد در ماشین های الکتریکی
- شکست عایقی کابل ها.
- تداخل با سیستم های مخابراتی و PLC[1]
- ایجاد خطا در دستگاه های اندازه گیری
- ایجاد نوسانات مکانیکی
- کاهش ظرفیت فیوزها به دلیل حرارت و عملکرد نامناسب فیوزها.
- عدم عملکرد مناسب سیستم های کنترل
- عملکرد نامناسب و پاسخ اشتباه رله ها
- عملکرد نامناسب مدارات آتش سیستم های الکترونیک قدرت بخصوص مدارات آتشی که براساس تشخیص نقطه صفر ولتاژ عمل می کنند.

WikiPower.ir

الف-۱۲-۲ اثر هارمونیک ها روی خازن ها

در استاندارد خازن های مورد استفاده در شبکه های توزیع مقادیر نامی حالت دائم خازن را چنین مشخص می کند.

- ۱۳۵ درصد کیلووار نامی
- ۱۱۰ درصد ولتاژ موثر نامی (شامل هارمونیک ها به استثنای حالت گذرا)
- ۱۳۰ درصد جریان نامی (شامل هارمونیک ها و مولفه اصلی)
- ۱۲۰ درصد ولتاژ پیک (شامل هارمونیک ها)

[1] - Programable Logic Control

جدول ۱ مثالی از ارزیابی یک خازن را نشان می دهد. در این مثال خازن تحت یک ولتاژ هارمونیکی قرار می گیرد هدف از این مثال این است که مقادیر محاسبه شده برای این خازن را با حدود مجاز ارائه شده در بالا مقایسه نمود.

مولفه اصلی جریان بار کامل برای یک خازن ۱۲۰۰ کیلوواری در یک سیستم با ولتاژ خط ۲۰ کیلوولت از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_c = \frac{Q_{3\phi}}{\sqrt{3}V_{\phi\phi}} = \frac{1200\times10^3}{\sqrt{3}\times20000} = 34.6A$$

اصولاً خازن ها در معرض دو نوع هارمونیک پنجم و هفتم قرار می گیرند. اغتشاش ولتاژ ۴ درصدی هارمونیک پنجم و ۳ درصدی هارمونیک هفتم باعث می گردد ۲۰ درصد هارمونیک پنجم جریان و ۲۱ درصد هارمونیک هفتم جریان داشته باشیم. مقادیر بدست آمده در این حالت همانطور که در جدول ۱ آمده است همگی زیر مقدار استاندارد قرار گرفته اند. به طور کلی هارمونیک ها میزان تلفات عایقی در خازن ها را افزایش می دهند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۱- ارزیابی خازن ها

محاسبات مربوط به خازن ها هنگامی که توسط ولتاژهای غیرسینوسی تغذیه می شوند				
اطلاعات مربوط به بانک خازنی				
توان نامی	۱۲۰۰ کیلووار		فرکانس مولفه اصلی	۵۰ هرتز
ولتاژ نامی	۲۰۰۰۰ ولت		جریان نامی مولفه اصلی	۳۴/۶۴ آمپر
ولتاژ کاری	۲۰۰۰۰ ولت		راکتانس خازنی	۳۳۳/۳ اهم
مرتبه هارمونیک	فرکانس (هرتز)	دامنه ولتاژ (درصد نسبت به مولفه اصلی)	دامنه ولتاژ (ولت)	جریان خط (درصد نسبت به مولفه اصلی)
۱	۵۰	۱۰۰	۱۱۵۴۷	۱۰۰
۳	۱۵۰	۰	۰	۰
۵	۲۵۰	۴	۴۶۱/۸	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
اعوجاج کلی هارمونیک ولتاژ (THD): ۵ درصد ولتاژ موثر خازن: ۱۱۵۶۱/۴۸ ولت		۵ درصد	اعوجاج جریان خازن: مقدارموثر جریان خازن:	۲۹ درصد ۳۶/۰۵ آمپر
حدود بانک خازنی:			محاسباتی (درصد)	حدود مجاز (درصد)

	پیک ولتاژ	۱۰۷	۱۲۰
	ولتاژ موثر	۱۰۰/۱	۱۱۰
	مقدار موثر جریان	۱۰۴/۱	۱۳۰
	توان نامی	۱۰۴/۳	۱۳۵

الف-۱۲-۳ اثر روی ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها به نحوی طراحی می شوند که توان لازم را با کمترین تلفات در فرکانس اصلی به بار منتقل نمایند. اعوجاج هارمونیکی جریان، علاوه بر هارمونیک ولتاژ باعث باعث ایجاد حرارت اضافی قابل ملاحظه ای می گردد. طراحی ترانسفورماتور به نحوی که بتواند هارمونیک های بالاتر را تحمل کند شامل استفاده از کابل بصورت پیوسته ترانسپوز شده بجای هادی توپر و نیز قراردادن کانال های خنک کننده بیشتر می باشد. به عنوان یک قاعده عمومی، ترانسفورماتوری که در آن اعوجاج جریان از ۵ درصد بیشتر باشد مقدار توان نامی آن کاهش می یابد.

موارد مختلف ناشی از مولفه های هارمونیکی جریان بار که باعث افزایش دمای ترانسفورماتور می گردد به ترتیب عبارتند از:

- جریان موثر: اگر ظرفیت ترانسفورماتور برای مقدار KVA بار انتخاب شده باشد هارمونیک جریان باعث می شود که جریان موثر آن بیشتر از ظرفیت مجاز شود. این افزایش جریان سبب افزایش تلفات هادی ها می شود.
- تلفات جریان گردابی: این جریان های القایی در اثر فوران های مغناطیسی در ترانسفورماتور پدید آمده و در سیم پیچی ها، هسته و دیگر بخش های هادی که در معرض فوران میدان هستند موجود می باشند و در نتیجه تلفات حرارتی اضافی بوجود

می آید. این مولفه از تلفات ترانسفورماتور با مربع فرکانس جریان گردابی افزایش می یابد و سهمی مهم از تلفات ترانسفورماتور می باشد. افزایش تلفات هسته ناشی از هارمونیک ها بستگی به اثر هارمونیک ها بر ولتاژ اعمالی و طراحی هسته ترانسفورماتور دارد. افزایش اعوجاج ولتاژ می تواند سبب افزایش جریان گردابی لایه های هسته شود. اثر کلی بستگی به ضخامت لایه های هسته و کیفیت آهن هسته دارد. بالارفتن تلفات هسته بدلیل هارمونیک ها به اندازه دو مورد قبلی نیست.

میزان کم شدن توان نامی ترانسفورماتور در اثر وجود هارمونیک ها در IEEC آمده است. جدول ۲ روش ساده ای را به تصویر کشیده است. ضریب K که در بحث کیفیت برق و در زمینه کم شدن توان نامی ترانسفورماتور بکار برده می شود در جدول ۲ داده شده است.

جدول ۲- محاسبه ضریب K برای ترانسفورماتور

توزیع هارمونیکی 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	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
۵	۲۶/۱	۲۵۰	۰/۲۶۱	۰/۰۶۸	۰/۷۰۳
۷	۵/۰	۳۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۰۳	۰/۱۲۳
۹	۰/۳	۴۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
۱۱	۸/۹	۵۵۰	۰/۰۸۹	۰/۰۰۸	۰/۹۵۸
۱۳	۳/۱	۶۵۰	۰/۰۳۱	۰/۰۰۱	۰/۱۶۲
۱۵	۰/۲	۷۵۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
۱۷	۴/۸	۸۵۰	۰/۰۴۸	۰/۰۰۲	۰/۶۶۶
۱۹	۲/۶	۹۵۰	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۱	۰/۲۴۴

۲۱	۰/۱	۱۰۵۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
۲۳	۳/۳	۱۱۵۰	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	۰/۵۷۶
۲۵	۱/۲	۱۲۵۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	۰/۲۷۶
			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					

روش بررسی نشان داده شده در این جدول بصورت زیر خلاصه می شود.

تلفات بارداری P_{LL} را می توان شامل دو بخش تلفات I^2R و تلفات جریان گردابی P_{EC} فرض نمود.

$$P_{LL} = I^2R + P_{EC}$$

مولفه I^2R مستقیماً متناسب با مقدار موثر جریان است و جریان گردابی متناسب با مربع جریان و فرکانس می باشد که بصورت زیر تعریف می شود:

$$P_{EC} = K_{EC} \times I^2 \times h^2$$

K_{EC}: ثابت تناسب

تلفات بار کامل بصورت پریونیت تحت شرایط هارمونیک جریان توسط رابطه

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

داده می شود.

که در آن P_{EC-R} ضریب تلفات جریان گردابی تحت شرایط نامی است.

ضریب K که در مراجع کیفیت برق در خصوص کاهش ظرفیت ترانسفورماتور بکار می رود برحسب هارمونیک جریان بدینصورت تعریف می شود:

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

بنابراین مقدار موثر جریان اعوجاجی را می توان بدینصورت نوشت:

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

P_{EC-R}: ضریب تلفات جریان گردابی

H: مرتبه هارمونیک

I_h: هارمونیک جریان

بنابراین، کاهش ظرفیت ترانسفورماتور برحسب پریونیت را می توان با داشتن ضریب تلفات جریان گردابی تخمین زد. این فاکتور را می توان چنین محاسبه کرد.

۱- گرفتن این ضریب از طراح ترانسفورماتور (سازنده)

۲- با استفاده از اطلاعات آزمون ها و روش اشاره شده در IEEC

۳- مقادیر نمونه براساس نوع و اندازه ترانسفورماتور (رجوع شود به جدول ۳) که از مرجع شماره (۷) گرفته شده است.

جدول ۳- مقادیر نمونه ای P_{EC-R}

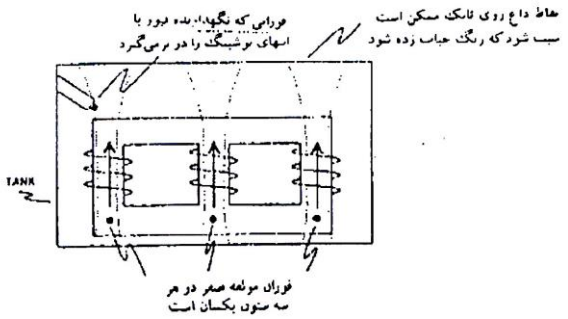
نوع	توان نامی (MVA)	ولتاژ	%P_{EC}
خشک	≤1	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۳-۸
روغنی	≤ 2.5	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۱
	۲/۵-۵	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۱-۵
	> 5	۴۰۰ ولت در فشار ضعیف	۹-۱۵

الف- ۱۲-۱۳-۱ استثنائات:

حالاتی وجود دارد که ترانسفورماتور دارای مشکل هارمونیکی با توجه به مطالب ارائه شده در قبل نمی باشد ولی به دلایلی که ظاهراً اضافه بار است گرم و یا حتی از کار می افتد. به عنوان مثال یک حالت معمول که در ترانسفورماتورهای ستاره زمین شده مشاهده شده است بدین صورت است که مثلاً جریان خط دارای حدود ۸ درصد هارمونیک سوم (که مقدار نسبتاً کوچکی است) می باشد ولی ترانسفورماتور حتی در بارهای کمتر از بار نامی نیز دچار پدیده گرم شدن بیش از حد مجاز می گردد.

با توجه به اینکه ترانسفورماتور آزمون افزایش دما و در نتیجه اضافه بار را در کارخانه گذرانده است سه عامل ارائه شده در ادامه را می توان علت این معضل دانست.

۱- فوران های توالی صفر از هسته ترانس سه فاز سه ستونه (که بیشترین استفاده را در سیستم های توزیع دارند) خارج می شود. شکل ۲۰ این پدیده را به تصویر کشیده است. هارمونیک های مرتبه ۳ و ۹ و ۱۵ هارمونیک های توالی صفر می باشند. بنابراین، اگر اتصال سیم پیچی ها برای عبور جریان توالی صفر مناسب باشند، این فوران های هارمونیکی باعث ایجاد حرارت اضافی در تانک، کلمپ هسته و غیره می گردد. پدیده فوق در آزمون های سه فاز متعادل یا آزمون های تک فاز مشاهده نخواهد شد. جریان خط ۸ درصدی که قبلاً به آن اشاره شد، منجر به جریان هارمونیک سومی برابر با ۲۴ درصد جریان فاز در نقطه نوترال می گردد. این مسئله باعث اضافه شدن فلوی نشتی در تانک و هوا و روغن می شود. این مسئله نیز باعث دو عارضه حباب زدن رنگ تانک و ظهور گرما در یک سر تیوپ فیوز کاردی (بدون سوختن فیوز) می شود.



شکل ۲۰- فوران توالی صفر در ترانسفورماتورهای سه ستونه

۲- وجود مقدار DC در جریان متناوب می تواند باعث فرار فوران از هسته شود. برای مثال، هسته در نیم سیکل مثبت کمی به اشباع رفته در حالی که در نیم سیکل منفی در حالت عادی باقی می ماند. تعدادی از مبدل های الکترونیک قدرت، جریان غیرمتقارن

می کشند. این جریان غیرمتقارن یا بصورت اتفاقی ایجاد می شود و یا بدلایل طراحی موجود خواهد بود که در این حالت مقدار DC برای ایجاد مسائل مشکل زا در ترانسفورماتور قدرت لازم است.

۳- اتصال انتهای بوشینگ، کلمپ ها و دیگر المان های هادی ممکن است در معرض میدان مغناطیسی قرار می گیرند. در فرکانس مولفه اصلی اثر قابل توجهی برروی تلفات سرگردان در این حالت ایجاد نمی شود. لیکن امکان ایجاد نقاط داغ در این قسمت ها هنگامیکه در معرض فوران های هارمونیکی قرار می گیرند وجود خواهد داشت.

الف- ۱۲-۴ اثر برروی موتورها

موتورها در مقابل اعوجاج هارمونیکی ولتاژ ضربه پذیر می باشند. اعوجاج هارمونیکی ولتاژ در ترمینال های ورودی موتور به هارمونیک فوران در داخل موتور منجر می شود. فوران های هارمونیکی در ایجاد گشتاور مشارکتی نمی کنند ولی چون با سرعتی متفاوت با فرکانس اصلی به گردش در می آیند در نتیجه جریان های با فرکانس بالا در رتور ایجاد می کنند. اثر هارمونیک ها روی موتورها شبیه به اثر جریان توالی منفی در فرکانس اصلی می باشد. بنابراین فوران های اضافی علاوه بر افزایش تلفات مشکلات دیگری را نیز بوجود می آورند. کاهش راندمان همراه با گرم شدن، لرزش و نویز از عوارض اعوجاج هارمونیک ولتاژ در موتورها می باشند.

در فرکانس های هارمونیکی، موتورها را با راکتانس رتور قفل شده که به خط متصل است نمایش می دهند مولفه های مرتبه پائین هارمونیکی ولتاژ که دامنه بزرگی داشته و امپدانس ظاهرشده آن کوچک می باشد برای موتورها دارای اهمیت بیشتری است.

اگر اعوجاج ولتاژ در محدوده تعریف شده توسط استاندارد هارمونیک های مجاز در شبکه برق ایران قرار بگیرد نیازی به تغییر ظرفیت موتورها نخواهد بود. مقادیر داده شده در این استاندارد به قرار زیر است:

٪۵= THD و نیز دامنه هر مولفه هارمونیکی فرد باید کمتر از ٪۳ باشد.

هنگامیکه اعوجاج ولتاژ ۵ تا ۱۰ درصد و یا بیشتر شود تلفات حرارتی اضافی ایجاد مشکل می کند. برای افزایش طول عمر موتور چنین اعوجاجی را باید تصحیح نمود و کاهش داد.

موتورها در برابر عبور جریان هارمونیکی بصورت موازی با امپدانس سیستم قدرت قرار می گیرند. در نتیجه باعث بالارفتن فرکانس تشدید بدلیل کاهش اندوکتانس سیستم می گردند. این مسئله مشکلی برای شبکه خواهد بود و بستگی به فرکانس تشدید سیستم قبل از برقدار کردن موتور دارد. موتورها در میرایی مولفه های هارمونیکی نیز نقش بازی می کنند و مقدار آن بستگی به نسبت X/R مدار رتور قفل شده موتور خواهد داشت. سیستم هایی که در آن تعداد زیادی موتورهای با قدرت پایین که دارای نسبت X/R کوچکی هستند وجود دارد، باعث تضعیف تشدید هارمونیکی می شوند. شایان ذکر است که نمی توان از موتورهای بزرگ چنین انتظاری داشت.

۱-۱۳ مشخصه پاسخ سیستم

در سیستم های قدرت، پاسخ سیستم به منابع هارمونیکی دارای اهمیت است. در حقیقت، سیستم های قدرت در مقابل جریان هارمونیکی بوجود آمده توسط بارهای تولیدکننده هارمونیک، مقاوم می باشند مگر آنکه فرکانس این جریان هارمونیکی با فرکانس رزونانس موازی امپدانس از آن باس هم اندازه شود. پاسخ سیستم قدرت در هر فرکانس هارمونیکی اثر واقعی بارهای غیرخطی را بر اعوجاج هارمونیکی ولتاژ تعیین می کند.

الف-۱۳-۱ امپدانس سیستم

در فرکانس مولفه اصلی، سیستم های قدرت اصولاً به صورت اندوکتیو هستند و امپدانس معادل آن را گاهی اوقات راکتانس اتصال کوتاه می نامند. عموماً در سیستم های توزیع و سیستم های صنعتی از اثرات خازنی صرف نظر می گردد. یکی از کمیت هایی که در آنالیز هارمونیکی سیستم های قدرت کراراً استفاده می شود امپدانس اتصال کوتاه تا نقطه ای از شبکه که در آن خازن نصب شده است می باشد. اگر مقدار امپدانس اتصال کوتاه در دسترس نباشد می توان آن را از مطالعات اتصال کوتاه شبکه بدست آورد. مقدار این امپدانس را می توان از مگاولت آمپر اتصال کوتاه یا جریان اتصال کوتاه بصورت زیر بدست آورد:

$$Z_{sc} = R_{sc} + JX_{sc}$$

$$\frac{KV^2}{MVA_{SC}} = \frac{1000 \times KV}{\sqrt{3} I_{sc}}$$

که در آن:

Z_{sc}: امپدانس اتصال کوتاه

R_{sc}: مقاومت اتصال کوتاه

X_{sc}: راکتانس اتصال کوتاه

KV: ولتاژ فاز به فاز برحسب کیلوولتاژ

MVA_{sc}: مگاولت آمپر اتصال کوتاه سه فاز

I_{sc}: جریان اتصال کوتاه، آمپر

Z_{sc} یک کمیت فیزوری بوده و شامل مقاومت و راکتانس است. بهرحال اگر اطلاعات اتصال کوتاه شامل داده های مربوط به مقاومت نباشد فرض می شود که امپدانس کاملاً راکتیو است. این فرض در سیستم های صنعتی برای شینه های نزدیک به منبع فرض خوبی است. در صورتی که نتوان این فرض را پذیرفت اطلاعات مربوط به مقاومت واقعی سیستم را باید بدست آورد. این مسئله وقتی که خازن ها نیز مدل سازی می شوند بسیار مهم خواهد بود.

راکتانس بصورت خطی با فرکانس تغییر می کند. راکتانس هارمونیک h ام را می توان از راکتانس مولفه اصلی یعنی x_1 به صورت زیر بدست آورد:

$$X_h = hX_1$$

در سیستم های قدرت و در مطالعات هارمونیک ها این فرض که مقاومت سیستم تا فرکانس کمتر از مرتبه نه ام تغییر زیادی نمی کند قابل قبول خواهد بود. برای خطوط و کابل ها در صورت درنظر گرفتن اثر پوستی مقاومت بصورت تقریبی با مربع فرکانس تغییر می کند. استثناء در این مورد، ترانسفورماتورهای بزرگ می باشند که بدلیل تلفات جریان گردابی سرگردان، مقاومت آنها متناسب با فرکانس افزایش می یابد. این موضوع در شرایط تشدید اثر مثبتی در میرایی سیستم بوجود می آورد.

در ترانسفورماتورهای کوچک کمتر از ۱۰۰ کیلوولت آمپر، مقاومت و بالطبع مقاومت ظاهری کل تا فرکانس ۵۰۰ هرتز تغییر چندانی نمی کند. البته ترانسفورماتورهای کوچکتر در فرکانس

اصلی دارای نسبت X/R بین ۱ تا ۲ هستند. در صورتیکه برای ترانسفورماتورهای استفاده شده در پست ها این مقدار ۲۰ تا ۳۰ می باشد. بنابراین، اگر امپدانس شینه مورد نظر بیشتر ناشی از امپدانس ترانسفورماتور باشد تا امپدانس خط انتقال، آنگاه مدل امپدانس را باید دقیق تر مورد مطالعه قرار داد. با صرفنظر کردن از مقاومت سیستم، اعوجاج هارمونیکی بیشتری حاصل خواهد شد.

در ولتاژهای پایین مانند سیستم های صنعتی وجه غالب راکتانس معادل سیستم ناشی از امپدانس ترانسفورماتورها است. یک تخمین خوب برای X_{sc} را می توان براساس امپدانس ترانسفورماتور بصورت زیر بدست آورد:

$$X_{sc} \approx X_{tx}$$

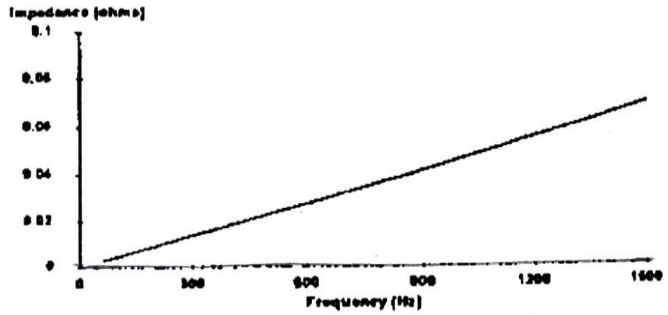
هنگامی که لزومی به دقت بالایی نباشد این امپدانس نزدیک به ۹۰ درصد امپدانس کلی را شامل می شود. معمولاً برای ارزیابی امکان ایجاد تشدید هارمونیکی این تخمین مناسب خواهد بود. امپدانس ترانسفورماتور برحسب اهم را می توان برحسب امپدانس درصدی، Z_{tx} که برروی پلاک ترانسفورماتور نوشته شده است به شکل زیر بدست آورد:

$$X_{tx} = \frac{(KV_{\phi\phi})^2}{MVA_{3\phi}} \times Z_{tx}(\%)$$

در این رابطه فرض می شود که وجه غالب امپدانس راکتیو باشد. برای مثال در یک ترانسفورماتور ۱۵۰۰ کیلوولت آمپری، ۶ درصدی، امپدانس معادل در طرف ۴۰۰ ولت آن برابر است با:

$$X_{tx} = \frac{(0.4)^2}{1.5} \times 0.06 = 0.0064\Omega$$

مقدار امپدانس برحسب فرکانس برای یک سیستم اندوکتیو (که در آن خازن وجود ندارد) در شکل ۲۱ نشان داده شده است.



شکل ۲۱- امپدانس برحسب فرکانس برای یک سیستم اندوکتیو

در این مدل ساده از خازن صرفنظر شده است که در مطالعه هارمونیک ها امکان پذیر نخواهد بود.

الف- ۱۳-۲ امپدانس خازن

خازن های موازی که برای تصحیح ضریب قدرت مورد استفاده قرار می گیرند در فرکانس های مختلف امپدانس سیستم را شدیداً تحت تأثیر قرار می دهند. خازن ها خود عامل تولید هارمونیک نیستند ولی اعوجاج هارمونیکی شدید گاهی اوقات بدلیل حضور خازن تشدید می گردد. درحالیکه راکتانس اندوکتیو با افزایش فرکانس و متناسب با آن افزایش می یابد، راکتانس خازن X_c متناسب با فرکانس کاهش می یابد.

$$X_c = \frac{1}{2\pi \times f \times c}$$

که در آن:

c: ظرفیت خازن به فاراد و f فرکانس است.

در خازن های مورد استفاده در صنعت ظرفیت خازن داده نمی شود بلکه مقدار خازن برحسب Kvar یا Mvar بیان می شود. راکتانس خازنی خط به زمین در فرکانس قدرت برای یک بانک خازنی را می توان چنین بیان نمود.

$$X_c = \frac{KV^2}{M\ \text{var}} = \frac{KV^2(1000)}{K\ \text{var}}$$

برای بانک های خازنی سه فاز باید از ولتاژ خط و توان راکتیو نامی سه فاز استفاده نمود. برای واحدهای تک فاز، از ولتاژ نامی فاز و توان راکتیو نامی استفاده می شود.

برای مثال، برای یک بانک خازنی ۱۲۰۰ کیلووار و سطح ولتاژ ۲۰۰۰۰ ولت، راکتانس توالی مثبت برحسب اهم برابر خواهد بود با:

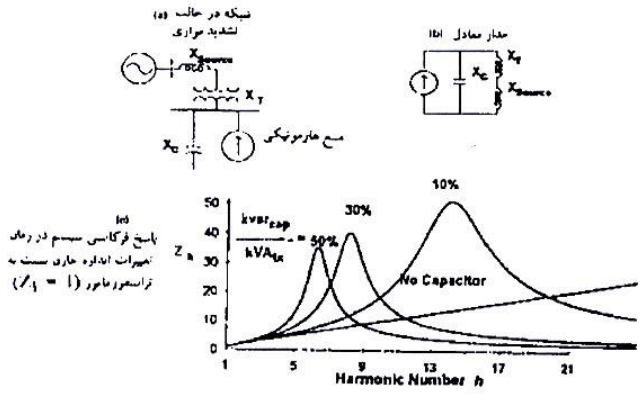
$$X_c = \frac{KV^2}{M\ \text{var}} = \frac{(20)^2}{1.2} = 333.3\Omega$$

الف-۱۳-۳ تشدید موازی

مدارهای شامل خازن و اندوکتانس دارای یک یا تعداد بیشتری فرکانس طبیعی می باشند. وقتی که یکی از این فرکانس ها برابر با فرکانس سیستم قدرت گردد پدیده تشدید بوجود می آید و جریان و ولتاژ در آن فرکانس مقدار بالایی را به خود می گیرد. این پدیده در حقیقت ریشه تمامی مسائل و مشکلات ناشی از اعوجاج هارمونیکی در سیستم های قدرت می باشد.

در فرکانس های هارمونیکی، از دیدگاه منابع هارمونیک، خازن های موازی با اندوکتانس معادل شبکه به شکل موازی قرار می گیرند (رجوع شود به شکل ۲۲a و ۲۲b). در فرکانس های غیر از فرکانس اصلی، شبکه قدرت بصورت اتصال کوتاه دیده می شود. به عبارت دیگر فرض می شود که فقط منبع ولتاژ با فرکانس قدرت وجود دارد. در فرکانسی که X_c و راکتانس کلی

سیستم برابر می شوند، امپدانس ظاهری (ترکیب موازی اندوکتانس سیستم و خازن) که از طرف منبع تولید هارمونیک جریان دیده می شود بسیار بزرگ شده و شرایط تشدید موازی بوجود می آید. اثر تغییر اندازه خازن در امپدانس دیده شده از محل منبع هارمونیک ها در شکل ۲۲c نشان داده شده است.



شکل ۲۲- تأثیر اندازه خازن روی فرکانس تشدید موازی

همانطور که در این شکل مشاهده می شود، اگر یکی از مقادیر پیک امپدانس در فرکانس جریان هارمونیکی تولیدشده توسط بار بوجود آید، افت ولتاژ شدیدی روی امپدانس ظاهری سیستم در مقایسه با حالت بدون خازن اتفاق می افتد. فرکانس تشدید در ترکیب خاصی از خازن و اندوکتانس را می توان از روش های مختلف و با توجه به نوع اطلاعات موجود محاسبه نمود. معادله اصلی تعیین فرکانس بدین صورت است:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

تحلیل گران سیستم های قدرت معمولاً مقادیر C,L سیستم را در اختیار ندارند و بنابراین ترجیح می دهند که از شکل دیگری از روابط استفاده نمایند. با توجه به اینکه در سیستم های توزیع راکتانس اتصال کوتاه معمولاً برابر با امپدانس ترانسفورماتور می باشد یعنی:

$$X_{sc} = X_{tn}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$X_{tx} = (\frac{KV^2\phi - \phi}{MVA_3\phi}) \times Z_{tx}(\%)$$

که در آن $Z_{tx}(\%)$ امپدانس درصدی ترانسفورماتور می باشد. معمولاً مرتبه هارمونیکی فرکانس تشدید براساس امپدانس فرکانس اصلی با استفاده از روابط زیر محاسبه می شود:

$$h_2 = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} = \sqrt{\frac{MVA_{sc}}{M\ \mathrm{var}_{cap}}} \approx \sqrt{\frac{KVA_{tx}}{K\ \mathrm{var}_{cap} \times Z_{tx}(\%)}}$$

که در آن:

h_r: مرتبه هارمونیک فرکانس تشدید

x_c: راکتانس خازن (Ω)

X_{sc}: راکتانس اتصال کوتاه سیستم (Ω)

MVA_{sc}: سطح اتصال کوتاه سیستم برحسب مگاولت آمپر

$Mvar_{cap}$: ظرفیت نامی بانک خازنی برحسب مگاوار

KVA_{tx}: ظرفیت نامی ترانسفورماتور برحسب کیلوولت آمپر

Z_{tx}: امپدانس درصدی ترانسفورماتور

$K\ var_{cap}$: ظرفیت نامی بانک خازنی برحسب کیلووار

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای مثال، در یک شینه مربوط به یک مشترک صنعتی، وقتی که امپدانس ترانسفورماتور وجه غالب را دارد، هارمونیک تشدید برای یک ترانسفورماتور ۱۵۰۰ کیلوولت آمپر با امپدانس ۶ درصدی و بانک خازنی ۵۰۰ کیلوواری تقریباً برابر است با:

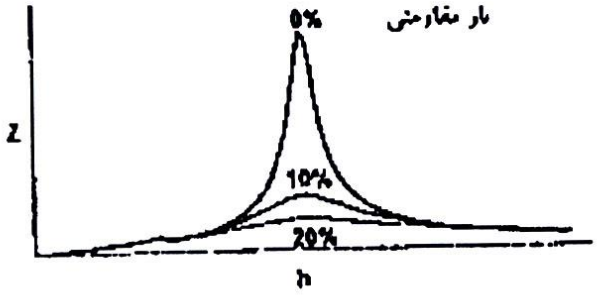
$$h_2 = \sqrt{\frac{1500 \times 100}{500 \times 6}} = 7.07$$

الف- ۱۳-۴ اثر مقاومت و بار مقاومتی

شرایطی که هارمونیک تشدید برابر با هارمونیک منبع می شود همیشه مایه نگرانی نیست. میرایی ایجادشده توسط مقاومت اغلب باعث کاهش ولتاژ و جریان در حالت تشدید در سیستم می گردد.

شکل ۲۳ مشخصه امپدانس مدار تشدید موازی را برای مقادیر مختلف بار مقاومتی که به صورت موازی با خازن قرار گرفته است نشان می دهد.

WikiPower.ir



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۲۳- تأثیر بارهای مقاومتی روی پدیده تشدید موازی

همچنانکه مشاهده می شود تنها مقدار ۱۰ درصد بار مقاومتی تأثیر بسزایی برروی پیک امپدانس سیستم بوجود آورده است. مطابق آن، اگر طول خط یا کابل های بین شینه خازنی و نزدیکترین ترانسفورماتور زیاد باشد، پدیده تشدید اثر نامطلوب کمی را ایجاد می کند زیرا خطوط و کابل ها مقدار زیادی مقاومت به مدار معادل سیستم اضافه می کنند.

مقاومت خط و بارها دلیل خوبی برای این نکته است که مشکل تشدید هارمونیکی نامطلوب روی فیدرهای توزیع بندرت پدید می آید. این بدان معنا نیست که بدلیل تشدید مشکل زیادی بوجود نمی آید، بلکه این مسائل و مشکلات با توجه به شرایط موجب خسارت فیزیکی به تجهیزات شبکه قدرت نمی شوند. بدترین شرایط تشدید وقتی پدید می آید که خازن ها برروی شینه های پست نصب گردند.

نمونه ای از این پست ها، پست توزیع اصلی و یا پست های فرعی در واحدهای صنعتی باشد. در این حالات، وقتی که امپدانس ترانسفورماتور وجه غالب را دارد و نسبت X/R بالا است، مقاومت نسبی کم شده و پیک امپدانس تشدید موازی بسیار بالا و تیز خواهد بود. این پدیده عامل اصلی خرابی خازن ها، ترانسفورماتور و تجهیزات می باشد.

در حالی که مهندسین سیستم های توزیع قادرند که بدون نگرانی از تشدید، بانک های خازنی را روی فیدرها نصب کنند ولی نصب خازن در پست های مراکز صنعتی و پست های اصلی باید بدقت بررسی شود. آمارها نشان می دهند که حدود ۲۰ درصد تأسیسات صنعتی که برروی آنها مطالعات دقیقی صورت نگرفته، در شرایط تشدید، خرابی و صدمه زیادی بر تجهیزات آن متحمل شده است.

در حقیقت، انتخاب ظرفیت خازن براساس صورتحساب های ماهانه ممکن است باعث شود که سیستم در فرکانس مرتبه پنجم به تشدید بیفتد. این هارمونیک بیشترین مقدار هارمونیک ها را در یک سیستم سه فاز بوجود می آورد. شایان ذکر است که بارهای مقاومتی باعث میرایی هارمونیک ها در غیاب تشدید نمی گردند. بارها از هر نوعی که باشند، اثر کمی برروی مقدار جریان های هارمونیکی و در نتیجه اعوجاج ولتاژ دارند. بهرحال، بارهای مقاومتی تشدید را میرا نموده و به کاهش شدید اعوجاج هارمونیکی منجر می شوند.

بارهای موتوری اساساً اندوکتیو هستند و میرایی کمی را ایجاد می کنند. در حقیقت این امکان وجود دارد که با جابجایی فرکانس تشدید به نزدیکی یک فرکانس هارمونیکی، باعث افزایش اعوجاج نیز شوند. موتورهای کم قدرت بدلیل پایین تر بودن نسبت X/R آن ها نسبت به X/R موتورهای سه فاز بزرگ اثر قابل ملاحظه ای برروی میرایی سیستم خواهند داشت.

۱-۱۴ مبانی کنترل هارمونیک ها

در این بخش بعضی از روش های اساسی کنترل هارمونیک ها توضیح داده خواهد شد.

هارمونیک ها هنگامی مشکل زا می شوند که :

- منبع تولید هارمونیک جریان بسیار بزرگ باشد.
- مسیری که در آن این جریان ها عبور می کنند بسیار طولانی باشد. در نتیجه باعث ایجاد اعوجاج ولتاژ بیشتر یا اختلالات تلفنی می شود.
- پاسخ سیستم به یک یا چند هارمونیک اهمیت بیشتری بدهد.

وقتی که یک مشکل هارمونیکی اتفاق می افتد، روش های اصلی کنترل هارمونیک به قرار زیر است:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- کاهش مقدار جریان های هارمونیک تولیدشده توسط بار
- اضافه کردن فیلتر به منظور ایجاد مسیری برای هارمونیک ها و یا جلوگیری از واردشدن هارمونیک ها به سیستم و یا تغذیه کردن هارمونیک های جریان بصورت محلی.
- تغییر پاسخ فرکانسی سیستم با استفاده از فیلترها، اندوکتانس و خازن.

الف-۱۴-۱ کاهش جریان های هارمونیکی در بارها

همانطور که گفته شد در ارتباط با تجهیزات موجود برای کاهش مقدار هارمونیک، کار کمی می توان انجام داد، زیرا امکان عملکرد نامناسب نیز در این حالت بوجود می آید. در حالیکه یک ترانسفورماتور را با کاهش ولتاژ اعمالی به آن می توان از حالت اشباع و در نتیجه تولید هارمونیک خارج نمود، ولی تجهیزات قوس زننده و یا اغلب مبدل های الکترونیک قدرت در مشخصه ای که برای آن طراحی شده کار نموده و نمی توان بر روی آنها مانور خاصی انجام داد.

محرکه های استفاده کننده از تکنیک PWM که خازن شینه DC را بصورت مستقیم از خط و بدون هیچ امپدانسی شارژ می کنند یک استثناء بشمار می روند. اضافه نمودن راکتور سری در خط، هارمونیک ها را کاهش داده و حفاظت بهتری را در شرایط گذرا بوجود می آورد.

از نوع اتصال ترانسفورماتور می توان استفاده نمود و هارمونیک ها را در یک سیستم سه فاز کاهش داد. جابجایی فاز ۳۰ درجه ای نیمی از مبدل های ۶ پالسی در یک مجموعه می تواند مزایای یک مبدل ۱۲ پالسی را که در آن هارمونیک های پنجم و هفتم شدیداً کاهش می یابند بوجود آورد. ترانسفورماتورهای اتصال یافته بصورت مثلث، می توانند از ورود هارمونیک

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

توالی صفر (مرتبه صفر) به خط جلوگیری نمایند. استفاده از اتصال زیگزاگ و زمین کردن ترانسفورماتور نیز اجازه ظهور هارمونیک های مرتبه سوم به خط را نخواهند داد.

خرید یک تجهیز از فروشنده با این اصل که تولید هارمونیک توسط آن دستگاه می تواند برای سازنده جریمه (کاهش قیمت خرید) به همراه داشته باشد نیز می تواند مفید باشد. این مسئله بخصوص برای بارهای روشنایی می تواند بکار رود.

الف-۱۴-۲ فیلتر کردن

فیلترهای موازی توسط اتصال کوتاه کردن جریان هارمونیکی، تا حد امکان اعوجاج را کاهش می دهند. این روش معمول ترین نوع فیلترسازی عملی بوده و بدلیل مسائل اقتصادی و نیز تمایل به بهبود ولتاژ اعمالی به بار با حذف هارمونیک های جریان مورد استفاده قرار می گیرد. روش دیگر استفاده از فیلتر سری است که باعث سدکردن هارمونیک های جریان می گردد. این نوع فیلتر، مدار موازی قابل تنظیمی است که امپدانس بالایی را در برابر جریان هارمونیکی ایجاد می کند. البته این نوع فیلتر، مدار موازی قابل تنظیمی است که امپدانس بالایی را در برابر جریان هارمونیکی ایجاد می کند.

البته این نوع فیلتر کمتر مورد استفاده قرار می گیرد زیرا در صورت استفاده از آن ولتاژ بار اعوجاجی می گردد. یک نوع کاربرد عملی این فیلترها، قرارگرفتن آنها در مسیر نقطه نوترال یک بانک خازنی با اتصال ستاره تا نقطه زمین می باشد. با این عمل مسیر هارمونیک های مرتبه سوم سد شده، در حالی که مسیر خوبی را در برابر فرکانس قدرت از خود نشان می دهد.

فیلترهای فعال نیز با واردکردن مولفه هارمونیکی جریان به یک بار غیرخطی عمل حذف هارمونیک ها را انجام می دهند.

الف- ۱۴-۳ اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم.

با روش های زیر می توان پاسخ سیستم به هارمونیک ها را بهبود بخشید:

۱- اضافه کردن فیلتر موازی نه تنها باعث می گردد که جریان هارمونیکی از سیستم خارج شود، بلکه با اضافه کردن آنها پاسخ فرکانسی سیستم به طور کامل تغییر می کند و اغلب اوقات و نه همیشه با این روش پاسخ فرکانسی سیستم را می توان بهبود بخشید.

۲- اضافه کردن راکتور برای تنظیم مجدد سیستم. تشدید های مضر برای سیستم، معمولاً بین اندوکتانس سیستم و خازن های تصحیح ضریب قدرت بوجود می آید. راکتور را می توان بین سیستم و خازن متصل نمود. یک روش ساده سری نمودن یک راکتور با خازن بوده که این کار شرایط تشدید سیستم را بدون تنظیم خازن برای ایجاد شرایط فیلتری تغییر می دهد.

۳- تغییر اندازه خازن. این روش شاید ارزان ترین مورد هم برای مشترکین صنعتی و هم برای شرکت های برق باشد.

۴- جابجاکردن محل نصب خازن به نقاطی با امپدانس اتصال کوتاه متفاوت. این روش هنگامی استفاده می شود که نصب بانک خازنی در یک محل باعث تداخلات تلفنی گردد. جابجایی بانک خازنی به محل دیگر این مشکل را به خوبی رفع می کند. البته این مسئله برای مشترکین صنعتی چندان امکان پذیر نیست زیرا محل قرارگیری خازن را نمی توان چندان تغییر داد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵- برداشتن خازن و پذیرش تلفات بیشتر، ولتاژ پایین تر و پرداخت جریمه ضریب قدرت که اگر از نظر فنی قابل قبول باشد، گاهی اوقات بهترین انتخاب از دیدگاه اقتصادی است.

الف- ۱۴-۴ در فیدرهای توزیع شرکت های برق

نسبت X/R در فیدرهای توزیع معمولاً کم است. بنابراین در فیدرها مسئله تقویت اعوجاج ناشی از تشدید دارای اهمیت نخواهد بود. بهرحال در زمان کلیدزنی خازن ها، اعوجاج ها می توانند قابل توجه بوده و باعث عملکرد نامطلوب تجهیزات گردند. مهندسین توزیع، بانک های خازنی را در فیدرهای موردنیاز قرار می دهند بدون آن که هیچگونه نگرانی در مورد ایجاد هارمونیک داشته باشند. وقتی که مسئله ای رخ می دهد راه حل معمول، جابجایی محل بانک خازنی و یا تغییر اندازه خازن خواهد بود.

بسیاری از مسائل هارمونیکی مربوط به اضافه کردن بانک خازنی در فیدرها، ناشی از افزایش هارمونیک های مرتبه سوم در مدار نوترال فیدر است. بمنظور تغییر مسیر عبور جریان های هارمونیکی توالی صفر، باید تغییراتی در اتصال نوترال بانک های خازنی با اتصال ستاره ایجاد نمود. بنظور بلوکه کردن جریان، می توان نقطه نوترال را باز نمود.

گاهی اوقات قراردادن راکتور در نقطه نوترال بانک خازنی، بانک را به عامل نوسان کننده تنظیم شده ای برای هارمونیک توالی صفر تبدیل می کند.

بسیاری اوقات، در فیدرهای توزیع مسائل هارمونیکی در هنگام بار کم بوجود می آید. در این حالت ولتاژ افزایش یافته و در نتیجه ترانسفورماتورها تولید هارمونیک بیشتری می کنند. علاوه

بر آن چون بار کمی برای میراکردن تشدید وجود دارد، خارج کردن خازن در این مواقع می تواند به حل مسئله کمک کند.

اگر جریان هارمونیکی ناشی از منابع هارمونیکی که بصورت پراکنده در سیستم وجود دارند احتیاج به فیلترکردن داشته باشند، راه حل عمومی استفاده از چند فیلتر روی فیدرها خواهد بود. با اینکار مسیر متوسط جریان های هارمونیکی کوتاه شده و در نتیجه تداخلات رادیویی کاهش و افت ولتاژ هارمونیکی در سیستم کم خواهد شد. در نتیجه اعوجاج ولتاژ بر روی فیدرکاهش می یابد. کم کردن هارمونیک های ولتاژ به کمک فیلتر در فیدرها باعث می شود که اعوجاج ولتاژ در نقاط دیگر نیز در محدوده مناسبی قرار بگیرد. مطالعات هارمونیکی باید برروی هر بانک خازنی بزرگ که در پست های توزیع نصب می شود انجام گیرد زیرا نمی توان برروی میرایی ناشی از تلفات در این نقطه از سیستم تکیه نمود.

الف-۱۴-۵ امکانات در فیدرهای توزیع

اولین مرحله، مشخص نمودن امکان تغییر اندازه خازن است. گاهی اوقات همراه با بارها تعداد زیادی خازن وارد شبکه توزیع می شوند بنحویکه نمی توان مقدار ظرفیت خازن را کنترل نمود. به هر حال با خازن های سوئیچ شده و کنترل کننده های ضریب قدرت اتوماتیک می توان روش کنترلی را انتخاب نمود که از ایجاد شرایط نامناسب و بوجود آمدن مشکل جلوگیری کند. از نظر عملی و اقتصادی نصب فیلتر برای مشترکین جذاب تر از نصب فیلتر در سیستم های توزیع است. مشترکین صنعتی باید روش های کاهش هارمونیک با استفاده از اتصالات مختلف در ترانسفورماتورها را نیز بررسی نمایند. استفاده از ترانسفورماتورهای زیگزاگ برای حذف هارمونیک های مرتبه سوم در مدارات سه فاز نیز امکان پذیر است.

مطالعات باید بر روی تمامی خازن های نصب شده در سیستم های صنعتی انجام پذیرد. این سیستم ها عموماً کوچک هستند بنحوی که تلفات خط در آن ها کم و در نتیجه امکان میراسازی در شرایط تشدید بوجود نمی آید. در بعضی کارخانه ها و مراکز صنعتی استثنائاتی وجود دارد زیرا خازن ها نزدیک بارها نصب می شوند و در این حالت مقاومت کافی برای جلوگیری و کاهش تشدید وجود دارد. همچنین، بعضی بارها در میرایی سیستم نقش بسزایی دارند. اگر قرار است برای اولین بار خازن ها نصب گردند، استفاده از خازن ها در نزدیکی موتورها و یا مراکز کنترل موتورها مشکلات ناشی از مسئله تشدید را کاهش خواهد داد. این مورد همچنین دارای این مزیت است که تلفات سیستم را می توان بسادگی با قراردادن خازن در شینه اصلی کاهش داد.

۱-۱۵ شناسایی محل منابع هارمونیک ها

در فیدرهای توزیع شعاعی و در کارخانجات صنعتی، تمایل اصلی هارمونیک های تولیدشده، جریان یافتن از محل تولید خود (بارهای هارمونیک زا) به طرف منبع تغذیه سیستم قدرت می باشد. این مسئله در شکل ۲۴ نشان داده شده است. امپدانس سیستم معمولاً کمترین امپدانسی است که جریان های هارمونیکی در مقابل خود می بینند. بنابراین، قسمت اعظم جریان به طرف منبع تغذیه سیستم جاری می شود. از این مطلب می توان بهره جست تا محل منابع تولید هارمونیک را شناسایی نمود.

گردد. بنابراین لازم است که بصورت موقت تمامی خازنها را از مدار خارج کرده تا محل منابع تولید هارمونیک را بتوان بطور دقیق و مشخص نمود.

جریان هارمونیکی تولیدشده توسط منابع هارمونیکی واقعی و جریان هارمونیکی ناشی از تشدید با بانک خازنی به راحتی قابل تمایز هستند. جریان های حاصل از تشدید دارای یک هارمونیک غالب هستند که برروی موج سینوسی اصلی سوار می گردد. همانطور که می دانیم شکل موج های جریان هارمونیکی تنها دارای یک مولفه (علاوه بر مولفه اصلی) نخواهد بود. این شکل موج ها بسته به پدیده اعوجاج زا دارای شکل موج های متفاوتی می باشند ولی بهرحال دارای چندین هارمونیک با دامنه های متفاوت خواهند بود. یک هارمونیک تنها با دامنه بالا تقریباً همیشه شرایط تشدید را نشان می دهد.

حقیقت زیر را می توان برای تعیین شرایط تشدید و وجود آن در سیستم بکار برد. برای این کار ابتدا جریان ورودی به خازن ها اندازه گیری می شود. اگر جریان دارای مقدار بزرگی از یک هارمونیک علاوه بر مولفه اصلی است می توان نتیجه گرفت که خازن در حال تشدید با بقیه سیستم است.

همواره در اولین مرحله جریان خازن ها را بازبینی و اندازه گیری نمائید.

۱-۱۶ تجهیزات موردنیاز فیلترکردن اعوجاج هارمونیکی

دو دسته اصلی فیلتر مورد استفاده قرار می گیرد:

۱- فیلترهای غیرفعال

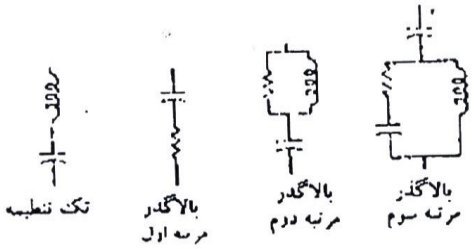
۲- فیلترهای فعال

در اینجا قابلیت های برجسته هر دسته توضیح داده می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

الف-۱۶-۱ فیلترهای غیرفعال

فیلترهای غیرفعال از مقاومت، اندوکتانس و خازن ساخته می شود. این گونه فیلترها در مقایسه با دیگر وسایل حذف اعوجاج هارمونیک ها ارزانتر می باشند ولی در عوض تداخل معکوس آن با بقیه سیستم می تواند سبب ایجاد مشکل گردد. دو نوع فیلتر غیرفعال مورد استفاده قرار می گیرند. نوع اول جریان هارمونیکی را به سوی خود جذب و از خط و سیستم خارج می کند و نوع دوم با تنظیم کردن عناصرش بمنظور ایجاد تشدید در یک فرکانس هارمونیکی مشخص، از عبور جریان هارمونیکی به بخش های دیگر جلوگیری می کند. شکل ۲۶ چندین نوع از فیلترهای معمولی را نشان می دهد.



شکل ۲۶- آرایش های معمول برای فیلترهای غیرفعال

معمولی ترین نوع فیلتر غیرفعال، فیلتر تک تنظیم برشی می باشد. این نوع، اقتصادی ترین نوع فیلتر غیرفعال بوده و غالباً برای کاربرد موردنظر نیز کافی خواهد بود. مثالی از طراحی یک فیلتر ۴۰۰ ولت در شکل ۲۷ به تصویر کشیده شده است. فیلتر برشی، یک فیلتر سری قابل تنظیم است که امپدانس کمی را دربرابر یک هارمونیک خاص از خود نشان می دهد و به صورت موازی به شبکه قدرت متصل می گردد. بنابراین، جریانهای هارمونیکی از مسیر عادی خود در خطوط به سمت فیلتر منحرف می گردند. فیلترهای برشی، علاوه بر حذف هارمونیکها

می تواند جهت تصحیح ضریب قدرت نیز بکار روند. شکل ۲۷ یک بانک خازنی با اتصال مثلث که با استفاده از یک اندوکتانس سری شده با آن به یک فیلتر تبدیل شده است را نشان می دهد. در این حالت، هارمونیک حذف شده h_{notch} توسط رابطه زیر به راکتانس فرکانس اصلی مرتبط می گردد.

$$h_{notch} = \sqrt{\frac{X_c}{3X_f}}$$

توجه کنید که X_c راکتانس یک شاخه از اتصال مثلث (به جای راکتانس خازنی معادل خط به زمین) است. اگر قرار بود که از ولتاژ فاز به فاز و کیلووار سه فاز برای محاسبات استفاده گردد استفاده از ضریب ۳ لازم نخواهد بود. یکی از مهمترین اثرات جانبی اضافه کردن یک فیلتر این است که نقطه تشدید موازی تیزی در یک فرکانس که در زیر فرکانس حذف شده قرار گرفته ایجاد می کند (رجوع شود به شکل ۲۷) این فرکانس باید بدور از هر فرکانس هارمونیکی مهم در سیستم باشد. فیلترها معمولاً کمی پایین تر از هارمونیکی که قرار است فیلتر نمایند تنظیم می شوند تا در صورت تغییر پارامترهای سیستم حاشیه امنیتی را ایجاد نمایند. اگر فیلتر دقیقاً در فرکانس هارمونیکی تنظیم گردد تغییر خازن و یا اندوکتانس سیستم ناشی از حرارت یا خرابی، فرکانس تشدید موازی را به مقدار هارمونیک بالاتر جابجا می کند. در این حالت شرایطی فراهم می آید که بدتر از نداشتن فیلتر است زیرا در این حالت شرایط تشدید بسیار تیزی پدید می آید.

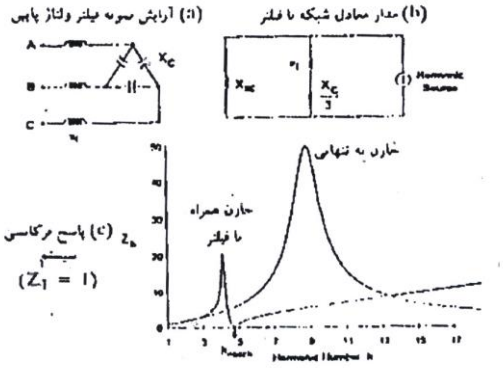
به دلایل فوق، فیلترها باید ابتدا برای کمترین هارمونیکی که در سیستم ایجاد می شود تنظیم گردند. برای مثال نصب فیلتر هارمونیک هفتم معمولاً نیاز به نصب فیلتر هارمونیک پنجم را نیز دارد.

طریقه اتصال فیلتر در شکل ۲۷a بدلیل نوع اتصال مثلث اجازه جذب جریان توالی صفر را نخواهد داد.

در نتیجه برای فیلترکردن هارمونیک های مرتبه سوم غیرموثر است. راه حل های دیگری را نیز باید به کار برد تا جریان های هارمونیک مرتبه سوم (توالی صفر) را کنترل نمود، زیرا در سیستم ۳۸۰ ولت عموماً خازن ها را بصورت مثلث می بندند. در عوض در سیستم های توزیع خازن ها بصورت اتصال ستاره متصل می گردند. در این حالت می توان با تغییر اتصال نوترال مسیری برای هارمونیک های توالی صفر (مرتبه سوم) ایجاد نمود. راه عملی برای فیلترکردن هارمونیک های توالی صفر قراردادن راکتور در نقطه نوترال خازن است. از این روش برای حذف تداخلات تلفنی نیز استفاده می گردد. راکتورهایی با چندین تپ خروجی، در نقطه نوترال اتصال می یابند و نهایتاً از تپی استفاده می شود که تداخلات تلفنی را حداقل نماید.

فیلترهای غیرفعال همواره بر روی شینه هایی قرار می گیرند که انتظار می رود X_{sc} آنها ثابت بماند. درحالیکه فرکانس حذف شده ثابت است، تشدید موازی با امپدانس سیستم تغییر خواهد نمود. برای مثال، فرکانس تشدید یک سیستم که از طریق یک ژنراتور اضطراری تغذیه می شود بسیار کمتر از حالتی است که همان سیستم به شبکه متصل شود. بنابراین فیلترها را می توان در شرایطی که از ژنراتور اضطراری استفاده می شود از مدار خارج نمود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۲۷- ساختن یک فیلتر برشی برای حذف هارمونیک پنجم و تأثیر آن روی پاسخ سیستم

الف-۱۶-۲ فیلتر های فعال

فیلترهای فعال تجهیزات نسبتاً جدیدی برای حذف هارمونیک ها می باشند. عملکرد آنها براساس مدارات الکترونیک قدرت پیچیده بوده و در نتیجه هزینه بسیار زیادتری نسبت فیلترهای غیرفعال دارند. بهرحال، این دسته فیلترها دارای مزایای متمایزی مانند تشدید نکردن با سیستم می باشند. این گونه تجهیزات را در شرایط بسیار مشکل، جائیکه فیلتر غیرفعال بصورت موفق عمل نمی کنند (بدلیل بروز تشدید موازی) می توان بکار برد. اینگونه تجهیزات در یک زمان می توانند بیش از یک هارمونیک را نیز کنترل نمایند و همچنین بعضی دیگر از مسائل کیفیت برق مانند فلیکر ولتاژ را کنترل نمایند. این نوع فیلترها بصورت خاص برای بارهای بزرگ و اعوجاج ساز که در یک نقطه نسبتاً ضعیف در سیستم قدرت متصل می شوند مفید خواهندبود. ایده اصلی در این گونه تجهیزات وارد نمودن بخشی از موج سینوسی است که در جریان بار غیرخطی وجود ندارد.

۱-۱۷- مراحل انجام مطالعه هارمونیک ها

روش ایده آل برای انجام مطالعه هارمونیک های سیستم در زیر توضیح داده می شود.

- ابتدا هدف مطالعه باید مشخص شود. بسیار مهم است که بررسی را بتوان در مسیر مناسب قرار داد. برای مثال ممکن است هدف تشخیص عوامل و مسائل موجود و راه حل ها باشد. هدف دیگر می تواند معین نمودن این نکته باشد که آیا تجهیزات مدرن مانند محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت و خازن ها مشکلی ایجاد می کنند یا نه؟
- انجام دادن یک شبیه سازی کامپیوتری براساس اطلاعات موجود. اندازه گیری ها می توانند از نظر مدت زمان، استفاده از تجهیزات و ایجاد قطعی سیستم باعث هزینه های اضافی شوند. به عبارت دیگر اگر ایده خوبی از آنچه که در جستجوی آن هستیم و محلی که باید آن را جستجو کرد وجود داشته باشد، بسیار اقتصادی خواهد بود.
- انجام اندازه گیری روی تجهیزات موجود و مشخص نمودن منابع هارمونیکی و اعوجاج روی شینه ها
- کالیبره کردن مدل کامپیوتری با استفاده از اندازه گیری ها
- مطالعه شرایط در مدارات جدید و یا مسائل موجود صرفنظر از نوع عامل ایجادکننده مشکل
- پیدانمودن راه حل ها (فیلتر و غیره) و بررسی امکان تداخل آنها با سیستم. همچنین، بازبینی حساسیت نتایج نسبت به متغیرهای مهم.
- بعد از پیاده نمودن روش های پیشنهادی، باید از مونیتورینگ سیستم بمنظور تصدیق عملکرد صحیح سیستم استفاده کرد.

شایان ذکر است که این روند مطالعه بر این فرض استوار است که به ابزارهای آنالیز کامپیوتری و تجهیزات مونیتورینگ دسترسی کافی وجود دارد. باید پذیرفت که همیشه نمی توان تمام مراحل اشاره شده قبل را با دقت مطلوب انجام داد. بیشترین مراحلی که احتمال حذف آن می رود یک یا دو مرحله از اندازه گیری ها بدلایل مختلف از جمله هزینه است. یک تحلیل گر با تجربه می تواند بدون انجام آزمون ها مسئله را حل نماید ولی بشدت توصیه می شود که اندازه گیری های اولیه ای در صورت امکان انجام شود زیرا این امکان وجود دارد که بعضی مسائل در مطالعه هارمونیک ها از دید تحلیل گر سیستم دور بماند.

۱-۱۸ مولفه های متقارن

مهندسین قدرت بصورت سنتی از مولفه های متقارن بمنظور درک بهتر رفتار سیستم سه فاز استفاده می کنند. با استفاده از این مولفه ها سیستم سه فاز به سه سیستم تک فاز تبدیل شده که در این حالت تحلیل آن بسیار ساده تر خواهد بود. روش مولفه های متقارن را می توان برای بررسی پاسخ سیستم به جریان های هارمونیکی نیز بکار برد. با این روش می توان هر مجموعه از جریان ها یا ولتاژهای نامتعادل را به سه مجموعه متعادل تبدیل نمود. مجموعه توالی مثبت شامل سه موج سینوسی با ۱۲۰ درجه اختلاف نسبت به یکدیگر می باشند (A-B-C). امواج سینوسی توالی منفی نیز با یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف دارند اما جهت گردش آن مخالف توالی مثبت است یعنی (A-C-B). امواج سینوسی توالی صفر با یکدیگر هم فاز می باشند.

در یک سیستم کاملاً متعادل:

هارمونیک های مرتبه ... و ۱۳ و ۷ و ۱= h توالی مثبت می باشند.

هارمونیک های مرتبه ... و ۱۷ و ۱۱ و ۵ = h توالی منفی می باشند.

هارمونیک های مرتبه ... و ۱۵ و ۹ و ۳ = h توالی صفر می باشند.

در صورتی که سیستم متعادل باشد واژه های هارمونیک مرتبه سوم و توالی صفر با یکدیگر مترادف هستند. ولی دقت نمائید که حتماً سیستم باید متعادل باشد. وقتی که این شرایط موجود نباشد، هر یک از هارمونیک ها جزیی از هریک از توالی ها خواهند بود.

پاسخ سیستم به هارمونیک های توالی مثبت کاملاً واضح است. در صورتی که فقط به بررسی توالی مثبت نیاز باشد مسئله بسیار ساده خواهد بود. مهندسین قدرت در محاسبات پخش بار و افت ولتاژ از مولفه های توالی مثبت استفاده می کنند. خوشبختانه، برای بسیاری از بارهای صنعتی سه فاز می توان این گونه مطالعات را انجام داد. بصورت ساده می توان گفت که:

وقتی که یک سیم پیچ مثلثی در ترانسفورماتور بطور سری با منابع هارمونیکی و شبکه قرار گرفته باشد، تنها مدار توالی مثبت برای تعیین پاسخ سیستم کافی است. در چنین سیستمی هارمونیک های توالی صفر وجود ندارند و از مسیر حرکت آن ها جلوگیری شده است.

هردو شبکه توالی مثبت و منفی معمولاً دارای پاسخ یکسانی در برابر هارمونیک ها هستند و از یک مدل مداری یکسان می توان برای هردو استفاده نمود. اگر در هنگام اندازه گیری هارمونیک های مرتبه سوم خود را نشان دهند، در صورت وجود منابع هارمونیکی نامتعادل اینگونه هارمونیک ها توالی صفر نیستند و می توان آنها را با همان مدل بررسی نمود.

روش مولفه های متقارن برای بررسی سیستم های توزیع چهارسیمه که دارای تعداد زیادی بارهای تک فاز می باشند مفید نخواهد بود، زیرا باید هردو شبکه توالی مثبت و صفر در

محاسبات وارد شوند. معمولاً غیرعملی است که سیستم را بصورت دستی حل نمود و اغلب با برنامه های کامپیوتری که قادر به مدل سازی دقیق این سیستم ها و حل آنها می باشند، می توان این کار را انجام داد. استفاده از مولفه های متقارن امکان ایجاد خطا را بیشتر می کند زیرا امکان خطای تحلیل گر سیستم نیز وجود دارد. بنابراین توصیه می شود که استفاده از روش های مولفه های متقارن توسط افرادیکه با رفتار غیرمتعادل سیستم ناآشنا هستند انجام نگیرد.

بطور خلاصه، بسیاری از مطالعات هارمونیکی را می توان با تکنیک های مدل سازی مولفه های متقارن انجام داد. در صورت مطالعه بارهای صنعتی، در اکثر حالات، اینگونه بارها را می توان با استفاده از مدل امپدانس توالی مثبت حل نمود. یک استثنا مشخص، مطالعه هارمونیک های ناشی از بارهای تک فاز در فیدرهای توزیع ۲۲۰/۳۸۰ ولت در ساختمان های تجاری یا صنعتی است.

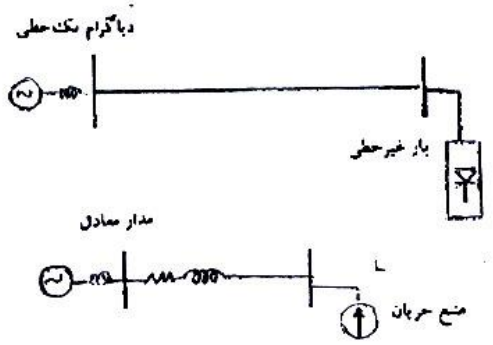
WikiPower.ir

۱-۱۹ مدل سازی منابع هارمونیکی

اغلب بررسی های هارمونیکی با استفاده از تکنیک های حل مدارات خطی در حالت مانا انجام می گیرد. منابع هارمونیک ها که عناصر غیرخطی می باشند بصورت منابع تزریقی به شبکه خطی مدل سازی می شوند. برای اغلب مطالعات پخش بار هارمونیکی، منابع هارمونیکی را می توان بصورت منابع ساده جریان هارمونیکی مدل سازی نمود. این مدل زمانی که اعوجاج ولتاژ در شینه اصلی کمتر از ۵ درصد باشد، قابل اعمال خواهد بود. شکل ۲۸ جایگزینی یک مبدل الکترونیک قدرت با یک منبع جریان در مدار معادل را نشان می دهد.

مقدار جریان تزریقی را می توان توسط اندازه گیری مشخص نمود. در صورت نبود آن و نیز اطلاعات دیگر معمولاً فرض می شود که مقدار هارمونیک ها بطور معکوس با مرتبه هارمونیک متناسب است. یعنی، جریان هارمونیک پنجم یا ۲۰ درصد مولفه اصلی است و غیره. این نتیجه از سری فوریه موج مربعی حاصل می شود.

بسیاری از بارهای غیرخطی ممکن است جریان مربعی بکشند، ولی بهرحال این اصل را نمی توان در مورد محرکه های استفاده کننده از تکنیک PWM پیشرفته و منابع تغذیه سوئیچینگ که دارای مولفه های هارمونیکی بزرگتری هستند اعمال نمود. جدول ۴ مقادیر نمونه ای را که می توان برای تحلیل چندنوع از تجهیزات بکار برد ارائه داده است.



شکل ۲۸- نمایش یک بار غیرخطی توسط یک منبع جریان هارمونیکی جهت تحلیل سیستم

جدول۴- درصد اعوجاج هارمونیکی نمونه تولیدشده توسط منابع هارمونیکی مرسوم (هارمونیک های فرد مرتبه ۱ تا ۱۳)

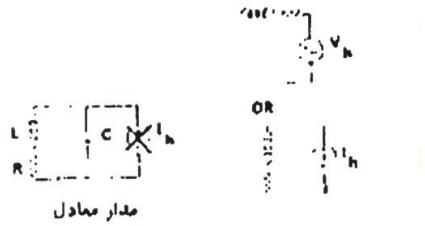
مرتبه هارمونیک	محرکه موتور ۶ پالسه	محرکه با تکنیک PWM	روشنایی از نوع قوسی	منابع تغذیه سوئیچینگ

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 مدل های تک فاز و سه فاز غیرمتقارن

وقتی که سیستم در حول و حوش تشدید است، استفاده از یک منبع جریان ساده، تخمین خوبی از ولتاژ اعوجاجی را نخواهد داد. در این حالت مدل منبع جریان ساده، به مفهوم تزریق جریان ثابتی به یک امپدانس بزرگ خواهد بود که شرایط کار واقعی سیستم را نشان نمی دهد. اغلب مهمترین مسئله، تعیین فرکانس تشدید است که این موضوع را می توان براحتی از مدل ساده بدست آورد. وقتی که شرایط تشدید به کمک اضافه کردن فیلتر حذف شد پاسخ بدست آمده از مدل ساده واقعی تر خواهد شد.

جهت حالاتی که در شرایط تشدید پاسخ دقیق تری لازم است باید از مدل های پیچیده تری استفاده نمود. برای بسیاری از تجهیزات شبکه قدرت مدار معادل تونن یا نورتن کافی خواهد بود (رجوع شود به شکل ۲۹



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل۲۹- جایگزینی مدل ساده منبع جریان با یک مدار معادل تونن یا نورتن برای بهبود و مدلسازی سیستم در شرایط تشدید

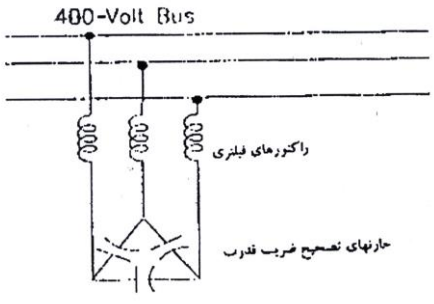
در این حالت امپدانس اضافی پاسخ مدار تشدید موازی را تصحیح می کند

مدار معادل تونن را می توان به راحتی برای بسیاری از بارهای غیرخطی بدست آورد. برای مثال، یک کوره قوس الکتریک را می توان با یک ولتاژ موج مربعی با مقدار پیک تقریبی ۵۰ درصد ولتاژ AC نامی سیستم نمایش داد. امپدانس سری آن نیز امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور کوره و سیم های ارتباطی می باشد.

متأسفانه، بدست آوردن یک امپدانس معادل مشخص برای بسیاری از بارهای غیرخطی، مشکل است. در این حالات، شبیه سازی دقیق بارهای تولیدکننده هارمونیک ها لازم خواهد بود. این کار را می توان با برنامه های کامپیوتری که از روش تکراری استفاده می کنند و یا برنامه هایی که از روش تحلیل دقیق در حوزه زمان بهره می گیرند انجام داد. خوشبختانه، بندرت نیاز به چنین مطالعات دقیقی در شرایط تشدید خواهد بود و معمولاً می توان تجهیزات قوس زننده را با مدل تونن مدل سازی نمود.

۱-۲۰ طراحی فیلترهای هارمونیکی

طراحی فیلتر با یک مثال ساده ولی مرسوم توضیح داده می شود. یک فیلتر برشی قابل تنظیم ۴۰۰ ولت در شکل ۳۰ نشان داده شده است. فیلتر برای هارمونیک پنجم طراحی شده و کمی پایین تر از فرکانس هارمونیک موردنظر تنظیم می گردد.



شکل ۳۰- مثالی از یک آرایش فیلتری ولتاژ پایین

این روش، تولرانس اندازه عناصر فیلتر را تا حدودی خنثی نموده و همچنین از عمل کردن فیلتر در فرکانس هارمونیک موردنظر بصورت اتصال کوتاه مستقیم جلوگیری می کند.

روش عمومی کاربرد فیلتر بصورت زیر است:

- اعمال یک فیلتر موازی تک تنظیم و طراحی آن برای پایین ترین هارمونیک تولیدشده
- تعیین سطح اعوجاج ولتاژ در شینه ولتاژ پایین.
- تغییر عناصر فیلتر با درنظرگرفتن خطاها و بازبینی تأثیر فیلتر
- بررسی مشخصه پاسخ فرکانسی سیستم بمنظور تأیید این نکته که تشدید موازی ایجادشده در نزدیکی فرکانس هارمونیکی نباشد.
- در صورت لزوم، نیاز به چندین فیلتر بررسی شود. مانند فیلترهای موردنیاز برای هارمونیک های مرتبه پنجم و هفتم و نیز سوم، پنجم و هفتم.

جدول شماره (۵) نتایج طراحی فیلترها را نشان می دهد. روش استفاده شده در زیر توضیح داده می شود.

$$K\ \mathrm{var} = K\ \mathrm{var}(\frac{KV}{KV})^2$$

در این حالت، ولتاژ واقعی و ولتاژ نامی برابر هستند. بنابراین K_{var} واقعی خازن همان K_{var} نامی یعنی K_{var} ۵۰۰ می باشد. جریان فرکانس مولفه اصلی بانک خازنی بصورت زیر است:

$$I_{FLcap} = \frac{K_{\text{var}}}{\sqrt{3}KV} = \frac{500}{\sqrt{3}\times 0.4} = 721.69A$$

امپدانس تک فاز معادل بانک خازنی برابر است با:

$$(۳۶)\ X_{CY} = \frac{(KV)^2}{M\ \text{var}} = \frac{(0.4)^2}{0.5} = 0.32\Omega$$

امپدانس راکتور فیلتر با استفاده از رابطه زیر بدست می آید.

$$X_R = \frac{X_C}{n^2} = \frac{0.32\Omega}{(4.7)^2} = 0.01449\Omega$$

اضافه کردن راکتور در فیلتر جریان مولفه اصلی را به مقدار

$$I_{FL} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}(X_c - X_R)} = \frac{400}{\sqrt{3}(0.32 - 0.01449)} = 756.14A$$

تغییر می دهد.

بدلیل اینکه فیلتر جریان مولفه اصلی بیشتری را نسبت به وقتی که فقط خازن در مدار باشد می کشد، Kvar جبران ساز بیشتر از مقدار نامی خازن می شود و با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$K\ \text{var} = \sqrt{3}\times V_{bus}\times I_{FL} = \sqrt{3}\times 400\times 756.14 = 524K\ \text{var}$$

مقادیر نامی خازن را باید با محدودیت های استاندارد که در انتهای جدول ۵ آمده است مقایسه نمود مشخصه راکتور فیلتر باید مقادیر جریان مولفه های اصلی و هارمونیکی را شامل شود. جریان هارمونیکی را باید با سطح فرضی قابل قبولی از اعوجاج ناشی از منابع دیگر تعیین نمود. در این حالت، فرض می شود که اعوجاج ولتاژ یک درصد باشد.

مشخصه تنظیم فیلتر را می توان با ضریب کیفیت (Q) توضیح داد. ضریب کیفیت در حقیقت وسیله اندازه گیری تیزی تنظیم بوده و برای فیلتر سری مقاومتی بدینصورت تعریف می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$Q = \frac{nX_L}{R}$$

که در آن:

R: مقاومت سری در فیلتر

n: مرتبه هارمونیک

X_L: راکتانس راکتور فیلتر در فرکانس اصلی می باشد.

جدول ۵- مثالی از طراحی فیلتر هارمونیکی

محاسبات مربوط به فیلتر ولتاژ پایین		مثالی در رابطه با طراحی فیلتر	
اطلاعات مربوط به شبکه			
مشخصات فیلتر:	هارمونیک پنجم	فرکانس سیستم:	۵۰ هرتز
توان نامی بانک خازنی:	۵۰۰ کیلووار	ولتاژ نامی خازن:	۴۰۰ ولت
جریان نامی بانک خازنی:	۷۲۱/۷ آمپر	فرکانس نامی خازن:	۵۰ هرتز
ولتاژ نامی شبکه:	۴۰۰ ولت	توان تغییریافته بانک خازنی:	۵۰۰ کیلووار
جریان خازن (واقعی):	۷۲۱/۷ آمپر	کل بار هارمونیکی:	۵۰۰ کیلوولت آمپر
هارمونیک تنظیم فیلتر:	هارمونیک ۴/۷	فرکانس تنظیم فیلتر:	۲۳۵ هرتز
امپدانس خازن (معادل ستاره):	۰/۳۲ اهم	مقدار خازن (معادل ستاره):	۹۹۴۷/۲ میکروفاراد
امپدانس راکتور:	۰/۰۱۴۴۹ اهم	مقدار نامی راکتور:	۴۶/۱۲ میکروهانری
جریان بار کامل فیلتر (واقعی):	۷۶۵/۱۴ آمپر	مقدار جبران سازی:	۵۲۴ کیلووار
جریان بار کامل فیلتر (نامی):	۷۵۶/۱۴	میزان THD مجاز شرکت برق:	۱ درصد
جریان هارمونیکی بار:	۳۰ درصد مولفه اصلی	حداکثر جریان هارمونیکی بار:	۱۸۰/۴ آمپر
جریان هارمونیکی شرکت برق:	۴۷/۷ آمپر	حداکثر جریان هارمونیکی کل:	۲۸۸/۱ آمپر
محاسبات مربوط به خازن			
جریان موثر فیلتر	۷۵۶/۱۴ آمپر	ولتاژ مولفه اصلی خازن	۴۱۹ ولت

هارمونیک ولتاژ خازن	۳۶/۴ ولت	حداکثر پیک ولتاژ	۴۴۸ ولت
ولتاژ موثر خازن	۴۲۰ ولت	حداکثر پیک جریان	۱۰۳۰ آمپر
حدود خازن		آرایش فیلتر	
	(٪) حد مجاز	(٪) واقعی	
پیک ولتاژ	۱۲۰	۱۱۲	
جریان	۱۳۰	۱۱۱	
توان نامی	۱۳۵	۱۱۷	
ولتاژ موثر	۱۱۰	۱۰۵	
مشخصات طراحی راکتور فیلتر			
امپدانس راکتور	۰/۰۱۴۴۹ اهم	مقدار نامی راکتور:	۴۶/۱۲ میکروهانری
جریان نامی مولفه اصلی	۷۵۶/۱۴ آمپر	جریان هارمونیکی:	۲۸۸/۱ آمپر

معمولاً، مقدار R همان مقاومت راکتور است. در این حالت مقدار ضریب کیفیت بسیار بزرگ می باشد و عمل فیلتر کردن برای باند باریکی از فرکانس انجام می گیرد. در عملکرد فیلترهای تک تنظیم این حالت بسیار رضایت بخش است و در این حالت فیلتر بسیار اقتصادی خواهد بود (تلفات انرژی پایین).

به هر حال، گاهی اوقات لازم است که مقداری تلفات بصورت عمدی وارد سیستم شود تا به میرا شدن پاسخ سیستم کمک کند. یک مقاومت معمولاً به صورت موازی با راکتور بسته می شود و در این شرایط فیلتر بالاگذر بوجود می آید. در این حالت ضریب کیفیت به صورت عکس معادله ۳۶ تعریف می شود، بنحویکه ضریب کیفیت های بزرگ، باریک بودن باند فرکانس را نشان خواهند داد. از فیلترهای بالاگذر معمولاً برای حذف هارمونیک ها یازدهم و سیزدهم به بالا استفاده می شود. معمولاً استفاده از فیلترها در هارمونیک های پنجم و هفتم بدلیل مقدار تلفات و اندازه مقاومت اقتصادی نخواهد بود. راکتورهای مورداستفاده در فیلترهای بزرگ معمولاً با هسته هوایی ساخته می شوند. در چنین حالتی، مشخصه آن در برابر جریان

و فرکانس خطی خواهد بود. راکتورهای مورداستفاده در فیلترهای کوچک و یا فیلترهایی که در یک فضای محدود و کوچک باید استفاده شوند باید از نوع هسته فولادی ساخته شوند.

خطای ۵ ± درصد در راکتانس راکتورها مورد استفاده در کاربردهای صنعتی معمولاً قابل قبول می باشد. نسبت $\frac{X}{R}$ نیز بین ۵۰ تا ۱۵۰ است. در صورت نیاز به میرایی بیشتر می توان از یک مقاومت سری شده با فیلتر استفاده نمود. راکتور باید به نحوی طراحی شود تا اتصال کوتاه بین خازن و راکتور را بتواند تحمل کند. مقدار ضریب کیفیت در حالت بالاگذر معمولاً بین ۱تا ۲ انتخاب می گردد تا فیلتر پاسخ تختی را در بالای فرکانس تنظیم شده ارائه دهد.

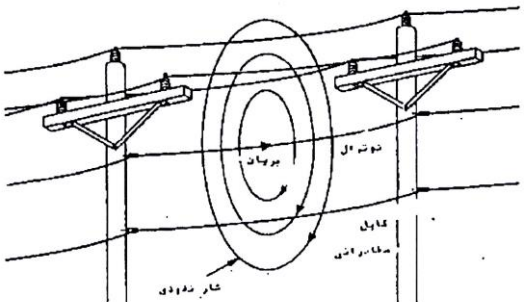
فیلترهای مورد استفاده در کاربردهای سه فاز قدرت بالا مانند سیستم های کنترل توان راکتیو استاتیک اغلب شامل فیلترهای هارمونیک پنجم و هفتم می باشند زیرا اینگونه هارمونیک ها بزرگترین هارمونیک های تولیدشده توسط پل های ۶ پالسی خواهند بود. گاهی اوقات این حالت باعث می شود که سیستم هارمونیک مرتبه سوم نزدیک شرایط تشدید قرار بگیرد که در نتیجه به فیلتر هارمونیک سوم نیاز می باشد. عموماً، ممکن است که این تصور وجود داشته باشد که هارمونیک سوم در یک پل سه فاز مشکلی نخواهد داشت لیکن باید توجه نمود که عدم تعادل در عملکرد پل و نیز در پارامترهای سیستم مقدار کمی هارمونیک غیرمشخصه تولید می کند. اگر سیستم به این هارمونیک ها پاسخ بدهد باید به هر حال از فیلتر استفاده نمود.

۱-۲۱ تداخلات مخابراتی

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جریان هارمونیکی در سیستم توزیع یا در مسیر آن به مشترکین می تواند باعث ایجاد تداخل در مدارات مخابراتی که دارای مسیر مشترکی با آن هستند گردد. ولتاژ القایی در هادی های موازی با مسیر جریان هارمونیکی اغلب در محدوده عرض باند مکالمات صوتی ایجاد می شود. هارمونیک های بین ۴۵۰ هرتز (هارمونیک نهم) و ۱۲۰۰ هرتز معمولاً آثار زیان بارتری دارند. ولتاژ القایی به ازای هر آمپر جریان با بالارفتن فرکانس زیاد می شود. هارمونیک مرتبه سوم معمولاً در سیستم های چهارسیمه بدلیل اینکه در تمام هادی ها هم فاز می باشند مشکل زا هستند و در این حالت این جریان ها در هادی نوترال با یکدیگر جمع شده و اثر نامناسبی را در سیستم های مخابراتی ایجاد می کنند.

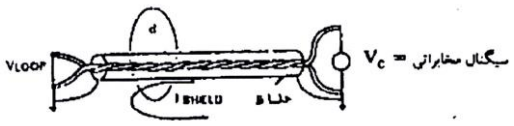
مولفه های هارمونیکی به روش القایی یا هدایت مستقیم به سیستم های تلفنی منتقل می شوند. شکل ۳۱ کوپلینگ بوجود آمده در اثر القاء و ناشی از سیم نوترال یک خط توزیع هوایی چهارسیمه را نشان می دهد. اگر از سیم های تلفنی معمولی استفاده شود این مسئله بسیار مشکل زا خواهد بود. در صورتیکه از سیم های تلفنی شیلد دار استفاده شود این مسئله بسیار مشکل زا خواهد بود. در صورتیکه از سیم های تلفنی شیلددار با هادی های به هم پیچیده شده در سیستم تلفنی استفاده شود، اثر القا دارای اهمیت کمتری خواهد بود. در این نوع سیم های تلفنی، کوپلینگ القاء مستقیم در هر دو هادی، ولتاژ مساوی تولیدکرده که این عامل باعث ایجاد ولتاژ منتجه صفر در حلقه متشکل از هادی ها می گردد.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

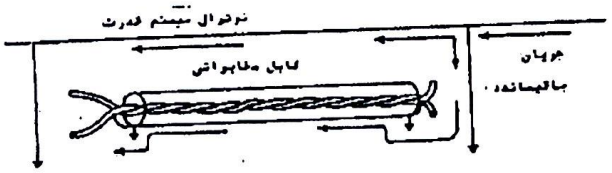
شکل ۳۱- کوپلینگ القایی ناشی از جریان صفر یک سیستم قدرت و مدار تلفنی

در صورتی که جریان بالایی در شیلد اطراف هادی تلفن بوجود بیاید کوپلینگ القایی هنوز هم می تواند مسئله ساز باشد. جریان عبوری از شیلد باعث ایجاد افت مقاومتی (رجوع شود به شکل ۳۲) شده و در نتیجه اختلاف پتانسیلی در مراجع زمین دو سر کابل تلفن بوجود می آید.



شکل ۳۲- افت مقاومتی در کابل شیلددار در اثر اختلاف پتانسیل در مراجع زمین دوسر کابل تلفن

از سوی دیگر جریان شیلد می تواند توسط پدیده هدایت مستقیم بوجود آید (رجوع شود به شکل ۳۳). در این شکل شیلد بصورت موازی با مسیر زمین سیستم قدرت می باشد. اگر شرایط زمین محلی به نحوی باشد که مقدار نسبتاً بزرگی جریان در شیلد بوجود آید مقدار افت مقاومتی بزرگی بوجود می آید و باعث ایجاد اختلاف پتانسیل بین مراجع زمین دوسر کابل تلفن می گردد.



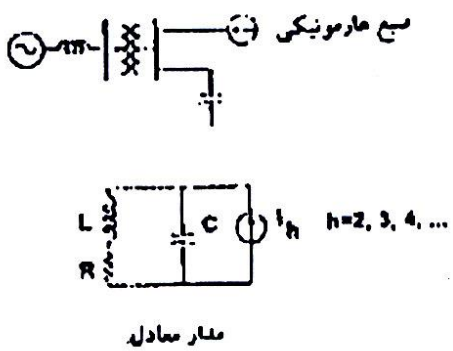
شکل ۳۳- کوپلینگ توسط هدایت مستقیم در یک مسیر زمینی مشترک

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-۲۲ برنامه های کامپیوتری برای محاسبه هارمونیک ها

از مباحث گذشته مشخص شد که برای هر سیستم حتی ساده ترین آنها، یک برنامه پیچیده کامپیوتری لازم است. مشخصه یک چنین برنامه ای در زیر آمده است:

ابتدا باید توجه نمود که یک مدار ساده مدل مناسبی برای تحلیل در سیستم های صنعتی کوچک است و تحلیل آن براساس محاسبات دستی استوار شده است (رجوع شود به شکل ۳۴). این سیستم اساساً یک مدار تک شینه همراه با یک خازن است. در این حالت دو مورد را بسادگی می توان انجام داد:



شکل ۳۴- یک مدار ساده که به صورت دستی حل می شود.

۱) تعیین فرکانس تشدید. درصورتیکه فرکانس تشدید نزدیک به یک هارمونیک مضر برای سیستم باشد باید مقدار خازن تغییر یابد و یا فیلتر برای آن در نظر گرفته شود.

۲) تخمینی از اعوجاج ولتاژ بدلیل جریان I_h.

ولتاژ V_h توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$V_h = \left[\frac{R + J\omega L}{1 - \omega^2 LC + J\omega RC}\right] I_h \qquad h=2,3,...$$

اگر فرکانس تشدید نزدیک به یک هارمونیک مهم نبوده اعوجاج ولتاژ نیز کم باشد می توان گفت که سیستم احتمالاً موفقیت آمیز عمل می کند.

متأسفانه، تمام حالات عملی را با چنین سیستم ساده ای نمی توان نمایش داد. در حقیقت، اضافه نمودن حتی یک شینه بیشتر به مدار ساده شکل ۳۴ موجب می گردد که تحلیل آن حتی برای افراد خبره نیز مشکل شود. بهرحال، یک برنامه کامپیوتری این کار را در مدت زمان بسیار کوتاهی انجام می دهد.

برای استفاده از برنامه های کامپیوتری باید شبکه مورد مطالعه، بارها و منابع را برای برنامه مشخص نمود. اطلاعات باید شامل موارد زیر باشد:

- امپدانس ترانسفورماتور و خطوط
- نوع اتصال ترانسفورماتورها
- مقادیر خازن و محل آنها
- طیف هارمونیکی ناشی از بارهای غیرخطی
- ولتاژهای منابع قدرت

این مقادیر به عنوان ورودی به برنامه داده می شود و برنامه باید بصورت اتوماتیک در هارمونیک مورد نظر امپدانس ها را مشخص نموده و سپس برنامه را حل نماید.

۱-۲۳ قابلیت های برنامه های تحلیل هارمونیکی

برنامه های کامپیوتری مورد پذیرش در تحلیل هارمونیک ها در سیستم های قدرت باید دارای مشخصه های زیر باشند.

- این برنامه ها باید توانایی حل شبکه های بزرگ با حداقل چندصد گره را داشته باشد.
- این برنامه ها باید قابلیت حل سیستم های چندفاز با هر ترکیب دلخواهی را داشته باشد. شبکه های توزیع را می توان با استفاده از مولفه های توالی مثبت در شبکه متعادل حل نمود ولی به هرحال این حالت عمومیت ندارد.
- برنامه باید قادر به مدل سازی سیستم ها با مدل های توالی مثبت باشد. وقتی که هارمونیک های توالی صفر وجود ندارد لازم نیست که از مدل سازی سه فاز استفاده شود.
- برنامه باید قادر به بدست آوردن امپدانس سیستم در فرکانس های مختلف (با تغییرات مثلاً ۱۰ هرتز) باشد در این صورت می توان مشخصه پاسخ فرکانسی را برای تعیین شرایط تشدید به دست آورد.
- برنامه باید قادر باشد که بطور همزمان چندین منبع هارمونیکی را حل نماید تا بتوان مقدار واقعی اعوجاج ولتاژ و جریان را بدست آورد.
- این برنامه باید مدل های معمول منابع هارمونیکی را به صورت از پیش ساخته داشته باشند.
- این برنامه ها باید هم منبع ولتاژ هارمونیکی و هم منبع جریان هارمونیکی را مدل کنند.
- این برنامه ها باید هرگونه اتصال ترانسفورماتور را مدل نمایند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- این برنامه ها باید نتایج را به یک طریق معنی دار نمایش داده و هر کاربری بتواند براحتی کار کند.

WikiPower.ir

فصل دوم

مقررات برخی از کشورها در رابطه با پذیرش مشترکین

برق که تولید هارمونیک می نمایند. (اطلاعاتی)

WikiPower.ir

مقررات برخی از کشورها در رابطه با پذیرش مشترکین برق که تولید هارمونیک می نمایند.

(اطلاعاتی)

جهت آشنایی با چگونگی محدودکردن هارمونیک ها و مقررات مربوط به پذیرش مشترکین تولیدکننده هارمونیک ها، در یک شبکه الکتریکی روش های موجود در کشورهای آلمان، استرالیا، انگلستان، بلژیک و فرانسه، فنلاند، لهستان، دانمارک و امریکا بصورت خلاصه در این قسمت ارائه می گردد.

۲-۱ کشور آلمان

مرحله اول مقررات این کشور اجازه می دهد که کلیه تجهیزاتی که نسبت قدرت نامی آنها به سطح اتصال کوتاه شینه محل تغذیه کمتر از ۰/۱ درصد باشد به شبکه متصل گردند. بعبارت دیگر چنانکه رابطه زیر برای هر وسیله برقرار باشد احتیاج به بررسی هارمونیکی و مطالعات دقیق نبوده و پذیرش اتوماتیک صورت می گیرد.

$$P / Ssc < 0.1/100$$

رابطه فوق برای اکثر دستگاههایی که دارای یکسوکننده همراه با خازن صاف کننده می باشند مانند تلویزیون ها و اینورترهای موتورهای محرکه صادق می باشد.

در مرحله دوم مقررات این کشور بجای تعیین مقدار حد مجاز هارمونیک ها، نسبت ظرفیت بار غیرخطی به کل بار مشترک مشخص گردد. این نسبت با توجه به شرایط کار مشترکین بین ۳ تا ۳۰ درصد می تواند تغییر نماید.

در مرحله سوم مقررات این کشور مقدار مجاز هارمونیک های ولتاژ در شینه مشترک اعمال می گردد که برای هارمونیک های پنجم و هفتم بایستی کمتر از ۵ درصد و برای هارمونیک های یازدهم و سیزدهم بایستی کمتر از ۳ درصد باشد.

۲-۲ کشور استرالیا

در این کشور ماکزیمم ظرفیت یک مبدل سه فاز که مبدل سه فاز که می تواند به شبکه توزیع وصل گردد و نیازی به مطالعه بخصوصی در مورد آن نیست (مرحله اول مقررات) برابر ۰/۳ درصد قدرت اتصال کوتاه شینه محل اتصال می باشد، یعنی :

$$P/Ssc<0.3/100$$

در ضمن چنانکه شرایط مانند موارد مطرح شده در الف، ب و ج باشد مقررات مرحله (۲) و یا (۳) که در ادامه به آن اشاره می گردد بایستی بکار گرفته شود:

الف- حداقل سطح اتصال کوتاه سیستم توزیع (ولتاژ پایین) کمتر از ۵ مگاولت آمپر و یا حداقل سطح اتصال کوتاه سیستم توزیع (ولتاژ متوسط) کمتر از ۵۰ مگاولت آمپر باشد.

ب- ظرفیت دستگاه بزرگتر از ۷۵ کیلوولت آمپر در سیستم توزیع (ولتاژ پایین) و یا بزرگتر از ۵۰۰ کیلوولت آمپر در سیستم توزیع (ولتاژ متوسط) باشد.

ج- مجموعه چند مشترک که با هم کنترل می شوند و مقدار هارمونیک تولیدی آنها بیشتر از مقدار هارمونیک تولیدی بند ب باشد.

در مراحل دوم و سوم استاندارد این کشور حد مجاز مشخصی را برای هر مشترک تولیدکننده هارمونیک تعیین نمی شود و پذیرش مشترک براساس مقدار حد مجاز هارمونیک شبکه محل

اتصال تعیین می گردد یعنی اولین مشترک می تواند تقریباً باندازه مقدار مجاز هارمونیک های شبکه، تولید هارمونیک کند و تمام ظرفیت را بگیرد و جایی برای مشترک دوم نگذارد.

۲-۳ کشور انگلستان

در این کشور برای مقررات مرحله یک، تجهیزات به دو دسته تجهیزات سه فاز و تجهیزات یک فاز تقسیم شده اند در مورد تجهیزات سه فاز مقررات مرحله (۱) بشرح زیر است:

ماکزیمم ظرفیت (به کیلوولت آمپر) یک مبدل یا یک رگولاتور که می تواند به سیستم ولتاژ پایین و یا ولتاژ متوسط بدون بررسی جزئیات وصل گردد مطابق جدول ۱ می باشد.

جدول ۱- ماکزیمم ظرفیت مبدل ها برای پذیرش اتوماتیک در کشور انگلستان

ولتاژ سیستم توزیع	ماکزیمم ظرفیت مبدل های سه فاز به KVA			ماکزیمم ظرفیت رگولاتورهای سه فاز به KVA	
	۳ ضربه ای	۶ ضربه ای	۱۲ ضربه ای	۶ تریستوری	۳ تریستوری/ ۳ دیود
ولتاژ پایین	۸	۱۲	-	۱۴	۱۰
ولتاژ متوسط	۸۵	۱۳۰	۲۰	۱۵۰	۱۰۰

در مورد تجهیزات یک فاز مقررات مرحله یک بشرح زیر است:

در مورد وسایل خانگی و شبیه آن استاندارد IEC شماره ۶۰۵۵۵ مورد استفاده قرار می گیرد ولی ماکزیمم ظرفیت یکسوکننده ها و رگولاتورهای یک فاز که از نظر تئوری هارمونیک زوج تولید نمی کنند و در تجهیزات صنعتی یا شارژرها بکار می روند می تواند برای ولتاژ ۲۴۰ ولت برابر ۵ کیلوولت آمپر و برای ولتاژ ۴۱۵ یا ۴۸۰ ولت برابر ۷/۵ کیلوولت آمپر باشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در ضمن تجهیزاتی که هردو هارمونیک فرد و زوج را تولید می کنند برای اتصال به شبکه مناسب تشخیص دانسته نمی شود. چنانکه قرار باشد چند دستگاه تک فاز تولیدکننده هارمونیک از یک محل به سیستم وصل گردند سعی می گردد اتصال آنها به فازهای مختلف باشد که یک حالت تعادل در مورد بارهای غیرخطی وجود داشته باشد. مقررات این مرحله اجازه اتصال دو یکسوکننده یا رگولاتور را به یک فاز در یک محل نمی دهد و چنانکه این شرایط بوجود آید بایستی طبق مقررات مرحله دوم عمل نمود.

در مقررات مرحله یک کشور انگلستان اجازه اتصال تجهیزاتی که در سیستم متناوب AC جریان DC تزریق می کنند داده نمی شود.

مقررات مرحله دوم و سوم مقررات کشور انگلستان که تقریباً شبیه مقررات کشور استرالیاست.

۲-۴ کشور بلژیک

مقررات مرحله یک این کشور اجازه می دهد که تجهیزات دارای یکسوکننده و یا رگولاتور که حداکثر ظرفیت آن مطابق جدول ۲ باشد بدون بررسی دقیق به شبکه ولتاژ متوسط وصل گردد.

جدول ۲- ماکزیمم ظرفیت مبدل ها برای پذیرش اتوماتیک در کشور بلژیک

ماکزیمم ظرفیت مبدل های سه فاز به KVA			ماکزیمم ظرفیت رگولاتورهای سه فاز به KVA	
۳ ضربه ای	۶ ضربه ای	۱۲ ضربه ای	۶ تریستوری	۳ تریستوری/۳ دیود
۸۵	۱۳۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۰۰

در مقررات مرحله اول این کشور در مورد وصل مجموعه بارهای غیرخطی یک مشترک سه فاز به شبکه ولتاژ متوسط از عبارت توان هم تراز شده PW استفاده می گردد مقدار توان هم تراز شده یک مجموعه بارهای غیرخطی از رابطه زیر بدست می آید:

$$Pw = 3Pc3 + 2Pc6 + Pc12 + 2\,Pr6 + 2.5\,Pr3$$

که در آن Pc3 جمع ظرفیت نامی مبدل های سه ضربه ای، Pc6 جمع ظرفیت نامی مبدل های شش ضربه ای، Pc12 جمع ظرفیت نامی مبدل های دوازده ضربه ای، Pr6 جمع ظرفیت نامی رگولاتورهای کنترل کامل (۶ تریستوری)، Pr3 جمع ظرفیت نامی رگولاتورهای نیمی کنترلی (۳ تریستور/۳ دیود) می باشد .

در این مقررات چنانکه توان هم تراز شده یک مشترک که مطابق رابطه فوق محاسبه می شود کمتر از ۲۵۰ کیلوولت آمپر گردد احتیاج به بررسی و مطالعات دقیق نبوده و شرکت های برق کشور بلژیک اجازه اتصال مشترک به شبکه را می دهند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲-۵- کشور فرانسه

مقررات مرحله یک این کشور اجازه وصل بدون بررس و مطالعه دقیق بارهای تولیدکننده هارمونیک به سیستم ولتاژ متوسطی را به شرطی می دهد که ظرفیت نامی (p) مشترک کمتر از ۵۰۰ کیلوولت آمپر و یا کمتر از یک درصد سطح اتصال کوتاه S_{sc} محل اتصال بار باشد، یعنی:

$$P < 500\ KVA$$

و یا

$$P < 0.01Ssc$$

در مقررات مرحله دوم و سوم این کشور، حد مجاز هارمونیک های ولتاژ تولیدی هر مشترک و همچنین حد مجاز هارمونیک های ولتاژ در شبکه تعیین شده است، مقدار مجاز جمع هارمونیک های ولتاژ یک مشترک بایستی کمتر از ۱/۶ درصد و مقدار هریک از هارمونیک های زوج مشترک نبایستی بیشتر از ۰/۶ درصد باشد، درحالی که مقدار مجاز جمع هارمونیک ها در شبکه ولتاژ متوسط ۳ درصد تعیین گردیده است.

۲-۶ کشور فنلاند

در کشور فنلاند ظاهراً مقررات بصورت مشخص مرحله (۱)، (۲) و (۳) وجود ندارد در عوض در مقررات آنها محدوده ی مجاز هارمونیک های ولتاژ و جریان مشخص شده است و چنانکه مشترکی این محدوده ها را رعایت نماید اجازه اتصال به شبکه داده می شود در مورد مقادیر مجاز هارمونیک های ولتاژ (برای متوسط یک دقیقه) جدول ۳ مورد استفاده قرار می گیرد:

جدول ۳- حداکثر مقدار مجاز جمع هارمونیک ها و مقدار هر نوع هارمونیک ولتاژ در کشور فنلاند

ولتاژ شبکه	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ به درصد نسبت به ولتاژ فرکانس پایه	اعوجاج تکی ولتاژ به درصد نسبت به ولتاژ فرکانس پایه
کمتر از ۱۰۰۰ ولت	۵	۴
۳ تا ۲۰ کیلوولت	۴	۳
۳۰ تا ۴۵ کیلوولت	۳	۲
۶۰ تا ۱۱۰ کیلوولت	۱/۵	۱

در مورد مقادیر مجاز هارمونیک های جریان (متوسط یک دقیقه) که هر مشترک می تواند به شبکه تزریق کند جدول ۴ در مقررات این کشور وجود دارد.

جدول ۴- حداکثر مقدار مجاز هارمونیک ها جریان هر مشترک در کشور فنلاند

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

در مقررات کشور فنلاند برای سیستم ولتاژ بیشتر از ۱۱۰ کیلوولت، جمع هارمونیک های جریان مجاز برحسب آمپر چنانکه جریان نامی مشترک کمتر از ۱۰۰ آمپر باشد از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_h = 0.005In$$

و اگر جریان نامی مشترک بیشتر از ۱۰۰ آمپر باشد مقدار مجاز جمع هارمونیک های جریان تولیدی این مشترک نبایستی از یک آمپر بیشتر گردد.

البته چنانکه مقدار هارمونیک های جریان تولیدی یک مشترک بیشتر از مقادیر جدول فوق گردد شرکت برق می تواند با بررسی های لازم و در شرایط خاص اجازه اتصال به شبکه را به مشترک بدهد بشرطی که مقادیر مجاز هارمونیک های ولتاژ رعایت گردد و در محل اتصال، مشترک دیگری که تولید هارمونیک می کند وجود نداشته باشد.

مقررات کشور فنلاند اجازه اتصال مشترک هایی که جریان DC به شبکه تزریق می کنند را به صورت مستقیم نمی دهد. در شرایط خاص اینگونه بارها می توانند از طریق یک ترانسفورماتور مخصوص به خود به شبکه وصل گردند.

۲-۷ کشور لهستان

در مقررات مرحله اول این کشور چنانکه ظرفیت مبدل ۶ ضربه ای کمتر از ۲ درصد قدرت اتصال کوتاه محل تغذیه باشد اجازه وصل مشترک بصورت اتوماتیک و بدون بررسی های تفصیلی داده می شود. در مورد مبدل های ۱۲ ضربه ای مقدار مجاز ظرفیت برای مقررات مرحله یک می تواند تا ۳/۵ درصد قدرت اتصال کوتاه باشد.

برای مقررات مرحله دوم و سوم چنانکه مشترک در ۹۰ درصد ساعات مقادیر هارمونیک های ولتاژی بیش از آنچه در جدول زیر آمده است ایجاد نکند اجازه کار داده می شود در این مقررات ۱۰ درصد ساعات دیگر روز مشترک مجاز است تا دو برابر اعداد داده شده در جدول ۵ تولید هارمونیک نمایند.

جدول ۵- ماکزیمم مقدار مجاز جمع هارمونیک های ولتاژ در کشور لهستان

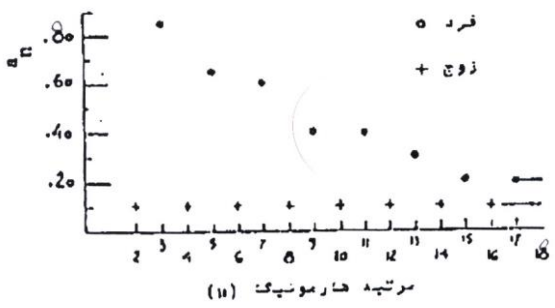
ولتاژ شبکه	جمع هارمونیک های ولتاژ مجاز به درصد (نسبت به ولتاژ فرکانس پایه)
کمتر از ۱۰۰۰ ولت	۷
۱ تا ۳۰ کیلوولت	۵
۱۱۰ کیلو ولت	۱/۵

۲-۸ کشور دانمارک

در مقررات این کشور چنانکه مقدار هارمونیک جریان تزریقی مشترک از مقدار رابطه زیر کمتر باشد، اجازه اتصال به شبکه داده می شود.

$$In < (a_n / 100) \times (S_{sc} / \sqrt{3} U_n)$$

در رابطه فوق In جریان هارمونیک nام تزریقی مشترک، Ssc قدرت اتصال کوتاه شینه محل اتصال مشترک به ولت آمپر، U ولتاژ فاز به فاز شینه به ولت و a_n ضریبی است که بستگی به نوع هارمونیک دارد و مقدار آن از شکل ۱ بدست می آید.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۱- ضریب a_n برحسب نوع هارمونیک در استاندارد کشور دانمارک

۹-۲ کشور امریکا

در این کشور استاندارد ساده و مشخصی برای تعیین مقدار مجاز تولید هارمونیک برای هریک از مشترکین وجود ندارد ولی کمیته های مختلف IEEE در حال مطالعه و بررسی جهت تعیین استانداردهای لازم در این مورد می باشند.

در تجدیدنظر این استاندارد مقررات ساده ای برای پذیرش مشترکین تولیدکننده هارمونیک در سطح ولتاژ ۲/۴ تا ۱۳۸ کیلوولت اضافه شده است و جدول ۶ ماکزیمم مقدار هر نوع هارمونیک جریان را که یک مشترک مجاز است به شبکه تزریق کند مشخص می نماید که چنانکه مشترکی کمتر از مقادیر مشخص شده در این جدول تولید هارمونیک نماید بدون بررسی های مفصل و دقیق معمولاً اجازه اتصال به شبکه داده می شود.

WikiPower.ir

جدول ۶- ماکزیمم مقدار مجاز جمع هارمونیک های جریان مشترکین در کشور امریکا

ماکزیمم مقدار هارمونیک جریان مجاز برای بارهای غیرخطی در شبکه های ۲/۴ کیلوولت به درصد (نسبت به جریان نامی با فرکانس پایه)						
نسبت جریان اتصال کوتاه محل تغذیه به جریان نامی مشترک	مرتبه هارمونیک های فرد					اعوجاج کلی
	H < 11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35>h	THD
کوچکتر از ۲۰	۴	۲	۱/۵	۰/۶	۰/۳	۵
۲۰ تا ۵۰	۷	۳/۵	۲/۵	۱/۰	۰/۵	۸
۵۰ تا ۵۰۰	۱۰	۴/۵	۴/۰	۱/۵	۰/۷	۱۲
۱۰۰ تا ۱۰۰۰	۱۲	۵/۵	۵/۰	۲/۰	۱	۱۵
بزرگتر از ۱۰۰۰	۱۵	۷	۶/۰	۲/۵	۱/۴	۲۰

۱) مقدار هارمونیک های زوج بایستی کمتر از ۲۵ درصد مقدار هارمونیک های فرد باشد

۲) در مورد شبکه های ۶۹ الی ۱۳۸ کیلوولت نصف مقادیر فوق بایستی بکار رود.

۳) در مورد شبکه های ۱۳۸ کیلوولت به بالا در مورد هر مشترک بایستی مطالعات و بررسی های مخصوص به خود انجام گیرد

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل سوم

مقررات برخی از کشورها در رابطه با مقدار مجاز هارمونیک ها در شبکه های برق با ولتاژ مختلف (اطلاعاتی)

مقررات برخی از کشورها در رابطه با مقدار مجاز هارمونیک ها در شبکه های برق با ولتاژ مختلف (اطلاعاتی)

در این بخش با مراجعه به مقررات استاندارد کشورهای مختلف و یا مقالاتی که در نشریات در مورد این مقررات منتشر شده است ماکزیمم حد قابل قبول هارمونیک های ولتاژ و یا جریان در شبکه های برق با ولتاژهای مختلف بصورت خلاصه گزارش می گردد.

۳-۱- کشور آلمان

مقررات این کشور مقدار مجاز هارمونیک های ولتاژ در شبکه را تعیین می نماید. مقدار مجاز هارمونیک ولتاژ پنجم و هفتم برابر ۵ درصد و مقدار مجاز هارمونیک ولتاژ یازدهم وسیزدهم برابر ۳ درصد می باشد.

۳-۲- کشور استرالیا

مقررات این کشور نیز مقدار هارمونیک های ولتاژ در شبکه را مشخص می نماید و تمایزی بین شبکه های توزیع تا ولتاژ ۳۳ کیلو ولت و شبکه های انتقال تا ۱۱۰ کیلو ولت می گذارد. همچنین در مقررات این کشور حد مجاز اعوجاج کلی ولتاژ و مقدار مجاز اعوجاج کلی ولتاژ تعیین می گردد. جدول ۱ حدود مجاز هارمونیک های ولتاژ در شبکه با ولتاژهای مختلف کشور استرالیا را نشان می دهد.

جدول ۱- حد مجاز هارمونیک های ولتاژ در شبکه های برق کشور استرالیا

نوع شبکه	ولتاژ سیستم تغذیه	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ (THD) به درصد، نسبت به ولتاژ فرکانس پایه	اعوجاج تکی ولتاژ به درصد	
شبکه توزیع	تا ۳۳ کیلوولت	۵	۴	۲
شبکه انتقال	۲۲و۳۳و۶۶ کیلوولت	۳	۲	۱
	۱۱۰ کیلوولت و بالاتر	۱/۵	۱	۰/۵

۳-۳ کشور انگلستان

در مقررات کشور انگلستان در مورد هارمونیک ها ماکزیمم حد اعوجاج کلی ولتاژ و همچنین مقدار مجاز اعوجاج تکی هر هارمونیک ولتاژ در شبکه برق برای سطوح ولتاژ مختلف مطابق جدول ۲ تعیین گردیده است.

جدول ۲- حد مجاز هارمونیک های ولتاژ در شبکه های برق کشور انگلستان

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

WikiPower.ir

۳-۴ کشور فنلاند

در مقررات کشور فنلاند مربوط به هارمونیک ها، ماکزیمم حد مجاز اعوجاج کلی ولتاژ و همچنین مقدار مجاز اعوجاج تکی هر هارمونیک ولتاژ در شبکه برق با سطوح ولتاژ مختلف، مطابق جدول ۳ تعیین گردیده است.

جدول ۳- حد مجاز هارمونیک های ولتاژ در شبکه های برق کشور فنلاند

ولتاژ شبکه	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ (THD) به درصد، نسبت به ولتاژ فرکانس پایه	اعوجاج تکی ولتاژ به درصد، نسبت به ولتاژ فرکانس پایه
کمتر از ۱۰۰۰ ولت	۵	۴
۳ تا ۲۰ کیلوولت	۴	۳
۳۰ تا ۴۵ کیلوولت	۳	۲
۶۰ تا ۱۱۰ کیلوولت	۱/۵	۱

۳-۵ کشور امریکا

در این کشور معمولاً استاندارد شماره ۵۱۹ انجمن مهندسین برق و الکترونیک IEEE بکار می رود، این استاندارد که در سال ۱۹۸۱ منتشر شده است مقدار ماکزیمم اعوجاج تکی هر هارمونیک ولتاژ و اعوجاج کلی هارمونیک های ولتاژ (THD) را بعنوان محدودیت مشخص می نماید.

جدول ۴ حد مجاز اعوجاج کلی ولتاژ در شبکه های با ولتاژ و کاربرد مختلف در این استاندارد را نشان می دهد.

جدول ۴- حد مجاز هارمونیکی کل ولتاژ در شبکه های برق کشور امریکا

ولتاژ شبکه	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ برای شبکه های عمومی به درصد	اعوجاج کلی ولتاژ برای شبکه های اختصاصی به درصد
۲/۴ تا ۶۹ کیلوولت	۵	۸
۶۹ تا ۳۸ کیلوولت	۲/۵	۲/۵
۱۳۸ کیلوولت به بالا	۱/۵	۱/۵

منظور از شبکه های اختصاصی در جدول ۴ فیدرهایی است که مخصوص اتصال مشترکین با تولید هارمونیک می باشد. جدول ۵ در مجاز هارمونیک ولتاژ را در استاندارد IEEE -۵۱۹ مشخص می کند .

جدول ۵ – حد مجاز هرنوع هارمونیک ولتاژ در شبکه های برق کشور امریکا

ولتاژ شبکه	مقدار ماکزیمم اعوجاج تکی ولتاژ هر هارمونیک به درصد
۲/۴ تا ۶۹ کیلوولت	۳
۶۹ تا ۱۳۸ کیلوولت	۱/۵
۱۳۸ کیلوولت به بالا	۱

۳-۶- کشور لهستان

در مقررات کشور لهستان در رابطه با هارمونیک ها، ماکزیمم حد مجاز اعوجاج کلی ولتاژ در شبکه برق با سطوح مختلف ولتاژ مطابق جدول ۶ تعیین شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۶- حد مجاز اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ در شبکه های برق کشور لهستان

ولتاژ شبکه	اعوجاج هارمونیکی کل ولتاژ (THD) به درصد نسبت به ولتاژ فرکانس پایه
کمتر از ۱۰۰۰ ولت	۷
۱ تا ۳۰ کیلوولت	۵
۱۱۰ کیلوولت	۱/۵

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل چهارم

مقادیر اندازه گیری شده هارمونیک ها در شبکه های برق برخی کشورها

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقادیر اندازه گیری شده هارمونیک ها در شبکه های برق برخی کشورها

برخی کشورها در طول سالهای گذشته مقدار هارمونیک های نقاط مختلف شبکه خود بخصوص در نقاط نزدیک منابع تولید هارمونیک ها را اندازه گیری و گزارش کرده اند. کمیته کاری شماره ۳۶ سیگره با بررسی نتایج این اندازه گیری ها گزارشی در مورد محدوده تغییرات مقدار هارمونیک ها در شبکه های ولتاژ کم، متوسط و زیاد تهیه و منتشر کرده است که در این قسمت نتایج این گزارش ارائه می گردد.

قبل از ارائه نتایج لازم است این موضوع روشن شود که در یک شبکه مقدار هارمونیک ها ثابت نبوده و در طول زمان و همچنین با تغییرشکل شبکه تغییر می کنند. در این رابطه دوحد برای مقدار هارمونیک ها در شبکه تعریف می گردد.

- حد پایین که در بیشتر نقاط شبکه که نزدیک منابع تولید هارمونیک می باشند در اکثر اوقات مقدار هارمونیک ها برابر این حد است و این حد احتمال اثرات مخرب کمتری دارد.
- حد بالا که در نقاط کمی از شبکه و در مواقع نادری مقدار هارمونیک ها برابر این حد می باشد و این حد احتمال اثرات مخرب بیشتری دارد.

همچنین برای جداکردن حالات گذرای هارمونیک های جریان و یا ولتاژ در حالت مانا معمولاً مقدار هارمونیک ها را حداقل بصورت مقدار موثر در طول سه ثانیه اندازه گیری می نمایند.

نتایج اندازه گیری های انجام شده در مورد هارمونیک ها در شبکه های توزیع، با ولتاژ کمتر از ۱۰۰۰ ولت که توسط کمیته کاری سیگره گزارش شده در جدول ۱ آورده شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۱- نتایج جمع بندی شده اندازه گیری هارمونیک های ولتاژ در شبکه های توزیع (ولتاژ پایین) در کشورهای مختلف

هارمونیک های فرد که مضرب ۳ نمی باشند			هارمونیک های فرد که مضرب ۳ می باشند			هارمونیک های زوج		
مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد		مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد		مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد	
	حد پائین	حد بالا		حد پائین	حد بالا		حد پائین	حد بالا
پنجم	۴	۶	سوم	۴	۵	دوم	۱	۲
هفتم	۴	۵	نهم	۰/۸	۱/۵	چهارم	۰/۵	۱
یازدهم	۲/۵	۳/۵	پانزدهم	< ۰/۳	۰/۳	ششم	< ۰/۵	۰/۵
سیزدهم	۲	۲/۵	بیست و یکم	< ۰/۲	۰/۲	هشتم	< ۰/۵	۰/۵
هفدهم	۱	۱/۵				دهم	<۰/۵	۰/۵
نوزدهم و بالاتر	۸	۱/۵				دوازدهم و بالاتر	< ۰/۲	۲

در مورد شبکه های توزیع (ولتاژ پایین) در نزدیکی منابع تولید هارمونیک حد پائین اعوجاج کلی ولتاژ حدود ۵ درصد و حد بالا حدود ۸ درصد می باشد.

جدول ۲ نتیجه اندازه گیری های انجام شده در مورد هارمونیک ها در شبکه های توزیع (ولتاژ متوسط) و فوق توزیع با ولتاژ ۱ تا ۱۰۰ کیلوولت را که کمیته کاری سیگره گزارش کرده است نشان می دهد.

جدول ۲- نتایج جمع بندی شده اندازه گیری هارمونیک های ولتاژ در شبکه های با ولتاژ متوسط توزیع و فوق توزیع

هارمونیک های فرد که مضرب ۳ نمی باشند			هارمونیک های فرد که مضرب ۳ می باشند			هارمونیک های زوج		
مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد		مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد		مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد	
	حد پائین	حد بالا		حد پائین	حد بالا		حد پائین	حد بالا
پنجم	۵	۶	سوم	۱/۵	۲/۵	دوم	۱	۱/۵
هفتم	۴	۵	نهم	۰/۸	۱/۵	چهارم	۰/۵	۱
یازدهم	۲/۵	۳/۵	پانزدهم	< ۰/۳	۰/۳	ششم	۰/۲	۰/۳
سیزدهم	۲	۳	بیست و یکم	< ۰/۲	۰/۲	هشتم و بالاتر	< ۰/۲	۰/۲
هفدهم	۱	۲	و به بالا					
نوزدهم	۰/۸	۱/۵						
بیست وسوم و بالاتر	۰/۵	۱						

در مورد شبکه های ولتاژ متوسط توزیع (۱ تا ۳۳ کیلوولت) و فوق توزیع (۳۳ تا ۱۰۰ کیلوولت) در نزدیکی منابع تولید هارمونیک حد پائین اعوجاج کلی ولتاژ ۵ درصد و حد بالا ۷ درصد می باشد.

جدول ۳ نتیجه اندازه گیری های انجام شده در مورد هارمونیک ها در شبکه های مختلف ولتاژ زیاد تا ۲۲۰ کیلوولت را که کمیته سیگره گزارش کرده است ارائه می دهد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جدول ۳- نتایج جمع بندی شده اندازه گیری هارمونیک های ولتاژ در شبکه های با ولتاژ زیاد تا ۲۲۰ کیلوولت

هارمونیک های فرد که مضرب ۳ نمی باشند			هارمونیک های فرد که مضرب ۳ می باشند			هارمونیک های زوج		
مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد		مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد		مرتبه	مقدار هارمونیک ولتاژ به درصد	
	حد پائین	حد بالا		حد پائین	حد بالا		حد پائین	حد بالا
پنجم	۱	۲	سوم	۰/۸	۱/۵	دوم	۱	۱/۵
هفتم	۱	۲	نهم	۰/۵	۱	چهارم	۰/۵	۱
یازدهم	۰/۸	۱/۵	پانزدهم	< ۰/۳	۰/۲	ششم	۰/۵	
سیزدهم	۰/۸	۱/۵	بیست و یکم و بالاتر	< ۰/۲	<۰/۲	هشتم و بالاتر	۰/۲	
هفدهم	۰/۵	۱						
نوزدهم	۰/۵	۱						
بیست و سوم و بالاتر	۰/۳	۰/۷						

در اندازه گیری انجام شده در مورد شبکه های ولتاژ زیاد حد پائین اعوجاج کلی ولتاژ برابر ۱/۵ درصد و حد بالای آن ۳ درصد گزارش شده است. در مورد شبکه های بهم پیوسته با ولتاژ

خیلی زیاد ظاهراً اندازه گیری های زیاد وجود ندارد ولی اندازه گیری های محدود نشان داده که حد پائین اعوجاج کلی ولتاژ در این شبکه ها ۰/۵ درصد و حدبالای آن ۱/۵ درصد میباشد. نتایج اندازه گیری ها که در جداول ۱،۲و ۳ نشان داده شده اند در مواردی است که هارمونیک ها باعث تشدید نشوند، در صورت تشدید مقدار هارمونیک ها بیشتر از مقادیر ارائه شده در جدول های فوق می باشد.

اندازه گیری ها در کشور فرانسه نشان می دهد که در موارد نادری مقدار هارمونیک های با مرتبه کمتر از ۱۵ از مقدار ۱۰درصد هم بیشتر بوده است. البته وقتی مرتبه هارمونیک افزایش پیدا می کند مقدار ولتاژ هارمونیک کاهش می یابد. متخصصین فرانسوی ماکزیمم مقدار ممکن هارمونیک ولتاژ با مرتبه کمتر از ۱۵ در شبکه را ۱۵ درصد تخمین زده اند.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل پنجم

روابط ولتاژ، جریان و توان در شرایط هارمونیکی (اطلاعاتی)

WikiPower.ir

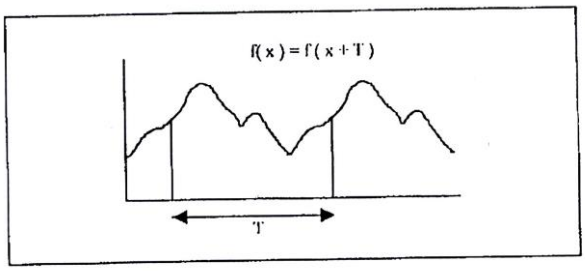
روابط ولتاژ، جریان و توان در شرایط هارمونیکی (اطلاعاتی)

در این ضمیمه توضیحات موردنیاز در خصوص شکل کلاسیک سری فوریه و تبدیل فوریه گسسته و بعضی از تعاریف مرتبط با هارمونیک ها آورده شده است.

۵-۱ سری فوریه

با استفاده از سری فوریه می توان فرکانس و اندازه چندین موج سینوسی را که با یکدیگر ترکیب شده و یک شکل موج دلخواه را ایجاد می کنند مشخص ساخت.

از دیدگاه ریاضی بسط سری فوریه یک سیگنال بهترین پردازش از نظر خطای متوسط مربعات، به کمک استفاده از هارمونیک مرتبه اول و مرتبه های بالاتر (مضارب صحیح از هارمونیک مرتبه اول) می باشد. اگر یک سیگنال متناوب با دوره تناوب T ثانیه شکل ۱ در اختیار باشد می توان با استفاده از بسط سری فوریه به صورت دقیق این سیگنال را به صورت جمع مولفه اول و مولفه های دیگر نمایش داد.



شکل ۱- سیگنال متناوب دلخواه

چون هر سیکل در پریود زمانی T ثانیه کامل می شود بنابراین فرکانس آن به صورت هرتز قابل بیان می باشد. اگر داشته باشیم $\omega = \frac{2\pi}{T}$ آن گاه سری فوریه را به صورت زیر می توان نوشت:

$$F(t) = \frac{1}{2}a_{\circ} + \sum_{n=1}^{\infty}\{a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t\}$$

$$F(t) = \frac{1}{2}c_{\circ} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \sin(n\omega t + \phi_n) \qquad n = 1,2,\ldots,\infty$$

$$C_o = a_o \qquad C_n \sin\phi_n = a_n \qquad C_n \cos\phi_n = b_n$$

$$\phi_n = \arctan(\frac{a_n}{b_n}) \qquad C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

که در آن:

$C_1 \sin(\omega t + \phi_1)$: هارمونیک اول یا اصلی

$C_n \sin(\omega t + \phi_n)$: هارمونیک n ام

$$a_{\circ} = \frac{2}{T}\int_o^T f(t)dt = \frac{\omega}{\pi}\int_o^{2\pi} f(\omega t)d\omega t$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_o^T f(t)\cos n\omega t dt = \frac{\omega}{\pi}\int_o^{2\pi} f(\omega t)\cos n\omega t d\omega t$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_o^T f(t)\sin n\omega t dt = \frac{\omega}{\pi}\int_o^{2\pi} f(\omega t)\sin n\omega t d\omega t$$

اعتبار سری فوریه بمنظور نمایش یک تابع ریاضی توسط ریاضیدانی بنام دریخله اولین بار مورد توجه قرار گرفت. از نظر تئوری، برای داشتن یک سری فوریه، f(t) باید شرایط خاصی را ارضا نماید ک شامل:

۱) f(t) باید تک مقداره باشد یعنی برای هر t فقط یک مقدار f(t) داشته باشیم.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲) f(t) باید تابع پیوسته بوده و یا تعداد مشخص ناپیوستگی در دوره زمانی تناوب خود داشته باشد.

۳) f(t) و مشتق آن باید پیوسته خطی در دوره زمانی تناوب باشند.

با توجه به اینکه شکل موجهای جریان و ولتاژ در سیستمهای قدرت دارای شرایط بالا می باشند لذا می توان از سری فوریه برای نمایش آنها استفاده کرد.

۵-۱-۱ سری فوریه گسسته[۱] (DFT)

معادلات سری فوریه که تاکنون مورد توجه قرار گرفت برای محاسبات توابع آناتحلیلی مناسب بودند لذا لازم است که به شکل جدیدی از آن دست یافت تا بتوان در برنامه های کامپیوتری مورد استفاده قرار گیرند. در این خصوص روشهای ریاضی متفاوتی را می توان استفاده نمود که از بین آنها می توان به تبدیل فوریه گسسته که ابزار محاسباتی قوی برای این منظور است اشاره نمود.

با استفاده از این تبدیل می توان طیف فرکانسی یک تابع متناوب گسسته را توسط رابطه زیر بدست آورد. که در آن N نرخ نمونه برداری از تابع است.

$$X(K)=\frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N}x(n)e^{-jk\frac{2\pi n}{N}}$$

که در آن k شاخص فرکانس است که از ۱ تا $\frac{N}{2}-1$ تغییر می کند.

در این حالت، ضرایب فوریه را می توان توسط روابط زیر بدست آورد.

$$A_K=\frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N}x(n)\cos(K\frac{2\pi n}{N})$$

[۱] - Disintograte Fowier Transformation

$$B_K = \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N} x(n)\sin(K\frac{2\pi n}{N})$$

که در آن:

N=0,1,...,N-1

K=0,1,2,..., $\frac{n}{2}$

۵-۱-۲ تبدیل فوریه سریع[۱](FFT)

بمنظور کاهش حجم محاسبات تبدیل فوریه گسسته از تبدیل فوریه سریع استفاده می شود. برای استفاده از آلگاریتم FFT، مقدار نمونه برداری در یک پریود اندازه گیری باید توان صحیحی از ۲ باشد. از سوی دیگر شکل موج باید فقط شامل فرکانس هایی باشد که مضارب صحیحی از فرکانس اصلی هستند.

این آلگاریتم روش بسیار خوبی برای محاسبه توابع گسسته می باشد لیکن دارای دو مشکل leakage, aliasing است.

Aliasing زمانی رخ می دهد که نرخ نمونه برداری به اندازه کافی بالا نباشد. بمنظور کاهش این اثر باید نرخ نمونه برداری به اندازه کافی بالاتر از فرکانس نایکوئیست (Nyqust) باشد یعنی، نرخ نمونه برداری باید بزرگ تر از ۲ برابر فرکانس موجود در سیگنال باشد. مشکل دوم یعنی lcakage به انتشار انرژی از یک فرکانس به فرکانس های مجاور اطلاق می شود. بمنظور کاهش lcakage تعداد دوره زمانی تناوب نمونه برداری باید دقیقاً عدد صحیحی باشد. برای

[۱] - Fast Fourier Transformation

مثال اگر تعداد نمونه ها شامل کسری از یک سیکل کامل باشد نتایج بدست آمده از FFT صحیح نمی باشد.

۵-۲ تعاریف مرتبط با هارمونیکی

در این بخش بعضی پارامترهای الکتریکی برحسب ضرایب فوریه تعریف می شوند.

۵-۲-۱ مقدار RMS یک موج برحسب سری فوریه

در بسیاری مواقع بسیار مناسب است که مولفه های الکتریکی را برحسب ضرایب a,b,c سری فوریه نمایش داد.

اگر مقدار موثر هر تابع زمانی F(t) با دوره زمانی T بصورت زیر تعریف شود.

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{I}{T}\int_{O}^{T} f^{2}(t)dt}$$

اگر دو طرف معادله (۱) را در f(t) ضرب شود خواهیم داشت:

$$\{f(t)\}^{2} = \frac{1}{2}a_{\circ} f(t) + \sum_{1}^{\infty}\{a_{n} f(t)\cos n\omega t + b_{n} f(t)\sin n\omega t\}$$

با انتگرال گیری از هردو طرف نسبت به زمان از ۰ تا T ثانیه خواهیم داشت:

$$\int_{O}^{T}\{f(t)\}^{2}dt = a_{\circ}\int_{O}^{T} f(t)dt + \sum_{1}^{\infty} a_{n}\int_{O}^{T} f(t)\cos n\omega t dt + \sum_{1}^{\infty} b_{n}\int_{O}^{T} f(t)\sin n\omega t dt$$

با جایگذاری مقادیر b_n, a_n, a_o خواهیم داشت:

$$\frac{1}{T}\int_{O}^{T}\{f(t)\}^{2}dt = \frac{1}{4}a_{o}^{2} + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}(a_{n}^{2} + b_{n}^{2})$$

این معادله همان معادله پارسوال است بنابراین:

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{4}a_{\circ}^{2} + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}(a_{n}^{2} + b_{n}^{2})}$$

برای توابعی که دارای مولفه D.C نیستند خواهیم داشت$a_o= 0$ در نتیجه:

$$F_{rms} = \sqrt{\frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty} c_n^2}$$

که در آن C_n مقدار پیک هارمونیک n ام می باشد.

مقدار rms هارمونیک n ام موج بصورت زیر تعریف شده است.

$$C_n = \frac{c_n}{\sqrt{2}}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$F_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} c_n^2}$$

اگر ولتاژ و جریان را برحسب تبدیل فوریه بنویسیم خواهیم داشت:

$$V(t) = \frac{1}{2}a_{\circ} + \sum_{n=1}^{\infty}\{a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t\}$$

$$i(t) = \frac{1}{2}A_{\circ} + \sum_{n=1}^{\infty}\{A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t\}$$

$$V_{rms}^2 = \frac{1}{4}a_o^2 + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}(a_n^2 + b_n^2)$$

$$I_{rms}^2 = \frac{1}{4}A_{\circ}^2 + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}(A_n^2 + B_n^2)$$

۵-۲-۲ توان ظاهری

توان ظاهری (s) ولت آمپر را می توان با استفاده از جریان و ولتاژ موثر بصورت زیر نوشت:

$$S^2 = I_{rms}^2 V_{rms}^2$$

در صورتیکه مولفه DC جریان و ولتاژ صفر باشد خواهیم داشت:

$$S^2 = \frac{1}{4}\sum_{n=1}^{\infty}(a_n^2 + b_n^2)\sum_{n=1}^{\infty}(A_n^2 + B_n^2)$$

اگر مقادیر α_n , β_n بصورت زیر تعریف شود داریم.

$$\alpha_n^2 = a_n^2 + b_n^2 \qquad \beta_n^2 = A_n^2 + B_n^2$$

آنگاه خواهیم داشت:

$$s^2 = \frac{1}{4}\sum_{N=1}^{\omega}\alpha_N^2 \sum_{N=1}^{\omega}\beta_N^2$$

با استفاده از معادله بالا می توان دید که هر فرکانس از ولتاژ بصورت جداگانه با جریانها با فرکانسهای مختلف ترکیب می شود.

۵-۲-۳ توان اکتیو

برای هر مدار الکتریکی با ولتاژ لحظه ای V(t) و جریان لحظه ای I(t) توان اکتیو بصورت زیر تعریف می شود.

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)i(t)dt$$

اگر V(t) و I(t) را برحسب سری فوریه بیان نمود خواهیم داشت:

$$e(t) + i(t) = \frac{1}{2}(a_\circ + A_\circ) + \sum_{n=1}^{\omega}\{(a_n + A_n)\cos n\omega t + (b_n + B_n)\sin n\omega t\}$$

$$e(t) - i(t) = \frac{1}{2}(a_\circ - A_\circ) + \sum_{n=1}^{\omega}\{(a_n - A_n)\cos n\omega t + (b_n - B_n)\sin n\omega t\}$$

با اعمال تئوری پارسوال به معادلات قبلی خواهیم داشت:

$$\frac{1}{T}\int_o^T v(t) + i(t))^2 dt = \frac{1}{4}(a_o + A_o)^2 + \frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}(a_n + A_n)^2 + (b_n + B_n)^2$$

$$\frac{1}{T}\int_o^T v(t)-i(t))^2\,dt=\frac{1}{4}(a_o-A_o)^2+\frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}(a_n-A_n)^2+(b_n-B_n)^2$$

و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\frac{4}{T}\int_o^T v(t)i(t)dt=a_oA_o+2\sum_{n=1}^{\infty}\{a_nA_n+b_nB_n\}$$

اگر این نتیجه را با توان متوسط اکتیو در یک سیکل مقایسه نمود می توان بدست آورد که:

$$\frac{1}{T}\int_o^T v(t)i(t)dt=a_oA_o+2\sum_{n=1}^{\infty}\{a_nA_n+b_nB_n\}$$

با استفاده از نتایج بالا می توان دید که توان اکتیو فقط از طریق ولتاژ و جریان های هم فرکانس منتقل می شود. در صورتیکه مولفه DC در شکل موج وجود نداشته باشد داریم:

$$\frac{1}{T}\int_o^T V(t)i(t)dt=\frac{1}{2}\sum_{n=1}^{\infty}\{a_nA_n+b_nB_n\}$$

۵-۲-۴ تعریف دیگری از توان ظاهری

در بسیاری از محاسبات از تعاریف زیر استفاده می شود:

$$V(t)=\sum_{n=1}^{N}v_n\sin(n\omega t+\varphi_K)$$

$$V(t)=v_1\sin(\omega t+\varphi_1)+\sum_{n\neq1}^{N}v_n\sin(n\omega t+\varphi_k)$$

$$i(t)=\sum_{n=1}^{N}i_n\sin(n\omega t+\varphi_K)$$

$$i(t)=i_1\sin(\omega t+\varphi_1)+\sum_{n\neq1}^{N}i_n\sin(n\omega t+\varphi_k)$$

که در آن i_n,V_n مقدار rms ولتاژ و جریان می باشند در این صورت توان ظاهری برابر است با:

$$s = V_{rms} I_{rms} = \sqrt{(v_1^2 + \sum_{n\neq 1}^{N} v_n^2)(i_1^2 + \sum_{n\neq 1}^{N} i_n^2)}$$

معادله فوق را می توان بصورت زیر نوشت:

$$s = \sqrt{(P_1^2 + P_h^2) + (Q_1^2 + Q_h^2)}$$

مقدار توان اکتیو فرکانس قدرت بصورت زیر بدست می آید:

$$P_1 = v_1 i_1 \cos(\phi_1 + \varphi_1)$$

مقدار توان اکتیو در فرکانس های هارمونیکی برابر است با:

$$P_h = \sum_{n\neq 1} v_n i_n \cos(\phi_n - \varphi_1)$$

و مقدار توان راکتیو در فرکانس قدرت برابر است با:

$$Q_1 = v_1 i_1 \sin(\phi_1 - \varphi_1)$$

در معادله توان ظاهری، Q_n توان راکتیو هارمونیکی می باشد.

۵-۲-۵ هارمونیک ها در سیستم سه فاز

در یک سیستم سه فاز متعادل که هارمونیک ها نیزبصورت متعادل فرض می شوند می توان مولفه های هارمونیکی ولتاژ و جریان را بصورت توالی صفر، منفی، مثبت دسته بندی نمود.

در یک سیستم متعادل سه فاز ولتاژ فاز را می توان به شکل زیر بیان نمود.

مولفه اصلی

$$v_{a1}(t) = v_1 \cos(\omega t + \phi_1)$$

$$v_{b1}(t) = v_1 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \phi_1)$$

$$v_{c1}(t) = v_1 \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3} + \phi_1)$$

هارمونیک دوم

$$v_{a2}(t) = v_2 \cos(2\omega t + \phi_2)$$

$$v_{b2}(t) = v_2 \cos(2\omega(t - \frac{2\pi}{3\omega}) + \phi_1) = v_2 \cos(2\omega t + \frac{2\pi}{3} + \phi_2)$$

$$v_{c2}(t) = v_2 \cos(2\omega(t + \frac{2\pi}{3\omega}) + \phi_2) = v_2 \cos(2\omega t _ \frac{2\pi}{3} + \phi_2)$$

هارمونیک سوم

$$v_{a3}(t) = v_3 \cos(3\omega t + \phi_3)$$

$$v_{b3}(t) = v_3 \cos(3\omega(t - \frac{2\pi}{3\omega}) + \phi_3) = v_3 \cos(3\omega t - 2\pi + \phi_3)$$

$$v_{c3}(t) = v_3 \cos(3\omega(t + \frac{2\pi}{3\omega}) + \phi_3) = v_3 \cos(3\omega t + 2\pi + \phi_3)$$

هارمونیک چهارم:

$$v_{a4}(t) = v_4 \cos(4\omega t + \phi_4)$$

$$v_{b4}(t) = v_4 \cos(4\omega(t - \frac{2\pi}{3\omega}) + \phi_4) = v_4 \cos(4\omega t - \frac{2\pi}{3} + \phi_4)$$

$$v_{c4}(t) = v_4 \cos(4\omega(t + \frac{2\pi}{3\omega}) + \phi_4) = v_4 \cos(4\omega t + \frac{2\pi}{3} + \phi_4)$$

WikiPower.ir

با مشاهده این هارمونیک ها، کاملاً آشکار است که مولفه اول در دسته بندی توالی مثبت، دومین مولفه در دسته بندی توالی منفی، سومین مولفه در دسته بندی توالی صفر و چهارمین مولفه در دسته بندی توالی مثبت قرار می گیرد.

جدول ۱ مرتبه هارمونیک ها و توالی آنها را در یک سیستم سه فاز متعادل نشان می دهد.

جدول۱- توالی هارمونیک ها در یک سیستم سه فاز متعادل

مرتبه هارمونیکی	توالی
۱	+
۲	-
۳	۰
۴	+
۵	-
۶	۰
۷	+
۸	-
۹	۰

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

پیوست

واژگان (اطلاعاتی)

احتمال تجمعی	Cumulative Probability
القایی	Induction
اینورتر منبع جریان	Current source Inverter (CSI)
اینورتر منبع ولتاژ	Voltage source inverter (VSI)
توان اعوجاجی	Distortion power
حساسیت و یا آسیب پذیری هارمونیکی	Harmonic susecptibility
سازگاری هارمونیکی	Harmonic compability
فیلترتک تنظیم برشی	Signale-tuned notch filter
فیلترهای غیرفعال	Passive filter
کل اعوجاج هارمونیکی (THD)	Total harmonic distoration
مبدل	Convertor
محرکه جریان متناوب کنترل سرعت اتوماتیک	Automatic speed drive (ASD)
محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت	Adjustable speed drives
مصونیت هارمونیکی	Harmonic Immunity
منابع تغذیه سوئیچینگ	Switch mode power supplies
مولفه های متفارن	Symmetrical Component

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نقطه اتصال داخلی کارخانه (IPC)	In-plant point of coupling
نقطه اتصال مشترک (PCC)	Point of common coupling
هارمونیک مرتبه سه	Triplen harmonics
هارمونیک میانی	Interharmonic
هدایت مستقیم	Direct conduction

WikiPower.ir

منابع و مآخذ:

1- IEC 61000-3-2, Electromagnetic compatibility (EMC), Part3, Section2. Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).
2- IEC 61000-2-4, Electromagnetic compatibility (EMC), part2. Environment-section4: Compatibility levels in industrial plants for law- frequency conducted disturbances.
3- IEC61000-2-2, Electromagnetic Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling inpublic low-voltage power supply systems.
4- IEEE519, Recommended practices and requirements harmonic control in electric power systems.
5- D.E.Rice,"Adjustable-speed driver and power rectifier harmonics, Their effects on power system components, "in proceedings of the IEEE, PCIC conference, NO PCIC-84-52.
6- J. Arrillage, D.A.Bardley, "Power system harmonics", john wiley and sons, Interscience 1985.
7- R.C. Dugan, M, MaGrangham "Electrical power systems quality" MCGraw-Hill, New York, 1996.
8- R.D Henderson and P.J Rose, "Harmonics: The effects on power quality and transformers". IEEE Trans. On Industry Application, Vol, 30, NO.3, 1994.