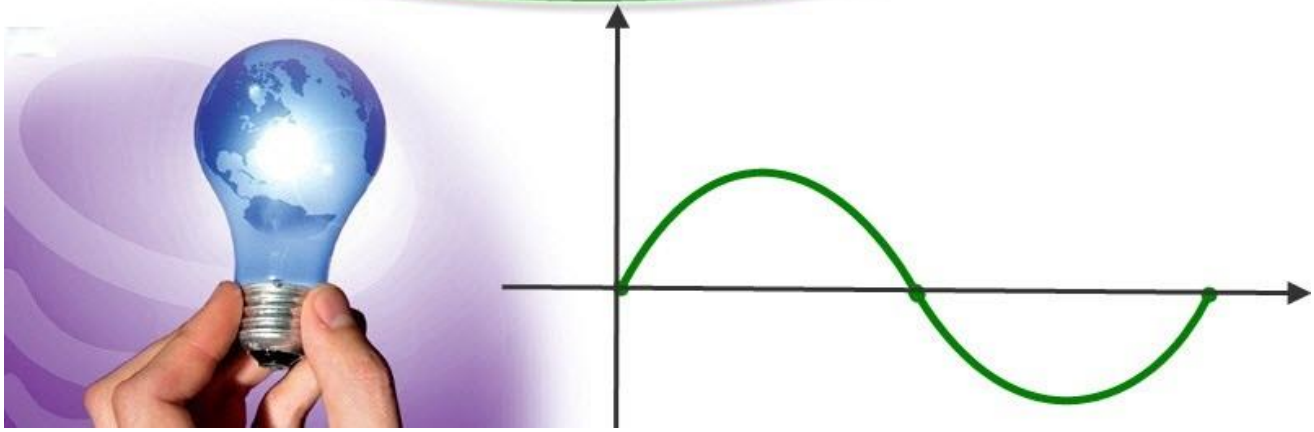
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



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

موضوع پروژه:

بررسی اثرات هارمونیک ها در خازن و روش های کاهش آن

WikiPower.ir

برای خرید فایل word این پروژه اینجا کلیک کنید.
(شماره پروژه = ۴۵۵)
پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

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

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده

مقدمه . ۱

فصل اول :بررسی هارمونیک ها

۱-۱- تعریف هارمونیک ۹

۱-۲- آنالیز امواج ۱۲

۱-۳- اعوجاج هارمونیکی کل (*THD*) ۱۴

۱-۴- منابع تولید هارمونیک و خرابیها ی ناشی از آنها ۱۶

۱-۵- هارمونیک های ولتاژ و جریان ۲۰

۱-۶- تاثیر تجمعی هارمونیک ها ۲۲

۱-۷- حدود مجاز اعوجاج ولتاژ درشبکه ۲۵

۱-۸- حدود مجاز اعوجاج جریان بای هر مشترک ۲۶

۱-۹- بازه های زمانی اندازه گیری هارمونیک ها ۳۰

۱-۱۰- فواصل زمانی اندازه گیری هارمونیک برای شرکت های برق ۳۰

۱-۱۱- شناسایی محل منابع هارمونیک ها ۳۱

۱-۱۲- بررسی محاسبه کامپیوتری هارمونیک ها (آنالیز هارمونیک ها) ۳۳

۱-۱۳- بررسی مختصر هارمونیک مرتبه سوم در سیستم ۳۷

فصل دوم : بانک های خازنی

۲-۱- جریان توان راکتیو ۴۴

۲-۱-۱- استفاده از موتور سنکرون برای جبران توان راکتیو ۴۵
۲-۱-۲- استفاده از خازن ها برای جبران توان راکتیو ۴۷
۲-۲- تعریف عملکرد یک کمپانزاتور خانزی در سیستم ۴۸
۲-۳- انواع کمپانزاسیون ۵۰
۲-۳-۱- کمپانزاسیون انفرادی ۵۰
۲-۳-۲- کمپانزاسیون گروهی ۵۱
۲-۳-۳- کمپانزاسیون مرکزی ۵۲
۲-۴- نحوه انتخاب خازن ۵۳
۲-۵- انتخاب ولتاژ نامی خازن ۵۷
۲-۶- روش های مختلف اتصال خازن ها در هر مجموعه خازنی ۵۸
۲-۷- سیستم های *SVC* ۶۱
۲-۷-۱- عملکرد *SVC* ۶۲
۲-۸- حفاظت مجموعه خازنی ۶۸
۲-۹- اضافه ولتاژها در بانک های خازنی و علل آنها ۷۲
۲-۱۰- جریان اضافه بار در بانکهای خازنی و علل آنها ۷۴

فصل سوم: آثار هارمونیک ها بر روی خازن های اصلاح ضریب قدرت

۳-۱- مشخصه پاسخ سیستم ۷۶
۳-۱-۱- امپدانس سیستم ۷۶
۳-۱-۲- امپدانس خازن ۸۰
۳-۲- اثر هارمونیک ها روی خازن ها ۸۱
۳-۳- اثرات مستقیم هارمونیک ها روی خازن ۸۵

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

۳-۳-۱- افزایش جریان۸۶
۳-۳-۲- افزایش تنش الکتریکی۸۶
۳-۳-۳- افزایش تلفات الکتریکی۸۷
۳-۴- اثرات غیرمستقیم هارمونیک ها روی خازن ۸۸
۳-۵- پخش جریان هارمونیک ها ۹۰
۳-۶- تشدید موازی ۹۱
۳-۷- تشدید سری ۹۷
۳-۸- اثر مقاومت و بار مقاومتی روی پدیده تشدید ۹۸

فصل چهارم:راههای کاهش اثر هارمونیک ها بر روی خازنهای اصلاح ضریب قدرت

۴-۱- کنترل هارمونیک ها
۴-۱-۱- کاهش مقدار جریان های هارمونیکی تولید شده توسط بار ۱۰۱
۴-۱-۲- فیلتر کردن ۱۰۷
۴-۱-۲-۱- فیلتر غیر فعال (پسیو) ۱۰۸
۴-۱-۲-۲- طراحی فیلتر ۱۱۲
۴-۱-۲-۳- فیلترهای فعال (اکتیو) ۱۱۷
۴-۲- فیلترهای فعال هایبرید ۱۲۷
۴-۲-۱- سیستم هایبریدسری۱۲۸
۴-۲-۲- سیستم هایبرید موازی۱۳۲
۴-۳- اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم ۱۳۴
پیوست . ۱۳۷
چکیده انگلیسی ۱۴۹
منابع و مآخذ ۱۵۰

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

چکیده

یکی از انواع اعوجاج و انحرافی که در شـــکل موج بوجود می آید را هارمونیک می نامند که امروزه با بکارگیری عنا صر نیمه هادی و ا ستفاده فراوان آن در شبکه های قدرت که عامل جدید ایجاد هارمونیک علاوه بر ژنراتورها و ترانسفورماتورها می باشد باعث شده تا مطالعه هارمونیک و بررسی تأثیر آن بر سیستم و تجهیزات برق از اهمیت بسزایی برخوردار باشد.

هارمونیک ها باعث ایجاد اختلال و خرابیهایی در ســیســتم و تجهیزات می شــود که یکی از این خرابیها شکست عایقی بانک های خازنی و افزایش جریان و توان راکتیو خازن است که در این پروژه مورد بررسی قرار می گیرد.

هارمونیک به دو صورت م ستقیم و غیرم ستقیم برر سی خازن تأثیر گذار ا ست که به صورت م ستقیم با افزایش جریان و افزایش تنش و تلفات الکتریکی همراه خواهد بود. که این اثرات را می توان با روش های متفاوتی از جمله فیلتر کردن به دو صورت فیلتر غیرفعال (پسیو) فیلتر فعال (اکتیو) کاهش داد.

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

مقدمه:

شـبکه های برق جریان متناوب طوری طراحی می شـوند که دریک ولتاژسـینوسـی با فرکانس و دامنه مشخصی کارکند و هرگونه انحراف قابل توجه در دامنه فرکانس و یا خلوص شکل موج باعث بوجود آمدن مسائلی درسیستم خواهد شد

اعوجاجات هارمونیک تولید شده درشبکه قدرت منشا داخلی دارند برای مثال ژنراتورها ترانسفورماتورها ، تجهیزات تریستوری کنترل شده و..... با عث ایجاد اعوجاجات هارمونیکی در سیستم می گردند که این اعوجاجات باعث ایجاد مسائل خاصی درشبکه های قدرت می گردند. از آن جمله می توان به عدم عملکرد مناسـب تجهیزات ،کاهش عمر وپایین آمدن راندمان دسـتگاهها اشـاره نمود در چنین حالتی مطالعه هارمونیک ها وارائه یک سری قواعد ومقررات اجتناب ناپذیر خواهد بود.

معمولا فرض می شود که موج ولتاژ سینوسی تولید شده در مراکز تولید انرژی الکتریکی،بدون هارمونیک است. اغلب مواقع اعوجاج ولتاژ درسیستمهای انتقال ، کمتر از ۱ درصد است بهرحال هرچه بسمت مصرف کننده نزدیک تر می شـویم میزان اعوجاج بیشـتر می گردد از طرفی دیگر در شـبکه های فشـار ضـعیف کنونی شاهد رشد روز افزون مصرف کنندگانی هستیم که جریان غیر سینوسی از شبکه می کشند و در بعضی بارها ،موج جریان کاملا ازحالت سینوسی خارج می شود مثلا مبدل های الکترونیک قدرت شکل موج جریان را به شکل دلخواه در می آورند.

حالتهای مختلفی هم وجود دارد که اعوجاج در سیستم بصورت تصادفی ولی بصورت پریو دیک می باشد، یعنی اینکه سـیکل های متوالی تقریبا شـبیه بهم بوده ممکن اسـت به آرامی تغییر نمایند واین مفهوم دراصل همان واژه هارمونیک را توصیف می کند.

اولین منابع هارمونیکی شناخته شده ،ترانسفورماتورها بودند و اولین مشکل نیز درسیستمهای تلفن پدید آمد پدیده هایی که باعث بروز اعوجاجات الکترو مغناطیسـی در شـبکه می شـوند را می توان به چندین گروه عمده تقسیم بندی کرد که بر طبق استاندارد(IEC) به شرح ذیل می باشند:

۱) پدیده های هدایتی با فرکانس پایین که شامل هارمونیکها ،هارمونیکهای میانی ،سیگنالهای PLC ، نوسانات ولتاژ، فرورفتگی ولتاژ وقطعی ها ،عدم تعادل ولتاژ و تغییر فرکانس قدرت، ولتاژهای القایی با فرکانس پایین و وجود مقدار dc درشبکه جریان متناوب می باشند.

۲) پدیده های تشعشعی فرکانس پایین که شامل ، میدانهای مغناطیسی ومیدانهای الکتریکی

۳) پدیده های هدایتی با فرکانس بالا که شامل ،ولتاژها یا جریانهای القایی با شکل موج پیوسته ، گذارهای تک جهته وگذارهای نوسانی می باشند .

۴) پدیده های تشعشعی با فرکانس بالا که شامل میدانهای مغناطیسی ، میدانهای الکتریکی میدانهای الکترومغناطیسی وامواج پیوسته می شوند.

۵) پدیده های تخلیه الکترو استاتیک

۶) پالس الکترو مغناطیس ناشی از انفجارات هسته ای

در طی این سالها، پژوهشگران متوجه شده اند که اگر سیستم انتقال به نحو مناسبی طراحی شود بنحویکه بتوان مقدار توان مورد نیاز بارها را براحتی تامین نمایند احتمال ایجاد مشکل ناشی از هارمونیک ها برای سیستم های قدرت بسیار کم خواهد شد گرچه این هارمونیک ها می توانند موجب بروز مسائلی درسیستمهای مخابراتی شوند.

درسیستمهای قدرت اغلب مشکل زمانی بروز می کند که خازنهای موجود در سیستم باعث ایجاد تشدید در یک فرکانس هارمونیک گردند. در این شرایط اغتشاشات و اعوجاجات بسیار بیشتر از مقادیر معمول می گردند و امکان ایجاد مشکلاتی برای مراکز کوچک مصرف وجود دارد وشرایط بدتر درسیستمهای صنعتی وبعلت درجه بالایی از تشدید پدید می آید. درفصل اول این پایان نامه ،مطالبی مربوط به هارمونیک ها ارائه شده است که جوانب مختلف این پدیده را تشریح نموده است.

اما مسئله بعدی اهمیت تولید توان راکتور در نقاط مختلف شبکه می باشد.توان راکتیو یکی از مهمترین عواملی است که در طراحی وبهره برداری از سیستمهای قدرت AC منظور می گردد.

علاوه بر بارها اغلب عنا صر شبکه م صرف کننده توان راکتیو ه ستند بنابراین توان راکتیو باید در بع ضی نقاط سیستم تولید و سپس تا محل مورد نیاز منتقل شود.

توان راکتیو م صرفی بارها ،در ساعات مختلف شبانه روز درحال تغییر ا ست ، لذا ولتاژ و توان راکتیو باید دائما کنترل شوند در ساعات پیک بار، بارها قدرت راکتیو بیشتری مصرف می کنند لذا نیاز به تولید توان راکتیو در شبکه است چون در غیر اینصورت ولتاژ پایین آمده و ممکن است ازحد مجاز خود خارج شود.

در نیروگاهها وقتی که ولتاژ پایین بیاید ،می توان با بالا بردن تحریک ژنراتور قدرت راکتیو توسط ژنراتور تولید کرد که این به مسائل حرارتی سیم پیچها محدود می شود لذا این افزایش بازه محدودی دارد در نتیجه ژنراتور به کمک دراین زمینه دارد.

از طرفی دیگر در ساعات کم بار، بعلت کاپاسیتانس خط انتقال ،افزایش قدرت راکتیو را خواهیم داشت.ژنراتور در این حالت بصورت زیر تحریک کار می کند ولی بعلت محدودیت موجود در ژنراتور و م سئله پایداری سی ستم ،ژنراتور به تنهایی قادر به انجام چنین کار مهمی برای تثبیت ولتاژ نی ست .برای رسیدن به این هدف باید راهکاری را برای تولید توان راکتیو درنقاط مختلفی از سیستم در پیش گرفت که بتوان آنها را براحتی کنترل نمود.

وسائلی که برای کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ بکار می روند بعنوان جبران ساز مطرح می شوند. توازن قدرت راکتیو سبب تثبیت ولتاژ شبکه می شود که این وضعیت مطلوبی برای شبکه می با شد بطور کلی برای کنترل قدرت راکتیو و ولتاژ از سه روش زیر استفاده می شود:

۱- با تزریق قدرت راکتیو به سیستم توسط جبران کننده که بصورت موازی متصل می شوند که می توان از خازن، راکتور، کندانسور سنکرون و جبران کننده های استاتیک استفاده نمود

۲- از طریق کم کردن راکتانس القایی خطوط انتقال با نصب خازن سری

۳- با جابجا کردن قدرت را کتیو درسیستم توسط ترانسفور ماتورهای متغیر

در فصل دوم این پایان نامه مطالبی در مورد طراحی ، کنترل و حفاظت بانکهای خازنی مطرح شده است خازنهای جبران کننده توان راکتیو در شبکه ها و تاسیسات بزرگ به دو دسته ثابت ومتغییر تقسیم می شوند بطوریکه خازنهای ثابت همیشه درمدار قرار دارند معمولا بصورتی انتخاب می شوند که بتوانند ضریب توان شبکه را در بار کم و زیاد شدن بار اندوکتیو ضمن بار گرفتن از شبکه درمدار قرار می گیرند یا از شبکه خارج می شوند . در بعضی موارد نصب یک مجموعه خازنی با کم کردن اظافه بارمی تواند لزوم نصب یک خط توزیع جدید را که هزینه آن به مراتب بیشتر است برای مدتی به تعویق اندازد وهمین امر یک توجیه اقتصادی نصب خازن است. بخصوص اینکه پس از اجرای خط جدید می توان خازنها را به محل دیگری منتقل و استفاده مجدد نمود.

در فصل سوم این پایان نامه مطالب مربوط به آثار هارمونیک ها روی خازنهای اصلاح ضریب قدرت ارائه شده است با توجه به آنالیز هارمونیک ها ولزوم استفاده از جبران سازها ، مسئله حفاظت آنها در برابر هارمونیک های پرقدرت لازم و ضروری است.طبق مطالعات صورت گرفته کنترل هارمونیک های پنجم و هفتم از اهمیت بسیار بالایی در سیستم های قدرت برخوردار است و علت آن پر قدرت بودن این هارمونیک ها نسبت به بقیه هارمونیکم های مزاحم می باشد. همانطور که درادامه خواهد آمد در صورتیکه رز ونانس داخلی یک مدار نوسانی نزدیک یکی از هارمونیک های موجود درشبکه باشد، باید انتظار داشت که ولتاژ هارمونیکی وجریان هارمونیکی افزایش یابد. درمسئله رزونانس عوامل مختلفی دخالت دارند که از این بین اهمیت قدرت اتصال کوتاه شبکه اهمیت به سزایی دارد، چون همانطور که خواهد آمد یکی از عوامل تعیین کننده فرکانس رزونانس می باشد در شبکه استانداردی مشخص درمورد بزرگی دامنه هارمونیکها ارائه شده که در صورت اضافه شدن آنها اختلالات و مشکلات بسیاری در شبکه بوجود خواهد آمد.

راهکارهای مختلفی جهت کاهش آثار هارمونیک ها بر روی خازن های اصلاح ضریب قدرت ارائه شده است که درفصل چهارم این پایان نامه سه راه کار که در بر گیرنده همه موارد موثر درجهت دستیابی به

این امر ا ست ا شاره شده ا ست. ا سا سی ترین و پرکاربرد ترین این راه کارها ا ستفاده از فیلترها می با شد فیلتر های مورد استفاده در صنعت شامل، فیلتر های پسیو وفیلترهای اکتیو می باشند.

فیلترهای پسیو، فیلترهایی هستند که ساختمان آنها بر مبنای عملکرد المانهای *RLC* می باشد. امروزه با پی شرفت نیمه هادیها و تواناییهای منحصر به فرد آنها، فیلترها اکتیو یا فعال ، در سطح و سیعی جایگزین فیلترهای پ سیو یا غیر فعال شده اند. انواع مختلف این فیلترها باعث شده ا ست بتوان کنترل هارمونیک ها را حتی درشبکه هایی که دارای اعوجاجات بالایی می با شند، به نحو خوبی انجام داد.

WikiPower.ir

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

فصل اول :

بررسی هارمونیک ها

WikiPower.ir

۱-۱- تعریف هارمونیک:

هارمونیک ها یکی از انواع اعوجاج در شکل موج می با شند. اعوجاج در شکل موج عبارت ا ست از انحراف در شکل موج سینوسی ایده آل با فرکانس قدرت که درمحتوای طیفی آن موج مشخص می گردد.پنج نوع کلی اعوجاج درشکل موج را میتوان به شرح زیر نام برد:

۱- وجود مقدار *DC* درشبکه متناوب

۲- هارمونیک ها

۳- هارمونیک های میانی

۴- برش

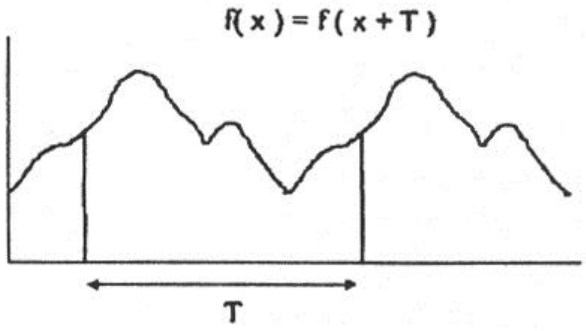
۵- نویز

موضوع مهم و قابل اهمیت دراین فصل مسئله هارمونیک ها می باشد.

هارمونیک ها ،ولتاژها و جریانهای سینوسی هستند که فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس نامی سیستم (۵۰هرتز) می باشد بطور کلی هر موج متناوبی را می توان مجموعه ای از موجهای سینوسی تعریف کرد که این مجموعه بنام سری فوریه معروف است

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 نمود.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 دراختیار با شد، می توان با استفاده از بسط سری فوریه بصورت دقیق این سیگنال را بصورت جمع مولفه اول و مولفه های دیگر نمایش داد.



شکل۱- سیگنال متناوب دلخواه

چون هر سیگنال در پریود زمانی T ثانیه کامل می شود بنابراین فرکانس آن بصورت $F\frac{1}{T}$ هرتز قابل بیان می باشد. اگر داشته باشیم $\omega = \frac{2\pi}{T}$ آنگاه سری فوریه را بصورت زیر می توان نوشت:

(۱)

$$F(t)=\frac{1}{2}A_0+\sum_{N=1}^{\infty} a_n\cos n\omega t+b_n\sin n\omega t$$

$$f(t)=\frac{1}{2}c_0+\sum_{n=1}^{\infty} C_n\sin(n\omega t+\phi_n)n=1,2,.....,\infty$$

$$C_0=a_0, C_n\sin\phi_n=a_n,\quad C_n\cos\phi_n=b_n$$

$$C_n=\sqrt{a_n{}^2+b_n{}^2}\quad,\quad \phi_n=Arc\tan\left(\frac{a_n}{b_n}\right) \qquad (2)$$

که درآن :

$c_1\sin(\omega t+\phi_1)$:هارمونیک اول یا اصلی

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

و

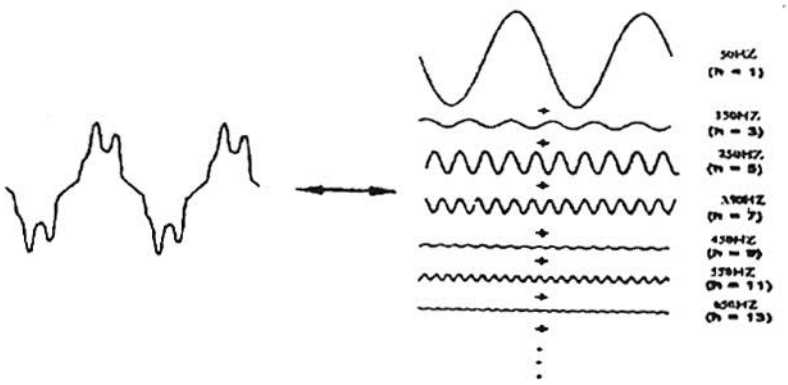
$$a_0=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)dt=\frac{\omega}{\pi}\int_0^{\omega} f(\omega)d\omega$$

$$a_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos n\omega t\,dt=\frac{\omega}{\pi}\int_0^{\omega}(\omega)\cos\ n\omega t\ d\omega \qquad (3)$$

$$b_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin n\omega t\,dt=\frac{\omega}{\pi}\int_0^{\omega}\sin n\omega t\,d\omega$$

می باشد.

فرکانس هریک از موجهای سینوسی تشکیل دهنده این مجموعه مضرب صحیحی ازفرکانس موج تناوبی اولیه یا پایه می باشد وجمله ای که فرکانس آن همان فرکانس پایه است را هارمونیک اول می نامیم جمله ای که فرکانس آن دو برابر فرکانس پایه است هارمونیک دوم و جمله ای که فرکانس آن سه برابر فرکانس پایه است هارمونیک سوم وبهمین صورت هارمونیک های بعدی نام گذاری می شوند.



شکل۲ – نمایش سری فوریه شکل موج اعوجاج یافته

مزیت استفاده از سری فوریه درنمایش شکل موجهای اعوجاجی سادگی بدست آوردن پاسخ سیستم به یک ورودی سینوسی است .همچنین دراین 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 و با استفاده از این سری فوریه ، شکل موج خروجی را محاسبه می گردد.

۱–۲– آنالیز امواج :

جهت آنالیز موجهای مختلف ابتدا باید آنها را دقیق تر بشناسیم که از لحاظ شکل کلی به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- موجهای متقارن

۲- موجهای نامتقارن

موجهای متقارن بدیل آنکه هردو نیم سیکل مثبت و منفی آنها شبیه یکدیگر هستند سری فوریه شان فقط شامل هارمونیک های فرد است با توجه به اینکه بیشتر وسایل وتجهیزات سیستم قدرت متقارن هستند درحالت مانا تنها هارمونیک های فرد و بدون مولفه *DC* تولید می کنند واین مطالعه روی سیستم های قدرت را ساده تر می کند تقارن مورد توجه در اینجا باین معنی است که پاسخ و سیله جریان های مثبت ومنفی یکسان است با وجود این موارد استثنایی عدم تقارن در سیستم قدرت هم وجود دارد

موجهای نامتقارن علاوه بر هارمونیک های فرد دارای هارمونیک های زوج نیز می باشـــند. دراین بین موجهایی هم ممکن است متوسطی غیر از صفر داشته باشند که دراین گونه موارد در مجموعه سری فوریه یک جمله سینوسی با فرکانس صفر وجود خواهد داشت که درمفهوم ، نشان دهنده مولفه جریان مستقیم (*DC*) موج می باشد.

یکســـو کننده های نیم موج جریانهای نامتقارنی تولید می کنند که هم دارای هارمونیک های زوج و هم مولفه *DC* می باشـــند. یکســو کننده های تمام موج واینورترهای قدرت نیز چنانچه قســمت مثبت ومنفی موج تولید آنها دقیقا یکســـان نباشـــد ایجاد هارمونیک های زوج می نمایند واین اتفاق موقعی که یکی از وسایل داخلی یک طرف پل درست کار نکند اتفاق می افتد.

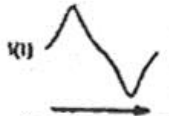
درحقیقت می توان گفت وجود هارمونیک های زوج اغلب نشان دهنده وجود اشکال در سیستم می باشد در طرفی دیگر تجهیزاتی که براساس تخلیه الکتریکی ویا ایجاد جرقه کار می کنند نیز ممکن است بدلیل صـــحیح نبودن زمان جرقه زدن آنها تولید هارمونیک های زوج نمایند مثل کوره های قوســـی برای ذوب کردن آهن های قراضه.

ما برای آنالیز یک ســیســـتم قدرت معمولا از فرکانس پایه اســـتفاده می کنیم وتمام محاســـبات بر اســـاس همین یک فرکانس انجام می شود پس ا ستفاده از زاویه بارها وهمچنین قدرت راکتیو در موجهای تناوبی غیر سینوسی بطور حتم نتیجه مطلوبی نخواهد داشت.

۱-۳- اعوجاج هارمونیکی کل *(THD)*:

موضـوع مورد توجه دراینجا مسـئله هارمونیک ها در سـیسـتم های قدرت وچگونگی تولید آنها در شـبکه ا ست بطور کلی اعوجاج هارمونیکی در سیستم های قدرت نا شی از عنا صر غیر خطی می با شد و عنصر خطی عنصری است که جریان آن متناسب با ولتاژ اعمالی نمی باشد

ممکن اســت افزایش چند درصــدی ولتاژ ،باعث شــود که جریان دو برابر شــود وموج جریان حتی شــکل دیگری بخود بگیرد که این مثال ساده ای از منبع تولید اعوجاج در سیستم قدرت است.



شکل ۳- اعوجاج جریان که به علت یک مقاومت غیرخطی ایجاد شده است

چندین معیار عددی برای نشـــان دادن مقادیر هارمونیکهای یک موج وجود دارد که معروفترین آنها می توان به اعوجاج هارمونیکی کل *(THD)* که برای ولتاژ وجریان قابل محاسبه است اشاره نمود:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2} M_h}}{M_1} \qquad (۴)$$

که درآن M_h مقدار مولفه هارمونیک *h*ام کمیت *M* می باشـد. *THD*معیار اندازه گیری مقدار موثر مولفه هارمونیکی یک موج اعوجاجی اسـت همانطوریکه مشـاهده می شـود شـاخص *THD* به منظور مشـخص نمودن مقدار هارمونیک ها بصورت نسبت آنها به مقدارمولفه اصلی تعریف گردیده است.

با توجه به اینکه مقدار موثر کل موج *(RMS)* برابر با جمع مولفه های آن نمی باشـــد بلکه مجذور جمع مربعات است توسط رابطه شماره (۵) می توان *THD* را به مقدار موثر شکل موج ارتباط داد:

$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{msx} M_h^{\,2}} = M_1\sqrt{1+(THD)^2} \qquad (۵)$$

THD کمیتی مفید برای بسیاری از کاربرد ها می باشد، لیکن محدودیت هایش رانیز باید مورد لحاظ قرار داد این کمیت می تواند ایده خوبی ازحرارت اضـــافی ایجاد شـــده در یک بار مقاومتی هنگامی که ولتاژ اعوجاجی با آنها اعمال شده است ارائه دهد همچنین می تواند نشانه ای برای تلفات اضافی ناشی از جریان عبوری از یک هادی نیز باشـد. ولی این کمیت نشـانه خوبی از تنش ولتاژی بر خازن نمی باشـد زیرا این تنش با مقدار پیک شکل موج ولتاژ درارتباط است.

۱-۴- منابع تولید هارمونیک وخرابیهای ناشی از آنها

پیدایش عناصـــرنیمه هادی واســـتفاده فراوان از آنها درشـــبکه های قدرت عامل جدیدی برای ایجادها هارمونیک درســـیتم های قدرت بوجود آورده که کاربرد این عناصـــر را میتوان بطور گســـترده درتجهیزات وسیستمهای قدرت زیر مشاهده کرد.

۱)سیستم *HVDC*

۲) تجهیزات مورد استفاده درکنترل کننده های سرعت ماشین الکتریکی

۳) اتصال نیروگاههای خورشیدی وبادی به سیستم های توزیع

۴)کاربرد*SVC* بعنوان ابزار مهمی درکنترل توان راکتیو

۵) استفاده زیاد ازیک سو کننده ها برای شارژ باطریها

از سوی دیگر عوامل زیر را می توان بعنوان تولید کننده هارمونیک نیز درنظر گرفت :

۱)تولید شکل موج غیرسینوسی توسط ماشین های سنکرون ناشی از وجود شیارها وعدم توزیع یکنواخت سیم پیچی ها استاتور

۲) عدم یک نواختی در راکتانس ماشین سنکرون

۳) توزیع غیر سینوسی فوران مغناطیسی درماشین های سنکرون

۴) جریان مغناطیسی ترانسفور ماتور

۵) بارهای غیر خطی شامل دستگاههای جوشکاری

۶) کوره های الکتریکی و القایی

ازنظر صـــنایع وکارخانجات ،صـــنایع زیر را می توان ازجمله عوامل تولید هارمونیک درشـــبکه الکتریکی محسوب نمود:

۱- صنایع شامل مجتمع های شیمیایی وپتروشیمی و نیز صنایع ذوب آلومینیوم که ازیکسو کننده های پر قدرت برای تولید برق *DC* مورد نیاز برای انجام فرآیندهای شیمیایی وذوب آلومینیوم استفاده می کنند با توجه به قدرت بالای این یکسو کننده ها هارمونیک قابل ملاحظه ای درشبکه قدرت بوجود می آورند.

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

۳- استفاده از سیستم های الکترونیک قدرت درسیستم حمل ونقل برقی مثل اتوبوس برقی ومتروها باعث می شود که سطوح بالایی از هارمونیک به سیستم توزیع تزریق شود.

۴- بارهای غیرخطی مانند کوره های قوس الکتریکی که در صنایع ذوب آهن ا ستفاده می شود از عوامل تولید هارمونیک درمقیاس بزرگ می باشند

۵- استفاده از *SVC* جهت تنظیم ولتاژ کنترل توان راکتیو باعث ایجاد هارمونیک درشبکه قدرت می گردد البته بارهای صنعتی تنها مولد هارمونیک نیستند بلکه مصارف خانگی نیز اثر قابل توجهی در این زمینه از خود بروز می دهند بارهای خانگی دارای توان مصرفی کمی می باشند ولی بدلیل زیاد بودن تعداد وسایل خانگی که بطور همزمان وبرای یک پریود طولانی مورد استفاده قرار می گیرند می توانند عامل اصلی تولید اعوجاج درسیستم باشند.

مهمترین انواع اینگونه وسایل تلوزیون و وسایلی که درآنها تریستور استفاده می شود، لامپهای فلورسنت ولامپ های کم مصرف ا ست. گیرنده های تلویزیونی معمولا از طریق یک سو کننده که خازن بزرگی در طرف *DC* آن وجود دارد تغذیه میشوند درچنین جریان کشیده شده از شبکه شامل پالس های کوتاه مدتی است که درصد بالایی از هارمونیک را دارا هستند.

در هر صورت خرابیهایی که عامل آنها هارمونیک ها می باشند را می توان به بخشهای مختلفی تقسیم بندی کرد که بطور خلاصه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- شکست عایقی بانکهای خازنی وافزایش جریان وتوان راکتیو بانک خازنی

۲- تداخل با سیستمهای ریپل کنترل وتداخل در وظیفه کنترل از راه دور سیستم های کلید زنی واندازه گیری

۳- تلفات اضافی اهمی ونیز تلفات اضافی درهسته وایجاد حرارت زیاد درماشینهای الکتریکی

۴- شکست عایقی کابلها

۵- تداخل با سیستم های مخابراتی و *PLC*

۶- ایجاد خطا دردستگاههای اندازه گیری

۷- ایجاد نوسانات مکانیکی درماشینهای سنکرون و القایی

۸- کاهش ظرفیت فیوزها بدیل حرارت وعملکرد نامناسب فیوزها

۹- عدم عملکرد مناسب سیستم های کنترل

۱۰- عملکردنامناسب و پاسخ اشتباه رله

۱۱- عملکرد نامناسب مدارات آتش سیستم های الکترونیک قدرت بخصوص مدارات آتشی که بر اساس تشخیص نقطه صفر ولتاژ عمل می کنند

۱۲- ایجاد خطا درکنتور های اندازه گیری مصرف وتولید انرژی

البته این اثرات بستگی به منابع هارمونیک ها، موقعیت آنها درسیستم قدرت و خصوصیات شبکه و مشخصات بارها که باعث جلو انداختن هارمونیک ها و تسریع در انتقال آنها می شوند دارد. از جنبه ای دیگر اثرات مخرب هارمونیک ها روی تجهیزات را می توان به دو صورت لحظه ای و بلند مدت هم تقسیم بندی کرد.

اثرات لحظه ای باعث ایجاد خرابی وعدم عملکرد مناسب وسایلی که از زمان عبور از صفر موج ولتاژ استفاده می کنند می گردد. تنظیم کننده ها وسایل الکتریکی و کامپیوترها بیشتر در معرض این اثرات قرار می گیرند از طرف دیگر مقدار بالای هارمونیک ها ممکن است باعث عدم عملکرد مناسب رله های

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

حفاظتی گردد ولی اثرات بلند مدت اساسا بصورت حرارتی می باشند. تلفات اضافی واضافه حرارت باعث کاهش عمر و حتی صدمه دیدگی خازنها وماشین ها می گردد.

۱-۵- هارمونیک های ولتاژ وجریان

کلمه هارمونیک اغلب بدون هیچگونه کلمه توضیحی دیگر وبه تنهایی استفاده می شود مثلا بسیار شنیده می شـــود که یک محرکه موتوری با قابلیت تنظیم ســـرعت یا یک کوره القایی بدلیل وجود هارمونیک ها بصورت مناسب نمی تواند کار کند که ممکن است جواب علت این مسئله یکی از سه مورد زیر باشد:

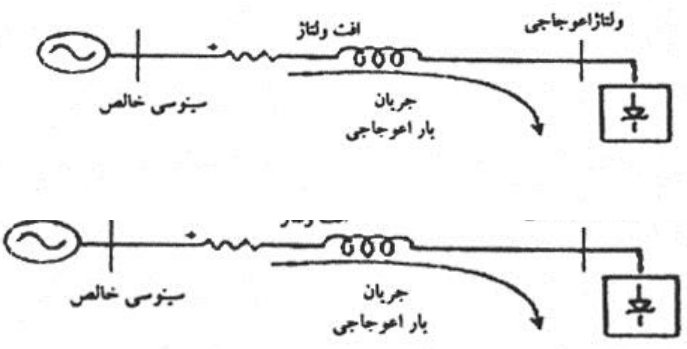
۱- هارمونیک ولتاژ آنقدر زیاد است که سیستم کنترل زاویه آتش بخوبی عمل نمی‌کند.

۲- هارمونیک جریان زیادتر از ظرفیت بعضی از تجهیزات درسیستم تغذیه مانند ترانسفور ماتور و ماشین است که باید در زیر قدرت نامی خود کار کنند

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

همینطور که این موارد نشـــان می دهد دلایل واثرات جداگانه ای برای هارمونیک های ولتاژ و جریان وهمچنین روی بعضـــی روابط بین این دو وجود دارد. بنابراین، واژه هارمونیک به تنهایی مبهم بوده و نمی توان به کمک آن بصورت دقیق یک مسئله را توصیف کرد.

همانطوری که اشـــاره شـــد بارهای غیرخطی منبع جریان هارمونیک هســـتند و باعث تزریق این جریان درســیســتم قدرت می شـوند. برای بیشـتر بررســی ها ، کافی اسـت که بارهای تولید کننده هارمونیک ها درسیستم را بصوت منبع جریان مدل سازی کرد. همانطوریکه شکل (۴) نشان می دهد اعوجاج ولتاژ دراثر عبور جریان اعوجاجی از امپدانس خطی وسری انتقال قدرت ایجاد می گردد.



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

شکل۴- جریانهای هارمونیکی که از امپدانس سیستم عبور کرده و روی بار ولتاژهای هارمونیکی ایجاد می کنند.

جریانهای هارمونیکی عبور کننده از امپدانس سیستم باعث ایجاد افت ولتاژ برای هر هارمونیک خواهد شد ودر نتیجه باعث ایجاد ولتاژ هارمونیکی در دو سر بار می گردد. مقدار اعوجاج ولتاژ بستگی به امپدانس وجریان دارد. با فرض اینکه اعوجاج شینه درحد قابل قبول باقی بماند (مثلا کمتر از ۵ درصد) مقدار جریان هارمونیکی تولید شده توسط بار تقریبا برای هر سطح بار ثابت است درحالیکه هارمونیک های جریان بار درنهایت 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 ممکن ا ست دو مقدار متفاوت اعوجاج ولتاژ ایجاد کند.

نکات مهم زیر را باید درنظر داشت وبخاطر سپرد:

۱- کنترل به روی مقدار هارمونیک جریان تزریق شده به سیستم درنقطه ورودی به م شترک انجام می شود

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

۲- با فرض اینکه هارمونیک جریان تزریقی درحد قابل قبولی قرار گرفته باشـــد، کنترل روی اعوجاج ولتاژ با کنترل بروی امپدانس سیستم صورت می گیرد.

۱-۶- تاثیر تجمعی هارمونیک ها:

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

روش اول – این روش ساده می باشد واز رابطه زیر برای محاسبه هارمونیک ولتاژ استفاده می شود:

$$U_h = U_{ho} + \sum K_{hj} U_{hj} \qquad (۶)$$

که درآن U_{ho}ولتاژ هارمونیکی شینه بدون حضور کلیه بارها می باشد ومقدار ضریب K_{hj} بستگی به عوامل مطرح شده در ذیل دارد:

۱- نوع تجهیزات مورد نظر

۲- مرتبه هارمونیک

۳- نسبت بین توان نامی تجهیزات مورد نظر (S_{rj}) و سطح اتصال کوتاه درنقطه اتصال مشترک (S_{sc})

مقادیر K_{hj} برای تمام تجهیزات بصـورت عمومی درجدول (۱) برای یکســو کننده غیر کنترل شـــده همراه باخازن در جدول (۲) آمده است.

جدول ۱ ضریب K_{hj} برای کلیه تجهیزات

S_{rj}/S_{sc}	مرتبه هارمونیك (h)						
	۳	٥	۷	۱۱	۱۳	۱۷	۱۹
۰/۰۰۱ >	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	-	-
۰/۰۰۲	۰/٤	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	-
۰/۰۰٥	۰/٦	۰/٥	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱
۰/۰۱۰	۰/۷	۰/۷	۰/٥	۰/٤	۰/٤	۰/۳	۰/۱
۰/۰۲۰	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/٦	۰/٦	۰/٥	۰/٥
≥ ۰/۰٥۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۲ ضریب K_{hj}برای یکسو کننده غیر کنترل شده همراه با خازن

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

S_{rj}/S_{sc}	مرتبه هارمونیك (h)						
	۳	٥	۷	۱۱	۱۳	۱۷	۱۹
< ۰/۰۰۱	۱	۰/۹	۰/٦	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱
۰/۰۰۲	۱	۰/۹	۰/٦	۰/٤	۰/۳	۰/۲	۰/۲
۰/۰۰٥	۱	۰/۹	۰/۷	۰/٥	۰/٤	۰/۳	۰/۳
۰/۰۱۰	۱	۱	۰/۸	۰/۷	۰/٦	۰/٤	۰/٤
۰/۰۲۰	۱	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۸	۰/٦	۰/٦
≥ ۰/۰٥۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

روش دوم – هارمونیک ولتاژ درهرنقطه از سیستم ،حاصل از جمع برداری هارمونیک های ولتاژ نا شی از منابع مختلف آن نوع هارمونیک خواهد بود بررسی ومطالعه روی جمع آثار هارمونیک ها رابطه زیر را ارائه داده است:

$$U_{HR}\left[(U_{h1})^2+(U_{h2})^2+(U_{h3})^2+.....\right]^{1/a}=\left[\sum(U_{hi})^a\right]^{1/a} \qquad (۷)$$

که U_{hr} ولتاژ هارمونیک مرتبه hام درنقطه $a.r$ ضـــریب ثابت و U_{hi} ولتاژ هارمونیک hام که از منبع i ام حاصل می گردد می باشد.

مقدار ضریب ثابت a بستگی به سه عامل زیر دارد:

۱- حد احتمال کمتر بودن هارمونیک های ولتاژ شبکه ازیک مقدار مشخص

۲- محدوده تغییرات احتمالی وتصادفی دامنه هارمونیکهای ولتاژ هر منبع

۳- محدوده تغییرات احتمالی وتصادفی زاویه (فاز) هارمونیکهای ولتاژ هر منبع

روشن و بدیهی است که هارمونیک های فرد با مرتبه کم دارای مشخصه های زیر می‌باشند:

۱- این هارمونیک ها دراغلب نقاط شبکه وجود داشته ومقدار آنها قابل ملاحظه است

۲- زاویه (فاز) هارمونیک های ولتاژ محدوده تغییرات نســـبتا کوچکی داشـــته و این موضـــوع در مورد هارمونیک های با مرتبه بزرگتر حالت عکس دارد.

۱- برای هارمونیک های کوچکتر از پنجم:$a=1$ (این مقادیر برای هارمونیک های ولتاژ با دامنه ثابت که ممکن است زاویه فازشان بصورت احتمالی وتصادفی بین صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند معتبر است)

۲- برای هارمونیک های مرتبه پنجم تا دهم : $a=1/4$ (این مقادیر برای هارمونیک های ولتاژ که ممکن ا ست دامنه آنها بطور احتمالی وت صادفی بین ن صف مقدارد ماکزیمم و مقدار ماکزیمم تغییر نماید و زاویه فازشان بطور احتمالی و تصادفی بین صفر تا ۲۷۰ درجه تغییر نماید معتبر است)

۳- برای هارمونیک های بامرتبه بیشتر ازده : $a=2$ (این مقادیر برای هارمونیک های ولتاژ که ممکن است دامنه ولتاژ آنها بطور احتمالی وتصـــادفی بین مقدار صـــفر و ماکزیمم تغییر نماید و زاویه فازشـــان بطور تصادفی بین صفر و ۳۶۰ درجه تغییر نماید قابل قبول است.)

البته وقتی که هارمونیک ها هم همفاز هســـتند برای هارمونیک های مرتبه پنجم به بالا نیز از $a=1$ استفاده می شود.

۱-۷- حدود مجاز اعوجاج ولتاژ درشبکه:

جدول ۳ حدود مجاز اعوجاج ولتاژ در شینه های محل تغذیه مشترکین در ولتاژ های مختلف را نشان می دهد. در این جدول حد اعوجاج هارمونیک ولتاژ همچنین حد اعوجاج کلی ولتاژ به درصد داده شده است. هرگاه درق سمتی از شبکه برق ر سانی اعوجاج ولتاژ از مقادیر حدی جدول (۳) تجاوز کند لازم ا ست که شـــرکت های برق اقدام به اندازه گیری هارمونیک ها درنقاط مختلف شـــبکه خود نمایند تا مشـــترک یا م شترکینی که دارای سیستم های هارمونیک بوده وبیش از حد مجاز تولید جریان هارمونیکی می نمایند م شخص گردندوبای ست از اینگونه م شترکین خوا سته شود که با تمهیداتی از جمله ن صب فیلتر ، مقدار جریان هارمونیکی تزریقی خود را تاحد مجاز کاهش دهند.

جدول ۳- حدود مجاز اعوجاج ولتاژ شبکه

ماکزیمم اعوجاج مجاز درشینه هاي با ولتاژ هاي مختلف به درصد نسبت به ولتاژ نامي با فرکانس ۵۰ هرتز			
ولتاژ شینه	اعوجاج تکي ولتاژ هارمونيك		اعوجاج کلي ولتاژ
	فرد	زوج	
۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلو وات	۳/۰	۱/۵	۵/۰
۶۳و ۱۳۲کیلو وات	۱/۵	۰/۷	۲/۵
۲۳۰ و ٤۰۰ کیلو ولت	۱/۰	۰/۵	۱/۵

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

۱-۸- حدود مجاز اعوجاج جریان برای هر مشترک:

اتکای تنها به حدهای مجاز شاخص های هارمونیک 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 را در مورد سیستم داخلی برق خود انجام داده و موارد ذیل را تأیید نماید:

۱) خازن های اصلاح ضریب قدرت و یا فیلترهای هارمونیکی بیش از حد تحمل خود تحت فشارهای ناشی از هارمونیک ها قرار نگیرند.

۲) رزونانس یا تشدید سری یا موازی وجود نداشته باشد.

۳) مقادیر هارمونیک ها یعنی اعوجاج های کلی و تکی جریان و ولتاژ در محل اتصال به شبکه از حد مشخص شده طبق استاندارد بیشتر نشود.

۴) محدود کردن تزریق هارمونیک توسط هر مشترک به صورتی که باعث اعوجاج ولتاژ غیرقابل قبول در شرایط عادی کار سیستم برق نگردد.

۵) محدود کردن اعوجاج کلی ولتاژ در سیستم برق بخصوص در محل تغذیه مشترکین:

اعوجاج ولتاژ در سیستم تابعی از کل جریانهای هارمونیکی تزریقی و امپدانس سیستم در هر فرکانس هارمونیک می باشد. کل جریانهای هارمونیکی تزریق شده وابستگی به تعداد اندازه مشترکین دارد که تولید هارمونیک جریان می نمایند پس روش منطقی برای محدود کردن جریان های هارمونیکی برای هر مشترک تعیین حدود مجاز جریانهای هارمونیکی بر اساس اندازه و یا مقدار بار هر مشترک می باشد مشترکین بزرگتر بخاطر اینکه قسمت بیشتری از بار را مصرف می کنندامکان بیشتری برای تزریق جریانهای هارمونیکی به سیستم خواهند داشت.

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

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

جداول ۴و۵و۶ حدود مجاز جریانهای هارمونیکی را براساس اندازه بار مصرفی مشترکین نسبت به اندازه وقدرت شبکه برق درنقطه محل تغذیه یا اتصال مشترک در سیستم های با ولتاژ مختلف را ارائه می دهد. البته حدود ارائه شده در جداول صفحات بعد برای مشترکین عمومی و آنهایی که دارای یکسو کننده های شش ضربه ای هستند صادق می باشد اگر یکسو کننده ها به نحوی باشد که نتیجه آن برای سیستم تغذیه بصورت یکسو کننده های بیش از شش ضربه ای بحساب آید حدهای مجاز برای انواع هارمونیک های مشخصه آنها متناسب با ضریب $\sqrt{\frac{q}{6}}$ که q مشخص کننده تعداد ضربه آنهامی باشد افزایش می یابد واندازه مجاز انواع هارمونیک های غیر مشخصه آنها به مقدار ۲۵ درصد مقادیر تعیین شده در جداول ۴و۵و۶ کاهش می یابد.

WikiPower.ir

جدول۴- حد مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین در شبکه های توزیع ۳۸۰ ولت و ۲۰ کیلو ولت 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	٤	۱/۰	۳/۰	۰/۵	۱/۵	۰/٤	۰/٦	۰/۱	۰/۳	۰/۱	۵
5≥R>2	۷	۱/۷	۳/۵	۰/۹	۲/۵	۰/٦	۱/۰	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۸
2≥R>1	۱۰	۲/۵	٤/۵	۱/۱	٤/۰	۱/۰	۱/۵	۰/٤	۰/۷	۰/۲	۱۲
1≥R>0/1	۱۲	۳/۰	۵/۵	۱/٤	۵/۰	۱/۲	۲/۰	۰/۵	۱/۰	۰/۲	۱۵
R≤0/1	۱۵	۳/۸	۷/۰	۱/۷	٦/۰	۱/۵	۲/۵	۰/٦	۱/٤	۰/۳	۲۰

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

جدول ۵- حدود مجاز اعوجاج جریان برای مشترکین فوق توزیع ۶۳ و ۱۳۲ 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	۰/۰	۲/۵
5≥R>2	۳/۵	۰/۹	۱/۷	۰/٤	۱/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۱	۰/۲	۰/۰	٤
2≥R>1	۵/۰	۱/۲	۲/۲	۰/٦	۲/۰	۰/۵	۰/۷	۰/۲	۰/۳	۰/۱	٦/۰
1≥R>0/1	٦/۰	۱/۵	۲/۷	۰/۷	۲/۵	۰/٦	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

جدول ۶-حدود مجاز اعوجاج مجاز برای شبکه های انتقال فشار قوی۲۳۰ و۴۰۰کیلوولت 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
0/1≤R	۳/۰	۰/۷	۱/۵	۰/٤	۱/۱	۰/۳	۰/٤	۰/۱	۰/۲	۰/۰۵	٤/۰

۱-۹- بازه های زمانی اندازه گیری هارمونیکها:

بسیار کوتاه مدت برابر ۳ ثانیه وبازه زمانی کوتاه مدت ۱۰ دقیقه است اندازه گیری باید توسط دستگاه اندازه گیری هارمونیک انجام گیرد و کل مدت اندازه گیری باید یک هفته باشد درانتهای یک دوره اندازه گیری از بین دو مقدار « حداکثر هارمونیک ولتاژ اندازه گیری شده در بازه زمانی کوتاه مدت »و « احتمال تجمعی ۹۵ درصد هارمونیک ولتاژ در بازه زمانی بسیار کوتاه مدت » مقدار بزرگتر بعنوان میزان هارمونیک شینه انتخاب شده و باید برای مقایسه با سطوح مجاز بکار رود

۱-۱۰- فواصل زمانی اندازه گیری هارمونیک برای شرکت های برق :

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

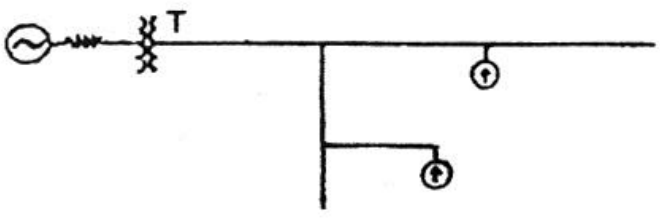
در پست های ۶۳،۱۳۲،۲۳۰و ۴۰۰ کیلوولت اندازه گیری هارمونیک ها بایستی بصورت سالانه در دومقطع زمانی بیشترین مقدار مصرف و کمترین مصرف سالانه پست انجام شود البته توجه به نکاتی در این زمینه الزامی است نکته اول اینکه در صورت اتصال خطوط جدید بین پست ها ویا تغییر آرایش شبکه این اندازه گیریها در پست مربوطه صورت گیرداما نکته دوم درصورت اتصال مصارف بزرگ به پست هایی با سطوح ولتاژ اشاره شده این اندازه گیری ها درمحل پست مربوطه انجام شود.

در پست های ۲۰و۳۳ کیلو ولت اندازه گیری هارمونیک هاباید در پست هایی که مشترکین هارمونیک زا را تغذیه می نمایند انجام شود اندازه گیری هارمونیک ها بصورت سالانه ودرمقطع زمانی با بیشترین مقدار مصرف انجام می گیرد

اینجا هم توجه به نکاتی الزامی است اول اینکه در صورت اتصال مشترکین بزرگ هارمونیک زا اندازه گیری هارمونیک ها درپست مورد نظر پس از اتصال مشترک جدید نیز بایستی انجام شود دوم اینکه در صورت شکایت مشترکین از نحوه عملکرد نامناسب تجهیزات بعلت وجود هارمونیک ها اندازه گیری هارمونیکی در پست تغذیه مشترک صورت گیرد بعد از نصب تجهیزات کاهش دهنده هارمونیک باید به منظور اثبات عملکرد مناسب تجهیزات ،اندازه گیری های هارمونیکی مجدداً انجام گیرد.

۱-۱۱- شناسایی محل منابع هارمونیک ها:

در فیدرهای توزیع شعاعی ودرکارخانجات صنعتی تمایل اصلی هارمونیک های تولید شده جریان یافتن از محل تولید خود(بارهای هارمونیک زا) به طرف منبع تغذیه سیستم قدرت می باشد این مسئله در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- مسیر عمومی جریانهای هارمونیکی در شبکه های شعاعی

امپدانس سیستم معمولا کمترین امپدانسی است که جریان های هارمونیکی در مقابل خود می بینند بنابراین ق سمت اعظم جریان به طرف منبع تغذیه سی ستم جاری می شود واز این مطلب می توان برای شناسایی محل منبع تولید هارمونیک استفاده نمود.

با ا ستفاده از یک مونیتور که قادر به ن شان دادن مولفه های هارمونیکی جریان با شد به سادگی می توان هارمونیک را پیداکرد خازنهای تصحیح ضرب قدرت می توانند الگوی مسیر بزرگی را جریان هارمونیکی به این قسمت از مدار که در آنجا نصب شده است شوند.

اگر در این حالت بخواهیم از روش اشاره شده استفاده کنیم بجای ردیابی مسیر اصلی که نهایتاً به منابع تولید هارمونیک می ر سد ا شتباها م سیر منتهی شده به بانک خازنی را دنبال خواهیم کرد بنابراین لازم است که بصورت موقت تمامی خازن ها را از مدار خارج کرده تا محل منابع تولید هارمونیک را بتوان بطور دقیق مشخص نمود.

جریان هارمونیکی تولید شده منبع هارمونیک واقعی و جریان هارمونیکی نا شی از ت شدید بانک خازنی به راحتی قابل تمایز هستند جریانهای حا صل از ت شدید دارای یک هارمونیک غالب هستند که بر روی موج سینو سی ا صلی سوار می گردد. همانطور که میدانیم شکل موجهای جریان هارمونیکی تنها دارای یک مولفه (علاوه بر مولفه اصلی) نخواهد بود این شکل موجها بسته به پدیده اعوجاج زا دارای شکل موجهای متفاوتی می باشند ولی به هر حال دارای چندین هارمونیک بادامنه های متفاوت خواهند بود و یک هارمونیک تنها با دامنه بالا تقریباً همیشه شرایط تشدید را نشان می دهد .

۱-۱۲- بررسی محاسبه کامپیوتری هارمونیک ها (آنالیز هارمونیک ها):

منظور از آنالیز هارمونیکی سیستمهای قدرت محا سبه ولتاژها وجریانهای هارمونیکی درتمام نقاط شبکه می با شد اندازه گیری فیزیکی سیگنالهای هارمونیکی اعوجاج ولتاژ وجریان را در نقاط مختلفی از شبکه مشخص می کند ولی اندازه گیری درهمه نقاط شبکه امکان پذیر نمی باشد اهمیت آنالیز هارمونیکی

سیستمها از این لحاظ مهم است که با مشخص نمودن توزیع هارمونیکها در شبکه میتوان افزایش تلفات درمسیرهای مختلف شبکه میزان اعوجاج ولتاژ درنقاط مختلف وهمچنین پاسخ فرکانس سیستم از دید نقاط مختلف شبکه میزان اعوجاج ولتاژ درنقاط مختلف وهمچنین پاسخ فرکانس سیستم از دید نقاط مختلف جهت نصب خازنهای تصحیح ضریب توان وجلوگیری از روزنانس انها را مشخص کرد.

بطور کلی سه روش مختلف کامپیوتری با پیچیدگی های متفاوت برای آنالیز هارمونیکی سیستمهای قدرت وجود دارد که عبارتند از :

۱- آنالیز غیر خطی در حوزه زمان

۲- آنالیزغیر خطی در حوزه فرکانس

۳- آنالیزخطی در حوزه فرکانس

مدل المانهای سیستم قدرت درکلیه این روشها یکسان بوده وتنها تفاوت درمدلی است که رای بارهای غیر خطی درنظر گرفته می شود برای کلیه عناصر خطی سیستم قدرت از قبیل ماشین های الکتریکی ترانسفور ماتور،خط انتقال وغیره می بایستی مدل های هارمونیکی منا سبی درنظر گرفته شوند بطوریکه درگستره فرکانسی مورد نظر (معمولا تا هارمونیک پنجاهم) رفتار این عنصر بر حسب فرکانس بطور مناسبی درمحاسبات مورد توجه قرار گیرد ضمنا درهریک از این سه روش می توان شبکه مورد نظر را هم بصورت تکفاز وهم به صورت سه فاز درنظر گرفت وواضح است درحالت سه فاز حجم محاسبات افزایش خواهد یافت.

در روش های انالیز غیر خطی درحوزه زمان وفرکانس تنها آن دسته ازمنابع هارمونیکی را می توان مورد آنالیز قرار داد که دارای مدل ریاضی مشخص باشند زمان انجام محاسبات دراین روش ها طولانی بوده وکاربرد آنها معمولا محدود به شبکه هایی با ابعاد کوچک می باشد لذا بیشتر از روش آنالیز خطی درحوزه فرکانس استفاده می شود. دراین روش بارهای غیر خطی در هارمونیک های مختلف بصورت منابع جریان

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

درنظر گرفته می شـوند دامنه وزاویه هارمونیکهای جریان دراین روش مسـتقل از شـکل موج ولتاژ درنظر گرفته شده وهارمونیکهای مرتبه های مختلف بصورت مجزا محاسبه می گردند.

اهم دلایل انتخاب این روش به شرح زیر می باشد:

۱- استانداردهای جهان واز جمله استاندارد *IEEE* این روش را برای انجام آنالیز های هارمونیکی پیشنهاد می نمایند.

۲- نتایج تحقیقات نشان داده اند که این روش برای سیستمهایی که اعوجاج کلی هارمونیکی *THD* ولتاژ درباس بارهای آنها کمتر از ۱۰ درصد باشد بخوبی جوابگو خواهد بود.

۳- دراین روش می توان منابع هارمونیکی دیگری نظیر کوره های الکتریکی را که بدلیل رفتار نامشـخص آنها دارای مدل ریا ضی پیچیده می با شد براحتی درمحا سبات درنظرگرفت که این مو ضوع در شبکه های صنعتی حائز اهمیت می باشد.

در تشریح روش آنالیز خطی درحوزه فرکانس فرض بر این ا ست که جریانهای هارمونیکی در محل اتصال بارهای غیر خطی تولید و به شبکه تزریق می گردند سایر عناصر نیز بصورت امپدانس های مناسبی درهر یک از فرکانس های هارمونیکی درباس بارهای مختلف درنظر گرفته می شوند.

اگرولتاژ دو گروه *K* ام و *i*ام در هارمونیک موردنظر به ترتیب V_i, V_kو ادمیتانس هارمونیکی شاخه بین این دو گروه را Y_{ki}بنامیم جریان هارمونیکی شاخه مذکور I_{ki}را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$I_k = Y_{Ki}(V_k - V_i) \qquad (۷)$$

اگر گره های شبکه را از ۱ تا *n* شماره گذاری نموده وعدد ۰ را به گروه مرجع (زمین) اختصاص دهیم با اسـتفاده از قانون جریان کیرشـهف جریان هارمونیکی تزریق شـده I_k باید برابر با مجوع کلیه جریانهای هارمونیکی باشد که از گروه *k*ام خارج می گردند بنابراین :

$$I_k = \sum_{i=o}^{n} I_{ki} = \sum_{i=o}^{n} Y_{ki}(V_K - V_i) \qquad (۸)$$

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

با توجه باینکه درهر هامونیک سیستم خطی درنظر گرفته شده و $Vo=O$ می باشد خواهیم داشت :

$$I_k = \sum_{i=o\neq k}^{n} Y_{Ki}V_k - \sum_{i=1\neq k}^{n} Y_{ki}V_i \qquad (۹)$$

اگر رابطه ۹ برای کلیه گره های شبکه غیر از گره مرجع نوشته شود آنگاه مجموعه کامل معادلاتی که شبکه را توصیف می نمایند با فرض اینکه منابع هارمونیکی درباس m ام نصب شده است بفرم ماتریسی ارائه شده در صفحه ذیل قابل بازنویسی خواهند بود:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ \boldsymbol{Im} \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_h = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{m1} & Y_{m2} & \cdots & Y_{mn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix}_h \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_m \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}_h \qquad (۱۰)$$

شایان ذکر است که در رابطه ۱۰ بردارهای جریان و ماتریس ادمیتانس معلوم بوده و با توجه به اطلاعات مربوط به هریک از عناصر خطی شبکه قابل محاسبه می باشد حالا می توان براحتی محاسبات مربوط به نفوذ جریان هارمونیکی ونیز محاسبه پارامترهایی که به وسیله آنها می توان شدت اعوجاج هارمونیکی رامشخص نمود انجام داد پس از محاسبه ولتاژ کلیه باس بارها جریان جاری درعناصر شبکه قابل محاسبه خواهند بود جریانهای جاری درشاخه های بین دو باس بار از رابطه ۷ و جریان عناصرموازی شبکه از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد:

$$I_k = \frac{V_k}{Z_{kk}} = y_{kk}.V_K \qquad (۱۱)$$

پس از مشخص شدن کلیه مولفه های هارمونیکی ولتاژها و جریانهای شبکه می توان ضرایب اعوجاج هارمونیکی از قبیل اعوجاج کلی هارمونیکی جریان واعوجاج کلی هارمونیکی ولتاژ را بدست آورد.

۱-۱۳- بررسی مختصر هارمونیک های مرتبه سوم در سیستم :

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

هارمونیک های مرتبه سوم ضرایب فردی هارمونیک سوم هستند(...و۲۱و۱۵و۹و۳= h) این هارمونیک ها احتیاج به بررسی های ویژه ای دارند زیرا پاسخ سیستم دربرابر این هارمونیک ها متفاوت از پاسخ ان در برابر دیگر هارمونیک ها می باشد علت تفاوت درپاسخ سیستم به این هارمونیک ها را می توان در بررسی هارمونیکها ازلحاظ توالی آنها درسیستم سه فازمتوجه شد.

در یک سیستم سه فاز متعادل که هارمونیک ها نیز بصورت متعادل فرض می شوند می توان مولفه های هارمونیکی ولتاژ وجریان رابصورت توالی صفر منفی ومثبت دسته بندی نمود. دریک سیستم متعادل سه فاز، ولتاژ فاز را می توان به شکل زیر بیان نمود.

مولفه اصلی یا هارمونیک اول:

$$V_{a1}(t)=V_1Cos(\omega t+\phi_1) \qquad (۱۲)$$

$$V_{b1}(t)=V_1Cos(\omega t-\frac{2\pi}{3}+\phi_1)$$

$$V_{c1}(t)=V_1Cos(\omega t+\frac{2\pi}{3}+\phi_1)$$

هارمونیک دوم:

$$V_{a2}(t)=V_2Cos(2\omega t+\phi_2) \qquad (۱۳)$$

$$V_{b2}(t)=V_2Cos\left[2\omega(t-\frac{2\pi}{3\omega})+\phi_2\right]=V_2Cos(2\omega t+\frac{2\pi}{3}+\phi_2)$$

$$V_{c2}(t)=V_2Cos\left[2\omega(t+\frac{2\pi}{3\omega})+\phi_2\right]=V_2Cos(2\omega t-\frac{2\pi}{3}+\phi_2)$$

هارمونیک سوم:

$$V_{a3}(t)=V_3Cos(3\omega t+\phi_3) \qquad (۱۴)$$

$$V_{b3}(t)=V_3Cos\left[3\omega(t-\frac{2\pi}{3\omega})+\phi_3\right]=V_3Cos(3\omega t-2\pi+\phi_3)$$

$$V_{c3}(t)=V_3Cos\left[3\omega(t+\frac{2\pi}{3\omega})+\phi_3\right]=V_3Cos(3\omega t+2\pi+\phi_3)$$

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

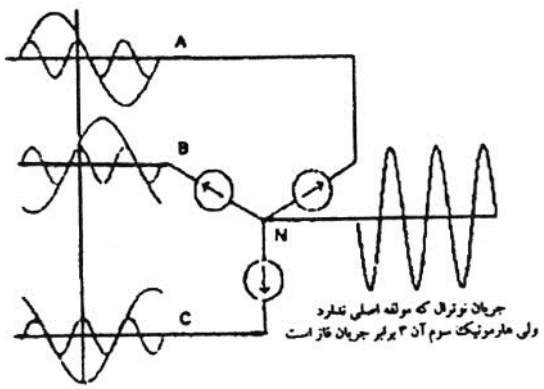
هارمونیک های بعدی را هم بهمین ترتیب میتوان بدست آورد توالی هارمونیک اصلی یا اول بصورت *abc* است که همان توالی مثبت است وتوالی هارمونیک دوم بصورت *acb* است که همان توالی منفی است اما توالی هارمونیک سوم توالی صفراست چون هرسه مولفه آن همفاز هستند

جدول۷ مرتبه هارمونیکها وتوالی تعدادی از هارمونیک ها را دریک سیستم سه فاز متعادل نشان می دهد.

جدول ۷- توالی هارمونیک دریک سیستم سه فاز متعادل

مرتبه هارمونیکی	توالی
۱	+
۲	-
۳	۰
٤	+
٥	-
٦	۰
۷	+
۸	-
۹	۰

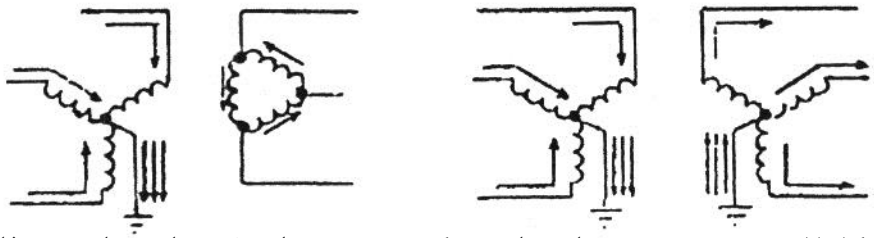
درهارمونیک های غیرازمضرب سه همانطور که میدانیم جمع حاصل آنها صفر خواهد شد ولی درهارمونیک های مضرب سه جمع انها بدلیل همفاز بودن آنها را سه برابر می‌کند لذا هارمونیک های مرتبه سه یکی از مهمترین موضوعات درسیستم های با ستاره زمین شده است که جریان درنوترال آنها وجود دارد دومشکل عمده در این زمینه اضافه بار توترال وتداخلات تلفنی می باشد به شکل ۶ توجه کنید با جمع جریان های گره نوترال(گره*N*) جریان مولفه اصلی صفرمی شود ولی بدلیل همفاز بودن مولفه های فاز هارمونیک سوم مقدار این مولفه 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

شکل ۶- جریان زیاد نول درمدارهای تغذیه کننده بارهای غیر خطی

نوع اتصال سیم پیچ های ترانسفور ماتورها تاثیر بسزایی درعبور جریانهای هارمونیکی مرتبه سه نا شی ازبارهای غیر خطی تکفاز دارد به دوحالت مربوط به شکل۷ توجه کنید



شکل۷- مسیر عبور جریان هارمونیک سوم درترانسفور ماتورهای سه فاز

در ترانسفورماتور با اتصال ستاره-مثلث جریانهای هارمونیک مرتبه سه به طرف ستاره وارد میشود چون همفاز هستند درنقطه نوترال با یکدیگر جمع می شوند بدلیل قانون تعادل در آمپر دورها درسیم پیچی های طرف مثلث جریان هارمونیک سوم بوجود می‌آید ولی این جریانها در داخل مثلث گرفتار شده و درجریان های خط ظاهر نمی شوند وقتی که جریانها متعادل باشند جریانهای هارمونیک مرتبه صفر رفتار میکنند این نوع اتصال دراغلب ترانسفور ماتورهای پست توزیع وجود داشته که درانهاطرف مثلث به فیدر تغذیه اتصال می یابد.

با استفاده از سیم پیچی ستاره زمین شده درهر طرف ترانسفورماتور هارمونیک مرتبه سه اجازه می یابد که بدون مانعی از طرف فشار ضعیف به فشار قوی منتقل شود واین هارمونیک ها درهردو طرف با نسبت مساوی وجود دارند.

برخی نکات مهمی که باید توجه خاصی به آنها داشت به شرح زیر می باشند:

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

۱- ترانسفورماتورها بخصوص اتصالات نوترال آنها در صورت تغذیه بارهای تکفاز درطرف ستاره درمعرض اضافه حرارت خواهند بود که دلیل آنهم وجود مقدار زیادی هارمونیک مرتبه سوم است.

۲- با اندازه گیری جریان درطرف مثلث یک ترانسفورماتور نمی توان مولفه های هارمونیک سوم را بدست آورد پس ایده صحیحی ازمقدار گرمایی که ترانسفورماتو درمعرض آن قرار می گیرد وجود نخواهد داشت.

۳- عبور جریان های هارمونیک مرتبه سوم را میتوان با انتخاب مناسب اتصال ترانسفورماتور مسدودنمود. قطع کردن اتصال نوترال در یک یا دو طرف سیم بندی ستاره عبور جریان هارمونیک مرتبه سوم را سد می نماید وعلت هم آن است که تعادل آمپر دورها ایجاد نمیشود و مثل سیم پیچی مثلث عبور هارمونیک مرتبه سوم را مسدود می نماید . باید توجه نمود که ترانسفورماتورهای با هسته سه ستونه در صورتیکه دارای سیم پیچ سوم با اتصال مثلث باشند رفتار مناسبی را از خود نشان خواهند داد .

قواعد مربوط به عبور جریانهای هارمونیک سوم در ترانسفورماتور ها فقط درمورد شرایط بارگذاری متعادل قابل اعمال هستند وقتی که فازها متعادل نیستند هارمونیک مرتبه سوم حتی وقتی 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 مؤلفه های توالی مثبت و منفی نیز باشند یک مورد قابل توجه از این حالت وجود کورۀقوس الکتریکی سه فاز می باشد اگرچه این کوره ها توسط اتصال مثلث تغذیه می شوند لیکن وقتی که در حال کارکردن در حالت نامتعادل هستند هارمونیک سوم زیادی را در جریان خط به وجود می آورند .

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

فصل دوم :

بانک های خازنی

۲-۱- جبران توان راکتیو :

مصرف کننده های صنعتی ، کشاورزی و حتی مصرف کننده های خانگی علاوه بر توان اکتیو ؛ نیاز به تأمین راکتیو دارند . چون اینگونه مصارف الکتریکی در دوره هایی از زمان قسمتی از انرژی الکتریکی را به صورت انرژی مغناطیسی ذخیره نموده و سپس درزمانهای بعدی آن را به سیستم باز می گردانند .

تأمین این انرژی اضافی هر چند که بازگردانده شود ، باعث افزایش جریان در شبکه الکتریکی خواهد شد و در نتیجه سطح مقطع هادیها و استقامت مکانیکی برجهای نگهدارنده این هادیها بایستی افزایش یابد . در غیراینصورت جریان الکتریکی که بدین سان افزوده می شود افت انرژی بیشتری بصورت تلفات حرارتی در شبکه الکتریکی ایجاد مینماید و همچنین باعث افت ولتاژ بیشتر در مسیر عبور جریان خواهد شد.

هرچه بار مصرفی در شبکه الکتریکی بیشتر اندوکتیو باشد ، توان راکتیو بیشتری در شبکه باید جاری شود و اختلاف فاز بین شدت جریان و فشار الکتریکی بیشتر می شود البته در ایده آل ترین شرایط این

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

اختلاف فاز صفر بوده و نتیجتاً توان ظاهری با توان حقیقی یا توان راکتیو برابر می شود اما در حالت کلی همواره توان ظاهری از توان حقیقی بیشتر بوده و نسبت این دو ضریب قدرت *(PF)* یا $Cos\phi$ نامیده می شود.

کم بودن ضریب قدرت همانطوریکه مختصراًاشاره شد باعث میگردد از هزینه صرف شده بابت تأسیسات برقی حداکثر ا ستفاده نشود و باعث به وجود آمدن ا ضافه بار کابلها ، ترانسها و ژنراتورها،افزایش تلفات و افت ولتاژ بیشتر می شود . که درنتیجه آن سرمایه گذاری مورد لزوم برای یک کیلو وات توان واقعی افزایش می یابد .

علاوه بر آنچه در مورد شبکه های توزیع و انتقال گفته شد ، افزایش توان راکتیو در نیروگاههانیز باعث ایجاد مشکلاتی خواهد شد هر چند افزایش تحریک در ژنراتورهای سنکرون باعث تولید راکتیو می شود اما ازنقطه ظرفیت ژنراتورها این افزایش تحریک نمی تواند بدون محدودیت و کاملاًتحت تأثیر نیاز بار صورت می پذیرد. در هر حال قسمتی از ظرفیت تولید ژنراتور که بایست صرف تولید توان راکتیو شود صرف تولید راکتیو می شود.

با توجه به آنچه که گفته شد ، توان راکتیو مصرف کننده ها بایستی تأمین شود و از سوی دیگر بایستی آن دسته ازمشکلات تولید و انتقال انرژی الکتریکی را که در اثر این نیاز مصرف کننده ها ایجاد می شود مرتفع نمود .

دو وسیله معمول برای تولید توان راکتیو عبارتند از :

۱) موتور سنکرون (کمپانزاتور سنکرون)

۲) خازن موازی

۲-۱-۱- استفاده از موتور سنکرون برای جبران توان راکتیو:

یکی از روشهای تأمین توان راکتیو استفاده از موتورهای سنکرون در شبکه است ، با تنظیم تحریک این موتورها ، می توان انها را در محدودهٔ وسیعی از یک مصرف کننده توان راکتیو به یک تولید کننده توان

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

راکتیو و در صورتیکه با تحریک کم مورد ا ستفاده قرار گیرند بعنوان م صرف کننده توان راکتیو می توانند مورد استفاده قرار گیرند . بنابراین می توان این مولدها را در ساعات مختلف شبانه روز به دو گونه مختلف مورد استفاده قرار داد .

اگرچه این گونه مولدها قابلیت تنظیم مناسبی دارند ، اما هزینه های اولیه تأسیسات این ماشین ها گردان ، نسبت به تأ سیسات ا ستاتیک زیاد بوده و علاوه بر آن اتلاف توان آنها نیز بیشتر ا ست . از سوی دیگر باتوجه به متمرکز بودن آنها در یک مرکز و محل معین در شبکه که به منظور کاستن از هزینه های اولیه انجام میگیرد باعث می شود که این نوع تأسیسات مولد توان راکتیو بیشتر در شبکه های انتقال مورد استفاده قرار گیرند بنابراین اگرچه مشکل تولید توان راکتیو را مرتفع می نمایند اما آن دسته از مشکلاتی که ناشی از انتقال توان راکتیو به مصرف کننده در شبکه انتقال انرژی است یعنی تلفات حرراتی در شبکه های انتقال ، افت ولتاژ و بالاتر انتخاب نمودن مشخصات خطوط انتقال کاملاً مرتفع خواهد کرد. بنابراین اصولاً هر چه مولد توان راکتیو به محل مصرف کننده نزدیکتر باشد از این دسته از مشکلات کا سته می شود و ایده آل ترین شرایط این ا ست که هر م صرف کننده خود دارای تأ سیسات تولید توان راکتیو باشد .

WikiPower.ir

۲-۱-۲- استفاده ازخازنها برای جبران راکتیو:

منا سبترین روش جبران توان راکتیو، ا ستفاده از خازنها ا ست که امروزه به علت ارزانی نسبی و ا ستحکام ساختمانی ونگهداری ساده تر بطور وسیعی درسطوح مختلف از آنها استفاده می شود خازنها دارای حجم کم و تلفات انرژی کم بوده و قابل نصب در فضای آزاد نیز می باشند.

نزدیک بودن خازنها به بارمصرفی تا آن اندازه امکان پذیر است که حتی چراغهای دارای لامپ فلورسنت ، خود دارای خازن ت صحیح ضریب قدرت ه ستند و همچنین برروی بع ضی موتورهای القایی ، پ ست های

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

توزیع و حتی روی تیرهای برق اســتفاده می شــوند . در اینجا بعضــی از مزایای خازن موازی نســبت به کمپانزاتور سنکرون عنوان شده است.

۱) قیمت کمتر

۲) نصب ونگهداری و عملکرد ساده تر

۳) کارهای ساختمانی ارزان

۴) نداشتن سرو صدا

۵) تلفات انرژی کمتر

۶) جابجایی وامکان افزودن و کم کردن ساده تر

۷) قابل نصب حتی در ترمینال دستگاهها

به طور کلی ا ضافه نمودن خازن موازی معمولاً اقت صادی ترین راه برای افزایش ضریب توان بخ صوص در تأسیسات موجود است.

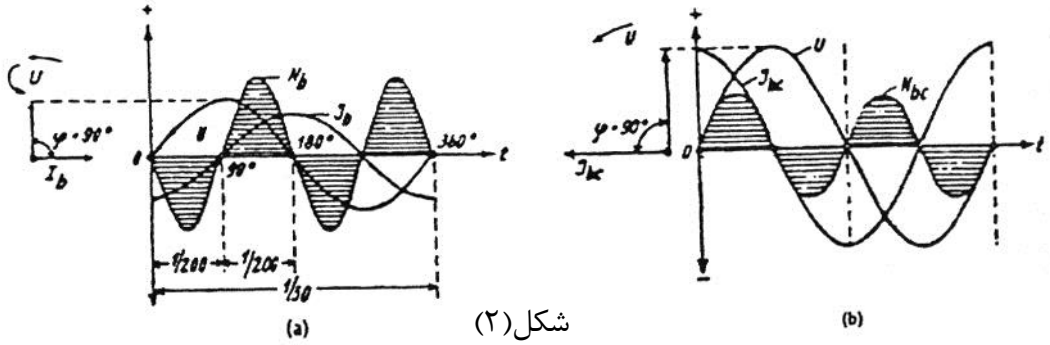
۲-۲- تعریف عملکرد یک کمپانزاتور خازنی در سیستم :

خازنهای جریان زیاد که برای جبران توان راکتیو به کار برده می شــوند اغلب همفاز کننده ســاکن و یا جبران کننده ساکن نامیده می شوند این خازنها بخاطر ساکن بودنشان عاری از معایب بسیاری هستند که جبران کننده های دوار بخاطر دوار بودنشــان ناگزیر از آن هســتند لذا در این دهه آخر کمپانزاتورهای خازنی در اغلب شبکه ها و تأ سیسات برقی جانشین کمپانزاتور های دوار شده اند و روز به روز هم مورد استعمال آنها افزایش می یابد .

خازنها همانطور که می دانیم از شبکه جریانی می کشند که نسبت به ولتاژ ۹۰ درجه جلوافتادگی دارد . لذا جریان کاپاسیتیو نسبت به جریان اندوکتیو ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد .

شکل(۱)

شـــکل ۲) گرفتن وپس دادن توان راکتیو را در یک مدار کاملاً ســـلفی قســـمت *(a)* و در یک مدار کاملاً خازنی قسمت (*b*) نشان می دهد .



شکل(۲)

چنانچه دیده می شود توانها که هریک به نوبۀخود بعنوان یک منبع انرژی می باشند نسبت به هم درست به اندازۀ ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند بعبارت دیگر پرشـدن یکی در مدار خازنی در تیم پریود اول درسـت همزمان باخالی شدن انرژی دیگری در مدار سلفی در همان نیم پریود اول می با شد این پرو خالی شدن همزمان باعث می شـــود که توان راکتیو و با آن جریانهای راکتیو بین مصـــرف کننده های کاپاســـیتو واندوکتیو رفت وآمد نوســـانی کنند و در نتیجه ژنراتورها و ترانســـفورماتورها وســـیمها انتقال انرژی از این جریان راکتیو خالی گردند . اگر جریان کاپاســـیتو *Ic* درســـت برابر جریان انداکتیو *IL* باشـــد نیروگاه فقط جریان اکتیو م صرف کننده ها را تولید می کند بطور مثال موازی ب ستن خازن با یک موتور تحت شرایط خاصی ایجاد یک مدار نوسانی می کند در نتیجه سیمهای جریان رسان به موتور فقط جریان اکتیو لازم را انتقال میدهند نتیجه کلی در مورد خازن گذاری را میتوان در اســـتفاده اقتصـــادی تر و بهتر از ژنراتورها، ترانســـفورماتورها ریال ســـیم ها ، کابلها ، وکلیدها کاهش تلفات وافت ولتاژ که منجر به کاهش مخارج هم می شوند، دانست.

۲-۳- انواع کمپانزاسیون:

۱) انفرادی

۲) گروهی

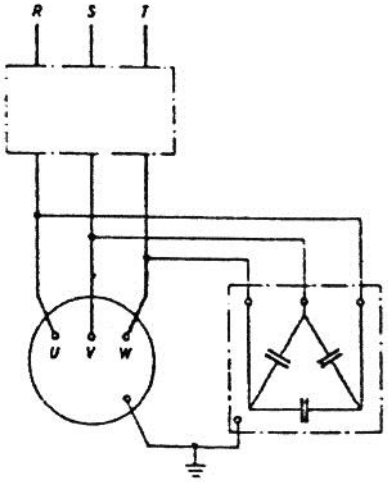
۳) مرکزی

۲-۳-۱- کمپانزاسیون انفرادی :

در یک کمپانزاسیون انفرادی ، توان راکتیو در همان محل که به وجود می آید ، جبران می شود و این نوع از کمپانزاسیون باعث می شود که حتی سیمهای انتقال انرژی تا مصرف کننده از جریان راکتیو خالی شوند و درنتیجه سیمهای رابط مقاطع کمتر ، افت ولتاژ کمتر و افت توان کمتری پیدا نمایند .در بیشتر موقع به خاطر نبودن محل مناسب و یا حرارت زیاد ، دستگاه ها نمی توان خازن را در همان محل نصب کرد موارد استفاده این نوع کمپانزاسیون بیشتر در موتورهایی است که مدت زیادی از آنها بار گرفته می شود و یا درکوره های اندوکسیونی یا ترانسفورماتورهای جوشکاری و یا ترانسهای معمولی ولامپهای فلورسنت است مزایای این نوع کمپانزاسیون این است که شبکه داخلی کاملاً ازجریان راکتیو پاک می شود و مخارج بر حسب کیلو وار کمتر می باشد . اما از معایب آن میتوان به پخش شدن جبران سازی در تمام محیط کار و نصب پیچیده و نیاز به خازنهای زیاد و عدم توجه به ضرایب همزمانی برای دستگاهها در این شرایط اشاره نمود.

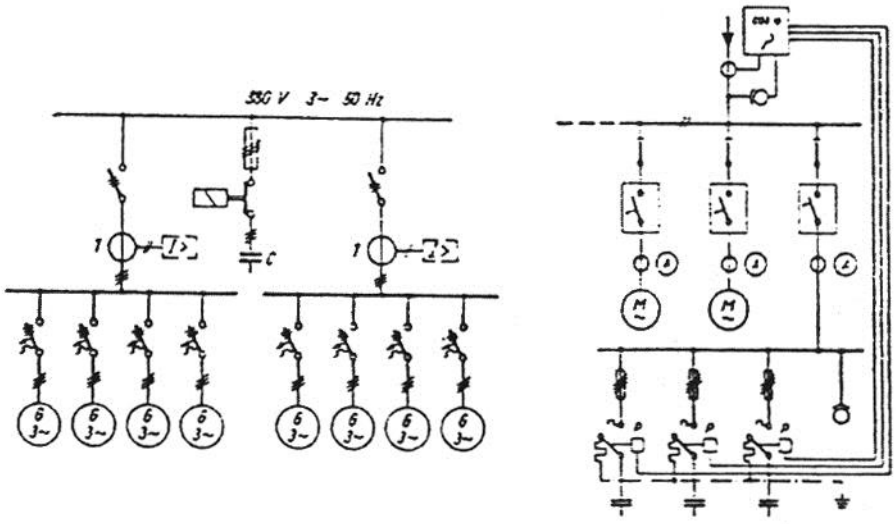
۲-۳- ۲- کمپانزاسیون گروهی :

شکل ۳ کمپانزاسیون گروهی را برای تعدادی موتور نشان میدهد البته در این شکل فقط یکی از موتورها رسم شده است این روش برای تأسیسات و کارخانجاتی که دارای چندین موتور کوچک هستند ولی همه آنها با هم کار نمی کنند مناسب میباشد



شکل(۳)

در این روش خازنها با کلید محافظ مخصوص به شین تابلوی اصلی وصل می شوندو قدرت راکتیو آن برای تعداد موتورها یا مصرف کنندگانی که دائماً با هم کار می کنند محاسبه می شود البته باید وسایلی بطور دستی یا اتوماتیک برای کنترل این خازنها وجود داشته به شکل ۴ توجه کنید که این وسایل در شکل نشان داده شده است.



شکل۴- کمپانزاسیون با کنترل اتوماتیک

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

۲-۳- ۳- کمپانزاسیون مرکزی (متمرکز):

در این روش یک سری خازنها در محل مخصوصی نصب می شوند و بر حسب احتیاج تعدادی از آنها به شبکه ا صلی و یا درتابلو به شین ا صلی و صل می گردند در کمپانزا سیون مرکزی معمولی خازنها دارای شین وتابلوی جداگانه هستند وتو سط کلید قدرت مخصو صی به شین ا صلی مصرف کننده متصل می شوند در این روش تعدادی از خازنها به طور دائم و همیشه به شین ا صلی و صل هستند و تعداددیگری متنا سب با راکتیو بطور خودکار به شبکه ا ضافه میگردند مزایای این روش را میتوان به صورت زیر عنوان نمود.

۱) کل سیستم قابل دید بوده و آسان قابل کنترل است.

۲) استفاده مفید از توان خازن نصب شده

۳) نصب ساده در اغلب اوقات

۴) مصرف کمتر خازن ، چون ضریب همزمانی در نظر گرفته میشود.

۵) در صورت وجود هارمونیک در شبکه ، دارای مخارج منا سب تری ا ست زیرا خازنها آ سانتر به سلف مجهز می شوند .

۶) البته بدلیل اقتصادی ، اغلب مقرون به صرف ا ست که از هر سه روش بالا همراه یکدیگر برای جبران سازی استفاده شود که با عنوان جبران سازی مخلوط مطرح است .

۲-۴- نحوه انتخاب خازن برای نصب درشبکه :

انتخاب محل ظرفیت واحدها و ظرفیت راکتیو بانکهای خازنی تابع یک بررسی فنی و اقتصادی براساس ارزش مزایای حاصل از نصب این خازنها درمقایسه با هزینه سرمایه گذاری مورد نیاز برای تهیه، نصب ،راه اندازی،تعمیرات ، نگهداری خازنها و فیدرهای مربوط به آن بوده وتا زمانی که ارزش مزایای حاصل از نصب خازنها برابر و یابیشتر از هزینه آن باشد استفاده از خازنهای موازی مورد مقرون به صرفه می باشد.

از نظر فنی خازنها درطول شبکه و یا سیستم فوق توزیع وتقریبا درهر سطح ولتاژی می توانند مورد استفاده قرار گیرند چون با سری کردن یونیت ها به ظرفیت مگا وار لازم دست یافت با این همه عوامل زیر باعث محدود کردن محل نصب وسطح ولتاژ مورد استفاده برای خازنها می گردد.

۱- مزایای حاصل از نصب خازنها با نزدیکتر شدن محل نصب خازنها به محل مصرف ومصرف کننده افزایش می یا بد چون باعث کاهش تلفات و آزاد شدن ظرفیت سیستم از محل نصب به سمت منبع می گردد وسطح ولتاژ رانیز به نحو موثر ومطلوبی بهبود می بخشد .

۲- سطح ولتاژ کار خازنها در تعیین قیمت آنها نقش موثر و تعیین کننده ای داشته ویونیت های خازنی با ولتاژ کار زیر۶ کیلو ولت ویا بالای ۱۵ کیلو ولت گرانتر بوده و بهترین ولتاژ کار خازنها ی موازی از نظر اقتصادی فاصله ولتاژ ۶ الی ۱۵ کیلو ولت است باین ترتیب با توجه به نحوه اتصال خازنها به شبکه بصورت ستاره ویا مثلث عملا بهترین سطح ولتاژ شبکه برای نصب خازنها از نقطه نظر قیمت آنها ولتاژهای توزیع (۱۱،۲۰،۳۳ کیلو ولت) می باشد.

۳- از نظر فنی بهترین محل نصب خازن در انتهای فیدرهای توزیع (۱۱،۲۳۰،۳۳کیلوولت) بوده ولی با توجه کلید زنی وکنترل خازنها محل نصب بصورت زیرتعیین می گردد:

a) برای خازنهای ثابت باتوجه به اینکه کلید زنی خود کار درانها صورت نمی گیرد لذا تجهیزات چندانی مورد نیاز نبوده ودر نتیجه می تواند در پستهای توزیع نصب گردند.

b) برای خازنهای متغییر با توجه به اینکه چنین بانکهای خازنی نیازمند تجهیزات کلید زنی ،حفاظت وکنترل کاملی بوده بنابراین مانند سایر تجهیزات پست ها بایستی تحت نگهداری ومراقبت مداوم قرار گیرند لذا بهمین دلیل تجمع و نصب آنها در محل پستهای فوق توزیع همانطور که در ادامه هم گفته خواهد شد متداول بوده وتوصیه می گردد.

به دلایل زیر توصیه می گردد که خازنها و تجهیزات وابسته به آن در پستهای فوق توزیع نصب گردند :

۱- سطح دانش فنی بالاتر تکنسین های مسئول راهبری ،نگهداری وتعمیرات دراین پست ها

۲- امکان مراقبت پیوسته

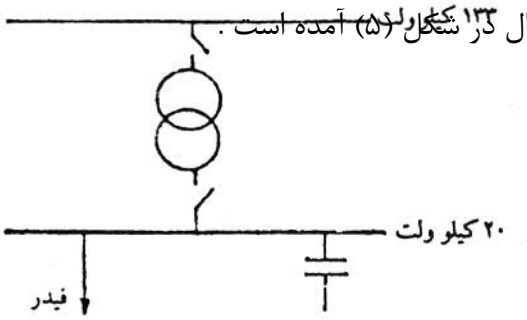
۳- امکان ورود وخروج خازنها از شـــبکه درزمانهای مختلف شـــبانه روز وجو.د دارد برخلاف پســـت توزیع (۰/٤) /(۲۰) کیلوولت ویا (۰/۴) /(۳۳) کیلو ولت که اســـتفاده از وســـایل کلید زنی برای ورود و خروج خازن ها هم بدلیل هزینه بر ی وهم بدلیل نیاز به نظارت وانجام عمل قطع و وصل چندان مطلوب نیست.

۴- امکان رســـیدگی به موقع ودرزمان های مناســـب جهت خدمات نگهداری ونیز در صـــورت لزوم انجام تعمیرات

۵- کاهش هزینه های راهبری ،نگهداری و تعمیرات تاسیسات متمرکز نسبت به تاسیسات پراکنده

۶- کاهش هزینه های خرید ونصـــب تاســـیســـات مذکور بصـــورت مجتمع نســـبت به حالت پراکنده آنها بخ صوص برای تجهیزات حفاظت وکنترل مانند رله های سنجش توان راکتیو که برای ورود و خروج خود کار خازنها از شبکه مورد استفاده قرار می گیرند .

حال مطلب بعدی این است که خازنهایی که در پست های فوق توزیع می شوند بهتر است درکدام سطح ولتاژ نصب شوند البته اشاره خیلی کوچکی باین مطلب هم شد ولی مزایای اینکه چرا سطح ولتاژ پایین تر انتخاب می شود با ارائه یک مثال در شکل (۵) آمده است .



شکل(۵)

۱- همانطور که در شکل ۵ م شاهده میکنیم جریان اندوکتیو فیدر تو سط جریان کاپا سیتیوخازن جبران می گردد در نتیجه آن جریان اضـــافی از ترانســـفور ماتور ها عبور نخواهد کرد که اثر آن هم تلفات کمتر واضافه بارنشدن ترانسفور ماتور است.

۲- اگرچه قیمت هرکیلو وار خازن باکم شدن سطح ولتاژ ممکن ا ست گرانتر شود ولی قیمت کلید خانه مربوط به سطح ولتاژ پایین تر ارزانتر است.

۳- امکان کنترل در سطح پایین تر بهتر از سطح بالاتر می باشد.

۴- برای بدست آوردن مقدار نامی در سطح ولتاژ بالاتری برای خازنها باید تعداد بیشتری از پونیت های خازنی را بصورت سری قرار داد این درحالی است که درسطح کمتر این تعداد کاهش می یابد.

۲-۵- انتخاب ولتاژ نامی خازن :

اصولا ولتاژ نامی یک خازن می بایست برابر با ولتاژ شبکه ای باشد که خازن به آن متصل می گردد البته تاثیر حضور خازن نیز باید در نظر گرفته شود افزایش بی مورد در فشار وارد به دی الکتریک خازن تاثیر معکوس درنحوه کار وعمر خازن می گذارد.

بعنوان مثال در جاهائیکه مدارهایی برای کاهش اثر هارمونیک ویا به منظور دیگری بصورت سری با خازن متصل شده با شد ولتاژ قرار گرفته در ترمینالهای خازن را بالاتر از ولتاژ کار در شبکه می کند و درنتیجه افزایش معادلی نیز باید در ولتاژ نامی خازن درنظر گرفته شود برای بانکهای خازنی سه فاز که بصورت ستاره به شبکه متصل می شوند ولتاژ نامی خازن برابر با ولتاژ نامی شبکه تقسیم بر $\sqrt{3}$ انتخاب می گردد.

درموقع تعیین ولتاژی که می بایست به ترمینالهای خازن متصل شوند ملاحظات زیر ضروری است :

۱- خازنها سبب افزایش ولتاژ درنقطه اتصال خود می گردند واین افزایش ولتاژ ممکن است حتی برای همه هارمونیک های موجود پیش بیاید دراین حالت خازنها باید در ولتاژی بالاتر از ولتاژ پیش بینی شده کار بکنند.

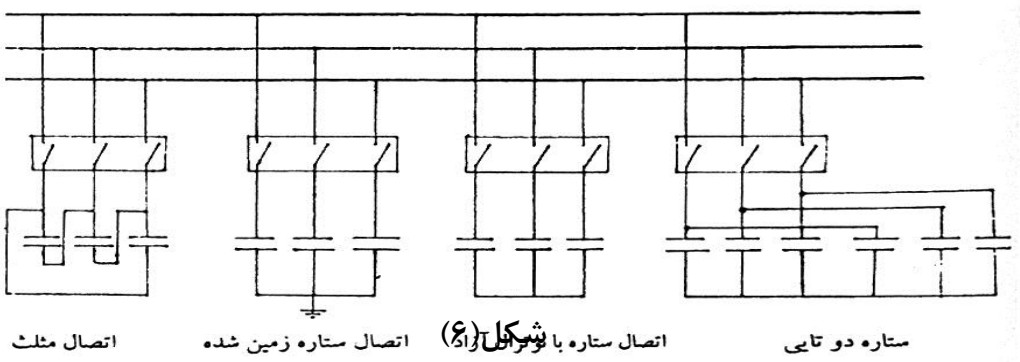
۲- ولتاژ ترمینالهای خازن مخصوصا در مواقعی که فقط بار رو شنایی وجود دارد ممکن ا ست بزرگ گردد در چنین حالاتی بمنظور جلوگیری از وارد شدن فشار زیاد بر روی خازن وهمچنین افزایش بی رویه ولتاژ در شبکه می بایست تعدادی یا همه خازنها از مدار قطع گردند.

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

فقط در حالات اضـــطراری وبرای مدت زمان کوتاهی خازنها می توانند در حداکثر ولتاژ قابل قبول وهمچنین حداکثر دمای محیط کار نمایند.

۲-۶- روش های مختلف اتصال خازنها درهر مجموعه خازنی:

واحد های خازنی را می توان در مجموعه های خازنی بصورت مثلث ستاره با نوترال زمین نشده ستاره با نوترال زمین شده و یا ستاره دوگانه (که مرکز ستاره انها بهم و صل شده اند) بهم متصل نمود که این روشها درشکل ۶ نشان داده شده اند.



شکل(۶)

اتصـــال واحدهای خازنی بصـــورت مثلث معمولا در ولتاژ های پایین تر و مجموعه های خازنی با ظرفیت کمتر مورد اســتفاده قرارمی گیرید و در شــبکه های ۲۰ و۳۳ کیلو ولت خازنها بصــورت ســتاره بســته می شــوند همان طور هم که قبلا اشــاره شــد برای اســتفاده از خازنها درمدار فشــار قوی واحدهای خازنی را بصورت سری برای داشتن ولتاژ نامی مورد نظر وصل می کنند و برای تامین توان راکتیو لازم این مجموعه را بطور موازی قرار می دهند.

انتخاب نوع ستاره زمین شده ویا ستاره زمین نشده به عوامل زیر در شبکه بستگی دارد که با بررسی این عوامل ومقایسه آنها می توان تصمیم گرفت که از کدام نوع استفاده نمود.

۱- اتصال نقطه نوترال ستاره به زمین باعث ایجاد مسیری برای هارمونی های مضرب سه خواهد شد جریان یافتن این هارمونی ها علاوه بر اینکه بدلیل فرکانس بالا باعث ایجاد اغتشاش در سیستم های مخابراتی خواهند شد جریان عبوری از خود واحد های خازنی را نیز افزایش می دهند.

۲- در صورت اتصال نقطه نوترال ستاره به زمین قطع و وصل گروه خازنی موجب تغییر امپدانس مولفه صفر شبکه می شود که دراین صورت تنظیم حفاظت های اتصال زمین در حالتهای قطع و وصل گروههای خازنی متفاوت خواهد بود که این کار نیز با سیستم های حفاظتی معمول شبکه ها امکان پذیر نمی باشد.

۳- علاوه بر تغییر جریان اتصال شبکه افزایش جریان بعلت زمین کردن نوترال بوجود می آید باعث افزایش جریان اتصال به زمین تجهیزات قطع ووصل کننده مثل کلید وفیوز ها می گردد.

۴- زمین کردن نقطه نوترال ستاره به زمین علاوه بر مزایای زمین کردن نقطه نوترال در سایر شبکه ها همچون تعادل فازها ،حفاظت بهتر ،قیمت نصب ارزانتر ،کاهش ولتاژ برگشتی ناشی از کلید زنی خازن در دو سر کلید وکاهش اضافه ولتاژهای سیستم در حالات گذرا همانند کلید زنی ورعد و برق را نیز سبب خواهد شد.

درمقایسه بین این دو روش با توجه به افزایش جریان ونیز اغتشاش ناشی از عبور جریان هارمونیک های مضرب سه ونیز امپدانس مولفه صفر شبکه و نیز با توجه به اینکه تجهیزات جدید از قبیل کلید های قدرت نوع *SF6* و خلاء بدلیل قطع *Re-Strike* اضافه ولتاژ های کمتری را تولید مینمایند همچنین کاربرد برق گیر درمجموعه خازنی و حفاظت عدم تعادل ترجیح داده می شود که اتصال نوع ستاره زمین نشده مورد استفاده قرار گیرد وبه تبع آن هم اتصال ستاره دوگانه که نقطه های نوترال آنها بدون آنکه زمین شوند بهم متصل می گردند درظرفیت های بالاتر گروه های خازنی مورد استفاده قرار می گیرند.

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

۲-۷- سیستم های SVC :

درطراحی بانک های خازنی نوعی از کنترل توان راکتیو را که بوسیله رگولاتورها تامین می شد مطرح کردیم. نوع دیگر از کنترل باراکتیو، استفاده از (Static Var Control) می باشدSVC ها تولید کننده ها ویا جذب کننده های استاتیکی موازی هستند که خروجی آنها بطور پیوسته چنان تغییر می کند تا پارامترهای خاصی از سیستم قدرت مثل ولتاژ راکنترل نمایند.

عناصر اساسی SVC راکتورهای موازی و خازن های موازی هستند.راکتورها بوسیله توارنسفورماتورها یا سویئیچ های مغناطیسی تغییر می کنند. بطور کلی میتوان گفت SVC ها بر اساس اصل سوسپیتانس قابل کنترل که همان کنترل راکتیو یا خازن است کارمی کنند.

سیستم های SVC درشبکه های صنعتی، با قدرت های بالا بکار می روند. توسعه تریستوریا نیمه هادی با قابلیت کنترل جریانهای زیاد وفن استفاده از آنها برای قطع و وصل خازنها وکنترل جریان عبوری از راکتورها وسیله مناسبی برای برطرف نمودن تقاضای تولید ومصرف باراکتیو بوجود آورده اند.

بطورکلی می توان اهداف زیر را بوسیله SVC ها دنبال کرد:

۱- کنترل اضافه ولتاژهای موقتی (فرکانس اصلی)

۲- بهبود تنظیم ولتاژ

۳- جلوگیری از فرو پاشی ولتاژ

۴- میرایی نوسانات زیر سنکرون

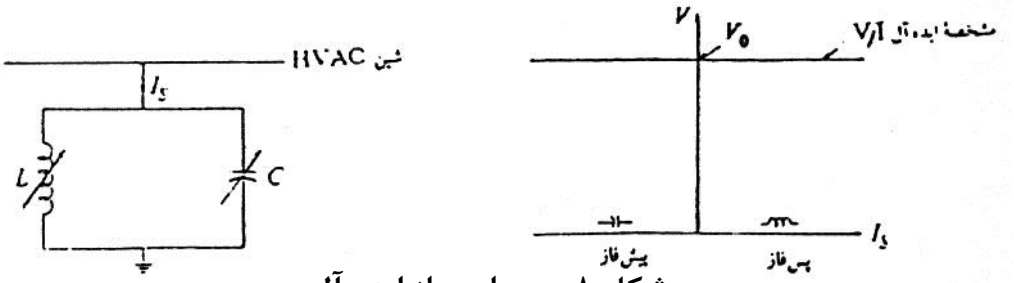
۵- کاهش نامتعادلی درجریان یا ولتاژ

۶- کنترل ولتاژ AC درمجاورت ترمینال مبدل HVDC

علت کاربردSVC ها ارزش نصب، هزینه نگهداری پایین وقابلیت اطمینان بیشتر وهمچنین پیوسته بودن آنها می باشد.

۲-۷-۱- عملکردSVC :

از نظر عملکرد، جبران ساز استاتیکی ایده آل معادل یک خازن شنت ویک راکتور شنت است که هردو می توانند برای کنترل ولتاژ وتوان راکتیو درترمینالهای شان بصورتی معلوم تنظیم شوند که این در شکل(۸) نمایش داده شده است.



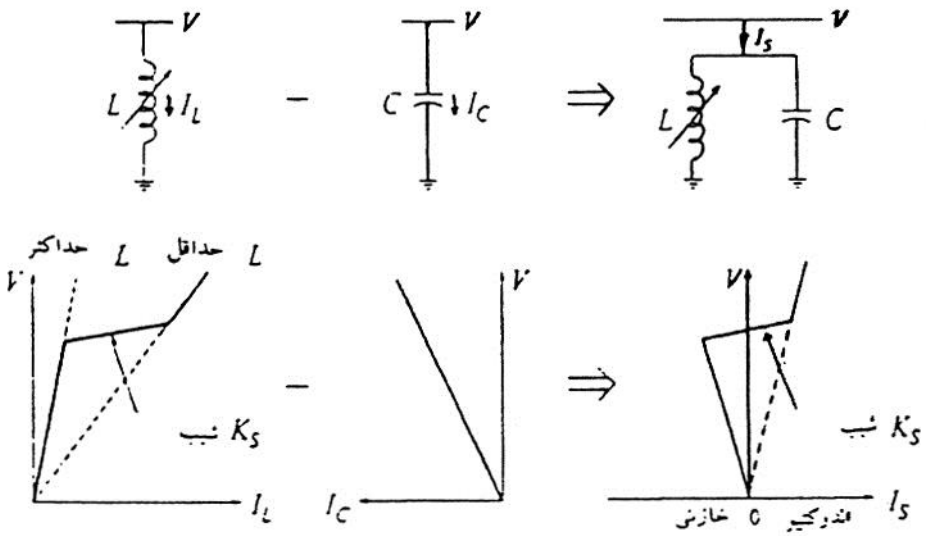
شکل ۸- جبران ساز ایده آل

عملکرد ا سا سی *SVC*،کنترل ولتاژ (تثبیت ولتاژ) درنقطه کاربا توجه به محل ن صل *SVC* می با شد و این عمل با تنظیم توان راکتیو مبادله شده با سی ستم انجام می گیرد وویژگی دیگر*SVC* سرعت پا سخ آن است.

مشخصه *(V/I)* یک *SVC* درحالت ایده آل بصورت یک خط صاف که نشان دهنده قدرت تولید یا جذب نامحدود توان راکتیو است، می باشد. اما این مشخصه درحالت عملی دارای شیبی است که درجهت جریان القایی افزایش می یابد وحداکثر مقادیر توان راکتیو تولیدی و جذب شده بستگی به حداکثر مقدار خازن وحداقل مقدار راکتیو دارد.

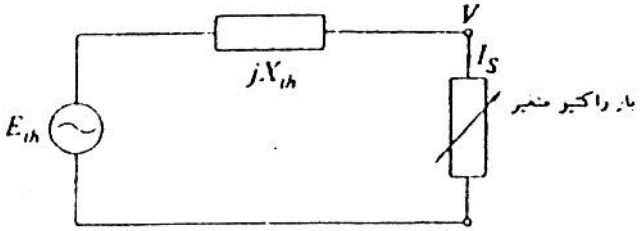
شکل (۹) بدست آوردن مشخصه یک *SVC* ،شامل یک راکتور قابل کنترل ویک خازن ثابت رانشان میدهد ومشخصه ترکیبی آن با جمع مشخصه عناصر بدست می آید. مثلاً قسمت الف شکل(۹) مشخصه راکتور قابل کنترل واقعی رانشان می دهد که این مشخصه معمولا شیب کوچکی دارد تا نقطه کار را که ازتلاقی این شیب با خط بار سیستم بدست می آید، تثبیت نماید. جریان راکتیودررژیم های پیش فاز توسط فاکتورهای موثر بر طراحی که حداکثر خازن و حداقل راکتور می باشدوهمچنین اصول کار آن محدود می گردد.

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



(الف) راکتور قابل کنترل (ب) خازن (ج) SVS **شکل ۹- مشخصه های ترکیبی *SVC***

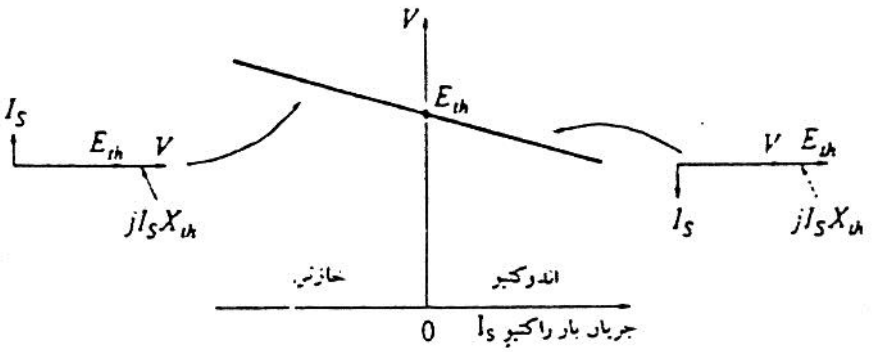
به منظور مطالعه نحوه عملکرد *SVC* هنگام اتصال به سیستم قدرت، لازم است مشخصه های *SVC* و سیستم قدرت بطور توأم مورد توجه قرار گیرد. مشخصه *(V/I)* سیستم قدرت را میتوان با درنظر گرفتن مدار معادل تونن از دیدگاه شینی که ولتاژ آن بایستی با *SVC* کنترل شود تعیین کرد . شکلهای (۱۰) و (۱۱) که این مطلب رانشان داده است.



شکل ۱۰- معادل تونن شبکه *HVDC*

حالامی توان براحتی مشخصه ترکیبی را با استفاده از مشخصه های ولتاژ – جریان واستفاده از معادلات مربوطه به هر مشخصه بدست آورد. برای سیستم قدرت داریم:

$$V = E_{th} - X_{th} I_s$$

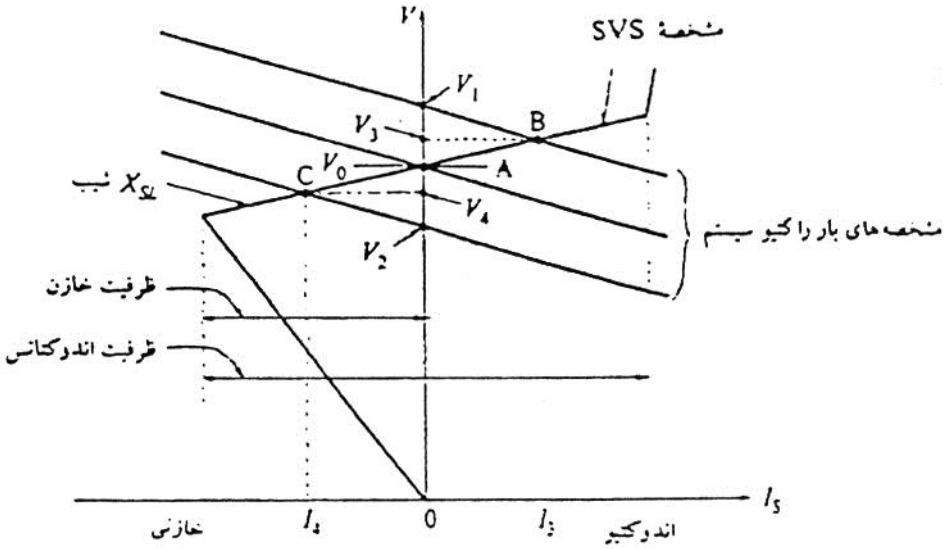


شکل۱۱- مشخصه ولتاژ – جریان راکتیو

ازطرفی دیگر مشخصه *SVC* در محدوده کنترلی بوسیله راکتانس X_{sl} (راکتانس شیب)تعریف می شود وبصورت زیر است:

$$V = V_O + X_{SL} I_S$$

البته درخارج از بازه کنترلی نسبت $\frac{V}{I_S}$ برابر شیب های دو پاره خط انتهایی شکل(۱۱) قسمت (ج) است که همانطور که گفته شد با توجه به ظرفیت راکتور و خازن تعیین می شود. شکل (۱۲) نمودار حل معادلات *SVC* ومشخصه سیستم قدرت را بازاء سه مقدار برای ولتاژمنبع نشان می دهد.



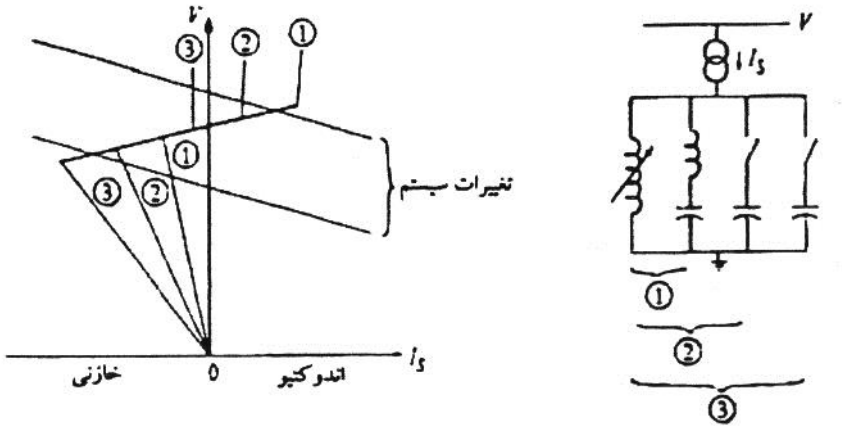
شکل۱۲- حل ترسیمی نقطه کار *SVC* برای شرایط معلوم

مشخصه وسطی بیانگر حالت نامی سیستم است و فرض می شود که مشخصه*SVC* را درنقطه *A* *($I_S=0, V=V_0$)* قطع می کند. اگر ولتاژ منبع به میزان ΔE_{th} افزایش یابد درحالت بدون *SVC* ،ولتاژ به V_1 خواهد رسید. اما با*SVC* ، نقطه *B* تغییر خواهد یافت وولتاژ مقدارش V_3 می شود ویا حالت عکس این موضوع که کاهش منبع بمقدار ΔE_{th}با حضور *SVC* باعث میشود که ولتاژ بجای V_2در V_4حفظ شود.

همانطورکه در شکل ۱۲ مشاهده شد *SVC* تغییرات ولتاژ راکاهش داده وتنظیم ولتاژرا هم بهبود می بخشد. مسئله قابل طرح در اینجا با توجه به شکل (۱۲) محدودیت کنترل *SVC* باتوجه به تغییرات ولتاژ سیستم است که درصورتیکه از حد خاصی فراتر رود، میسر نیست.

استفاده از مجموعه های خازنی قابل کلیدزنی می تواند محدوده کنترل پیوسته *SVC* راگسترش دهد که این مسئله در شکل (۱۳) بخوبی نشان داده شده است.

WikiPower.ir



شکل ۱۳- استفاده ازخازن های قابل کلیدزنی برای گسترش بازه کنترلی پیوسته

م شکل وعیب این نوع کنترل توان راکتیو، تولید هارمونیک هایی ا ست که دراثر سو سپتانس قابل کنترل دراین سیستم تولید میشود.لذا در سیر تکاملی این سیستم ها تمهیداتی درنظر گرفته شده که این هارمونیک ها را به حداقل برسانند درزیر به انواعی از *SVC* ها اشاره شده است.

۱- راکتور قابل اشباع *(SR)*

۲- راکتور قابل کنترل بوسیله تریستور *(TCR)*

۳- خازن قابل کلیدزنی بوسیله تریستور *(TSC)*

۴- راکتور قابل کلیدزنی بوسیله تریستور *(TSR)*

۵- ترانسفورمر قابل کنترل بوسیله تریستور *(TCT)*

۲-۸- حفاظت مجموعه خازنی :

خازنهای فشار قوی برای جلوگیری از کم شدن قابلیت اطمینان سیستم باید ازطریق فیوز به شبکه وصل گردند. فیوزها بعنوان حفاظت درمقابل شکست درالکتریک و اتصال کوتاه متعاقب آن در واحدهای خازنی بکار می روند وخازن معیوب را قبل از اینکه خطای داخلی باعث انفجار آن شود از مدار جدا می کنند .

باید توجه کرد که فیوز جایگزین حفاظت های دیگر خازن نمی باشد و درموردخازنهای فشارقوی باید برای هر واحد یک فیوز وجود داشته باشد تا اگر اتصال کوتاه برای یک واحد خازنی اتفاق افتاد فقط آن واحد از مدار خارج شود و مجموعه خازنی به طور کلی قطع نگردد.

یک فیوز مناسب باید مشخصات زیر را داشته باشد :

۱) جریان دائمی مجموعه خازنی را با در نظر گرفتن اضافه جریانهای مجازممکن که از اضافه ولتاژ هارمونیک و تلرانس استقامت نماید (جریان گذاری ناشی از وصل)

۲) در مقابل جریان اولیه استقامت نماید (جریان گذاری ناشی از وصل)

۳) خازن معیوب را قبل ازانفجار آن جدا نماید و اگر اتصال خازن ها به صورت ستارۀزمین نشده باشد از صدمه دیدن خازنهای سالم فازهای دیگر در اثر اضافه ولتاژ جلوگیری نماید.

۴) فیوزهای واحد خازنی باید ظرفیت کافی جهت قطع واحد صدمه دیده رادا شته با شد و همچنین همراه با فیوز باید مقاومت تخلیه خازن هم وجود داشته باشد .

برای تعیین جریان انواع فیوز لازم برای محافظت خازن با بانک خازنی ، موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

۱-جریان دائمی :۱/۵ برابر جریان نامی برای در نظر گرفتن همۀ اضافه بارهای ممکن ذکر شده در استاندارد.

۲- جریان سوئیچ: بدون توجه به وجود یاعدم وجود اندوکتانس های محدود کنندۀ جریان فیوز باید جریان نامی حدود ۲ برابر جریان نامی خازن داشته باشد و باید از نوع فیوز کند باشد.

فیوزهای مورد استفاده برای بانک های خازنی فیوزهای *HRC* و فیوزهای انفجاری می باشند .فیوزهای انفجاری در بانک ها ظرفیت بالا که از چند واحد تکفاز ساخته شده اند ا ستفاده می شوند بانک های خازنی با طراحی صحیح که حداقل ۸ واحد موازی دارند میتوانند در صورت خروج یک واحد به کار خود ادامه دهند ، مشروط به اینکه اضافه ولتاژ بانک بیشتر از ۱۰ درصد نشود دراین حالت بانک خازنی با ظرفیت پایین تری به کار خود ادامه می دهد.

بانک های سه فاز باید مجهز به حفاظت عدم تقارن باشند که میتواند دارای ۲ محدوده باشد اولی نشاندهدۀ خرابی در یکی از واحدهاست و دومی برای قطع خازن از مدار در صورت گسترش و خرابی و ا ضافه ولتاژ بیش از ۱۰ درصد می با شد این فیوزها را هم میتوان در بانک های سه فاز کوچک با ۶ واحد خازنی یا بیشتر بکار برد ولی در این حالت ادامۀ کار بانک در صورت خروج یک واحد به هیچ وجه مجاز نیست ، چون اضافه ولتاژ بطور حتم از ۱۰ درصد بیشتر خواهد شد همچنین فیوزهای انفجاری می تواند تخلیه یک بانک با ظرفیت ۴یا۵ مگاوار را تحمل نمایند .

اما حفاظت مجموعه خازنی د رمقابل ا ضافه ولتاژ ا ضافه جریان بو سیله رله های حفاظتی که عملکرد آنها منجر به آلارم یا ارســال فرمان قطع به کلید قدرت می شــود صــورت می پذیرد در امر حفاظت خازنها باید به جریان اولیه که ممکن اســت تا ۲۰ برابر جریان نامی برســد وهمچنین هارمونیک ها توجه دا شت . نوع حفاظت مجموعه ب ستگی به نوع ات صال دارد و بطور کلی حفاظت مجموعه خازنها بوسیله رله های اشاره شده در زیر صورت می پذیرد:

۱) رله های جریان برای سر فاز

۲) رله محافظ در مقابل اضافه ولتاژ

۳) رله تشخیص ولتاژ نقطه نوترال

۴) رله کمبود یا نبود ولتاژ

ولی انواع حفاظت های صورت گرفته روی مجموعهٔ خازنی به شرح ذیل می با شند که تو ضیحی ب سیار مختصر در مورد آنها داده شده است :

۱- حفاظت ا ضافه جریان – این حفاظت در مقابل ا ضافه جریان راکتورهای سری کابلها ودیگر ات صالات صورت می گیرد البته در ادامه انواع اضافه جریان در مدار را شرح می دهیم.

۲- حفاظت ا ضافه ولتاژ- برای یک مجموعه خازنی به دلایل زیر حفاظت در مقابل ا ضافه ولتاژ سی ستم لازم است:

a) بعلت وجود هارمونیک ها ممکن اســت جریان خازنها در حد مجاز باشــد ولی ولتاژ آنها از ده درصــد اضافه ولتاژ مجاز بیشتر شود لذا در این گونه شرایط وجود رله اضافه جریان کافی نیست.

b) قطع ناگهانی تمام یا قسمتی از بار باعث اضافه ولتاژ خواهد شد باید توجه داشت رله های اضافه ولتاژ باید تأخیری باشند.

۳) حفاظت در مقابل قطع ولتاژ- با قطع تغذیه ایستگاه برق که در آن مجموعهٔ خازنی نصب است اگر مجموعه خازنی خارج نگردد با وصل مجدد خط یا خطوط ورودی ممکن است سبب صدمه به خازنها شویم.

۴) حفاظت در مقابل عدم تعادل کارکرد مجموعه خازنی – مجموعه خازنی در هر فاز از تعدادی واحد خازن به صورت موازی تشکیل شده است و تعداد واحدها برای هر سه فاز مساوی است بر اثر سوختن یک واحد خازن در یک فاز راکتانس مربوطه نسبت به فازهای دیگر کاهش پیدا کرده و باعث می شود ولتاژ روی ترمینالهای خازنهای این گروه افزایش می یابد ممکن است باعث شکست پی درپی خازنهای دیگر گردد.

۵) حفاظت در مقابلعدم تعادل در فازها – این حفاظت خود بر دونوع است :

a) حافظت جریانی یا حفاظت در مقابل عدم تعادل جریانها

b) حفاظت درمقابل عدم تعادل ولتاژ

۲–۹– اضافه ولتاژها در بانک های خازنی و علل آن :

۱- ا ضافه ولتاژ زیاد در حالت گذرا ، وقتی پیش می آید که خازنها با ا ستفاده ازکلیدهایی از شبکه قطع میگردند که امکان ایجاد جرقه مجدد *Re-Striking* در آن کلیدهاوجود داشته باشد .

۲- ا ضافه ولتاژهای بالا ناشی از صاعقه که در این صورت خازنها باید بو سیلهٔبرق گیر حفاظت شوند و تا آنجا که ممکن است نزدیک خازنها هم نصب شود اگر حفاظت فوق برای بانکهای خازنی بزرگ است حتماً باید یک سری حفاظت های خاص نیز در نظر گرفته شود مثلاً ممکن است این برق گیر نیازمند حفاظت از جریان تخلیه خازن باشد .

۳- وقتی یک خازن بطور ثابت به یک موتور و صل با شد ممکن ا ست م شکلاتی بعد از قطع موتور ازمنبع تغذیه پیش بیاید مثلاً زمانیکه موتور هنوز دارای حرکت چرخ شی ا ست ، ممکن ا ست با ا ستفاده از خود تحریکی بصورت ژنراتور عملکرده و ولتاژ سیستم را بطور قابل ملاحظهای افزایش دهد.

۴- وقتی یک خازن ، به موتوری که دارای اســتارت ســتاره – مثلث می باشــد وصــل گردد باید نحوه قرار گرفتن خازن طوری باشد که هنگام کار استارتر هیچ اضافه ولتاژی ایجاد نگردد.

۵- هنگام تشــکیل یک بانک خازنی اختلاف بین کاپاســیتانس واحدها باعث به وجود آمدن اضــافه ولتاژی می شود که باید از آن جلوگیری کرد و برای این کار باید در انتخاب هر واحد دقت لازم را به عمل آورد تا بهترین ترکیب ممکن حاصــل شــود تا اینکه اختلاف پتانســیل بین واحدها جلوگیری کرد و یااینکه برای واحدها ولتاژ نامی انتخاب می گردد که در آن مقدار اضافه‌ای نیز برای افزایش ولتاژ منظور شده باشد .

در حالتی که باید از اختلاف پتانسیل بین واحدها جلوگیری کرد باید واحدهای خازنی یا گروهی از واحدها که به صورت سری بهم وصل میگردند طوری انتخا بشوند که کاپاسیتانس آن ها در محدوده مجاز تعیین شده دارای بی شترین مقدار با شد چون در جاهائیکه بانکهای خازنی ب صورت ستاره مت صل بوده و مرکز ستاره هم عایق شده باشد اختلاف کاپاسیتانس بین فازها ، منجر به افزایش ولتاژ روی خازنهائی در هر فاز میگردد که کمترین مقدار کاپاسیتانس را داشته باشند .

۲– ۱۰– جریان اضافه بار در بانک های خازنی وعلل آنها :

۱) جریان های اضافه بار ممکن است توسط اضافه بار ولتاژها در فرکانس اصلی و یا توسط هارمونیک ها و یا هر دوایجاد شوند که منابع عمده هارمونیک ها نیز در فصل اول پروژه اشاره شدند.

۲) در زمان هایی که بار روشــنایی وجود دارد ولتاژ توســط خازنها افزایش یافته و در آن صــورت اشــباع هسته های ترانسفورماتورها نیز قابل ملاحظه خواهد بود در چنین حالاتی ، هارمونیک هایی با دامنه های غیر عادی تولید شــده و در این میان یکی از آنها می تواند با تشــدید بین ترانســفورماتور و خازن تقویت گردد و این دلیلی است که توصیه می شود که در مواقع بار روشنایی ، خازنها مدار قطع شوند.

۳)ا ضافه جریانهای گذرا با دامنه و فرکانس بالا ممکن ا ست در موقع و صل خازن به مدار رخ دهند چنین جریانهای گذرایی وقتی پیش می آید که یک بخش از بانک خازنی بصورت موازی با بخش دیگری از بانک خازنی که قبلاً شارژ گردیده کلید زنی شود .

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

فصل سوم:

آثار هارمونیک ها بر روی خازن های اصلاح ضریب قدرت

WikiPower.ir

۳-۱- مشخصه پاسخ سیستم :

در سیستم های قدرت ؛پاسخ سیستم به منابع هارمونیکی دارای اهمیت است سیستم های قدرت در مقابل جریان هارمونیکی بوجود آمده توسط بارهای تولید کننده های هارمونیک مقاوم می باشند ، مگر آنکه فرکانس این جریان هارمونیکی با فرکانس رزونانس موازی امپدانس باس هم اندازه شود در هر حال ، پاسخ سیستم قدرت در هر فرکانس هارمونیکی اثر واقعی بارهای غیر خطی را بر اعوجاج هارمونیکی ولتاژ تعیین می کنند .

۳-۱-۱- امپدانس سیستم:

در فرکانس مؤلفه ا صلی ، سیستم های قدرت ا صولاً به صورت اندوکتیو ه ستند وامپدانس معادل آن را گاهی اوقات راکتانس ات صال کوتاه می نامند . عموماً در سیستم های توزیع و سیستمهای صنعتی اثرات خازنی صرفنظر می گردد .

یکی ازکمیت هایی که در آنالیز هارمونیک سیستم های قدرت کراراً ا ستفاده می شود امپدانس ات صال کوتاه تا نقطه‌آی از شبکه است که در آن خازن نصب شده است اگر مقدار امپدانس اتصال کوتاه در دسترس نباشد ، می توان آن را از مطالعات اتصال کوتاه شبکه به دست آورد مقدار این امپدانس را میتوان از مگاولت آمپر اتصال یا جریان اتصال کوتاه بصورت زیر بدست آورد :

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

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

که در آن :

Z_{sc} = امپدانس اتصال کوتاه

R_{sc}= مقاومت اتصال کوتاه

X_{sc}= راکتانس اتصال

KV= ولتاژ خط بر حسب کیلو ولت

MVA_{sc}= مگاولت آمپر اتصال کوتاه

Isc= جریان اتصال کوتاه ، برحسب آمپر

Z_{sc}= یک کمیت فیزوری بوده و شامل مقاومت و راکتانس ا ست بهر حال اگراطلاعات ات صال کوتاه شامل داده های مربوط به مقاومت نباشد فرض میشود که امپدانس کاملاً راکتیو است که این فرض در سیستم های صنعتی بر شینه های نزدیک به منبع فر ضی خوبی ا ست در صورتیکه نتوان این فرض را پذیرفت ، اطلاعات مربوط به مقاومت وقاعی را باید بد ست آورد واین م سئله وقتی که خازن ها نیز مدل سازی می شوند بسیار مهم خواهد بود و اثرات آن هم در ادامه مطرح می شود .

همانطور که می دانیم راکتانس به صـــورت خطی با فرکانس تغییر می کند و راکتانس هارمونیک h ام را می توان از راکتانس مولفه اصلی یعنی x_1 بصورت زیر بدست آورد

$$X_h=hX_1 \qquad (۱)$$

اما در مورد مقاومت در ســیســتم های قدرت و مطالعات هارمونیک ها این فرض که مقاومت ســیســتم تا فرکانس کمتر از مرتبهٔ نهم تغییر زیادی نمیکند (فرکانس ۴۵۰ هرتز) قابل قبول خواهد بود .

برای مقاومت خطوط وکابل ها در صورت در نظر گرفتن اثر پوستی بصورت تقریبی با مربع فرکانسی تغییر می کند و مخ صو صاً در تراز سفورماتورهای بزرگ ، بدلیل تلفات جریان گردابی سرگردان ، مقاومت شان متنا سب با فرکانس افزایش می یابد البته این مو ضوع در شرایطی که تشدید به وجود می آید اثر مثبتی در میرایی این سیستم بوجود می آورد .

در ترانســفورماتورهای کوچک کمتر از ۱۰۰ کیلو ولت آمپر،مقاومت و بالطبع مقاومت ظاهری کل فرکانس ۵۰۰ هرتز تغییر چندانی نمی کند البته ترانسفورماتورهای کوچکتر در فرکانس ا صلی دارای نسبت $1\frac{X}{R}$ تا 2 هستند . در صورتیکه برای ترانسفورماتورهای ا ستفاده شده در پستها این مقدار ۲۰ تا ۳۰ می با شد بنابرا ین اگر امپدانس شبکهٔ موردنظر بیشتر نا شی از امپدانس ترانسفورماتور با شد تا امپدانس خط انتقال ،آنگاه مدل امپدانس را باید دقیق تر مورد مطالعه قرار داد زیرا با صــرف نظر کردن از مقاومت ســیســتم ، اعوجاج هارمونیکی بیشتری حاصل خواهد شد.

در ولتاژهای پایین مانند سیستم های صنعتی ، وجه غالب راکتانس معادل سیستم نا شی از امپدانس ترانسفورماتورها است یک تخمین خوب برای Xsc را می توان بر اساس امپدانس ترانسفورماتور بصورت زیر بدست آورد :

$$X_{sc} \approx X_{tx} \qquad (۲)$$

هنگامیکه لزومی به دقت بالایی نباشد این امپدانس نزدیک به ۹۰ درصدامپدانس کلی را شامل می شود و معمولاً برای ارزیابی امکان ایجاد تشدید هارمونیکی این تخمین مناسب خواهد بود.

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

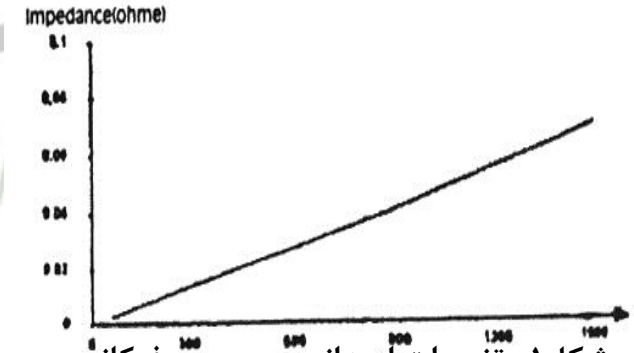
امپدانس ترانسفورماتور برحسب اهم را می توان برحسب امپدانس درصدی Z_{tx} که برروی پلاک ترانسفورماتور نوشته شده است به شکل زیر بدست آورد :

$$X_{tx} = \left(\frac{KV_{LL}^{\ 2}}{MVA_{3\phi}} \right) \times Z_{tx}(\%) \qquad (۳)$$

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

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

مقدار امپدانس بر حسب فرکانس ، برای یک سیستم اندوکتیو (که در آن خازن وجود ندارد) در شکل (۱) نشان داده شده است .



شکل۱- تغییرات امپدانس بر حسب فرکانس

۳-۱-۲- امپدانس خازن :

این موضوع از این لحاظ اهمیت دارد که خازنهای موازی که برای تصحیح ضریب قدرت مورد استفاده قرار میگیرند 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 میگردد که این مطلب در ادامه مطرح خواهد شد درحالیکه راکتانس اندوکتیو با افزایش فرکانس و متناسب با آن افزایش می یابد راکتانس خازنی Xc متناسب با فرکانس کاهش می یابد .

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

$$Xc = \frac{1}{2\pi fc} \quad (۴)$$

که در آن :

C: ظرفیت خازن به فاراد

F: فرکانس می باشد .

در خازن های مورد استفاده در صنعت ظرفیت خازن داده نمی شود بلکه مقدار خازن بر حسب KVAR یا MVAR بیان میشـــود راکتانس خازنی خط به زمین (فازی) در فرکانس قدرت برای یک بانک خازنی را می توان به صورت زیر بیان کرد.

$$x_C = \frac{KV_2}{MVar} = \frac{KV^2(1000)}{KVar} \quad (۵)$$

برای بانک های خازنی سه فاز باید از ولتاژ خط وتوان راکتیو نامی سه فاز استفاده نمود و برای واحدهای تک فاز، از ولتاژ نامی فاز و توان راکتیو نامی اســـتفاده نمود برای مثال برای یک بانک خازنی ۱۲۰۰ کیلو وار و سطح ولتاژ ۲۰ کیلو ولت ، راکتانس توالی مثبت بر حسب اهم برابر خواهد بود با :

$$Xc = \frac{KV^2}{MVar} = \frac{(20)^2}{1.2} = 333.3\Omega$$

WikiPower.ir

۳–۲– اثر هارمونیک ها روی خازن ها :

قبل از بررســی پدیده رزونانس، دراینجا بطور کوتاه وموثر اثر هارمونیکها را روی مشـــخصـــات مورد توجه ومهم یک بانک خازنی، مشاهده میکنیم. همانطور که در فصول قبل اشاره کردیم در استاندارد خازن های مورد استفاده در شبکه های توزیع مقادیر نامی حالت دائم خازن را بصورت زیر مشخص و معرفی کردیم .

۱- ۱۳۵درصد کیلو وار نامی

۲- ۱۱۰ درصد ولتاژ موثر نامی (شامل هارمونیک ها به استثنای حالت گذرا)

۳- ۱۳۰ درصد جریان نامی (شامل هارمونیک ها ومؤلفه اصلی)

۴- ۱۲۰ درصد ولتاژ پیک (شامل هارمونیک ها)

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

جدول (۱) مثالی از ارزیابی یک خازن را نشـــان میدهد . دراین مثال خازن تحت یک ولتاژ هارمونیکی قرارمی گیرد وهدف از این مثال این ا ست که مقادیر محا سبه شده برای این خازن را با حدود مجاز ارائه شده در بالا مقایسه نمود. مشخصات مورد نیاز جهت محاسبات لازم در جدول (۱) داده شده است.

این بانک خازنی ۱۲۰۰ کیلوواری با آرایش ستاره دریک سیستم با ولتاژ خط ۲۰ کیلو ولت می با شد.مؤلفه اصلی جریان بار کامل برای این بانک خازنی می شود:

$$I_c = \frac{Q-3\phi}{\sqrt{3V_{LL}}} = \frac{1200\times10^3}{\sqrt{3}\times20000} = 34.64 \quad A$$

اصـــولاً خازنها در معرض دونوع هارمونیک پنجم و هفتم قرار می گیرند. اغتشـــاش ولتاژ ۴ درصـــدی هارمونیک پنجم و ۳ درصـدی هارمونیک هفتم باعث می شـود درصـدی از جریان نامی در خازنها جریان داشته باشد که از روابط زیر بدست می آیند:

(ولتاژ فازی روی هر خازن بصورت ستاره) $V\phi = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} = \frac{20000}{\sqrt{3}} = 11.547(kv)$

(امپدانس فازی برای هر خازن بصورت ستاره) $X_c = 333.3\Omega$

(ظرفیت هر خازن بصورت ستاره) $C = \frac{1}{2\pi.f.X_c} = \frac{1}{2\pi\times50\times333.3} = 9.55\times10^{-6}(F)$

محاسبات برای بدست آوردن درصد هارمونیک پنجم جریان در خازن:

(امپدانس خازن) $h=5 \qquad f_5 5\times50 = 250(HZ)$

$$X_{C5} = \frac{1}{2\pi.f_5.c} = \frac{1}{2\pi\times250\times9.55\times10^{-6}} = 66.66 \quad (\Omega)$$

(ولتاژ فازی ناشی از۴ درصد هارمونیک پنجم) $V_5 \%4V_1 = 0.04\times11.574 = 0.462kv$

(توان راکتیو هر خازن بصورت ستاره) $Q_{c.1\phi} = \frac{V\phi^2 5}{X_{C5}} = \frac{(462)^2}{66.66} = 3.2(k\,var)$

$$Q_{c.3\phi} = 3\times Q_{c.1\phi} = 9.6(K\,var)$$

(جریان هارمونیک پنجم در خازن ها) $I_{C5} = \frac{Q_{c.3\phi}}{\sqrt{3}\times V_{LL.5}} = \frac{9.6\times10^3}{\sqrt{3}\times800} = 6.93A$

$$I_{C.5} = \%20 I_n$$

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

همانطور که مشاهده می شود مقدار حاصل برابر با مقدار اشاره شده در جدول (۱) می باشد.

برای اغتشاش ۳ درصدی هارمونیک هفتم هم، اگر همین محاسبات را انجام دهیم باین نتیجه می رسیم که ۲۱ درصد از جریان نامی بعنوان جریان هارمونیک هفتم در خازنها جاری می باشد. حالا باید مقادیر اعوجاج کلی هارمونیک ولتاژ جریان را با استفاده از مقادیر بدست آمده پیدا کنیم. برای اعوجاج کلی هارمونیکی رابطه زیررا داشتیم :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2} Mh}}{M_1} \qquad (۶)$$

$$THD(V) = \frac{\sqrt{(4)^2 + (3)^2}}{100} = 0.05 \quad \text{یا} \quad 5\% \qquad \text{(مقادیر برحسب درصد می باشد)}$$

جدول ۱- ارزیابی خازن

$$THD(I) = \frac{\sqrt{(20)^2 + (21)^2}}{100} = 0.29 \quad \text{یا} \quad 29\%$$

wikiPower.ir

برای ارتباط (THD) به مقدار موثر موج

نیز از رابطه زیر استفاده می کنیم.

$$RMS = M_1\sqrt{1+(THD)^2} \qquad (۷)$$

$$RMS(V) = 1154\sqrt{1+(0.05)^2} = 11561.48(V) \qquad \text{(ولتاژ موثر روی خازن)}$$

$$RMS(I) = 34.64\sqrt{1+(0.29)^2} = 36.05(A) \qquad \text{(جریان موثر در خازن)}$$

همانطور که دیده میشود اگر مقادیر بدست آمده را به درصد تبدیل کنیم وآن را با مقادیر و حدود مشخص شده در ابتدای بحث مقایسه کنیم همانطور که در پایین جدول (۱) مشخص است مقادیر زیر

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

محاسبات مربوط به خازن ها هنگامی که توسط ولتاژهای غیر سینوسی تغذیه می‌شوند

اطلاعات مربوط به بانک خازنی

۵۰ هرتز	فرکانس مؤلفه اصلی	۱۲۰۰ کیلووار	توان نامی
۳٤/٦٤ آمپر	جریان نامی مؤلفه اصلی	۲۰۰۰۰ ولت	ولتاژ نامی
۳۳۳/۳ اهم	واکتانس خازنی	۲۰۰۰۰ ولت	ولتاژ کاری

جریان خط (درصد نسبت به مؤلفه اصلی)	دامنه ولتاژ (ولت)	دامنه ولتاژ (درصد نسبت به مولفه اصلی)	فرکانس (هرتز)	مرتبه هارمونیک
۱۰۰	۱۱٥٤۷	۱۰۰	٥۰	۱
۰	۰	۰	۱٥۰	۳
۲۰	٤٦۱/۸	٤	۲٥۰	٥
۲۱	۳٦٤/٤	۳	۳٥۰	۷
۰	۰	۰	٥٥۰	۱۱
۰	۰	۰	٦٥۰	۱۳
۰	۰	۰	۸٥۰	۱۷
۰	۰	۰	۹٥۰	۱۹
۰	۰	۰	۱۰٥۰	۲۱
۰	۰	۰	۱۱٥۰	۲۳
۰	۰	۰	۱۲٥۰	۲٥

اعوجاج کلی هارمونیک ولتاژ (THD): ٥ درصد — اعوجاج جریان خازن: ۲۹ درصد

ولتاژ موثر خازن: ۱۱٥٦۱/٤۸ ولت — مقدار موثر جریان خازن: ۳٦/۰٥ آمپر

حدود بانک خازنی

حدود مجاز (درصد)	محاسباتی (درصد)	
۱۲۰	۱۰۷	پیک ولتاژ
۱۱۰	۱۰۰/۱	ولتاژ موثر
۱۳۰	۱۰٤/۱	مقدار موثر جریان
۱۳٥	۱۰٤/۳	توان نامی

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

مقدار اســـتاندارد قرار می گیرند. ولی بهرحال هارمونیک ها میزا ن تلفات عایقی در خازن را افزایش می دهند.

۳-۳- اثرات مستقیم هارمونیک ها روی خازن:

در تأثیر مستقیم، خازن را به طور مستقل و به دور از سایر تجهیزات تحت اعوجاجات هارمونیکی قرار داده تا عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار دهیم. این اعوجاجات می توانند باعث افزایش جریان خازن، افزایش تنش الکتریکی و افزایش تلفات دی الکتریکی خازن بشـــوند که در هر یک از این موارد می توان انتظار خرابی عایق خازن و بالاخره خارج شدن خازن از مدار را داشت.

۳- ۳-۱- افزایش جریان:

تجهیزات ســیســـتم های قدرت اغلب تحت تأثیر هارمونیک های ولتاژ هســـتند. از مهمترین تجهیزاتی که تحت تأثیر این هارمونیک ها قرار می گیرند، خازن های مورد استفاده در شبکه به منظور تصحیح ضریب قدرت می باشند. یکی از مواردی که باعث آسیب رسیدن به خازن ها می گردد، گرم شدن ناشی از اضافه جریان شـدید خازن می باشـد که خود ناشـی از ولتاژهای هارمونیکی د و سـر آن اسـت. بالا بودن جریان ورودی به خازن حتی در صـورت کم بودن هارمونیک ولتاژ امکان پذیر اسـت زیرا امپدانس خازن، X_C ، با عکس فرکانس، ω، در ارتباط است.

$$X_C = \frac{1}{C\omega}$$

که در آن C ظرفیت خازن می باشد.

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

۳-۳-۲- افزایش تنش الکتریکی:

مشکل عایقی خازن ها از دیگر آثار سوء هارمونیک ها بر روی این تجهیز می باشد. در حقیقت، اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک ها ممکن است به حدی برسد که تنش الکتریکی بر روی عایق خازن را حد مجاز بیشتر شده و باعث تخلیه الکتریکی خازن شود. این موضوع اغلب در مواقعی اتفاق می افتد که پیک ولتاژ هارمونیکی از لحاظ زمانی با پیک ولتاژ فرکانس اصلی یکی می شود. شایان ذکر است در سیستم های قدرت اغتشاشات ولتاژ به اندازه ای نیست که بطور مستقیم سبب آسیب عایق خازن گردد مگر اینکه شرایط تشدید در سیستم پدید آید. شرایط پیدایش تشدید در شبکه در بخش های دیگر به طور مفصل بحث خواهد شد.

۳-۳-۳- افزایش تلفات دی الکتریکی:

علاوه بر افزایش مقدار جریان مؤثر خازن و امکان بالا رفتن تنش الکتریکی بر روی عایق آن، اعوجاجات هارمونیکی می توانند باعث افزایش تلفات دی الکتریکی خازن ها نیز گردند. تلفات دی الکتریکی یک خازن، P ، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 C(n\omega_0)(tg\delta_n)$$

که در آن V_n مؤلفه ولتاژ هارمونیکی مرتبه n، C ظرفیت خازن بر حسب فاراد، δ_n ضریب تلفات در هارمونیک n-ام و ω_0 سرعت زاویه ای متناظر با فرکانس اصلی می باشد.

اگر ضرایب تلفات در هارمونیک های مختلف با هم برابر و مستقل از یکدیگر در نظر گرفته شوند:

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = ... = \delta_n$$

در آن صورت خواهیم داشت:

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 C(n\omega_0)(tg\delta_1)$$

از طرف دیگر، تلفات دی الکتریکی خازن مورد نظر در فرکانس اصـــلی، P_1 ، از رابطه زیر قابل محاســـبه است:

$$P_1 = V_1^2 C(\omega 0)(tg\delta_1)$$

بنابراین، نسبت تلفات در حضور اعوجاجات هارمونیکی به تلفات در غیاب آنها برابر خواهد شد با:

$$\frac{P}{P_1} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 C(n\omega_0)(tg\delta_1)}{V_n^2 C(n\omega_0)(tg\delta_1)}$$

$$\frac{P}{P_1} = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} nV_n^2}{V_1^2} = \frac{V_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} nV_n^2}{V_1^2} = 1 + \frac{\sum_{n=2}^{\infty} nV_n^2}{V_1^2}$$

همانطور که رابطه بالا نشان می دهد، با افزایش اعوجاجات هارمونیکی در ولتاژ اعمال شده به خازن تلفات دی الکتریکی آن نیز افزایش یافته که این موضـوع به نوبه خود می تواند منجر به شـکسـت حرارتی عایق خازن و خرابی آن گردد.

۳-۴- اثرات غیرمستقیم هارمونیک ها روی خازن:

اگر چه خازن ها تجهیزاتی هســـتند که خود تولید هارمونیک نمی کنند لیکن بر روی هارمونیک های موجود ناشی از بارهای غیرخطی تأثیرات خاصی را بر جا می گذارند که لازم است بر روی آنها نیز مطالعه شود. اولین تأثیر خازن منحرف کردن مسیر هارمونیک جریان از مسیر اصلی یعنی از منابع تولید کننده هارمونیک به سوی شبکه می باشد. بدون خازن اصولاً سیستم های قدرت سلفی هستند و این مسأله حتی در فرکانس های هارمونیکی نیز صدق می کند. اما هنگامی که خازن ها در یک مدار سلفی وارد می گردند، می توانند باعث ایجاد تشـدید در فرکانس طبیعی سـیسـتم شـوند. به همین دلیل تعیین فرکانس طبیعی سیستم آلوده به هارمونیک در یک مطالعه هارمونیکی لازم به نظر می رسد. اصولاً امکان به وجود آمدن دو نوع تشدید وجود دارد که عبارتند از:

a) تشدید موازی

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

b) تشدید سری

در فرکانس تشدید، ترکیب موازی بانک خازنی و یا حتی اثر خازنی خطوط انتقال در کنار راکتانس سلفی سیستم منبع بصورت امپدانس بزرگی ظاهر می گردد. در این صورت اگر هارمونیک جریانی به این امپدانس تزریق شود، ولتاژ اعوجاج دار بزرگی به دلیل بالا بودن امپدانس ظاهر می گردد. بایستی توجه نمود که ولتاژ هارمونیکی بزرگ بوجود آمده به نوبه خود سبب تولید هارمونیک جریان تزریق شده ظاهر می گردد. در چنین حالتی اعوجاج ولتاژ اعمال شده به خازن افزایش یافته و همانطور که در بالا اشاره شد می تواند باعث آسیب رسیدن به خازن ها شود.

وجود بار م صرفی در شبکه یکی از پارامترهای مهم در کاهش اعوجاج هارمونیکی در شرایط ت شدید می باشد. در حقیقت بار در حکم یک امپدانس موازی با امپدانس تشدید بوده و مقدار آن با توان بار نسبت معکوس دارد. در نتیجه امپدانس کم بار باعث کاهش امپدانس بزرگ تشدید شده و بالطبع کاهش اعوجاجات هارمونیکی ولتاژ را بدنبال خواهد داشت. همچنین در شرایط دیگر خازن هایی که در طرف ثانویه ترانسفورمرها قرار دارند، از دیدگاه اولیه این ترانسفورمر، بصورت فیلترهای تنظیم شده سری ظاهر می گردند. وقتی که بار سیستم کم باشد شرایطی پدید می آید که یک منبع هارمونیک درطرف اولیه ترانسفورمر می تواند سبب تولید اعواج ولتاژ بالایی در طرف ثانویه گردد ودرنتیجه به راحتی باعث آ سیب رسیدن به خازن ها شود.

۳-۵- پخش عادی جریان های هارمونیکی:

جریان های هارمونیکی معمولاً از بارهای غیر خطی(منابع مولد هارمونیک)به طرف کوچکترین امپدانس که عموماً امپدانس منابع تغذیه یعنی ژنراتورها یا نقطه اتصال مشترک (PCC) می باشند، جاری می شوند.شکل(۲) این موضوع را نشان می دهد.

امپدانس منبع تغذیه اغلب خیلی کوچکتر از امپدانس مسیرهای موازی است که بارها ایجاد می کنند.با این وجود جریان هارمونیکی با توجه به ن سبت این امپدانس ها تق سیم خواهد شد.هارمونیک های مرتبه

بالابه سمت خازن های شبکه جاری خواهند شد، زیرا خازن ها در فرکانس های بالا امپدانس کمی را از خو نشان می دهند.

شکل۲- پخش عادی جریان های هارمونیکی.

۳-۶- تشدید موازی:

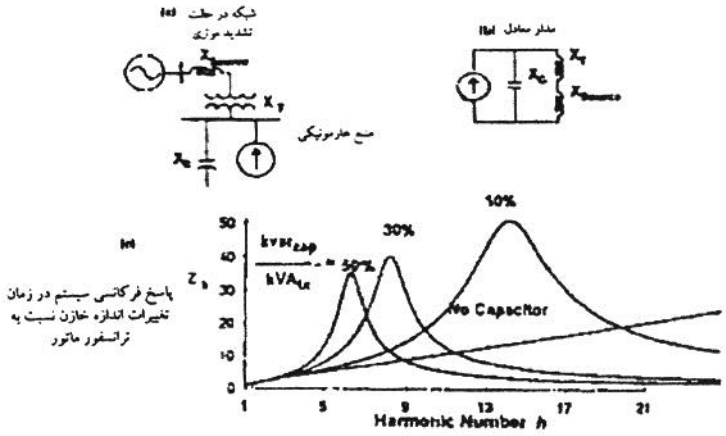
مدارهای شامل خازن وآندوکتانس دارای یک یا تعداد بیشتری فرکانس طبیعی می‌باشند.

وقتی که یکی از این فرکانس ها برابر با فرکانس سیستم قدرت گردد پدیده تشدید بوجود می اید وجریان و ولتاژ درآن فرکانس مقدار بالایی را بخود می گیرند واین پدیده درحقیقت ریشه تمامی مسائل و مشکلات ناشی از اعوجاج هارمونیکی در سیستم های قدرت می باشد.

در فرکانس های هارمونیکی، ازدیدگاه منابع هارمونیک خازنهای موازی با اندو کتانس معادل شبکه ، به شکل موازی قرار می گیرند. این مو ضوع در قسمتهای (a),(b) شکل (۳) قابل ملاحظه ا ست در فرکانس های غیر فرکانس ا صلی شبکه قدرت به صورت اتصال کوتاه دیده می شود یعنی فرض می شود که فقط منبع ولتاژ با فرکانس قدرت وجود دارد. درفرکانسی که Xc و راکتانس کلی سیستم برابر می شوند امپدانس ظاهری (ترکیب موازی اندوکتانس سیستم وخازن)که ازطرف 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 درقسمت (C) شکل (۳) نشان داده شده است.

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



شکل ۳- تاثیر اندازه خازن روی فرکانس تشدید موازی

همانطوریکه در شکل (۳) مشاهده می شود اگر یکی از مقادیر پیک امپدانس درفرکانس جریان هارمونیکی تولید شده توسط بارقرار گیرد ،افت ولتاژ شدیدی روی امپدانس ظاهری سیستم در مقایسه باحالت بدون خازن اتفاق می افتد.

فرکانس تشدید در ترکیب خاصی از خازن واندوکتانس را می توان از روش های مختلفی و با توجه به نوع اطلا عات موجود محاسبه نمود. معادله اصلی تعیین فرکانس بدین صورت است که :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (۸)$$

تحلیل گران سیستم های قدرت، معمولا مقادیر C,L سیستم را در اختیار ندارند و بنابراین ترجیح می دهند که از شکل دیگری از روابط ا ستفاده نمایند. باتوجه به اینکه در سیستمهای قدرت راکتانس اتصال کوتاه معمولا برابر با امپدانس ترانسفور ماتور می باشد.یعنی :

$$X_{SC}=X_{tx} \qquad (۹)$$

خواهیم داشت :

$$X_{ls} = \frac{KV^2{}_{ll}}{MVA_{3\phi}} \times Z_{tX}(\%) \qquad (۱۰)$$

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

که درآن $Z_{tX}(\%)$ امپدانس درصدی ترانسفور ماتور می باشد. معمولا مرتبه هارمونیکی فرکانس تشدید بر اساس امپدانس فرکانس اصلی با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$h_r = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} = \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{MVar_{cap}}} \approx \sqrt{\frac{KVA_{tx}}{KVar_{cap} \times Z_{tx}(\%)}} \qquad (۱۱)$$

که در آن :

Xc : راکتانس خازن در هر فاز Ω

Xsc: راکتانس اتصال کوتاه سیستم درمحل نصب خازن Ω

h_r: مرتبه هارمونیک فرکانس تشدید

MVA_{sc}: سطح اتصال کوتاه سیستم بر حسب مگاولت آمپر

$MVar_{cap}$: ظرفیت نامی بانک خازنی برحسب مگاوار و $KVsr_{cap}$ برحسب کیلووار

KVA_{tx}: ظرفیت نامی ترانسفورماتور برحسب کیلو ولت آمپر

KVA_{tx}: ظرفیت نامی ترانسفورماتور برحسب کیلو ولت آمپر

Z_{tx}: امپدانس درصدی ترانس

برای مثال، در یک شینه مربوط به یک م شترک صنعتی، وقتی که امپدانس تراز سفورماتور وجه غالب را دارد هارمونیک تشدید وفرکانس رزونانس ، برای یک ترانسفور ماتور ۱۵۰۰ کیلو ولت آپری با امپدانس ۶ درصد وبانک خازنی ۵۰۰ کیلو واری برابر است با :

$$h_r = \sqrt{\frac{KVA_{tx}}{KVar_{cap} \times Z_{tx}(\%)}} = \sqrt{\frac{1500}{500 \times 0.06}} = 7.07$$

$$f_r = 50 \times h_r = 50 \times 7.07 = 353.6(Hz)$$

حالا اگر فرض کنیم یک بانک خازنی بصورت پله ای وارد شبکه شود درهنگام قطع ووصل پله های بانک ، فرکانس رزونانس شبکه تغییر خواهد کرد وما این مطلب را در قسمت (c) شکل (۲) هم مشاهده کردیم. درصورتیکه فرکانس رزونانس سیستم به فرکانس یکی از هارمونیک ها نزدیک باشد، ولتاژهارمونیکی بدلیل ماهیت شبکه رزونانسی، افزایش می یابد وحتی دامنه آنها ۵ برابر یا بیشتر می شود. در شکل (۴)

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

مشخصه رزونانس یک بانک خازنی ۴۰۰ کیلو واری در وارد شدن پله های مختلف و ظرفیت های متفاوت داده شده است.

شکل (۴)

طبق مطالعات وبررسی های انجام شده اگر فرکانس روزنانس دریک سیستم ۱۰ درصدی بیشتریا کمتر از فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد، این فرکانس روزنانس در یک شبکه با کیفیت بالا(مثلا عصرها وشب ها) تا یک ضریب بزرگتر از ۴ تقویت می شود.

اگر فرکانس روزنانس ۲۰ درصد بیشتر از فرکانس هارمونیک موجود در شبکه باشد، دریک شبکه باکیفیت بالا، با ضریبی تا ۲/۵ تقویت می شود وبا ۳۰ در صد بالای فرکانس هارمونیک موجود در شبکه به مقداری کم و حدود ۱/۷ تقویت می شود.

اما درشبکه ای که بدون مولد هارمونیک باشد وهارمونیک از شبکه فشار متوسط وارد شود مسئله فرق می کند، بافرکانس رزونانس زیر ۴۰۰ هرتز ازدیاد دامنه هارمونیک هفتم را داریم وبا فرکانس رزونانس کمتر از ۳۰۰ هرتز ازدیاد شدید دامنه هارمونیک پنجم پدید می آید.

همانطور که در روابط مشاهده کردیم قدرت اتصال کوتاه شبکه تعیین کننده فرکانس رزونانس است ودرتولید کننده های هارمونیکی،دامنه ولتاژ هارمونیکی راتعیین میکند. قدرت اندک اتصال کوتاه شبکه درمحل جبران سازی مشکل زا می باشد، چون فرکانس رزونانس را درناحیه هارمونیک های پرقدرت قرار می دهد. ازطرفی دیگر تغییرات قدرت اتصال کوتاه شبکه ناشی از کلید زنی هم مشکل آفرین است. بطور مثال در کارخانه های بزرگ ، پست های فشار متوسط برای قابلیت اطمینان بیشتر توزیع انرژی بصورت

رینگ مورد استفاده قرار می گیرند ودراین حالت قدرت اتصال کوتاه بسیار زیاد است و فرکانس رزونانس هم بزرگ می شـــودوعبور جریان هارمونیکی از شـــبکه فشـــار متوســـط افت ولتاژ کمی ایجاد می نماید. در صورت باز شدن رینگ تغذیه مثلاً برای تعمیرات ، قدرت اتصال کوتاه را شدیداً کاهش می دهد وحتی امکان افت فرکانس رزونانس به زیر ۳۰۰ هرتز هم وجود دارد وهمین امر باعث ازدیاد دامنه هارمونیک های پر قدرت درشـبکه می شـود. در هر حال،هنگام پدید آمدن رزونانس مقدار موثر ولتاژ شـبکه افزایش ناچیزی می یابد. ولی این مقدار موثر جریان خازن اســت که شـدیداً افزایش می یا بد بطور مثال درحالت رزونانس با هارمونیک پنجم مقدار موثر دامنه هارمونیک اگر ۱۵ درصد افزایش یابد مقدار موثر ولتاژ شبکه حدود ۱ در صد و مقدار پیک ولتاژ حدود ۱۰الی ۱۵ در صد بسته به اختلاف فازها وجریان موثر خازن ۲۵ درصد افزایش می یابد .

با رزونانس در هارمونیک یازدهم ،مقدار موثر دامنه هارمونیک ۱۰ درصد می تواند افزایش یابد ومقدار موثر ولتاژحدود ۵ در صد ومقدار پیک ولتاژ حدود ۶۰الی ۵۰ در صد وجریان موثر خازن ۵۰ در صد افزایش می یابد.پس اضافه بار جریان درخازن یکی از مشخصات مهم کیفیت خازن محسوب می شود این مطلب را در ارزیابی خازن درمقابل اعوجاجات ولتاژ مشاهده کردیم ودیدیم که اعوجاج جریان درصد بیشتری را خواهد داشت.

۳-۷- تشدید سری :

تشدید سری نتیجه ترکیب سری بانک های خازنی با خط یا اندوکتانس ترانسفورمرها است.تشدید سری باعث ایجاد یک مسیر با امپدانس کوچک در برابر جریان های هارمونیکی شده و به اصطلاح کلیه جریان های هارمونیکی هم مرتبه با مقدار تنظیمی خودش را به تله انداخته و از نفوذ آنها به ســایر قســمت های شبکه جلوگیری می نماید.

تشدید سری می تواند باعث ایجاد مقادیر زیادی اعواج ولتاژ در خازن و سلفی گردد که در مدار سری قرار گرفته اند.یک مثال از مدار سری می تواند ترانسفورمری با شد که در اولیه بار غیر خطی را تغذیه نموده و در ثانویه نیز متصل به یک بانک خازنی است.

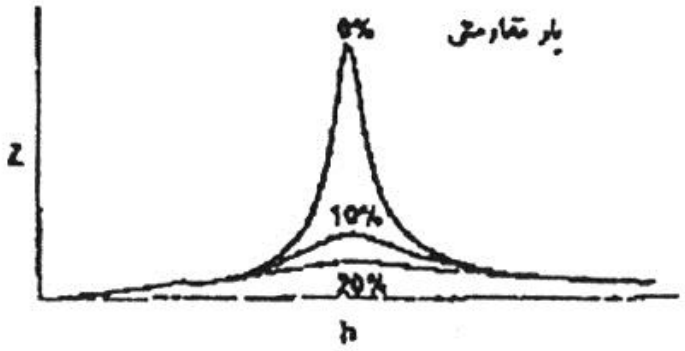
در تشدید سری بر خلاف تشدید موازی،هارمونیک جریان تقویت نمی گردد.اما جریان می تواند در مواد زیر آثار نا مطلوبی را در پی داشته باشد:

a) اگر خطی در شرایط تشدید سری قرار گرفته باشد و خطوط مخابراتی نیز با آن موازی باشند،آنگاه در چنین حالتی تداخلات شدید مخابراتی میتواند بروز کند.

b) اعوجاج ولتاژ هارمونیکی به دلیل افزایش هارمونیک جریان در مسیر تشدید پدید می آید.

۳-۸- اثرمقاومت وبارمقاومتی روی پدیده تشدید:

حالتی که هارمونیک تشدید برابر با هارمونیک منبع می شود همیشه مایه نگرانی نیست ،چون میرایی ایجاد شده توسط مقاومت اغلب باعث کاهش ولتاژ وجریان درحالت تشدید درسیستم می گردد.شکل (۵) مشخصه امپدانس مدار تشدید موازی را برای مقادیر مختلف بارمقاومتی که بصورت موازی با خازن قرار گرفته است نشان می دهد.



شکل۵- تاثیربارهای مقاومتی روی پدیده تشدیدموازی

همچنانکه مشاهده می شود تنها مقدار۱۰ درصد بارمقاومتی تاثیر بسزایی بر روی پیک امپدانس سیستم بوجود می آورد. طبق این موضوع، اگر طول خط یا کابل های بین شینه خازنی ونزدیکترین ترانسفورماتور زیاد با شد، پدیده تشدید اثر نامطلوب کمی را ایجاد می کند، چون خطوط وکابل ها مقدار زیادی مقاومت به مدار معادل سیستم اضافه می کنند.

مقاومت خط وبارها دلیل خوبی برای این نکته است که مشکل تشدید هارمونیکی نامطلوب،روی فیدرهای توزیع بندرت پدید می آید.البته این بدین معنی نی ست که درتشدید م شکل زیادی بوجود نمی آید بلکه این مسائل ومشکلات باتوجه به شرایط موجب خسارت فیزیکی به تجهیزات شبکه قدرت نمی شوند.بدترین شرایط تشدید وقتی پدید می آید که خازنها برروی شینه های پست نصب گردند که نمونه ای از این پست ها را می توان پست توزیع اصلی ویا پست های فرعی در واحدهای صنعتی دانست. دراین حالات،وقتی که امپدانس ترانس وجه غالب دارد ونسبت به $\frac{X}{R}$ بالا ا ست مقاومت نسبی کم شده وپیک امپدانس تشدید موازی بسیار بالا وتیز خواهد بود که این پدیده عامل اصلی خرابی خازنها، ترانسفورماتورها و تجهیزات می باشد.

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

فصل چهارم:

راههای کاهش اثر هارمونیک ها بر روی خازنهای اصلاح ضریب قدرت

WikiPower.ir

۴–۱– کنترل هارمونیک ها:

با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت های قبل،فهمیدیم که هارمونیک ها هنگامی مشکل زا می شوند که یکی از حالتهای زیر را داشته باشند.

۱- منبع تولید هارمونیک جریان بزرگ باشد.

۲- مسیری که در آن هارمونیک جریان عبور می کند بسیارطولانی باشد که درنتیجه باعث ایجاد اعوجاج ولتاژ بیشتری یا اختلالات تلفنی می شود.

۳- پاسخ سیستم به یک یا چند هارمونیک اهمیت بیشتری بدهد.

درهر حال روش های اصلی کنترل هارمونیک به قرار زیر می باشند:

۱- کاهش مقدار جریان های هارمونیک تولید شده توسط بار

۲- اضافه کردن فیلتر به منظور ایجاد مسیر برای هارمونیک ها و یا جلوگیری از وارد شدن هارمونیک ها به سیستم ویا تغذیه کردن هارمونیک های جریان به صورت محلی

۳- تغییر پاسخ فرکانسی سیستم با استفاده از فیلتر ها، اندوکتانس وخازن

۴-۱-۱- کاهش مقدار جریانهای هارمونیک تولید شده توسط بار:

درارتباط با تجهیزات موجود برای کاهش مقدار هارمونیک کار کمی می توان انجام داد، زیرا امکان عملکرد نامناسب نیز دراین حالت بوجود می آید .ترانسفورماتورها همان طور که گفته شد یکی از منابع تولید هارمونیک هستند وبرای حذف وکاهش هارمونیک آنها می توان راهکارهای زیر را اجرا نمود :

۱- کاهش ولتاژ اعمالی به ترانس باعث خارج شدن آن از حالت اشباع شده ودرنتیجه تولید هارمونیک نمی کند.

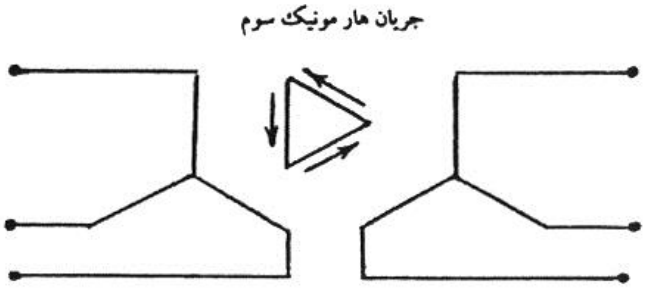
۲-با استفاده ازچگالی های شار کمتر، می توان هارمونیک را کاهش داد. ولی این مسئله با افزایش سطح هسته، به نتیجه می رسد (برای همان ولتاژ) که نتیجتاً به هادی های بیشتر نیاز است ومتعاقب آن هزینه افزایش می یابد، لذا طراحی وکار ترانسفورماتور در چگالی های شار هسته کمتر، مقرون به صرفه نیست.

۳- جریان ها وولتاژ های هارمونیک مخرب مرتبه سوم در خطوط را می توان با استفاده از اتصالات ستاره ومثلث ترانسفور ماتورها حدف کرد، که این مطلب بارها اشاره شده است.

۴- استفاده از سیم پیچی سومین یا ثالثیه د رترانسفورماتور سه فاز که بصورت مثلث بسته می شود .

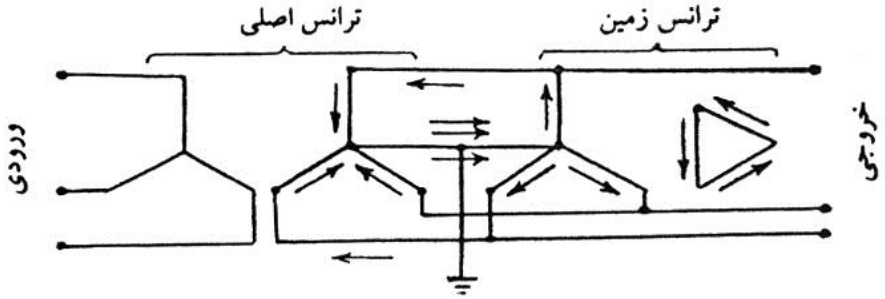
این مثلث بسته، مسیری برای جریانهای هارمونیک سوم مهیا می سازد لذا شکل موج شار و نیروی محرکه الکتریکی،تقریباً سینوسی می گردد. شکل آرایش این نوع از اتصال در شکل (۱) نشان داده شده است.

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



شکل ۱- سیم پیچی ثالثیه (سومین)

۱- استفاده از ترانسفورماتور ستاره – مثلث زمین به گونه ای که در شکل (۲) نشان داده شده است ولتاژهای هارمونیکی مرتبه سوم در یک تراز سفورماتور دو سیم پیچه،با اتصال ستاره – ستاره راحذف می کند. مثلث بسته مسیری برای جریانهای هارمونیک مرتبه سوم،مهیا می کند ودر نتیجه آن شکل موج های شار و نیروی محرکه الکتریکی سینوسی باقی می ماند .پتانسیل نقطه ستاره تثبیت شده ونو سان نقطه خنثی از بین می رود. برای یک ترانسفورماتور ستاره – ستاره ولتاژ های هارمونیک مرتبه سوم با استفاده ازیک منبع تغذیه ۴ سیمه (یا یک ترانسفورماتور زمین به شرطی که نقطه خنثی آلتر ناتور زمین شده با شد) قابل تضعیف است. سیم برگشت مسیری برای هارمونیک سوم جریان فراهم می کند لذا شکل موجهای فشار ونیروی محرکه الکترونیکی سینوسی باقی می ماند.



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

شکل ۲- ترانسفورماتور ستاره-مثلث زمین برای حذف هارمونیک سوم

اما تجهیزات قوس زننده ویا اغلب مبدلهای الکترونیک قدرت درمشخصه ای که برای آن طراحی شده کار نموده ونمی توان بر روی آنها مانور خا صی انجام داد. درمورد جبران کننده های توان راکتیو ا ستاتیک که در ف صل دوم درمورد آنها تو ضیحاتی ارائه باید گفت که با توجه باینکه از منابع تولید هارمونیک ه ستند، حتماً باید تمهیداتی دراین زمینه درنظر گرفت.

بطور مثال د رراکتورهای با کنترل تریســـتوری (TCR) اگر از کلید دوطرفه (GTO) اســـتفاده شـــود دامنه هارمونیکی تولیدی دراین حالت بسیار کمتر می شود که مقایسه آنها را می توان درجدول (۱) مشاهده نمود.

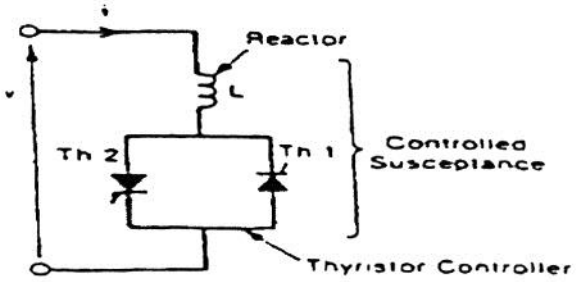
جدول (۱)

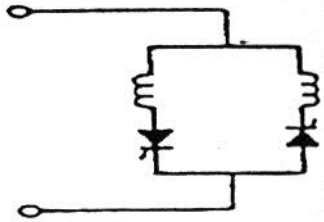
Maximum Amplitudes of Harmonic Currents inTCR And GTOCR

Harmonic Order	*Percentage-TCR*	*Percentage-GTOCR*
1	*100*	*100*
3	*3.78*	*3.7*
5	*5.05*	*1.3*
7	*2.59*	*1*
9	*1.57*	*0.25*
11	*1.05*	*0.0625*
13	*0.75*	*0.015625*
15	*0.57*	*0.0039625*
17	*0.44*	*0.00099625*
19	*0.35*	*0.00024625*
21	*0.29*	
23	*0.24*	
25	*0.20*	
27	*0.17*	
29	*0.15*	
31	*0.13*	
33	*0.12*	
35	*0.10*	
37	*0.09*	

در رو شی دیگر هم ، اگر راکتوری که کنترل آن تو سط دوتریستور صورت می‌گیرد، به دوراکتور تق سیم شود و کنترل هردو راکتور بو سیله تریستوری صورت گیرد زاویه هدایت درهر شاخه تا سقف ۳۶۰ درجه افزایش پیدا می کند، لذا هارمونیک های ایجاد شـده دراین حالت از حالت قبلی کمتر می شـود اما بدلیل

ایجاد جریان گرد شی دربین دو شاخه ،تلفات بیشتر می شود. شکل (۳) موجود در صفحه بعد، به ترتیب حالت اول و حالت دوم را نشان داده است.

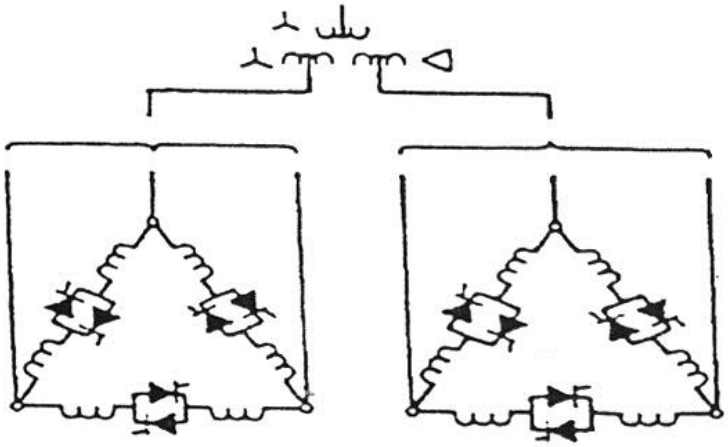




شکل(۳)

درحالت سه فاز، آرایش مثلث سه (TCR) تک فاز سبب می شود که وقتی سیستم درحالت متقارن است، کلیه هارمونیک های جریان که مضرب سه دارند در داخل مثلث دوران نمایند، لذا درشدت جریان خط حضور ندارند ولی تمام دیگر هارمونهای فرد با همان نسبتی که درجدول (۱) آمده در شدت جریان حضور دارند.

برای حذف هارمونهای پنجم و هفتم نیز ثانویه ترانسفور ماتور را می توان به دوجزء یکی بصورت مثلث ودیگری بصورت ستاره تقسیم نمود و طوری موازی درکنار هم قرار داده شوند، که اختلاف فاز ۳۰ درجه بین ولتاژهای شدت جریانها در (TCR) که ناشی از این نوع آرایش مختلف است باعث حذف هارمونیک های مذکور شود. لذا کوچکترین هارمونیهای موجود در این نوع ترکیب هارمونیک یازدهم وسیزدهم هستند که بوسیله فیلتر کردن می توان آنها را حذف نمود. این نوع اتصال هم درشکل (۴) نشان داده شده است.



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

شکل (۴)

همانطوریکه در مورد TCR ها گفته شـــد جابجایی فاز ۳۰ درجه‌ای نیمی ازمبدلهای ۶ پالســـی در یک مجموعه می تواند مزایای یک مبدل ۱۲ پالسی را که در آن هارمونیک های پنجم و هفتم شـدیداً کاهش می یابد ، بوجود آورد در هر صورت در این روش کنترل هارمونیک همیشه با محدودیت و موانع ومعیابی درگیر هستیم که باید جوانب کار را بخوبی سنجید.

۴-۱-۲- فیلتر کردن :

فیلترهای موازی می توانند توســط اتصــال کوتاه جریان هار مونیکی تا حد امکان اعوجاج را کاهش دهند این روش معمولی ترین نوع فیلترسـازی عملی بوده و بدلیل مسـائل اقتصـادی و نیز تمایل به بهبود ولتاژ اعمالی به بار برای حذف هارمونیک های جریان مورد اســتفاده قرار می‌گیرند . یا اینکه فیلتر میتواند مدار ســری قابل تنظیمی باشــد که امپدانس بالایی را در برابر جریان هارمونیکی ایجاد کند البته این نوع فیلتر ها کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد وعلت آن هم اعوجاجی نمودن ولتاژ بار است یک نوع کاربرد عملی از این فیلترها قرار گرفتن آنها در مسیر نقطهٔ نوترال یک بانک خازنی با اتصال ستاره تا نقطه زمین می باشد با این عمل مسیر هارمونیک های مرتبه سوم سد شده ، در حالیکه مسیر خوبی را در برابر فرکانس قدرت از خودنشان می دهد نوع دیگر فیلتر ، فیلترهای فعال می باشند که با وارد کردن مولفه هارمونیکی جریان به یک بار غیر خطی عمل حذف هارمونیک ها را انجام می دهد ادامه ســعی شــود بطور جامعی فیلترهای ذکر شده و عملکرد انها بررسی شود در سیستمهای قدرت کنونی دو دسته اصلی فیلتر مورد استفاده قرار می گیرند .

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

۱)فیلترهای غیر فعال (پسیو)

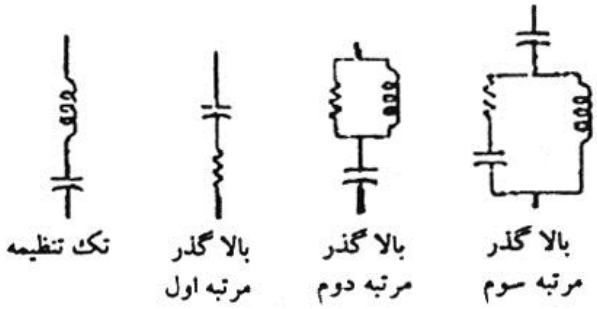
۲)فیلترهای فعال (اکتیو)

۴-۱-۲-۱- فیلترهای غیر فعال (پسیو):

فیلترهای نوع غیر فعال از مقاومت اندوکتانس و خازن ساخته می شوند این گونه فیلترها درمقایسه با دیگر وسایل حذف اعوجاج هارمونیک ارزانتر می باشند ولی در عرض تداخل معکوس آنها با بقیه سیستم میتواند سبب ایجاد مشکل گردد .

دونوع فیلتر غیر فعال مورد استفاده قرار می گیرند نوع اول جریان هارمونیکی را به سوی خود جذب و از خط وسیستم خارج می کند ونوع دوم با تنظیم کردن عناصرش بمنظور ایجاد تشدیددر یک فرکانس هارمونیکی مشخص ، از عبور جریان هارمونیکی به بخشهای دیگر جلوگیری می کند.

شکل(۵) چندین نوع از فیلترهای غیر فعال معمولی را نشان می دهد .

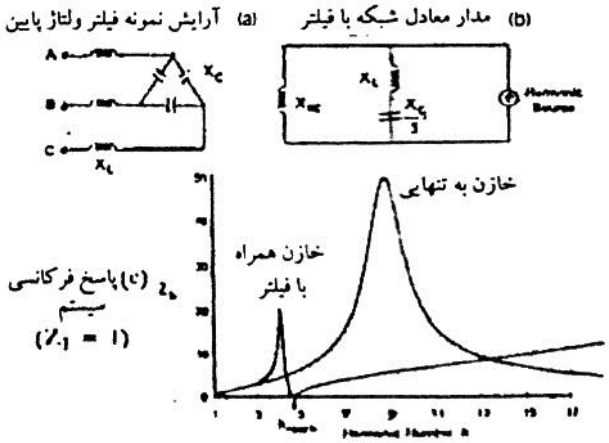


شکل۵- آرایش های معمولی برای فیلترهای غیرفعال

معمولی ترین نوع فیلتر غیر فعال ؛ فیلتر تک تنظیم برشی می باشد این نوع فیلتر اقتصادی ترین نوع فیلتر غیر فعال بوده و غالباً برای کاربرد موردنظر نیز کافی خواهد بود مثالی از طراحی یک فیلتر ۴۰۰ ولت در شکل ۶ به تصویر کشیده شده است فیلتر برشی یک فیلتر سری قابل تنظیم است که امپدانس کمی را در برابر یک هارمونیک خاص از خود نشان می دهد و بصورت موازی ، به شبکه قدرت متصل می

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

شـود بنابراین ، جریانهای هارمونیکی از مسـیر عادی خود در خطوط به سـمت فیلتر منحرف می گردند . فیلترهای برشـی علاوه بر حذف هارمونیک هامی توانند جهت تصـحیح ضـریب قدرت نیز بکار می روند شکل ۶ یک بانک خازنی مثلث که باا ستفاده از یک اندوکتانس سی شده با آن به یک فیلتر تبدیل شده است نشان می دهد.



شکل۶- ساختن یک فیلتر برشی برای حذف هارمونیک پنجم و تأثیر آن روی پاسخ سیستم

در این حالت ، هارمونیک حذف شده h_{notch} توسط رابطۀزیر به راکتانس فرکانس اصلی مرتبط می گردد :

$$h_{notch} = \sqrt{\frac{X_c}{3Xf}} \qquad (۱)$$

توجه کنید X_c راکتانس یک شاخه از اتصال مثلث ا ست و نباید آن را باراکتانس خازنی معادل خط بزمین یا فازی که در حالت ستاره ا ست ا شتباه گرفت . اگر از Xc فازی بخواهیم ا ستفاده کنیم نیازی به نو شتن عدد ۳ در مخرج نیست.

یکی از مهمترین اثرات جانبی اضـافه کردن یک فیلتر این اسـت که نقطه تشـدید موازی تیزی در یک فرکانس که در زیر فرکانس حذف شده قرار گرفته، ایجاد می کند واین مطلب در شکل (۶) قابل مشاهده است.این فرکانس باید به دور از هر فرکانس هارمونیکی مهم درسیستم باشد. فیلتر ها معمولا کمی پایین تر از هارمونیکی که قرار است فیلتر نمایند، تنظیم می شوند تا درصورت تغییر پارامترهای سیستم حاشیه امنیتی را ایجاد نمایند.

اگر فیلتر دقیقاً درفرکانس هارمونیکی تنظیم گردد، تغییر خازن ویا اندوکتانس سیستم ناشی از حرارت یا خرابی ، فرکانس تشدید موازی را به مقدار هارمونیک بالاتر جابجا می کند و دراین حالت شرایطی فراهم می آید که بدتر از ندا شتن فیلتر ا ست ،زیرا دراین حالت شرایط تشدید بسیاز تیزی پدید می آید. بنا به عللی که اشـاره شـد فیلتر ها باید ابتدا برای کمترین هارمونیکی که درسـیسـتم ایجاد می شـود. تنظیم گردند. مثلاً نصب فیلتر هارمونیک هفتم ، معمولاً نیاز فیلتر هارمونیک پنجم نیز دارد.

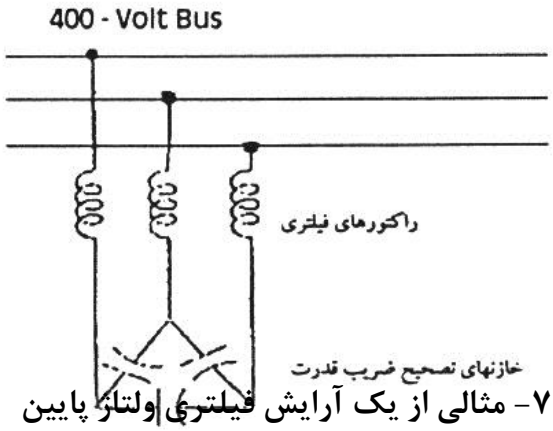
طریقه اتصال فیلتر درقسمت (a) شکل ۶ بدلیل نوع اتصال مثلث، اجازه جذب جریان توالی صفر را نخواهد داد. لذا برای فیلتر کردن هارمونیک های مرتبه سـوم غیر موثر اسـت. بهرحال راه حل های دیگری را نیز باید بکار برد تا جریانهای هارمونیک مرتبه سوم (توالی صفر) را کنترل نمود زیرا در سیستم ۳۸۰ ولت عموماً خازن ها بصورت مثلث می بندند. درعوض درسیستم های توزیع خازنها بصورت اتصال ستاره متصل میگردند. در این حالت می توان با تغییر اتصال نوترال مسیری را برای هارمونیک های توالی صفر(مرتبه سـوم) ایجادنمود. راه عملی برای فیلتر کردن هارمونیک های توالی صـفر، قرار دادن راکتور درنقطه نوترال خازن اسـت. از این روش برای حذف تداخلات تلفنی نیز اسـتفاده می شـود . بصـورتی که راکتورهایی با چندین تپ خروجی، درنقطه نوترال اتصال می یابند ونهایتاً از تپی استفاده می شود که تداخلات تلفنی را حداقل نماید. فیلتر های غیر فعال همواره روی شینه هایی قرار می گیرند که انتظار می رود Xsc آنها ثابت بماند.

باید این نکته رادر نظر داشـت درحالیکه فرکانس هارمونیکی حذف شـده ثابت اسـت، تشـدید موازی با امپدانس سیستم تغییر خواهد کرد. مثلاً فرکانس تشدید یک سیستم که از طریق یک ژنراتور اضطراری تغذیه می شود بسیار کمتر ازحالتی است که همان سیستم به شبکه متصل شود. بنابراین، فیلتر ها رامی 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

۴-۱-۲-۲- طراحی فیلتر های هارمونیکی غیرفعال:

یک فیلتر برشی تنظیم ۴۰۰ ولت درشکل (۷) نشان داده شده است. فیلتر برای هارمونیک پنجم طراحی شده وحتما باید کمی پایین تر از فرکانس هارمونیکی مورد نظر تنظیم شود.



شکل ۷- مثالی از یک آرایش فیلتری ولتاژ پایین

این روش تلرانس اندازه عناصر فیلتر را تاحدودی خنثی نموده وهمچنین از عمل کردن فیلتر در فرکانس هارمونیک موردنظر بصورت اتصال کوتاه مستقیم جلوگیری می کند. روش عمومی کاربرد فیلتر بصورت زیراست:

۱- اعمال یک فیلتر موازی تک تنظیمه وطراحی آن برای پایین ترین هارمونیک تولید شده

۲- تعیین سطح اعوجاج ولتاژ درشینه ولتاژ پایین

۳- تغییر عناصر فیلتر با درنظر گرفتن خطاها وبازبینی تاثیر فیلتر

۴- بررسی مشخصه پاسخ فرکانسی سیستم بمنظور تایید این نکته که تشدید موازی ایجاد شده در نزدیکی فرکانس هارمونیکی نباشد.

۵- در صورت لزوم، نیاز به چندین فیلتر بررسی شود. مانند فیلتر های مورد نیاز برای هارمونیک های مرتبه پنجم وهفتم ونیز سوم ،پنجم وهفتم .

جدول (۲) نتایج طراحی فیلتر را نشان می دهد و روش استفاده درطراحی بصورت زیر آمده است:

ابتدا جریان فرکانس مولفه اصلی بانک خازنی بصورت زیر بدست می آید:

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

$$I_{cap} = \frac{KVAR}{\sqrt{3}KV_{LL}} = \frac{500}{\sqrt{3}\times 0.4} = 721.69(A)$$

امپدانس تکفاز معادل بانک خازنی می شود:

$$X_c = \frac{(KV_{LL})^2}{MVAR} = \frac{(0.4)^2}{0.5} = 0.32(\Omega)$$

جدول ۲- طراحی فیلتر

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

$$X_L = \frac{X_C}{h^2} = \frac{0.32}{(4.7)^2} = 0.01449(\Omega)$$

اضافه کردن راکتور در فیلتر، جریان مولفه اصلی را بمقدار زیر تغییر می دهد:

$$I_{FL} = \frac{V\phi}{X_C + X_L} = \frac{400}{\sqrt{3}(-0.32 + 0.01449)} = 756.14(A) \qquad (۲)$$

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 که با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$KVar = \sqrt{3}\times V_{ll}\times I_{FL} = \sqrt{3}\times 400\times 756.14 = 524 \quad K\,\text{var} \qquad (۳)$$

مقادیر نامی خازن راباید با محدودیت های استاندارد که درانتهای جدول(۲) آمده است مقایسه نمود. مشخصه راکتیو فیلتر باید مقادیر جریان مولفه های اصلی وهارمونیک را شامل شود. جریان هارمونیکی را باید باسطح فرضی قابل قبولی از اعوجاج ناشی ازمنابع دیگر تعیین نمود. دراینجا،فرض می شود که اعوجاج ولتاژ ۱ 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:

$$Q = \frac{h.X_L}{R} \qquad (۴)$$

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

محاسبات مربوط به فیلتر ولتاژ پایین			
اطلاعات مربوط به شبکه			
فرکانس سیستم:	۵۰ هرتز	مشخصات فیلتر:	هارمونیک پنجم
ولتاژ نامی خازن:	۴۰۰ ولت	توان نامی بانک خازنیک:	۵۰۰ کیلووار
فرکانس نامی خازن:	۵۰ هرتز	جریان نامی بانک خازنی:	۷۲۱/۷ آمپر
توان تغییر یافته بانک خازنی:	۵۰۰ کیلووار	ولتاژ نامی شینه:	۴۰۰ ولت
کل بار هارمونیکی:	۵۰۰ کیلو ولت آمپر	جریان خازن (واقعی):	۷۲۱/۷ آمپر
فرکانس تنظیم فیلتر:	۲۳۵ هرتز	هارمونیک تنظیم فیلتر:	هارمونیک ۴/۷
مقدار خازن (معادل ستاره):	۹۹۴۷/۲ میکروفاراد	امپدانس خازن (معادل ستاره):	۰/۳۲ اهم
مقدار نامی راکتور:	۴۶/۱۲ میکروهانری	امپدانس راکتور:	۰/۰۱۴۴۹ اهم
مقدار جبران سازی:	۵۲۴ کیلووار	جریان بار کامل فیلتر (واقعی):	۷۵۶/۱۴ آمپر
حداکثر جریان هارمونیکی بار:	۱۸۰/۴ آمپر	جریان هارمونیکی بار:	۳۰ درصد مؤلفه اصلی
حداکثر جریان هارمونیکی کل:	۲۲۸/۱	جریان هارمونیکی شرکت برق:	۴۷/۷ آمپر
محاسبات مربوط به خازن			
ولتاژ مؤلفه اصلی خازن	۴۱۹ ولت	جریان موثر فیلتر	۷۵۶/۱۴ آمپر
حداکثر پیک ولتاژ	۴۴۸ ولت	هارمونیک ولتاژ خازن	۳۶/۴ ولت
حداکثر پیک جریان	۱۰۳۰ آمپر	ولتاژ موثر خازن	۴۲۰ ولت
حدود خازن			
	(٪) حد مجاز	(٪) واقعی	
پیک ولتاژ	۱۲۰	۱۱۲	
جریان	۱۳۰	۱۱۱	
توان نامی	۱۳۵	۱۱۷	
ولتاژ موثر	۱۱۰	۱۰۵	
مشخصات طراحی راکتور و فیلتر			
مقدار نامی راکتور:	۴۶/۱۲ میکروهانری	امپدانس راکتور	۰/۰۱۴۴۹ اهم
جریان هارمونیکی:	۲۲۸/۱ آمپر	جریان نامی مؤلفه اصلی	۷۵۶/۱۴ آمپر

که در آن:

R: مقاومت سری در فیلتر

h : مرتبه هارمونیک

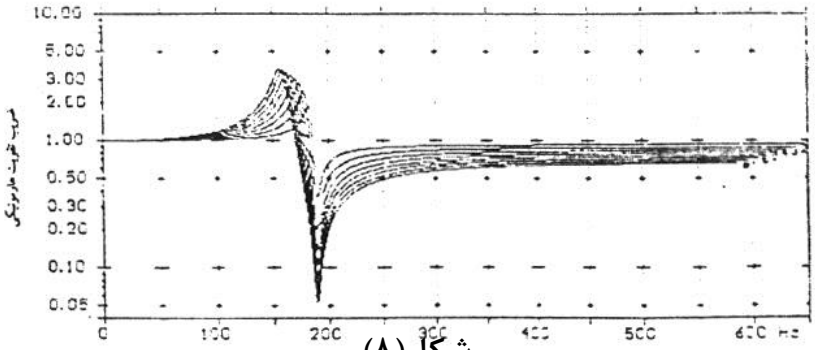
X_L: راکتاس راکتور فیلتر درفرکانس اصلی می باشد.

معمولا مقدار R همان مقاومت راکتور ا ست. دراین حالت مقدار کیفیت بسیار بزرگ می با شد وعمل فیلتر کردن برای باند باریکی از فرکانس انجام می گیرد.در عملکردفیلتر های تک تنظیمه این حالت بسیار رضایت بخش است و دراین حالت فیلتر بسیار اقتصادی خواهد بود(تلفات انرژی پایین).

به هرحال گاهی اوقات لازم است که مقداری تلفات بصورت عمدی وارد سیستم شود تا به میراشدن پاسخ سیستم کمک کند. یک مقاومت معمولا بصورت موازی با راکتور بسته می شود ودر این شرایط فیلتر بالا گذر بوجود می آید. در این حالت ضریب کیفیت بصورت عکس معادله (۴) تعریف می شود. ولی درهر حال ضریب کیفیت های بزرگ،باریک بودن باند فرکانس رانشان خواهد داد. از فیلترهای بالا گذر، معمولا برای حذف هارمونیک های یازدهم وسیزدهم به بالا استفاده می شود.

معمولا استفاده ازاین فیلتر ها درهارمونیک های پنجم وهفتم بدلیل مقدار تلفات واندازه مقاومت اقتصادی نخواهد بود. راکتورهای مورد استفاده در فیلترهای بزرگ معمولا با هسته هوایی ساخته می شوند ودرچنین حالتی مشخصه آن دربرابر جریان فرکانس خطی خواهد بود ولی راکتورهای مورد استفاده درفیلترهای کوچک ویا فیلترهایی که دریک فضای محدود وکوچک باید ا ستفاده شوند باید ازنوع هسته فولادی ساخته شوند. خطای ± 5 در صد درراکتانس دراکتورهای مورد ا ستفاده درکاربرد های صنعتی معمولا قابل قبول می با شد و نسبت $\frac{X}{R}$ نیزبین ۵۰ تا ۱۵۰ ا ست. در صورت نیاز به میرایی بیشتر می توان ازیک مقاومت سری با فیلتر استفاده نمود. راکتور باید به نحوی طراحی شود تا اتصال کوتاه بین

خازن وراکتور را بتواند تحمل کند. مقدار ضـــریب کیفیت درحالت بالا گذر معمولا بین ۱ تا۲ انتخاب می گردد، تا فیلتر پاسخ تختی را دربالای فرکانس تنظیم شده ارائه دهد. فیلترهای مورد استفاده درکاربردهای سه فاز قدرت بالا،مانند سیستمهای کنترل توان راکتیو ا ستاتیک هارمونیک های تولید شده تو سط پل های ۶ پالسی خواهند بود. گاهی اوقات این حالت باعث می شود که سیستم هارمونیک مرتبه سوم نزدیک شـرایط تشـدید قرار بگیرد که درنتیجه به فیلترها هارمونیک سـوم نیاز می باشـد. در شـکل (۸) ضـریب تقویت هارمونیک دریک بانک خازنی مجهز به فیلتر بازای ظرفیت های گوناگون نشـان داده شـده اسـت. دراینجا به ازای هر پله خازنی، فیلتر مخصوص آن طراحی و در مدار قرار می گیرد.



شکل(۸)

با توجه به مطالب ارائه شـــده درمورد فیلتر های غیر فعال وکاربرد آنها در صـــنعت باید به معایبی در آنها اشاره نمود که مهمترین آنها عبارتند از:

۱- امپدانس منبع بروی خصوصیات جبران سازی فیلترهای LC موثر است

۲- تشدید موازی بین منبع وفیلتر پسیو درفرکانسهای خا صی موجب تقویت هارمونیک های جریان در طرف منبع می شود.

۳- تغییر فرکانس منبع ac برروی خصوصیات فیلتر LC تاثیر می گذارد. درنتیجه مقادیر المانهای فیلتر با تغییر فرکانس منبع ، بی استفاده خواهدشد.

۴- موقعیکه هارمونیک های بار زیاد شود ،فیلتر اضافه بار بوجود خواهد آمد.

۵- تشدید سری بین منبع وفیلتر پسیو درفرکانسهای خاص ، ایجاد اعوجاج در ولتاژ می کند که آن هم موجب افزایش هارمونیک های جریان عبوری از فیلتر پسیو خواهد شد.

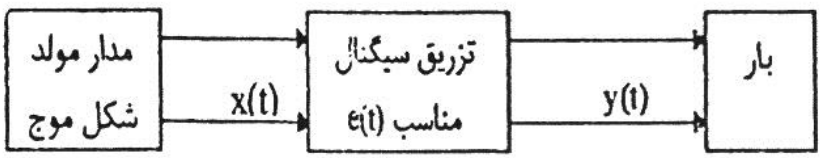
این مسائل طراحی اینگونه فیلتر ها را مشکل می سازد،لذا باعث شده استفاده از فیلترهای اکتیوکه درقسمت بعد مطرح می شود روز به روز افزایش یابد.

۴-۱-۲-۳- فیلترهای فعال(اکتیو):

فیلترهای فعال تجهیزات نسبتاً جدیدی برای حذف هارمونیک ها می باشند. عملکرد آنها براساس رفتار مدارات الکترونیک قدرت پیچیده بوده ودرنتیجه هزینه بسیار زیادتری نسبت به فیلترهای غیرفعال دارند ولی بهرحال این دسته فیلتر ها دارای مزایای متمایزی بوده ومعایب فیلترهای غیر فعال راکه درقسمت قبل اشاره کوچکی به آنها شد، ندارند.

باید پیشرفت تکنولوژی ساخت عناصر نظیرGTO,IGBT,MOSFET واستفاده آنها در فیلتر های اکتیو را ازدلایل مهم کاربرد بیشتر و رو به گسترش آنها برای حذف هارمونیک های ولتاژ وجریان دانست. ساختارها وتکنیکهای بسیار متنوعی از فیلتر اکتیو مطرح شده ومشخصات جبران کنندگی آنها درحالتهای پایدار عملا نشان داده شده است. این تکنیک های فیلتر اکتیوشامل استفاده از اینورترهای منبع ولتاژ(VSI) ویا اینوترهای منبع جریان (CSI) هستند. فیلتر اکتیو قدرت مانند یک منبع ایده آل عمل کرده وجریانهای (ولتاژهای) جبران کننده را درخطوط acیا dc تزریق می کندتا جریان ولتاژ هارمونیکی بار یا خطوط شبکه را عاری از اعوجاج نمایند.

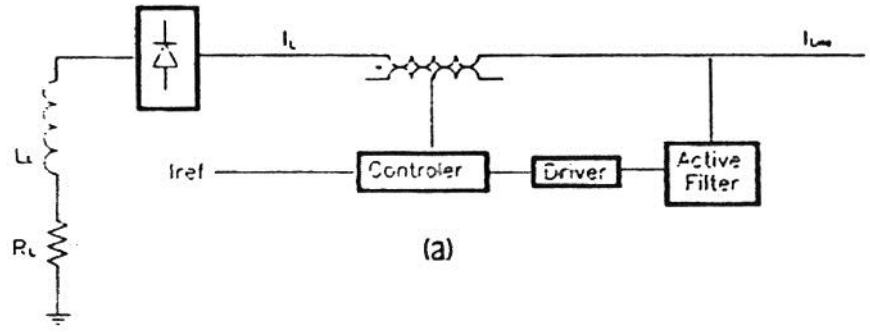
شکل (۹) بلوک دیاگرام ، کلی یک فیلتر اکتیو برای خذف هارمونیک های جریان خط وولتاژ بار را نشان می دهد.باتوجه به شکل زیر x (t) سیگنال جریان ویا ولتاژ تکفاز بعلاوه مولفه های هارمونیکی می با شدو y (t) سیگنال جریان یا ولتاژسینوسی تکفاز عاری از مولفه های هارمونیکی واغتشاش می باشد.

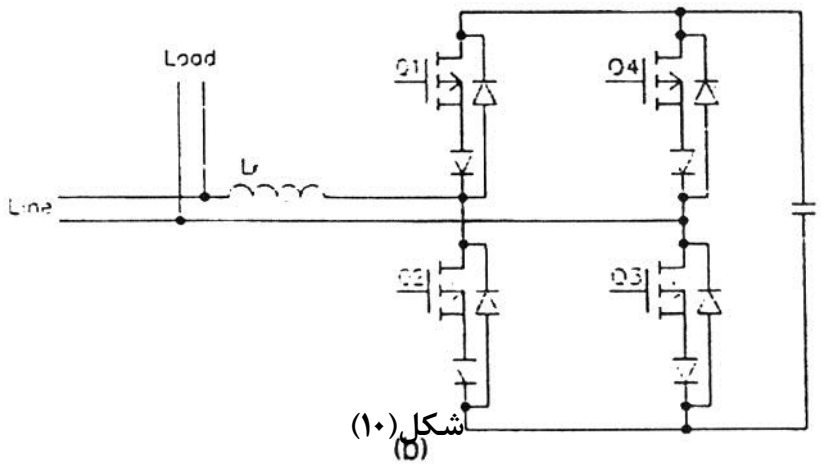


برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۹- بلوک دیاگرام حذف اعوجاج از هرگونه شکل موج

E(t) با توجه به نوع الگوریتم تابعی از مولفه های هارمونیکی ومولفه اصـــلی اســـت که درحالت ایده آل سیگنال آن معکوس مجموع سیگنالهای هارمونیکی واغتشاش ها می با شد.باید توجه دا شت که تصحیح سیگنال ولتاژ بار یا تصحیح سیگنال جریان شبکه یکسان است وتفاوت این دوموضوع فقط درنحوه تزریق ســیگنال خطا ونمونه برداری ازســیگنال بار یا شــبکه می باشــد. بطور کلی فیلترهای اکتیو را می توان به دونوع ac,dc تقســیم بندی کرد .فیلترهای اکتیو dc بمنظور جبران ســازی جریانها وولتاژهای هارمونیکی درطرف dc مبدلهای تریستوری سیتمهای hvdc بکار می روند.ولی امروزه عبارت فیلتر اکتیو بمعنای فیلتر اکتیو ac بکار می رود.





شکل(۱۰)

همانطور که گفته شــد فیلترهای اکتیو ازنظر شــکل ظاهری مدار تامین کننده توان وهمچنین اســتراتژی کنترل به د سته های مختلفی تقسیم می شوند.بطور مثال درقسمت (a) شکل (۱۰) سیستم شامل یک یکســوســازی برای تغذیه یک بار RL جریان ثابت ویک فیلتر اکتیو موازی می باشــد. مدارکنترل کننده

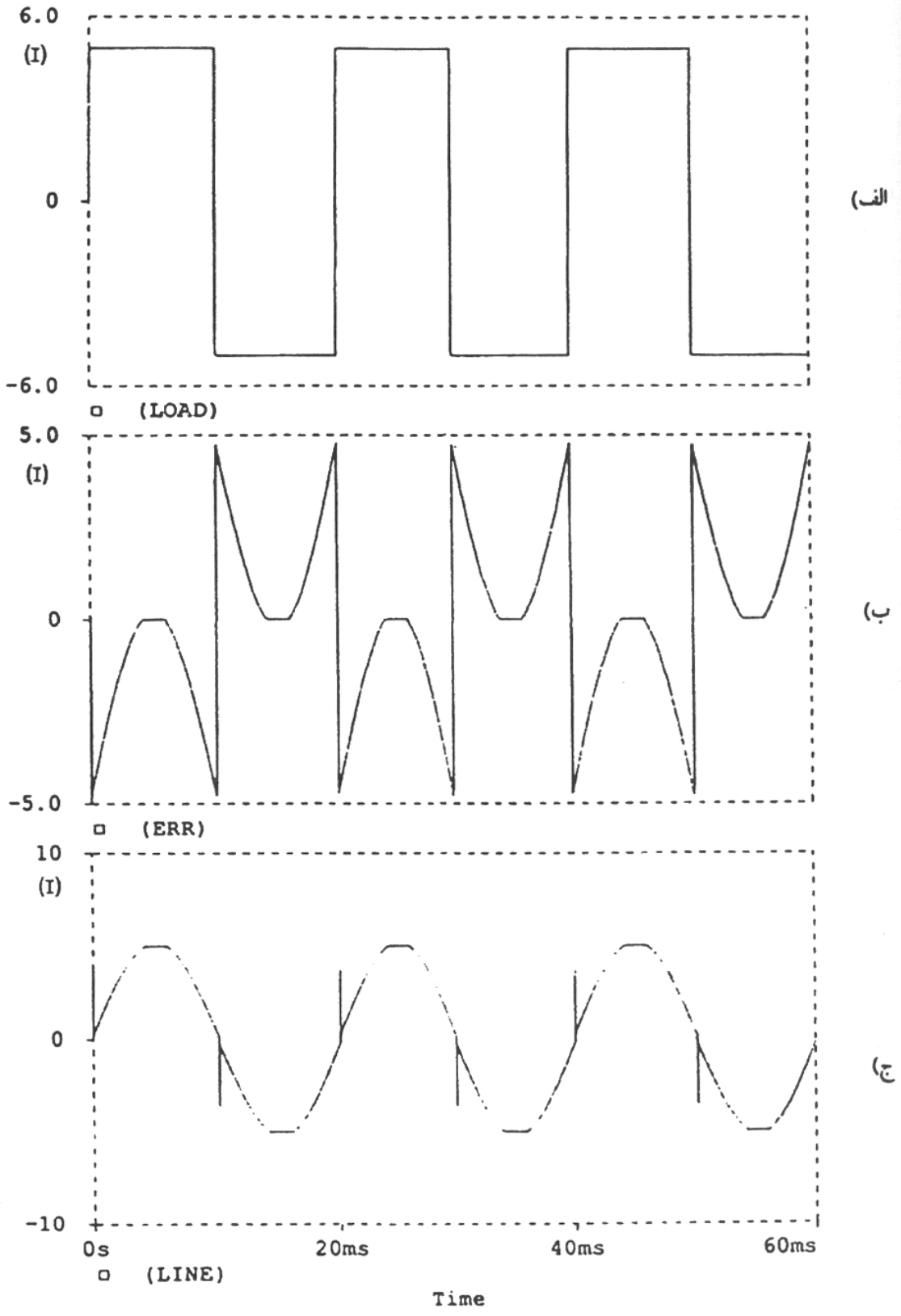
موجود درفیلتر اکتیو پس ازمقایســـه جریان بار با جریان مرجع ،فرمانهای مناســـبی برای کنترل جریان خروجی فیلتر به درایورهای فیلتر اکتیو می دهد.قسمت(b) شکل (۱۰) هم مدار فیلتر اکتیو مورد استفاده نشان داده شده است.

شاید با ا ستفاده از شکلهای صفحات بعد که نتایج شبیه سازی وکار عملی برای حذف هارمونیک های جریان با رتوسط یک فیلتر اکتیو نشان داده بهتر بتوان به عملکرد واساس کار این نوع فیلترها پی برد.

شکل (۱۱) نتایج شبیه سازی سیستم ارائه شده را برای جبران سازی هارمونیک موجود درجریان بارنشان می دهد. درحالت شبیه سازی، عنا صر ایده آل وبدون تلفات که محدودیت خا صی را در برندارند، شکل تقریبا سینو سی را به ما ارائه می دهد. این شکل جریان بارو جریان تزریقی به شبکه تو سط فیلتر اکتیو وهمچنین جریان خطی پس از جبران سازی را نشان می دهد.شکل (۱۲) نیز تبدیل فوریه دیاگرام شکل (۱۱) را نشان می دهدوبادقت درقسمتهای (الف) و(ج)شکل (۱۲) کاملا مشخص است که THD جریان بار چگونه کاهش چشمگیری داشته است.

وجود محدودیت های عملی وتاخیرهای موجود در ترانســـفور ماتورهای جریان و بقیه اجزاء مدار باعث می شود که شکل جریان خط همانطوریکه درشکل (۱۳) نشان داده شده است، کمی دورتر از سینوسی باشد. البته عوامل دیگری نیز در عدم ثبت مناســـب جریان خروجی دخالت دارند که می توان به دقت وســـایل اندازه گیر ونمایشگرهای مربوطه هم ا شاره نمود. تاثیر عوامل فوق درمقایسه شکلهای (۱۱) و(۱۲) کاملا مشخص می باشد.

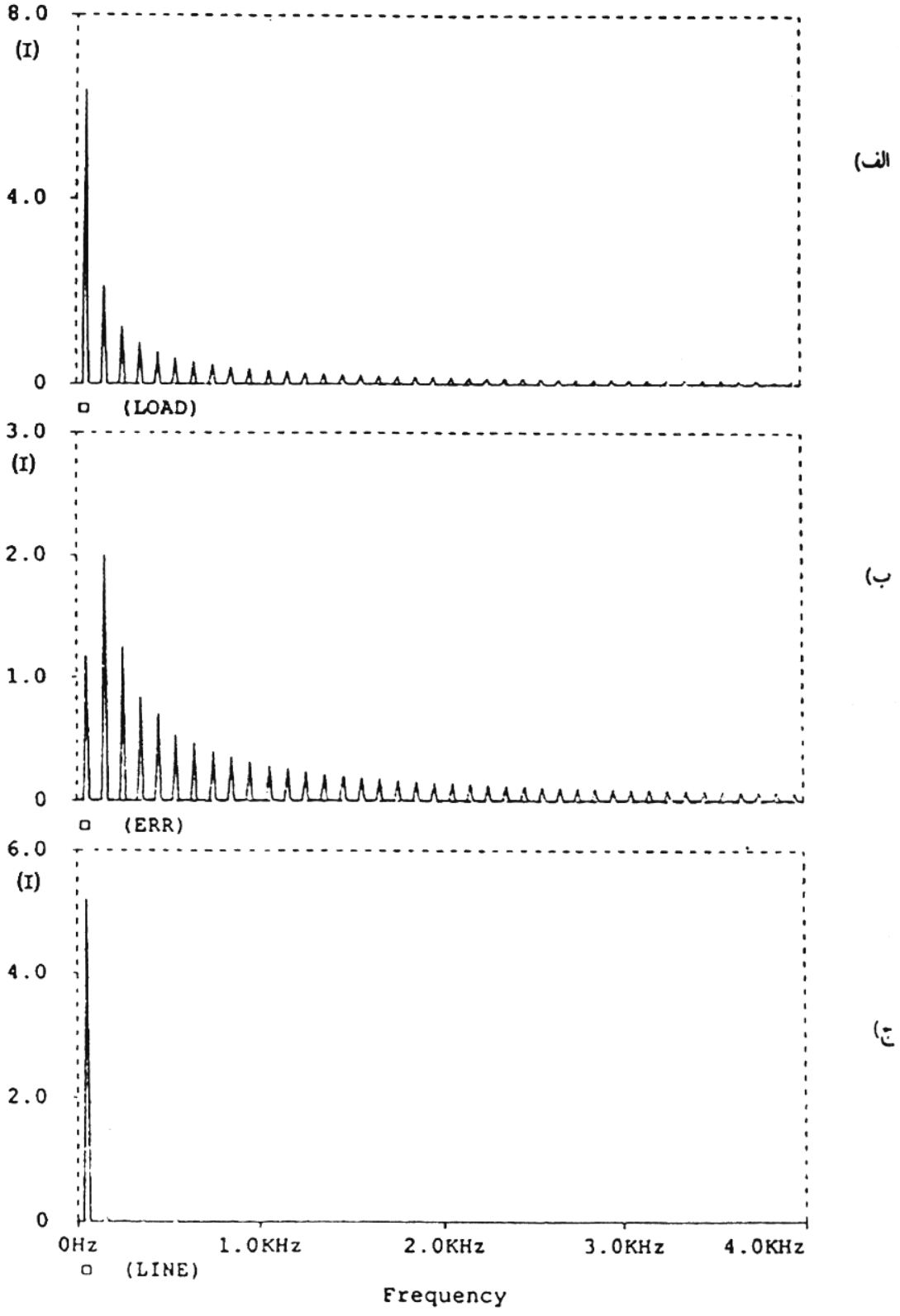
برای دریافت
لازمه



شکل۱۱- نتایج شبیه سازی

الف) جریان بار ب) جریان جبران ساز ج) جریان خط پس از جبران سازی (آمپر)

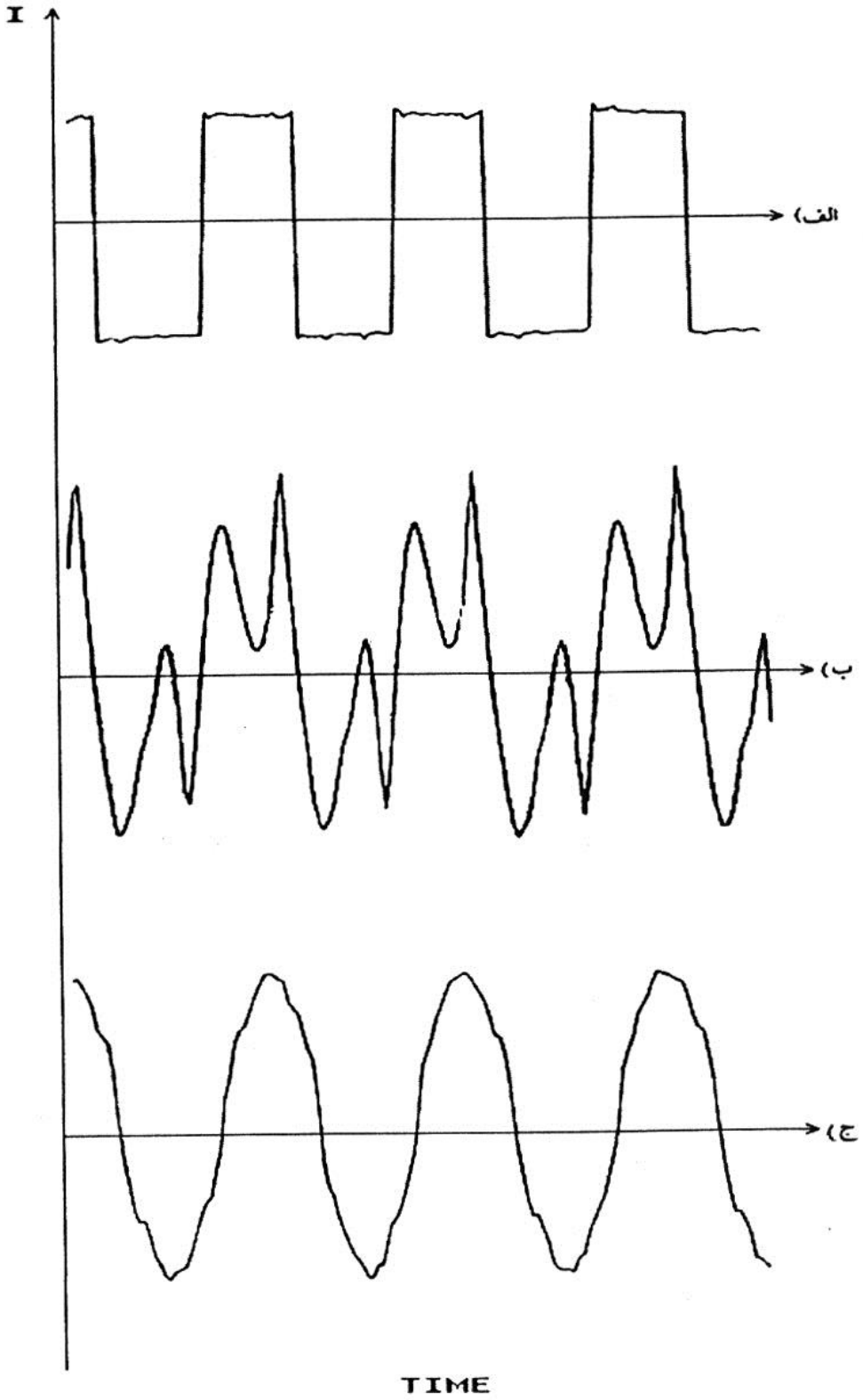
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



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

شکل ۱۲- تبدیل فوریه شکل ۱۱

الف) جریان بار ب) جریان جبران ساز ج) جریان خط پس از جبران سازی (آمپر)

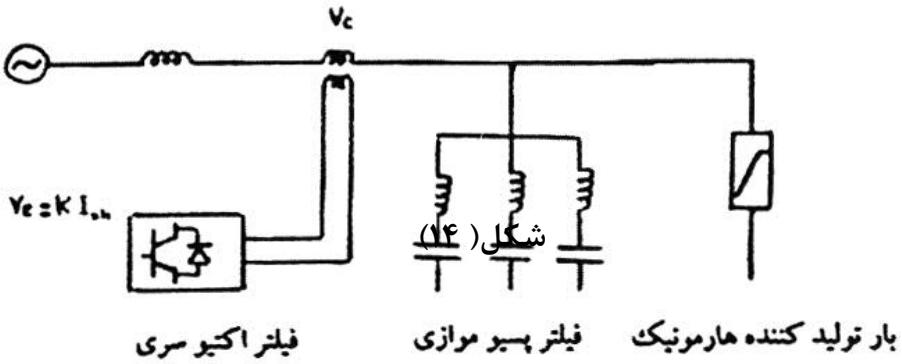


برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل۱۳- نتایج تجربی جبران سازی هارمونیک های جریان بار

الف) جریان بار ب) جریان جبران ساز ج) جریان خط پس از جبران سازی (آمپر)

برای بهبود کیفیت فیلتر اکتیو وحذف هارمونیک های کلید زنی، بهتر اســـت درخروجی فیلتر اکتیو یک فیلتر پسیو برای حذف این هارمونیک ها نصب شود. فرکانس تشدید تنظیمی برای این فیلتر بایدکمتر از فرکانس کلید زنی باشـد ودر ضـمن فرکانس تشـدید این فیلتر هم باید بزرگتر از فرکانسـهای هارمونیکی بـــاشـــدکـــه تـــوســـط فـــیـــلـــتـــر اکـــتـــیـــو حـــذف می گردد.



شکل(۱۴)

دربعضی موارد می توان یک سیستم ترکیبی شامل فیلتر پسیو اکتیو که بصورت سری بهم متصل شده اند را بکار برد. به شکل(۱۴)توجه کنید. دراین حالت، فیلتر پسیو هارمونیک های جریان تولید شده توسط بار را حذف می کند ودر عین حال فیلتر اکتیوم شخ صه فیلتر پ سیو را بهبود می بخ شد و بعنوان یک ایزوله کننده بین منبع وبار عمل می کند. فیلتر اکتیو سری که رابطه ولتاژ آن بصورت زیر است:

$V_C=KI_{sh}$

همانندیک امپدانس سری با امپدانس منبع قرارمی گیرد .در اینجا Kبعنوان یک مقاومت برای میر ا کرد ن تشدید موازی بین امپدانس سیستم وامپدانس فیلتر عمل میکند . فیلتر اکتیو باعث می شود که جریانهای هارمونیکی از منبع به فیلتر پسیو و از بار به منبع نداشته باشیم.

عیوب موجود دراین روش اول نیاز به یک منبع تغذیه خارجی اســـت چون جریان اصـــلی بار که از فیلتر اکتیو می گذرد با شـــرایط بار تغییر می کند ودوم اینکه حفاظت فیلتر اکتیو دربرابر عیوب اتصـــال کوتاه مشکل است .

همانطور که دیده شد ا صول کار فیلتر هارمونیکی دریک مدار اکتیو جذب هارمونیک ها نی ست بلکه باید به میزان لازم هارمونیک تزریق نماید. بو سیله فیلتر ابتدا مقدار جریان لحظه ای بار اندازه گیری می شود سپس بخش کنترلی مدار با تحلیل فوریه دامنه ها وتعداد هارمونیک ها را بد ست می آورد . سپس همان میزان جریان ولی با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز به مدار تزریق می کند وهمین امرباعث می شـــود که جریان حاصله کاملا سینوسی وبدون هارمونیک گردد.

فیلتر های اکتیو درمکان هایی که فیلترهای پسیو (غیر فعال) بصورت موفق عمل نمی کنند وامکان بروز ت شدید موازی ب سیار بالا ا ست براحتی کار می کنند. این فیلتر ها می توانند بیش از یک هارمونیک رانیز کنترل نمایند. فیلتر های اکتیو را می توان بصـــورت خاص برای بارهای بزرگ واعوجاج ســـاز که در یک نقطه نســبتاً ضــعیف در ســیســتم قدرت متصــل می شــوند بکار برد . یکی از مزایای مهم فیلتر هیا اکتیو انعطاف پذیری آنهاســت که بســته به میزان هارمونیک ها، جریان تزریقی آنها کم وزیاد می شــودحتی در زمان اضـــافه بار فیلتر خاموش نمی شـــود بلکه حداکثر دامنه جریان را به مدار تزریق می کند که بخش عظیمی از هارمونیک ها را جبران می کند.

گ سترش سی ستم حتی در صورت نیاز بوجود چند فیلتر امکان پذیرا ست وبا تغییر شرایط شبکه فیلتر درمحدوده مقادیر نامی خود و با شرایط جدید وفق داده می شود.

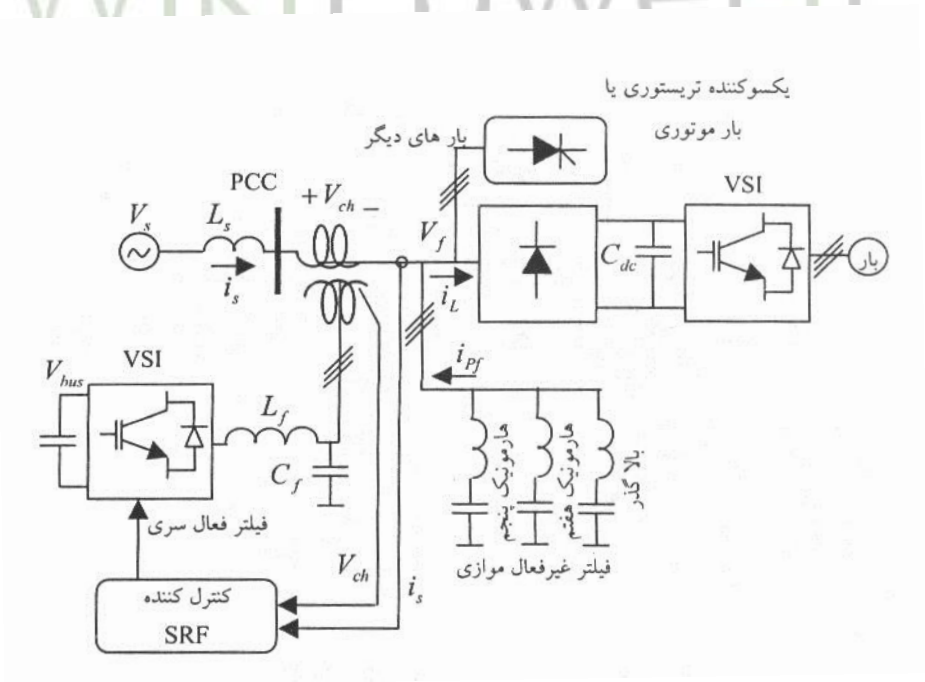
۴-۲- فیلترهای فعال هایبرید:

در ترکیب های هایبرید،از فیلتر های غیر فعال و فعال در کنار یکدیگر استفاده می شود. این ترکیب باعث می شود که هر یک از این فیلترها نار سایی های دیگری را بپو شاند. به این ترتیب، م شخ صه هارمونیکی فیلتر غیرفعال بهبود یافته و توان نامی مورد نیاز برای فیلتر فعال نیز کاهش خواهد یافت. فیلتر های هایبرید را می توان در پ ست های توزیع برای حذف برخی از هارمونیک های م شخص و نام شخص باردر برخی ازفیدرهای خاص به کاربرد. در این جا دو نوع از این فیلتر های هایبرید مورد بررســـی قرار خواهند گرفت.

۴-۲-۱- سیستم هایبرید سری :

بین فیلتر ها ی فعال هایبرید،فیلتر فعال سری هایبرید(شکل۱۵) از همه جالب تر می باشد.

WikiPower.ir



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

شکل۱۵- سیستم هایبرید فیلتر فعال سری و غیر فعال موازی.

زیرا توان نامی فیلتر فعال سری بسیار کم و در حد ۳ الی۵ درصد توان نامی بار است.فیلتر فعال نوعی ایزولاسیون بین منبع وبار ایجاد کرده و همه جریانهای هارمونیکی بار به سمت فیلتر غیر فعال هدایت می نماید.در بدترین شرایط، ولتاژ نامی فیلتر فعال برابر با جمع حسابی اعواج هارمونیکی ولتاژ منبع و ولتاژ فیلتر غیر فعال می باشد.البته این جداسازی هارمونیکی بار ومنبع،بستگی به الگوریتم فیلتر سازی دارد.تحقیقات انجام شده نشان داده است که فیلتر های فعال سری که با روش مختصات مرجع سنکرون (SRF) کنترل می شوند،می توانند در کلیه شرایط کاری بار ومنبع ایزولا سیون هارمونیکی را ایجاد نمایند.در این روش،جریان تغذیه اندازه گیری شده و فیلتر فعال به صورت یک منبع ولتاژ وابسته به این جریان عمل می کند.وبه این ترتیب جریان تغذیه را برای یک شکل موج سینوسی تنظیم می نماید.اندازه گیری جریان منبع بر خلاف اندازه گیری جریان بار باعث ایجاد یک روش کنترل مقاوم در امر ایزولاسیون هارمونیکی می گردد.

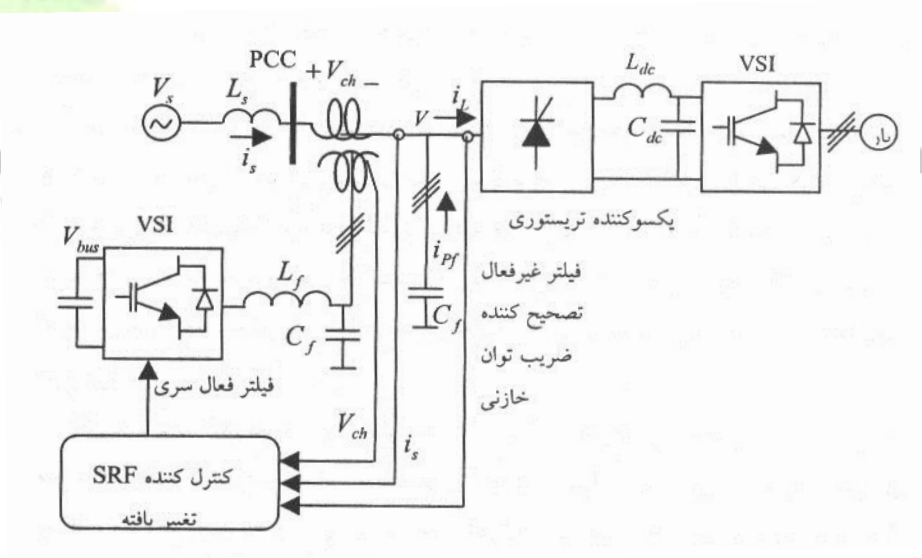
شایان ذکر ا ست قابلیت فیلتر فعال در ایجاد ایزولا سیون هارمونیکی،کارفیلتر غیرفعال را هم آ سانتر می نماید.یعنی این فیلتر را هم می توان دقیقاً بر روی فرکانس هارمونیک های غالب(مثلاً هارمونیک های پنجم و هفتم)تنظیم نمود وهم می توان آن را دقیقاً تنظیم نکرده وفقط از یک خازن تصحیح ضریب توان استفاده نمود،شکل(۱۶).بدین ترتیب،طراحی فیلتر به امپدانس منبع وابسته نبوده واضافه بارهای احتمالی فیلتر را که ناشی از ولتاژهای هارمونیکی منبع می باشد،از بین خواهد برد.

اگر توان نامی فیلتر فعال سری اندکی بیشتر گردد، این فیلتر قادر به تنظیم ولتاژ خط در حد محدودی خواهد بود و به این ترتیب برای تجهیزات اطراف خود،در برابرافت وخیز های ولتاژ واضافه ولتاژ های نا شی از کلید زنی خازن ها م صونیت ایجاد خواهد نمود.فیلتر فعال سری می تواند ضریب قدرت بار را نیز بهبود بخشد.از آنجا که فیلتر فعال سری از طریق یک ترانسفورمرسری کوپلاژ در خط

قرار می گیرد،بنابرین برای حفاظت آن در برابر شرایط اتصال کوتاه به کلیدها وتجهیزاتی از این قبیل احتیاج خواهد بود که باعث افزایش هزینه می گردد.

فیلترهای فعال هایبرید عموماً دارای هزینه های اضـــافی نظیر هزینه ترانســـفورمر کوپلاژ،هزینه فیلتر غیر فعال،هزینه نصـــب وتنظیم در محل،وهزینه های مهندســـی(طراحی و...)خواهند بود. با این وجود چون توان نامی فیلتر فعال بسیار کم است،هزینه کلی برای بارهای صنعتی بزرگ در گستره ۱ الی ۱۰ مگاوات قابل قبول می باشد.

کنترل کننده SRF در این نوع فیلترها،کل جریان های هارمونیکی بار را به ســـمت فیلتر غیرفعال ممکن است در حد غیر قابل قبولی بالا باشد،بخصوص اگر امپدانس فیلتر در فرکانس های هارمونیکی مقدار بزرگی داشته باشد.

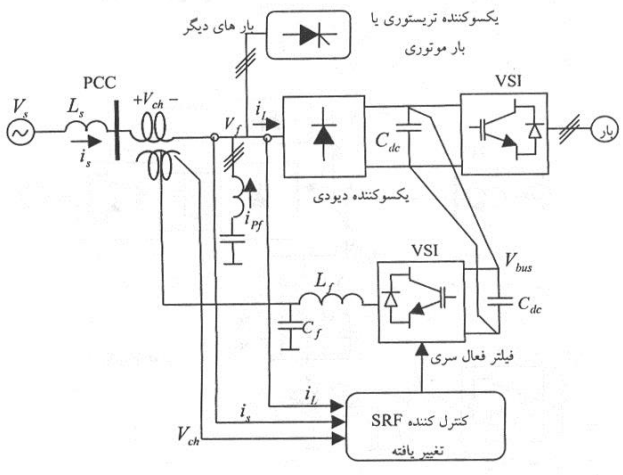


شکل۱۶- فیلتر فعال سری و فیلتر غیر فعالی که به صورت خازن تصحیح ضریب توان می باشد.

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

کنترل کننده هایی که با روش مخت صات مرجع سنکرون تغییر یافته(MSRF) عمل کنترل را انجام می دهند،فقط در صدی از جریان بار را به شبکه تزریق می کنند تا هارمونیک های موجود در محدوده تعیین شده تو سط ا ستاندارد قرار گیرند.این مو ضوع باعث می شود که THD ولتاژ در ترمینال فیلتر غیر فعال کاهش یابد.روش کنترل MSRF نه تنها اندازه و مقادیر نامی فیلتر غیر فعال ازیک خازن تصحیح ضریب توان هم اســـتفاده کرد و لذا لزومی به طراحی مجدد فیلترها برای کاهش THD نخواهد بود.با وجود این که فیلترهای فعال خود جالب،عملی و از نظراقتصـــادی هم با ارزش می باشـــند ولی این خواص جدید برجذابیت آنها می افزاید.

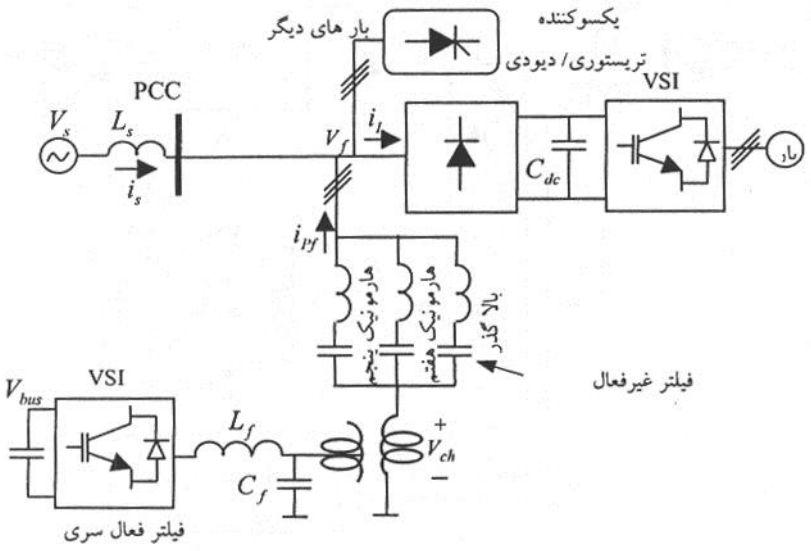
ترکیب عملی وکم هزینه فیلتر های هایبرید ســـری برای یک بار غیرخطی(مبدل شـــش پالســـه دیودی)درشکل(۱۷)نشان داده شده است.همانطور که در این شکل مشاهده می شود،فیلتر فعال در خازن باسDC با محرکه AC شـریک می باشـد.این موضـوع،به دلیل کاهش یک خازن در کل سـیسـتم باعث کاهش هزینه ها می گردد. در این ترکیب نیز مانند ترکیب های قبل برای کاهش مقادیر نامی فیلتر فعال به یک فیلتر غیر فعال احتیاج خواهد بود. استفاده از روش کنترل MSRF مانند گذشته به کاهش هزینه ها می گردد. در این ترکیب نیز مانند ترکیب های قبل برای کاهش مقادیر نامی فیلتر فعال به یک فیلتر غیرفعال احتیاج خواهد بود. اســتفاده از روش کنترل MSRF مانند گذشــته به کاهش مقادیر نامی فیلتر کمک کرده و با کاهش THD ولتاژ در ترمینال فیلتر غیرفعال، این امکان را فراهم می ســـازد تا از فیلتر غیرفعال تک شاخه (خازن تصحیح ضریب توان) استفاده شود.



شکل۱۷- فیلتر فعال سری هایبرید با فیلتر غیرفعال تنظیم شده برای هارمونیک پنجم با باس DC مشترک

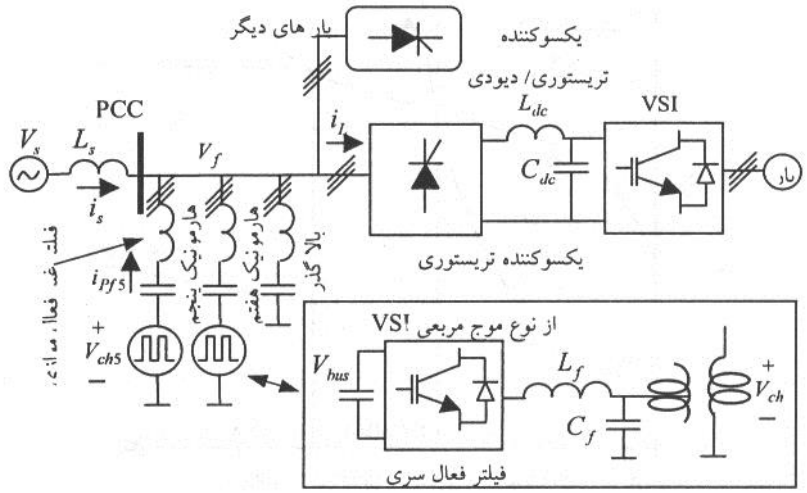
۴-۲-۲- سیستم هایبرید موازی:

دومین ساختار عملی برای سیستم های فعال هایبرید، فیلتر هایبرید موازی است که شامل یک فیلتر فعال با توان نامی کوچک (۲ الی ۵ درصد) می باشد که بصورت سری یا فیلتر غیرفعال قرار گرفته تا با هم بطور موازی به بار وصل شوند. این موضوع در شکل های (۱۸) و (۱۹) نشان داده شده است، برخلاف ساختارهای قبلی که برای ایزولاسیون هارمونیکی مورد استفاده قرار می گرفتند، این ساختار برای بارهای غیرخطی بزرگ در حد ۱ الی ۵۰ مگاولت آمپر مناسب می باشد. قابل ذکر است که در این ساختار نیز می توان از خازن تصحیح ضریب قدرت بعنوان یک فیلتر غیرفعال ارزان قیمت در کنار فیلتر فعال که بصورت اینورتر PWM منبع ولتاژ (VSI) عمل می کند، استفاده نمود.



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

شکل ۱۸- سیستم هایبرید فیلتر فعال موازی که در آن فیلتر غیرفعال بطور سری با فیلتر فعال قرار گرفته تا با هم بطور موازی به یار وصل شوند.



شکل ۱۹- سیستم هایبرید فیلتر فعال موازی در هارمونیک های جریان غالب پنجم و هفتم

در مورد فیلترهایی که در کاربردهای توان بالا مورد اســـتفاده قرار می گیرند، معمولاً از اینورترهای منبع ولتاژ موج مربعی (SWVSI) یا از اینورترهای PWM با فرکانس کلید زنی کم که دارای کنترل کننده ولتاژ باس DC باشـــند، اســـتفاده می شـــود. کنترل کننده SRF باعث می شـــود که عدم تنظیم دقیق در فیلترهای غیرفعال که می توانند

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

ناشی از تلرانس های عناصر L و C در آنها باشد، از بین رفته و مشخصه فرکانسی فیلتر غیرفعال بهبود یابد. این فیلترها نسبت به فیلترهای فعال هایبرید سری آسان تر حفاظت شده و به کلیدهای گران قیمت و تجهیزاتی از این قبیل نیاز ندارد.

۴-۳- اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم :

با اعمال روشهای 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 را می توان بهبود بخشید.

۲- اضافه کردن راکتوربرای تنظیم مجدد سیستم ،تشدید های مضر برای سیستم ،همانطور که گفته شد معمولا بین اندکتانس سیستم وخازن های تصحیح ضریب قدرت بوجود می آید راکتورها می توان بین سیستم وخازن متصل نمود. یک روش ساده سری نمودن یک راکتوربا 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 شایدارزانترین مورد هم برای مشترکین صنعتی وهم برای شرکت های برق باشد.

۴- جابجا کردن محل نصب خازن به نقاطی با امپدانس اتصال کوتاه متفاوت. این روش هنگامی استفاده می شود که نصب بانک خازنی دریک محل باعث درتداخلات تلفنی گردد. جابجایی بانک خازنی به محل دیگر اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم رادربرداشته که همین امر هم باعث می شود مشکل بخوبی رفع شود. باید این نکته را اضافه نمود که این مسئله برای مشترکین صنعتی چندان امکان پذیر نیست زیرامحل قرار گیری خازن رانمی توان چندان تغییرداد.

۵- برداشت خازن وپذیرش تلفات بیشتر.ولتاژ پایین تر وپرداخت جریمه ضریب قدرت که اگر ازنظر فنی قابل قبول باشد گاهی اوقات بهترین انتخاب از دیدگاه اقتصادی است.

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

پیوست

WikiPower.ir

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

دفترچهٔ راهنمای خازن های فشار قوی

خازن های فشار متوسط و قوی

(تک فاز و سه فاز)

و

بانک های خازنی

WikiPower.ir

M.V. AND H.V. POWER FACTOR CORRECTION

CAPACITORS SINGLE AND THREE-PHASE UNITS

THREE-PHASE CAPACITOR BANKS **خازنهای اصلاح ضریب قدرت**

برای شبکه های فشار متوسط وفشار قوی

۱– معرفی:

سری جدید خازنهای DUCATI نتیجه تحقیقات عمیق درزمینه دی الکتریک ها وروغن های ا شباع کننده وتجارب تولیدمیباشـــد. خازنهای تولید شـــده دارای قابلیت اطمینان بالاوعمر طولانی هســـتند. براســـاس مطالعات فعلی مواد مصرفی دراین خازنها کاملا بامحیط زیست سازگار هستند.

* علاوه بر خازنها لوازم جانبی مورد نیاز برای ســاخت بانک های خازنی همراه با فیلتر های هارمونیک نیز فراهم است.

۲– مشخصات ساخت واحدها :

خازن ازعنا صر خازنی با توان پایین تر وولتاژ کم تر ت شکیل شده ا ست عنا صر با هم به صورت سری یا موازی قرار می گیرندتا ولتاژ وتوان مورد نظر بدست آیدخازنها ازدونوع دی الکتریک ساخته میشوند مخلوط:

این نوع دی الکتریک از دولایه نازک فیلم پروپیلن ویک لایه کاغذ که دربین دو صفحه آلومینیومی قرارمی گیرد تشکیل شده است. درخازنها با مصارف خاص از این نوع دی الکتریک استفاده می شود.

WikiPower.ir

تمام – فیلم:

این نوع خازن از لایه های متعدد فیلم پلی پروپیلن با ســطح زبر در بین دو صــفحه آلومینیومی تشــکیل شده است.

الکترودها:

الکترودها از صفحات نازک آلومینیوم خالص ساخته شده اند. ساختار توسعه یافته پیچش فویل در خازن مقاومت شدیدی در برابر ضربه های جریان درزمان شارژ خازن ایجاد می کند.

ماده اشباع کننده:

روغن مصــنوعی ماده ای غیر ســمی قابل برگشــت به طبیعت دارای ترکیب کلر به میزان کمتر از ۵ PPM ا ست مراحل ساخت این روغن وا شباع دی الکتریک با روغن و مرحله خ شک کردن دی الکتریک باید در

کمال دقت انجام شود. مرحله خ شک کردن که به مدتی طولانی درون اتو کلاو ودر شرایط خلا انجام می شود،تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد بالا می رود به طوریکه در پایان،شرایط خلا درحد کافی ایجاد شود . مراحل آماده سازی روغن شامل تخلیه هرگونه گاز وخالص سازی دقیق آن می باشد.

۱-۲- بدنه:

بدنه خازن از ورقه فولاد با جوش مستحکم الکتریکی است تا بتواند فشار ایجاد شده در اثر تخلیه الکتریکی را تحمل کند وبه صورت یک تکه وبدون حباب هوا ساخته شده است. بسته بودن کامل محفظه مواد داخل خازن را در مقابل خرابی محافظت می کند وعمرخازن را افزایش می دهد افزایش درجه حرارت روغن در شرایط کاری باعث تغییر حجم روغن ا شباع شده خواهد شد که حالت ارتجاعی سطوح بزرگتر جعبه ،این تغییرات حجم را جبران می کند ودر نتیجه میزان تغییرات فشار درونی جعبه تا حد ممکن کاهش می یابد.

- همیشه برای اتصال الکتریکی به ترمینال از اتصال های انعطاف پذیر استفاده کنید.

درحالت عادی هر دو ترمینال خازنهای تک فاز از بدنه عایق می شوند همچنین در این خازنها می توان تنها یک ترمینال را از بدنه عایق کرد ودیگری را به بدنه متصل نمود این اتصال بدنه برای بانکهایی ا ست که از زمین عایق شده اند. برای مثال: اتصال سری خازن ها دربانک .

۳-۲- ادوات تخلیه خازن :

بر اساس استاندارد خازنها به صورت داخلی مجهز به مقاومت های تخلیه هستند که باید ولتاژ خازن را درمدت ۵ دقیقه بعد از قطع شدن آن به کمتر از ۵۰ ولت برساند.

*** تخلیه درمدت ۵ دقیقه به سطح ۵۰ ولت**

۱-۱-۲- تخلیه سریع خازن :

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

هر زمانی که تخلیه خازن درمدت چند ثانیه لازم باشد می توان از دوترانس ولتاژ متصل به ورودی سه فاز بانک خازنی استفاده کرد.

۳– خازن با فیوز داخلی :

هرگاه ساخت بانکهای خازنی ظرفیت بالاموردنظر باشد خازن تک فاز را می توان با فیوزهای انفجاری خارجی (قسمت ۱۴,۳ را ببینید) محافظت کرد یا اینکه از خازن های دارای فیوز داخلی استفاده کرد.

در خازنهای دارای فیوز داخلی همه المان های خازنی که ظرفیت خازن را تشکیل می دهند به صورت سری با فیوزها قرار گرفته اند. اگر یکی از آنها خراب شود توسط فیوزسری مربوط قطع می شود وکل خازن تحت تاثیر اتصال کوتاه قرار نمی گیرد.

بعدازقطع قسمت خراب بقیه قطعات خازن به کار ادامه می دهند وظرفیت خازن دارای کاهش اندکی خواهد بود که وابسته به تعداد المانهای خازنی می باشد البته تا زمانی که ظرفیت خازن دارای تلرانس قابل قبول ا ست وبر کار خازن های دیگر درون بانک اثر قابل توجهی نمی گذارد. لازم نی ست که خازن از شبکه خارج گردد. بعلاوه این فیوزها قابل تعویض نیستند درهر حال خازنها با فیوز داخلی نیاز به محافظت عدم تقارن دارند که معمولا در صورت اضافه ولتاژ حدود ۱۰ درصد از ولتاژنامی عمل می کنند.

- درزمان استفاده از خازن دارای فیوز داخلی ،محافظت عدم تعادل لازم است.

این حادثه زمانی رخ می دهد که تعداد زیادی از فیوزهای داخلی سوخته باشند وظرفیت خازن به میزان قابل توجهی افت کرده باشد ولی دراینجا چندمحدودیت اساسی واقتصادی درمورد خازن دارای فیوز داخلی بیان میشود

- حداقل توان ۳۰۰ کیلووار

- ولتاژ کمتراز ۷ تا۸ کیلو ولت

درمورد خازنهای سه فاز این محدودیت ها بیشتر می شود ا ستفاده از خازن دارای فیوز داخلی شما را از نصب حفاظت در برابر اتصال کوتاه درمنبع تغذیه به منظور بی برقی کردن خازن بی نیاز نمی سازد.

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

۴- قابلیت سازگاری مواد مصرفی با محیط زیست:

ماده اشـــباع کننده که درخازن به کار رفته اســـت ،نتیجه تحقیق وآزمایش های طولانی روغن های عایق موجود برای اســتفاده به عنوان دی الکتریک اســت این ماده بهترین عملکرد را با توجه به نیاز به ســازگار بودن با محیط زیست وخصوصیات یک دی الکتریک خوب دارا است این دو خاصیت بیشتر اوقات دریک دی الکتریک یافت نمی شود.

ماده ا شباع کننده غیر سمی ا ست. میزان م سمومیت خوراکی آن ۳ گرم درهر کیلوگرم می با شد وچون اثرات آن به سرعت از بدن ان سان یا حیوان برطرف می شود،در دراز مدت نیز بی ضرر می با شد. روغن ا شباع کننده به سرعت به طبیعت برمی گردد ودرنتیجه در صورت سوراخ شدن خازن ون شت روغن به بیرون اقدام احتیاطی خاصی لازم نیست.

این ماده دارای ترکیبات کربنی، هیدروژن واکسژن است که سوختن آنها در اکسید کربن و آب تولید می کند این مواد خطر ناک نیســتند وثبت آنها لزومی ندارد .ولی نگهداری یا معدوم کردن خازنها باید با توجه به استانداردها انجام شود.

۵- مشخصات الکتریکی:

توان نامی (دردمای ۲۰ درجه سانتی گراد):۵۰ تا ۶۰۰ کیلووار

ولتاژ نامی استاندارد: به جدول ۱ مراجعه کنید

فرکانس نامی: ۵۰ هرتز(۶۰ هرتز بنا به تقاضا)

تلرانس ظرفیت خازنی:

- خازنها: ۵- تا ۱۰+ درصد
- بانک های بزرگتراز ۱۰ مگا وار:صفرتا۱۰ درصد
- بانک های بزرگتر از ۳۰ مگاوار: صفر تا ۵ درصد

تلفات (در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد وحالت ماندگار)

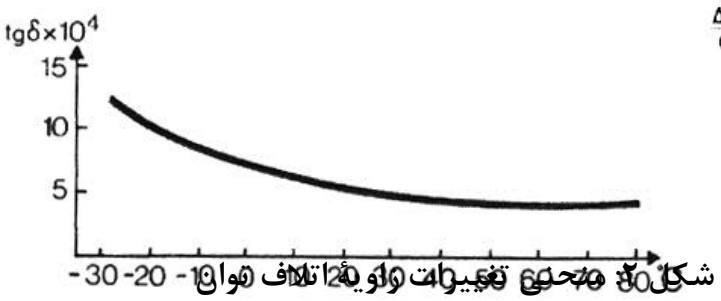
- خازن نوع مخلوط(۰/۰۶ درصد)

- خازن نوع تمام فیلم (۰/۰۱۵ درصد)

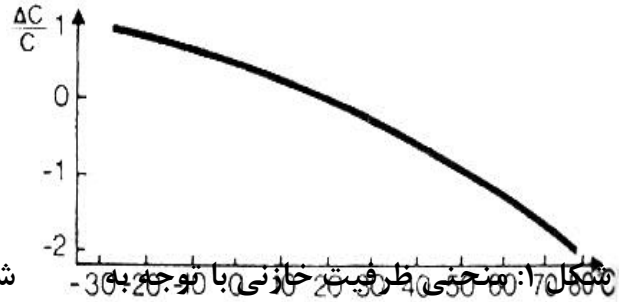
ادوات تخلیه خازن :بعد از ۵ دقیقه ۵۰ ولت

استانداردها : BS-VDE=NEMA , CEI33-7 issue 1668, IEC971-1&2 و دیگر استاندردهای مربوط

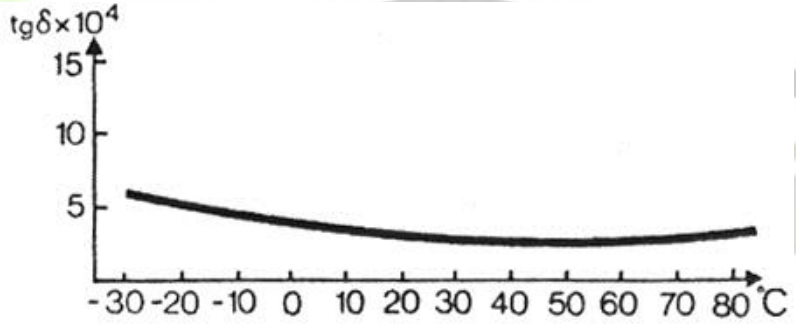
پایداری: درولتاژ وفرکانس نامی و دمای محیط ۴۵ درجه سانتی گراد : ۱۰۰ h



شکل ۲: منحنی تغییرات زاویهٔ اتلاف توان دی الکتریک مخلوط با توجه به تغییرات دما



شکل ۱: منحنی ظرفیت خازنی با توجه به تغییرات دما



شکل۳: منحنی تغییرات زاویهٔ اتلاف توان دی الکتریک تمام فیلم با توجه به تغییرات دما

۶– شرایط نگهداری:

شرایط محیط : نصب درهوای آزاد: دمای محیط از ۲۵- تا ۴۵۴+ درجه سانتی گراد

دمای محیط از ۲۵- تا ۵۵+ درجه سانتی گراد (بنا به تقاضا)

حداکثر ارتفاع :۱ متر

میزان مجاز اضافه ولتاژ درفرکانس نامی: به جدول B مراجعه کنید

اضافه ولتاژ کلیدزنی: $2\sqrt{2}$برابر ولتاژنامی

حداکثر دامنه جریان درحالت گذرا : ۱۰۰ برابر جریان نامی

حداکثر زمان حالت گذرا: ۰/۵ سیکل

حداکثرمیزان سوییچینگ : ۱۰۰۰ بار درسال

حداکثر اضافه جریان درزمان اضافه ولتاژ د رحضور هارمونیک: کمتراز ۱/۳ برابر جریان نامی

جدول A: حداکثر دمای مجاز برای انواع مختلف

تقسیم بندي دما	حدبالا	حداکثر متوسط دما (درهرمدت زمان)	
		دريك روز	در يك سال
A	٤٠	٣٠	٢٠
B	٤٥	٣٥	٢٥
C	٥٠	٤٠	٣٠
D	٥٥	٤٥	٣٥

اگر خازن بر دمای محیط اثر بگذارد به مقادیر جدول بالا ۵ درجه سانتی گراد اضافه می شود مثلا درصورت نصب درفضای بسته.

جدولB : حداکثر اضافه ولتاژ مجاز

میزان اضافه بار	مدت زمان اضافه ولتاژ	علت اضافه ولتاژ
۱/۱۰ برابر ولتاژ نامي	۱۲ ساعت درروز	نوسان ولتاژشبکه
۱/۱۵ برابر ولتاژ نامي	۳۰ دقیقه درروز	
۱/۲۰ برابر ولتاژ نامي	٥ دقیقه	افزایش ولتاژ به دلیل کاهش بار در شبکه
۱/۳۰ برابر ولتاژ نامي	۱ دقیقه	

* نباید بیش از ۲۰۰ بار درطول عمر خازن اتفاق بیافتد.

۲- استانداردها وتست های مرجع

۳- خازن های فوقفاز استانداردiec871 قسمت اول ودوم،چاپ دوم سال ۱۹۸۷ و اکثر استانداردهای دیگر تبعیت می کنند.

۱-۷- آزمایش های روتین :

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

- اندازه گیری ظرفیت (بنا به بند ۷ استانداردIEC)

اندازه گیری تانژانت زاویه تلفات (بنا به بند ۸استانداردIEC)

- آزمایش ولتاژ اعمالی به ترمینالها درحالت DC با مقدار۴/۳ برابر ولتاژ نامی ودرحالت AC با مقدار ۲/۱۵ برابر ولتاژ نامی به مدت ۱۰ ثانیه (بنابه بند ۹ استانداردIEC)
- آزمایش ولتاژ بین ترمینال وبدنه (بنا به بند ۱۰ استاندارد IEC)

- آزمایش تجهیزات تخلیه داخلی (بنا به بند ۱۱ استاندارد IEC)

- آزمایش بدون منفذ بودن بدنه

۲-۷- آزمایش تایپ:

- اندازه گیری تانژانت زاویه تلفات وظرفیت خازنی در دماهای بالا ۀبنا به بند ۱۴ استاندارد IEC)

- آزمایش ولتاژ متناوب بین ترمینال وبدنه (بنابه بند ۱۵ استاندارد IEC)

- آزمایش ولتاژ ضربه صاعقه (بنا به بند ۱۶ استاندارد IEC)

-آزمایش استحکام روکش محافظ بدنه (ضخامت لایه محافظ ومیزان چسبندگی آن)

۳-۷- آزمایش های طراحی مدلها ومتقارن سازی انواع خازن:

- آزمایش پایداری حرارتی (بنابه بند ۱۳ استانداردIEC)

- آزمایش تخلیه درزمان اتصال کوتاه (بنابه بند ۱۷ستانداردIEC)

- آزمایش دوام (بنابه بند ۴ بخش ۲ استانداردIEC871)

-آزمایش اضافه ولتاژ (بند ۴,۴)

-آزمایش اضافه باری (بند۴,۵)

۸- کاهش عمر به دلیل اضافه ولتاژهای دائمی:

ا ضافه ولتاژ های طولانی که در قسمت ۶ جدول B به آن ا شاره شده در زمان تعیین شده برطرف گردند. در غیر اینصورت برای دی الکتریک به شدت م ضر ه ستند. در زمان انتخاب ولتاژ نامی خازن باید درنظر

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

داشت که اضافه ولتاژهای دائمی عمر خازن را کوتاه می کنند. به این دلیل لازم است که اضافه ولتاژ ناشی ازافزودن خازن به شبکه محاسبه نمود.علاوه بر این حضور هارمونیک در سیستم باعث افزایش ولتاژ کاری خازن هامی شود به خصوص درزمان تشدید پس لازم است که برای مهر کاربردی ولتاژ نامی آن سیستم محاسبه گردد.

WikiPower.ir

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

منابع و مآخذ:

نظريه اساسي مدارها و شبكه ها	مولف: ارنست كوه و چارلز دسور
رياضي مهندسي پيشرفته	مؤلف: اروين كرويت سيك
بررسي طراحي سيستم هاي قدرت	مؤلف: جي- دي-گلاور و م- سارما
هارمونيك ها در شبكه هاي قدرت	دكتر سيد حسين صادقي- مهندس آرتين درميناسيانس- دكتر شهرام منتصر كوهساري
فيلترهاي فعال و غيرفعال	مؤلف: واي- كاي چن
الكترونيك صنعتي	مولف: م- رشيد
الكترونيك قدرت	مؤلف: ميلر
ماشين هاي الكتريكي	مؤلف: بيم - بهارا
استانداردهاي وزارت نيرو	
كاتالوگ شركت فراكوه	
كنفرانسهاي مهندسي برق ايران	

WikiPower.ir