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 منابع هارمونیک در سیستم های فشار قوی و روشهای کاهش آن

WikiPower.ir

برای خرید فایل word این پروژه اینجا کلیک کنید.
( شماره پروژه = ۴۰۴ )
پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

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

فهرست

## عنوان

چکیده ..... ۱
مقدمه ..... ۲
فصل اول: شناخت و بررسی مقدماتی هارمونیکها ..... ۳
(۱-۱) کلیات ..... ۴
(۱-۲) اعوجاج هارمونیکی ..... ۸
(۱-۳) اعوجاج ولتاژ و جریان ..... ۱۰
(۱-۴) مقادیر مؤثر و اعوجاج ها هارمونیکی کل ..... ۱۲
(۱-۵) هارمونیک های مرتبه سه ..... ۱۴
فصل دوم : منابع تولید هارمونیکها ..... ۱۷
(۲-۱) مقدمه ..... ۱۸
(۲-۲) منابع تغذیه تک فاز ..... ۱۸
(۲-۳) مبدل های قدرت سه فاز ..... ۲۱
( ۲-۳-۱ ) مبدل های AC/DC ..... ۲۱
(۲-۴) محرک های DC ..... ۲۳
(۲-۵) محرکه های AC ..... ۲۴
(۲-۶) تجهیزات قوس زننده ..... ۲۶

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

(۲-۶-۱) کوره های الکتریکی..... ۲۸
(۲-۷) جبران کننده های استاتیکی توان راکتیو..... ۳۱
(۲-۸) ترانسفورمرهای قدرت..... ۳۳
(۲-۸-۱) اشباع ناشی از افزایش ولتاژ..... ۳۴
(۲-۱۰) لامپهای تخلیه ای..... ۳۵
(۲-۱۱) سایر منابع..... ۳۶
فصل سوم: آثار هارمونیکها..... ۳۷
(۳-۱) مقدمه..... ۳۸
(۳-۲ ) خازنها..... ۳۹
(۳-۲-۱) اثرات مستقیم..... ۳۹
(۳-۲-۲) اثرات غیرمستقیم..... ۴۰
(۳-۳) لامپ های روشنایی و المان‌های حرارتی..... ۴۴
(۳-۴) موتورهای آسنکرون..... ۴۵
(۳-۵) ماشینهای سنکرون..... ۴۸
(۳-۶) ترانسفورماتورها..... ۴۹
(۳-۶-۱) افزایش تلفات گردابی در هادیها..... ۴۹
(۳-۶-۲) افزایش تلفات هیسترزیس..... ۵۰
(۳-۶-۳) افزایش تلفات گردابی در هسته..... ۵۱
(۳-۶-۴) کاهش توان نامی ترانسفورماتور..... ۵۲

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

(۳-۷) عملکرد رله ها..... ۵۳

( ۳-۸) وسایل اندازه گیری الکتریکی..... ۵۶

(۳-۸-۱) توان حقیقی..... ۵۷

(۳-۸-۲) توان راکتیو..... ۵۸

(۳-۸-۳) توان ظاهری..... ۶۰

(۳-۹) کلیدهای فشار قوی..... ۶۳

(۳-۱۰) عایق ها..... ۶۵

(۳-۱۱) فیوزها..... ۶۵

(۳-۱۲) سیستمهای مخابراتی..... ۶۵

(۳-۱۳) تاثیرات دیگر هارمونیکها..... ۶۶

فصل چهارم: روشهای حذف هارمونیکها..... ۶۷

(۴-۱) مقدمه..... ۶۸

(۴-۲) روشهای چند پالسه..... ۶۹

(۴-۲-۱) چگونگی حذف هارمونیکها..... ۷۳

(۴-۲-۲) ترانسفورمرهای دو سیم پیچه..... ۷۶

(۴-۲-۳) ترانسفورمرهای تک سیم پیچه..... ۷۹

(۴-۳) فیلترهای غیر فعال..... ۷۹

(۴-۳-۱) انواع فیلترهای غیر فعال..... ۸۰

(۴-۳-۲) پارامترهای غیر فعال..... ۸۱

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

(۴-۳-۳) طراحی فیلترهای تک تنظیمه.....۸۴

(۴-۳-۴) طراحی فیلترهای دو تنظیمه.....۸۶

(۴-۳-۵) طراحی فیلترهای بالا گذر.....۸۷

(۴-۳-۶) طراحی بهینه فیلترهای غیر فعال.....۸۹

(۴-۳-۷) ملاحظات لازم در طراحی و نصب فیلترهای غیر

فعال.....۸۹

( ۴-۴) فیلترهای غیر فعال.....۹۴

( ۴-۴-۱) فیلترهای فعال موازی.....۹۶

( ۴-۴-۲) فیلترهای فعال هایبرید.....۹۸

( ۴-۵) سایر روشها.....۱۰۳

(۴-۵-۱) روش میکروپروسسوری تزریق جریان.....۱۰۳

( ۴-۵-۲) استفاده از ماشین سنکرون با مدار تحریک

رزونانس.....۱۰۶

منابع و مؤاخذ.....۱۱۱

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

## چکیده :

فصل اول: در این فصل به بررسی مقدماتی در مورد هارمونیک ها و کیفیت برق داشته و همچنین تعریفی از هارمونیک ارائه شده می نماید. در مورد بعضی از استانداردهای هارمونیکی نظیر THD و DIN نیز بحث می نماید.

فصل دوم: در مورد منابعی که هارمونیک ها را تولید می نمایند بحث می نمایند که هارمونیک ها می توانند از مصرف کننده های فشار ضعیف مانند کامپیوترها و لوازم خانگی باشند تا کوره های الکتریکی و مبدل های AC/DC بزرگ

فصل سوم: در مورد اثرات هارمونیک ها بر روی عملکرد تغییرات و دستگاهها می‌باشد و همچنین در مورد آثار مضر آنها بر روی خازنها، دامپرهای رو شنایی، موتورها، ترانسها، رله ها و ... بحث می‌شود.

همچنین بحثی نیز در مورد توان هارمونیکی نیز خواهد داشت.

فصل چهارم: فصل نهائی این پروژه راه کارهای ممکن جهت حذف هارمونیک ها را ارائه می نماید که می توان از روشهای چند پالسه، فیلترهای فعال و غیر فعال و روش تزریق جریان نام برد.

WikiPower.ir

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

**مقدمه :**

با پیشرفت تکنولوژی و استفاده روز افزون از تجهیزات با تکنولوژی بالا مانند کامپیوترها و کنترل کننده های برنامه پذیر منطقی ( PLC) که وابستگی بیشتری به انرژی الکتریکی و کیفیت آن دارند، دیگر تنها استفاده از انرژی الکتریکی مورد پذیرش نبوده، بلکه کیفیت و خصوصیات برق تحویلی نیز مهم است. از سوی دیگر گسترش روز افزون استفاده از تجهیزاتی مانند کنترل کننده های سرعت، محرکه های تغییر دهنده فرکانس و خازن هایی که برای اصلاح توان راکتیو به کار می روند، همگی موجب کاش کیفیت برق و ایجاد مشکلات متعدد برای تجهیزات الکترونیکی می شود. لذا با در نظر گرفتن افزایش حساسیت تجهیزات و استفاده روز افزون از تجهیزاتی که موجب کاهش کیفیت برق می شوند، مبحث کیفیت برق روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می گردد.

شبکه قدرت ایده ال شبکه ای است که در آن انرژی الکتریکی به صورت ولتاژ و جریان سینوسی در فرکانس ثابت و در سطوح ولتاژ مشخص از سوی نیروگاه ها به مراکز مصرف منتقل می شوند. اما در عمل وجود و تجهیزات با مشخصه غیر خطی و بخصوص ادوات الکترونیک قدرت در بخش های مختلف تولید، انتقال و مصرف انرژی الکتریکی، موجب پیدایش اعوجاجات هارمونیکی در شکل موج سینوسی جریان ولتاژ در شبکه قدرت می شود. این موضوع اهمیت آشنایی و مطالعه هارمونیک ها در شبکه قدرت را به عنوان یک شاخه جدید در مهندسی قدرت مطرح می نماید.

لذا در این پروژه سعی بر آن داشتم که از چگونگی تولید هارمونیک ها و اثرات آنها تا راه های کاهش هارمونیک ها مباحثی هر چند اندک بیان شود. امید بر آن است که حق مطلب ادا گردیده باشد.

محسن یوسفی

زمستان ۱۳۸۶

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

# فصل اول

## شناخت و بررسی

WikiPower.ir

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

مقدماتی هارمونیک ها

## (۱-۱) کلیات

یکی از مسائل و مشکلات کیفیت برق در سیستم های توزیع و انتقال، مسئله هارمونیک ها می باشد که توجه زیادی را به خود جلب نموده است به طوری که مطالب بسیاری را در این خصوص می توان در کتب و مقالات گوناگون جستجو نمود.

اعوجاجات هارمونیکی باعث ایجاد مشکلات خاصی در شبکه های قدرت می شوند. از جلمه این مشکلات می توان به عدم عملکرد مناسب تجهیزات و نیز کاهش عمر و پایان آمدن راندمان دستگاه ها اشاره نمود.

در چنین حالتی مطالعه هارمونیک ها و ارائه یکسری قوائد و مقررات اجتناب ناپذیر خواهد بود. محدد نمودن اعوجاج هارمونیکی هم از نظر شرکتهای برق و هم از نظر مشترکین لازم می باشد. شرکتهای برق باید محدودیتهایی را ارائه نماید تا از آسیب دیدگی تجهیزات مشترکین، اعم از مشترکین خانگی و صنعتی جلوگیری شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه ایجاد یک موج کاملاً سینوسی از طرف شرکتهای برق نمی تواند تضمین شود، لذا مشترکین باید اعوجاج ها تولید شده توسط تجهیزات خود را محدود نمایند.

مشترکین برق در صورت وجود هارمونیک ها مشکلات زیادتری از شرکت های برق را تحمل می کنند. مشترکین صنعتی که از محرک های موتور با قابلیت تنظیم سرعت، کوره‌های قوس الکتریکی، کوره های القایی و نظایر آن استفاده می کنند، نسبت به مسائل ناشی از اعوجاج هارمونیکی ضربه پذیر از بقیه مشترکین میباشند.

شـــرکتهای برق فرض می کنند که موج ولتاژ ســـینوســـی تولید شـــده در مراکز تولید انرژی الکتریکی، بدون هارمونیک است. در اغلب اعوجاج ولتاژ در سیستم های انتقال کمتر از یک درصـــد اســـت. به هر حال هر چه به ســـمت مشـــترکین نزدیک تر شـــویم، میزان اعوجاج هارمونیکی بیشتر خواهد شد از سوی دیگر در بعضی بارها، موج جریان، کاملاً از حالت سینوسی خارج شده و دارای اعوجاج زیادی می گردد.

با وجود اینکه در برخی مواقع اعوجاج در سیستم به صورت تصادفی است لیکن اغلب اعوجاج ها به صورت پریودیک هستند بدین معنی که سیکل های متوالی تقریباً شبیه به هم بوده و ممکن است به آرامی تغییر کنند.

این مفهوم در اصل همان واژه هارمونیک را توصیف می کند. وقتی که استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت در اواخر دهه ۱۹۷۰ معمول گردید، توجه بسـیاری از مهندسـین در مورد توانایی پذیرش اعوجاج هارمونیکی توسط شبکه های قدرت را برانگیخت. پیش بینی های مأیوس کننده ای از سرنوشت سیستمهای قدرت در صورت اجازه استفاده از این تجهیزات انجام گرفت.

در حالی که بعضـــی از این نگرانی ها احتمالاً بیش از آنچه اهمیت داشـــت مورد توجه قرار گرفت، لیکن بررسی مفهوم کیفیت برق مدیون این افراد به دلیل پیگیری آنها روی این مسأله جدید می باشـد. بررســی مســائل هارمونیک ها منجر به تحقیقاتی گردید که نتایج آن نقطه نظرات بسـیاری را در خصـوص کیفیت برق ایجاد نمود. به نظر برخی از محققین، اعوجاج هارمونیکی هنوز هم مهمترین مسأله کیفیت برق می باشد. مسائل هارمونیکی با بسیاری از قوانین معمولی طراحی سیستم های قدرت و عملکرد آن تحت فرکانس اصلی، مغایر است.

بنابراین در این خصوص با پدیده های ناآشنایی روبه رو می شویم که نیاز به ابزارهای پیچیده و تجهیزات پیشرفته برای حل مشکلات و تحلیل آنها دارد. در اینجا باید تمایزی بین مسأله هارمونیک ها و حالتهای گذرا قائل شد. در واقع به جای بسیاری از اعوجاج‌ها که گذرا هستند هارمونیک ها مورد مؤاخذه قرار می گیرند.

اندازه گیری هر پدیده ممکن است شکل موج اعوجاجی به فرکانس های بسیار بالا را نشان دهد. گر چه اعوجاج ها گذرا نیز شامل مؤلفه های فرکانس بالا می باشد، اما حالت های گذرا و هارمونیک ها پدیده های متمایزی بوده و به صورت متفاوتی بررسی و تحلیل می گردند.

حالتهای گذرا، دارای فرکانس های بالایی می باشند و تنها لحظه ای پس از یک تغییر ناگهانی در سیستم قدرت به وجود می آیند. این فرکانسها لزوماً فرکانس هارمونیکی نیستند و به عنوان مثال می توانند فرکانس طبیعی سیستم در لحظه کلید زنی باشند که ارتباطی با فرکانس مؤلفه اصلی سیستم ندارد. طبق تعریف، هارمونیک ها در حالت ماندگار اتفاق می افتند و مضرب صحیحی از فرکانس مؤلفه اصلی می باشند.

موجهای اعوجاج یافته که دارای هارمونیک هستند، به طور پیوسته وجود داشته و یا حداقل برای چندین ثانیه باقی می مانند. گذرا ها معمولاً در طی چندین سیکل از بین می روند. حالت گذرا در ارتباط با یک تغییر در سیستم مانند کلید زنی خازن ها رخ می‌دهد، در حالی که هارمونیک‌ها همراه با عملکرد پیوسته بار به وجود می آیند. حالتی که این تمایز را از بین می برد برق دار کردن ترانسفورماتور است. این پدیده گذرا به شمار می آید ولی موج اعوجاجی قابل ملاحظه ای را به مدت چند ثانیه تولید می کند. می تواند موجب ایجاد

تشدید در سیستم شود. اعوجاج هارمونیکی یک پدیده جدید در سیستم های قدرت به شمار نمی‌رود. نگرانی ناشی از اعوجاج در بسیاری از ادوار در شبکه های جریان متناوب وجود داشته و دنبال شده است. جستجوی منابع و مطالب تکنیکی دهه‌های قبل نشان می دهد که مقالات مختلفی در رابطه با این موضوع انتشار یافته است. اولین منابع هارمونیکی شناخته شده، ترانسفورماتور ها بودند و اولین مشکل در سیستم‌های تلفن به وجود آمد. استفاده گروهی و به تعداد زیاد از لامپهای قوس الکتریک نیز به دلیل مؤلفه های هارمونیکی، خود توجهات بسیاری را برانگیخت ولی اهمیت هیچکدام از موارد فوق به اندازه اهمیت مسأله مبدل های الکترونیک قدرت در سالهای اخیر نبوده است. اعوجاج های هارمونیکی تولید شده در شبکه های قدرت منشأ داخلی دارند. برای مثال ژنراتورها، ترانسفورماتورها و تجهیزات تریستوری کنترل شده مانند پست های تبدیل که در سیستم های HVDC استفاده می‌شوند می‌توانند باعث ایجاد اعوجاج های هارمونیکی گردند. خوشبختانه در طی این سالها پژوهشگران متوجه شده‌اند که اگر سیستم انتقال به نحو مناسبی طراحی گردد. به نحوی که بتواند مقدار توان مورد نیاز بارها را به راحتی تأمین نماید، احتمال ایجاد مشکل ناشی از هارمونیکها برای سیستم قدرت بسیار کم خواهد بود گر چه این هارمونیک ها می توانند موجب مسائلی در سیستمهای مخابراتی شوند. اغلب در سیستم های قدرت، مشکلات زمانی بروز می کنند که خازن های موجود در شبکه باعث ایجاد تشدید در یک فرکانس هارمونیکی گردند. در این شرایط اغتشاشات و اعوجاج ها، بسیار بیش از مقادیر معمول خواهد بود. امکان ایجاد ای مشکلات در مورد مراکز کوچک مصرف نیز وجود دارد ولی شرایط بدتر در سیستم های صنعتی به دلیل درجه بالایی از تشدید رخ می دهد.

### (۱-۲) اعوجاج هارمونیکی

اعوجاج هارمونیکی در شبکه های قدرت ناشی از عناصر غیر خطی است. عنصر غیر خطی عنصری است که جریان آن متناسب با ولتاژ اعمالی نمی باشد. افزایش چند درصدی ولتاژ ممکن است باعث شود که جریان دو برابر شده و نیز شکل موج جریان فرم دیگری به خود بگیرد. این حالت، مورد ساده ای از تولید اعوجاج در سیستم قدرت می باشد.

همانطور که مشاهده می شود هر شکل موج اعوجاجی پریودیک را می توان به صورت جمع موجه ای سینوسی بیان نمود. یعنی هنگامی که شکل موج از یک سیکل به سیکل دیگر تغییر نکند، این موج را می توان به صورت جمع امواج سینوسی خالص که در آن فرکانس هر موج، ضریب صحیحی از فرکانس اصلی موج اعوجاجی است را نمایش داد.

این موجهای سینوسی که فرکانس آنها ضریب صحیحی از فرکانس اصلی می‌باشند را هارمونیک های مؤلفه اصلی می نامند. جمع این سینوسی ها به سری فوریه مربوط است، زیرا این مفهوم ریاضی اولین بار توسط فوریه ریاضیدان فرانسوی مورد توجه قرار گرفت.

مزیت اصلی استفاده از سری فوریه در نمایش شکل موجهای هارمونیکی، سادگی به دست آوردن پاسخ سیستم به یک ورودی سینوسی است. همچنین در این حالت تکنیکهای معمولی حل شبکه در حالت ماندگار نیز قابل استفاده خواهد بود. در این روش، سیستم برای هر هارمونیک جداگانه بررسی شده و سپس خروجی ها در هر فرکانس ترکیب می گردند با پاسخ لازم یعنی شکل موج خروجی به دست آید.

وقتی که دو نیم سیکل مثبت و منفی یک موج شبیه یکدیگر باشند، سری فوریه فقط شامل هارمونیک های فرد است. این مطالب مطالعه روی هارمونیک ها را ساده تر می سازد، زیرا

اغلب وسایل هارمونیک زا در برابر هر دو نیم سیکل مثبت و منفی رفتار یکسانی را از خود نشان می دهند. در حقیقت وجود هارمونیک های زوج اغلب نشان دهنده اشکالی در سیستم است. این اشکال می تواند ناشی از بار و یا ترانسدیوسر (که برای اندازه گیری استفاده می شود) باشد. استثنائاتی در این مورد

مانند یکسو کننده های نیم موج و کوره های قوس الکتریک که در آن بروز قوس به صورت اتفاقی می باشد نیز وجود دارد.

معمولاً، دامنه هارمونیک های مرتبه بالا( بالاتر از ۵۰ ام) در سیستم های قدرت ناچیز می باشند. البته این هارمونیک ها می توانند سبب اختلال در عملکرد وسایل الکتریکی قدرت پایین شوند، لیکن معمولاً آسیبی به سیستم های قدرت وارد نمی آورند.

اگر سیستم قدرت را به عناصر سری و موازی ( همچنانکه در عمل هستند) تقسیم کنیم، بخش عمده ای از عناصر غیر خطی در سیستم قدرت جزء عناصر موازی محسوب می شوند (بارها). امپدانس های سری در سیستم قدرت ( امپدانس اتصال کوتاه بین منبع و بار) معمولاً خطی می باشند. شاخه موازی ( امپدانس مغناطیس کننده ) در معادل ترانسفورماتور، منبع تولید هارمونیک می باشد. این جمله به این معنا نیست که تمام مشترکین که اعوجاج هارمونیکی بر آنها اعمال می شود. خود منبع تولید هارمونیک هستند بلکه باید گفت که اعوجاج هارمونیکی بعضی از مشترکین و یا از ترکیبی از آنها معمولاً می توانند عامل تولید هارمونیک باشد.

### (۱-۳) اعوجاج ولتاژ و جریان

کلمه هارمونیک غالب بدون هیچگونه کلمه توصیفی دیگر و به تنهایی استفاده می شود. برای مثال، بسیار شنیده می شود که یک محرکه موتور با قابلیت تنظیم سرعت یا یک کوره القایی به دلیل وجود هارمونیک ها نمی توانند به شکل مناسبی کار کنند. چرا این مسأله پدید آمده است؟ جواب می تواند یکی از موارد زیر باشد:

- هارمونیک ولتاژ آنقدر زیاد است که سیستم کنترل زاویه آتش به خوبی عمل نمی کند.
- هارمونیک جریان زیادتر از ظرفیت بعضی از تجهیزات در شبکه تغذیه ( مانند ترانسفورماتور و موتور) است که باید در زیر قدرت نامی خود کار کنند.
- هارمونیک ولتاژ زیاد است زیرا هارمونیک جریانی ناشی از آن وسیله زیاد می باشد.

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

بارهای غیر خطی، منبع تولید هارمونیک های جریان هستند و باعث تزریق این هارمونیک ها به شبکه قدرت می شوند. برای بیشتر مطالعات، کافی است که بارهای تولید کننده هارمونیک در سیستم را به صورت منبع جریان مدل سازی نمود. البته استثنائاتی در این زمینه وجود دارد که در ادامه توضیح داده خواهد شد. اعوجاج ولتاژ در اثر عبور جریان اعوجاجی از امپدانس سری و خطی سیستم انتقال می گردد.

گرچه در این جا فرض شده است که منبع فقط شامل ولتاژ با فرکانس اصلی است، لیکن جریان های هارمونیکی عبور کننده از امپدانس سیستم باعث ایجاد افت ولتاژ برای هر هارمونیک خواهد شد. و در نتیجه باعث ایجاد ولتاژ هارمونیکی در دو سربار می گردد.

مقدار اعوجاج ولتاژ بستگی به امپدانس جریان دارد. با فرض این که اعوجاج شینه در حد قابل قبولی باقی بماند ( مثلاً کمتر از ۵ در صد)، مقدار جریان هارمونیکی تولید شده تو سط بار تقریباً برای هر سطح باری ثابت است.

در حالی که هارمونیک های جریان ایجاد شده تو سط بار در نهایت باعث اعوجاج ولتاژ می گردند. لیکن باید اشاره نمود که بار هیچگونه کنترلی روی اعوجاج ولتاژ ندارد. یک بار یکسان در دو محل مختلف یک سیستم قدرت دو مقدار متفاوت اعوجاج ولتاژ ایجاد می کند. درک این حقیقت پایه ای برای تقسیم مسئولیت ها در کنترل هارمونیک ها خواهد بود. مقدار هارمونیک جریان تزریق شده به سیستم می بایستی در نقطه اتصال مشترک به شبکه کنترل گردد.

با فرض این که هارمونیک جریان تزریقی در حد مجاز است، اعوجاج ولتاژ را می توان با کنترل بر روی امپدانس سیستم در حد مجاز قرار داد.

WikiPower.ir

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

### (۱-٤) مقادیر مؤثر و اعوجاج هارمونیکی کل

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

رابطه (۱-۱)
$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h\,max} M_h^2}}{M_1}$$

که در آن $M_h$ مقدار مؤثر مؤلفه ها هارمونیک h ام کمیت M می باشد. THD معیار اندازه گیری مقدار مؤثر مؤلفه هارمونیکی یک موج اعوجاجی است.

همانطور که می دانیم مقدار مؤثر کل یک موج (RMS) برابر با جمع مؤلفه های آن نمی باشد بلکه از مجموع جمع مربعات تک تک مؤلفه های آن موج به دست می آید.

THD را می توان توسط رابطه زیر به مقدار مؤثر شکل موج ارتباط داد:

(۲-۱)
$$RMS = \sqrt{\sum_{h=1}^{h\,max} M_h^2} = M_1\sqrt{1+(THD)^2}$$

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

همانطوری که در رابطه ۱-۱ مشاهده شد، شاخص THD به صورت نسبت هارمونیک ها به مقدار مؤلفه ا صلی تعریف گردید. اگر مؤلفه ا صلی ندا شته با شیم در نتیجه مقدار THD بی نها یت می شـــود. به عنوان مثال برای ســـیگنال $i(t)=\cos(3\omega t)+(\cos(5\omega t)$ مقدار $THD=\infty$ خواهد بود. این شـــرایط زمانی پدید خواهد آمد که ولتاژ و جریان با فرکانس نامی شبکه به صورت الکترونیکی یا توسط کلید زنی زیر سنکرون و یا توسط اعوجاج ناشی از سیگنال های کنترل کننده که برای بهتر کردن ا ستراتژی کلید زنی ا ستفاده می شود مدوله شود. اگر در یک سیستم ۵۰ هرتز از سیستم مدوله شده با پهنای پالس ( PWM) برای کنترل دور موتور القایی ا ستفاده شود، ولتاژ ا ستاتور موتور القایی دارای مؤلفه $50\pm fm$ خواهد بود که fmفرکانس پایین به اندازه ۰/۲ هرتز است. بنا بر این فرکانس ۵۰ هرتز در شکل موج ولتاژ دیگری وجود ندارد.

به منظور جلوگیری از چنین مشـــکلی از شـــاخص دیگری اســـتفاده می شـــود این شـــاخص اعوجاج هارمونیکی (DIN) نام دارد و به رابطه زیر تعریف می گردد:

$$DIN=\left[\sqrt{\Sigma_{i=2}^{\infty}I^2}/\sqrt{\Sigma_{i=1}^{\infty}I_i^2}\right]$$ رابطه (۱-۳)

دو شاخص فوق با تعاریف زیر به یکدیگر مرتبط می شوند:

$$DIN=\frac{THD}{\sqrt{1+(THD)^2}}$$ رابطه ( ۱-٤)

$$THD=\frac{DIN}{\sqrt{1-(DIN)^2}}$$ رابطه (۱-۵)

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

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

$$DIN \approx THD(1-\frac{1}{2}(THD)^2)$$ رابطه (۱-۶)

$$THD \approx DIN(1+\frac{1}{2}(DIN)^2)$$ رابطه (۱-۷)

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

هارمونیک های ولتاژ همیشه در زمان نمونه برداری به مقادیر مؤلفه اصلی شکل موج ارجاع داده می‌شوند. چون ولتاژ فقط برای چند درصد تغییر می کند مقدار THD ولتاژ دارای مفهوم مهندسی می باشد ولی در مورد جریان این مورد صادق نیست. یک جریان کم ممکن است که THD بزرگی داشته باشد اما اشکال مهمی بر روی سیستم ایجاد نمی‌کند. با توجه به اینکه اغلب وسایل مانیتورینگ، مقدار THD را بر حسب نمونه های موجود محاسبه می کنند، در نتیجه ممکن است استفاده کنندگان نسبت به اینکه این جریان برای سیستم خطرناک است یا خیر دچار اشتباه می شوند. برخی از تحلیل‌گران سیستم، با استفاده از ارجاع به مقدار پیک دیمند جریان به مؤلفه اصلی نمونه های موجود، از این مشکل پرهیز می کنند. این کمیت به کل اعوجاج مصرفی یا TDD معروف می باشد.

(۱-۵) هارمونیک های مرتبه سه

هارمونیک های مرتبه سه ضرایب فردی از هارمونیک سوم هستند (h=3, 9, 15, 21,... )

این هارمونیک ها احتیاج به بررسی های ویژه های دارند زیرا پاسخ سیستم در برابر این هارمونیک ها متفاوت از پاسخ آن در برابر دیگر هارمونیک های مرتبه سه یکی از مهمترین موضوعات در شبکه های با ستاره زمین شده است که در نوترال آنها جریان دارد. دو مشکل عمده، اضافه بار نوترال و تداخلات تلفنی می باشد. همچنین بعضی از دستگاه ها به دلیل

اینکه ولتاژ خط به نوترال ( به علت افت ولتاژ هارمونیک های مرتبه سه در هادی نوترال) آنها کاملاً اعوجاجی شده درست عمل نمی کنند. برای یک سیستم کاملاً متعادل متشکل از بارهای تک فاز فرض کنید که مؤلفه های هارمونیک سوم و اصلی هر دو موجود داشته باشند. با جمع جریان ها در گروه نوترال ( گروه N)، جریان مؤلفه اصلی صفر می شود. ولی به دلیل هم فاز بودن مؤلفه های فاز هارمونیک سوم، مقدار این مؤلفه ها سه برابر جریان فاز هارمونیک سوم خواهد بود.

نوع اتصال سیم پیچ ترانسفورماتورها تأثیر بسزایی در عبور جریان های هارمونیک مرتبه سه ناشی از بارهای غیر خطی تک فاز دارد.

در ترانسفورماتور با اتصال ستاره – مثلث جریان های هارمونیک مرتبه سه به طرف ستاره وارد می شوند. چون آنها هم فاز هستند در نقطه نوترال با یکدیگر جمع می شوند. به دلیل قانون تعادل آمپر دورها، در سیم پیچهای طرف مثلث جریان هارمونیک سوم به وجود می آید. ولی این جریان ها در داخل مثلث گرفتار شده و در جریان های خط ظاهر نمی شوند.

وقتی که جریان ها متعادل باشند، جریان های هارمونیک مرتبه سه دقیقاً مانند جریان های مؤلفه صفر رفتار می کنند. این نوع اتصال در اغلب ترانسفورماتورهای پستهای توزیع وجود داشته که در آنها طرف مثلث به فیدر تغذیه اتصال می یابد. از سوی دیگر با استفاده از سیم پیچی ستاره زمین شده در هر دو طرف ترانسفورماتور، هارمونیک مرتبه سه اجازه می یابد که بدون مانعی از طرف فشار ضعیف به فشار قوی منتقل شود. این هارمونیک ها در هر دو طرف با نسبت مساوی وجود دارند.

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

– تراز سفورماتورها، بخ صوص اتصالات نوترال آنها در صورت تغذیه بارهای تک فاز در طرف ستاره در معرض ا ضافه حرارت خواهند بود ( به دلیل وجود مقدار زیادی هارمونیک سوم)

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

- عبور جریان های هارمونیک مرتبه سوم را می توان با انتخاب اتصال مناسب ترانسفورماتور مسدود نمود ( قطع اتصال نوترال در یک یا دو طرف سیم بندی های ستاره یا استفاده از سیم پیچی مثلث).

قواعد مربوط به عبور جریان های هارمونیک سوم در ترانسفورماتورها فقط در مورد شرایط بار گذاری متعادل قابل اعمال هستند وقتی که فازها متعادل نیستند هارمونیک های مرتبه سوم حتی در هنگامی که انتظار وجود آنها نمی رود نیز ایجاد می شوند. حالت عادی برای هارمونیک های مرتبه سوم ممکن ا ست که داری مؤلفه های توالی مثبت و منفی نیز با شند. یک مورد قابل توجه از این حالت وجود کوره قوس الکتریکی سه فاز می با شد. گرچه این کوره ها توسط اتصال مثلث تغذیه می شوند، لیکن وقتی که در حال کار کردن در حالت عدم تعادل 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

## منابع تولید هارمونیک‌ها

WikiPower.ir

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

## (۲-۱) مقدمه

هارمونیک‌های ولتاژ و جریان سیستم قدرت، ناشی از مشخصه های غیر خطی بارهای خاصی از سیستم می باشند. در این فصل ابتدا آن دسته از منابع تولید هارمونیک که در آنها از مبدل های استاتیکی AC/DC استفاده شده است، مورد بحث قرار خواهند گرفت. شایان ذکر ا ست که مبدل های ا ستاتیکی AC/DC بیشترین نقش را در تولید جریان های هارمونیکی و ایجاد اعوجاج در شکل موج های ولتاژ و جریان در شبکه های صنعتی و سیستم های انتقال و توزیع را بر عهده دارند.

پس از مبدل های ا ستاتیکی، سایر منابع تولید کننده هارمونیک در این فصل معرفی شده و مورد تحلیل قرار گرفته اند.

## (۲-۲) منابع تغذیه تک فاز

در حال حاضر بارهای تغذیه شده از طریق مبدل های الکترونیک قدرت مهمترین بارهای غیر خطی شبکه های قدرت را تشکیل می دهند. در دهه گذشته، پیشرفت در تکنولوژی نیمه هادی ها، انقلابی را در مبحث الکترونیک قدرت به وجود آورده است و نشانه های زیاد وجود دارد که این روند ادامه خواهد داشت. نیمه هادی ها در تجهیزاتی مانند محرکه های موتور با قابلیت تنظیم سرعت، منابع تغذیه سوئیچینگ، راه اندازی موتورهای جریان مستقیم، شارژها، بالاستهای الکترونیک و بسیاری از یکسو کننده استفاده می شوند. از سوی دیگر، به دلیل استفاده از کامپیوترهای شخصی، درصد بارهایی که شامل المان های الکترونیک قدرت هستند به طور افزاینده ای در بخش های مختلف رشد یافته است. امروزه مهمترین نگرانی در ساختمانهای تجاری وجود تجهیزات الکترونیکی تک فازی است که

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

اعوجاج های زیادی را در سیستم سیم کشی ایجاد می کنند. توان جریان مستقیم برای تجهیزات مدرن الکترونیکی و میکروپروسسوری مورد استفاده در این ساختمان ها از طریق یکسو کننده تمام موج دیودی تک فاز، تأمین می شود.

منابع تغذیه تک فاز به دو گروه عمده تقسیم می شوند. تکنولوژی قدیمی تر از کنترل ولتاژ در طرف متناوب ( مانند ترانسفورماتور) استفاده می کند تا ولتاژ را در سطح مورد نیاز طرف مستقیم کاهش دهد. در این حالت اندوکتانس ترانسفورماتور دارای این حسن جانبی است که شکل موج جریان ورودی را صاف تر نموده و هارمونیک‌ها را کاهش می‌دهد.

در تکنولوژی جدیدتر، از منابع تغذیه سوئیچینگ استفاده می کنند. در این سیستم از تبدیل DC/DC برای ایجاد خروجی مطلوبتر استفاده می شود و در نتیجه تجهیزات مورد استفاده سبک تر خواهند بود. پل دیود ورودی به صورت مستقیم به خط AC متصل می شود در نتیجه نیازی به ترانسفورماتور نخواهد بود.

این حالت باعث ایجاد یک ولتاژ DC تنظیم شده در دو سرخازن می گردد. این ولتاژ DC سپس توسط یک سوئیچ کننده فرکانس بالا به حالت AC بر می گردد و بعد از آن دوباره یکسو می شود و کامپیوترهای شخصی، چاپگرها، دستگاه های کوپی و بسیاری از وسائل الکترونیکی تک فاز در حال حاضر از این منبع تغذیه استفاده می کنند.

مزیت اصلی این سیستم وزن کم، اندازه کوچک، راندمان بالا و عدم نیاز به ترانسفورماتور می باشد. این سیستم تغییرات شدید در ولتاژ ورودی را نیز تأمین می کند. از آنجایی که اندوکتانس بزرگی در طرف AC وجود ندارد، جریان ورودی منبع تغذیه، در هنگام شارژ خازن C1 به صورت پالس های کوتاهی در هر نیم سیکل در خواهد آمد. مشخصه تمایز

منابع تغذیه سوئیچینگ، وجود هارمونیک سوم بسیار بالا در جریان آنها است. چون هارمونیک های سوم جریان در نقطه نوترال با یکدیگر جمع می گردند لذا افزایش کاربرد این منبع تغذیه باعث اضافه بارد در هادی نوترال می گردد. این پدیده در مورد ساختمان های قدیمی که نوترال آنها کوچک انتخاب شده اند نگرانی بیشتری را به دنبال دارد. در صورتی که بار شامل تعداد زیادی از منابع تغذیه سوئیچینگ باشد گرم شدن ترانسفورماتور هانیز باید در نظر گرفته شود.

از این روش تغذیه در سیستم های روشنایی فلورسنت با بالاست الکترونیک نیز استفاده می شود. ایجاد ولتاژ خروجی کنترل شده با فرکانس بالا که توسط اینورترهای ترانزیستوری امکان پذیر شده است باعث افزایش راندمان فلورسنت ها شده است باعث افزایش راندمان فلورسنت شده و اجازه کنترل های پیچیده تری مانند کم و زیاد کردن نور را نیز خواهد داد. جریان های هارمونیکی تو سط ب سیاری از بالا ست های الکترونیک مورد ا ستفاده در منابع تغذیه کامپیوترها و دیگر تجهیزات الکترونیکی نیز تولید می شوند. افزایش تولید هارمونیک نا شی از ا ستفاده فراوان از رو شنایی فلور سنتها ب سیار مهم می با شد، زیرا این نوع رو شنای برای ٤٠ تا ٦٠ درصد ساختمانهای اداری – تجاری استفاده می شود.

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

## (۲-۳) مبدل های قدرت سه فاز

مبدل های الکترونیک قدرت سه فاز با مبدل های تک فاز فرق دارند، چون جریان آنها حاوی هارمونیک سوم نیست. با توجه به اینکه قدرت این دستگاهها زیادتر می‌باشد لذا نداشتن هارمونیک سوم یک مزیت به شمار می رود. به هر حال، این دستگاه ها می توانند همچنان منابع اصلی تولید هارمونیک در فرکانس های مشخصه خود باشند. طیف هارمونیکی نشان داده شده در (شکل ۲-۵) می تواند به عنوان نمونه جریان ورودی به یک محرکه موتور DC در نظر گرفته شود.

محرکه های اینورتری منبع ولتاژی، مانند محرکه هایی که از یک تکنیک PWM استفاده می کنند، سطح اعوجاجی بسیار بزرگتری را می تواند ایجاد کنند. منابع تغذیه سوئیچینگ برای قدرتهای کم استفاده شده در حالی که محرکه های استفاده کننده از تکنیک PWM برای بارهای تا ۵۰۰ اسب بخار نیز مورد استفاده قرار می گیرند.

شکل ۲-۶- طیف هارمونیکی برای یک محرکه AC که از تکنیک PWM استفاده می کند.

### (۲-۳-۱) مبدل های AC/DC

مبدل های تایریستوری سه فاز شش پالسه از اساسی ترین تجهیزات یک سیستم انتقال الکتریکی جریان مستقیم ولتاژ بالا (HVDC) می باشند. این مبدل ها به دلیل خواص غیر خطی نهفته در روشن و خاموش شدن تایریستور ها تولید جریان هارمونیکی می نمایند که اغلب این جریان باعث بروز مشکلات جدی در بهره برداری از سیستم می شود.

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

در ابتدای خط، انرژی الکتریکی AC از طریق مبدل شماره ۱ که در یکسو کنندگی کار می کند به انرژی الکتریکی DC تبدیل می شود. سپس در انتهای خط از طریق مبدل شماره ۲ که در حالت اینورتری کار می کد مجدداً به انرژی الکتریکی AC تبدیل می‌شود.

مبدل های استاتیکی AC/DC امروزه در تجهیزات صنعتی نیز کاربرد رو به افزایشی دارند. در حقیقت این مبدل ها با بهره گیری از تکنولوژی نیمه هادی ها نشان داده اند که نسبت به سایر انواع محرک های مرسوم دارای راندمان بیشتر، کنترل سرعت بهتر و نیاز کمتر به تعمیر و نگهداری می باشند. همین امر دست اندرکاران صنعت را تشویق می نماید تا از این محرکه ها برای موتورهای AC,DC با گستره وسیعی از توان مصرفی، استفاده شود. در آغاز، افزودن یک مبدل استاتیکی کوچک به شبکه قدرت بزرگ فقط باعث ایجاد مقدار ناچیزی اعوجاج هارمونیکی در شبک مربوطه می شد. اما امروزه اهمیت بررسی هارمونیکی برای هر سیستم قدرت صنعتی تقریباً برابر اهمیت بر رسی سطح اتصال کوتاه و اضافه ولتاژ در آن سیستم می باشد.

هر مبدل استاتیکی، جریان سمت DC را به ترتیب بین سه فاز سیستم AC سوئیچ می نماید. اگر جریان سمت DC ثابت در نظر گرفته شود، شکل موج جریان در سمت AC که در غیاب مبدل به صورت سینوسی است تبدیل به موج پله ای می گردد.

شکل (۲-۸) با بهره گیری از تحلیل فوریه، می توان نشان داد که در حالت ایده آل هارمونیک‌هایی با مرتبه و دامنه زیر توسط مبدل استاتیکی شش پالسه تولید می گردند:

رابطه (۲-۱) $$h = 6k \pm 1$$

رابطه (۲-۲) $$I_h = \frac{I_1}{h}$$

که در آن h مرتبه هارمونیک، K عدد صحیح، $I_1$ دامنه جریان مؤلفه اصلی، $I_h$ دامنه جریان هارمونیکی می باشند. این هارمونیک‌ها تحت عنوان هارمونیک‌های مشخص تعریف می شوند. البته وجود شرایط غیر ایده‌آل باعث ایجاد هارمونیک هایی با مرتبه غیر از $h = 6k \pm 1$ می گردد که به هارمونیک‌های نامشخص معروف بوده و در این پروژه مورد بحث قرار نگرفته اما جهت مطالعه می توان به مرجع مراجعه شود.

## (۴-۲) محرکه های DC

یکسو سازی تنها عمل مورد نیاز برای محرکه های DC است. بنابراین سیستم کنترل آنها نسبتاً ساده می باشد. در مقایسه با سیستم های با محرکه AC، محرکه های DC محدوده وسیع تری از کنترل سرعت ایجاد نموده و همچنین گشتاور راه اندازی بالایی را به وجود می آورند. بهر حال قیمت و هزینه نگهداری موتورهای زیادی می باشد ولی در عوض هزینه تجهیزات الکترونیک قدرت هر ساله کم می شود و بنابراین از نقطه نظر اقتصادی کاربرد محرکه های DC محدود به کاربردهایی می شود که در آنها مشخصه گشتاور – سرعت یک موتور DC مورد نیاز باشد.

اغلب محرکه های DC از یکسو کننده های شش پالسی استفاده می کنند.

محرکه های بزرگتر از یکسو کننده های ۱۲ پالسی بهره می گیرند. این کار باعث کاهش هر تریستور شده و بعضی از هارمونیک‌ها در طرف AC را نیز کاهش می دهد. هارمونیک‌های جریان مرتبه پنجم و هفتم درایو های شش پالسی دارای مقدار قابل ملاحظه ای هستند. این هارمونیک‌ها اثرات مشکل زایی را در سیستم قدرت ایجاد می کنند. یکسو کنده های ۱۲ پالسی در حدود ۹۰ درصد هارمونیک‌های پنجم و هفتم را بسته به عدم تعادل سیستم حذف

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

می کنند. یکی از معایب درایو های ۱۲ پالسی هزینه بالای تجهیزات الکترونیکی و ترانسفورماتور دیگری است که مورد نیاز خواهد بود.

(۲-۵) محرکه های AC

در محرکه های جریان متناوب (ASD)، از خروجی یکسو کننده برای تولید ولتاژ AC استفاده شده که این ولتاژ با فرکانس قابل تنظیم برای تنظیم موتورها به کار می رود.

اینورترها به دو دسته تقسیم می شوند:

- اینورترهای ولتاژ (VSI)

- اینورترهای جریان (CSI)

برای ورودی یک VSI احتیاج به یک منبع ولتاژ DC ثابت ( با ریپل کم) است. این امر را می توان با استفاده از یک خازن یا فیلتر LC در طرف DC فراهم نمود. ورودی یک CSI احتیاج به یک منبع جریان ثابت دارد. بنابراین در بخش DC یک سلف سری قرار داده می شود.

محرکه های AC معمولاً برای موتورهای القایی قفس سنجابی استفاده می شوند. قیمت این موتورها نسبتاً کم و هزینه تعمیرات کمی دارند. موتورهای سنکرون زمانی استفاده می شوند که نیاز به کنترل دقیق سرعت باشد. عمومی ترین نوع محرکه های AC از یک VSI همراه با تکنیک PWM استفاده می کند.

در اینورترها از یکسو کننده سیلیکونی (SCR)، GTO و یا از ترانزیستور قدرت استفاده می شود. در حال حاضر، محرکه هایی از این نوع بیشترین بازدهی انرژی را روی، محدوده وسیعی از سرعت برای قدرت های تا ۵۰۰ اسب بخار به وجود می آورند.

مزیت دیگر محرکه های فوق این اســـت که برای کنترل دور موتور نیازی به تغییر ولتاژ خروجی یکســو کننده نمی باشـد. این مزیت می شـود که بتوان در یکسـو کننده از دیود به جای تریستور استفاده نمود و در نتیجه مدار کنترل تریستورها نیز حذف می شود.

محرکه های با قدرت بالا از یکسـو کننده های SCR و اینورتر اسـتفاده می کنند. این محرکه ها می توانند به صورت ٦ پالسی و یا برای قدرتهای بالا ۱۲ پالسی باشند. درایورهای VSI به کاربردهایی محدود می گردند که به تغییرات مربع ســـاعت احتیاج نیســـت. درایوهای CSI دارای مشخصه خوب شتاب گیری یا کاهش سرعت هستند ولی نیاز به موتورهای با ضریب قدرت پیش فاز ( ســـنکرون یا القای همراه با خازن) یا مدار کنترل که عمل کموتاســـیون تریســـتورهای اینورتر را انجام دهند دارد. در هر دو حالت، محرکه های CSI باید برای یک موتور با قدرت خاص مشخص طراحی گردند.

اعوجاج هارمونیکی جریان در محرکه های با قابلیت سرعت ثابت نیست. شکل موج برای گشتاور ها و سرعت های مختلف به مقدار قابل ملاحظه ای تغییر می کند.

در حالی که شکل موج در ٤۲ درصد سرعت نامی دارای اعوجاج بیشتری بوده، ولی در مقام مقایسه مقدار هارمونیک جریان در سرعت نامی بیشتر است. نمودار ستونی، مقدار جریان را نشـــان می دهد. قرار دادن را کتانس اضـــافی بین محرکه و منبع، مقدار هارمونیک جریان را نشـــان می دهد. قرار دادن راکتانس اضـــافی بین محرکه و منبع، مقدار هارمونیک جریان در طرف AC را کاهش می دهد. این روش برای محرکه های اســـتفاده کننده از تکنیک PWM مؤثر است.

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

ترانسفورماتور برای دو حالت مختلف، یکی بدون و دیگری با چک ۳ درصدی نشان می دهد. مقدار چک براساس توان پایه محرکه جریان متناوب (ASD) محاسبه شده است. همچنین شکل موج های جریان برای هر دو حالت در ابتدا و انتهای منحنی نشان داده شده است. منحنی بالای برای حالت بدون چک می باشد.

ا ضافه کردن چک، کاهش THD جریان را از گ ستره ۹۰ تا ۱۰۰ در صد به گ ستره ۳۰ تا ٤٠ در صد به دنبال خواهد دا شت. اندوکتانس، سرعت شارژ خازن در طرف DC را کاهش می دهد و باعث می شود که محرکه، جریان لازم را در مدت زمان طولانی تری بکشد. اثر نهایی، کاهش دامنه جریان و محتوای هارمونیکی بوده، در حالیکه انرژی تحویلی در همان مقدار سابق باقی می ماند. چکها همچنین اثرات حالت گذاری مربوط به کلید زنی خازن ها را نیز کاهش می دهند.

## (۲-۶) تجهیزات قوس کننده

این دسته شامل کوره های قوس الکتریک، دستگاه های جوشکاری، لامپهای روشنای مانند( فلورسنت، بخار سدیم و بخار جیوه) با بالاستهای مغناطیسی ( به جای بالاستهای الکتریکی می با شند. قوس را می توان با یک ولتاژ سری شده با راکتانس که جریان را به مقدار قابل قبولی محدود می کند نشان داد.

مشخصه ولتاژ – جریان قوس های الکتریکی غیر خطی می باشد به دنبال جرقه زدن، جریان قوس افزایش و در نتیجه ولتاژ آن کاهش می یابد. مقدار جریان توسط امپدانس سیستم محدود می شود. در چنین حالتی قوس برای بخ شی از سیکل کاری خود به صورت یک مقاومت منفی ظاهر می شود. در لامپهای فلورسنت، امپدانس بالاست برای محدود کردن

جریان در مقدار قابل قبول و پایداری قوس لازم است بنابراین این نوع سیستم روشنایی دارای یک امپدانس خارجی خواهد بود که بالاست نامیده می شود.

بالاست های مغناطیسی معمولاً هارمونیک‌های کمی تولید می کنند، ولی اعوجاج هارمونیکی اصلی از رفتار قوس به وجود می آید. به هرحال بالاستهای الکتریکی که برای اصلاح بازدهی انرژی در منابع تغذیه سوئیچینگ استفاده می شوند ممکن است هارمونیک‌ها را دو تا سه برابر نمایند. انواع دیگر بالاستهای الکترونیکی به نحوی طراحی می گردند که هارمونیک‌ها را کاهش داده و در واقع هارمونیک‌های کمتری از بالا ستهای مغناطیسی ایجاد نمایند.

در کوره های قوس الکتریکی، امپدانس محدود کننده شامل کابل و سیم های رابطه کوره، امپدانس سیستم و ترانسفورماتور کوره می باشد. داشتن جریان های با دامنه بیش از ۶۰ کیلو آمپر در این کوره ها امری عادی می باشد.

کوره های قوس الکتریکی بهتر است به صورت منبع هارمونیک ولتاژ نمایش داده شوند. اگر ولتاژ دو سر قوس برر سی گردد، شکل موج آن تقریباً به صورت ذوزنقه بوده و مقدار آن تابعی از طول قوس است. به هر حال امپدانس بالا ست به صورت یک بافر عمل نموده به نحوی که ولتاژ منبع دارای اعوجاج کمی می گردد. بنابراین بارهای قوس زننده به صورت منابع هارمونیک جریان نسبتاً پایداری ظاهر شده که برای اغلب مدل سازیها لازم است. حالت استثنا زمانی اتفاق می افتد که سیستم نزدیک به حالت تشدید قرار گرفته و در این حالت مدل معادل تونن با استفاده از شکل موج ولتاژ پا سخهای واقع بینانه تری را ارائه می

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

دهد. این دارای بالا ست مغناطیسی ا ست. محتوای هارمونیکی این شکل موج شبیه به کوره قوس الکتریکی و دیگر وسایل قوس زننده می باشد.

وسایل قوس زننده سه فاز به نحوی قرار می گیرند که بتوان هارمونیک‌های مرتبه ۳ را از طریق اتصال ترانسفورماتور حذف نموده به هر حال نمی توان به این روش هارمونیک تکیه نمود زیرا در هنگام مرحله ذوب فلز اغلب شرایط عدم تعادل پدید می آید.

در مرحله ت صفیه وقتی قوس ثابت تر ا ست حذف هارمونیک‌های مرتبه سوم بهتر صورت می گیرد. لامپهای فلورسنت در ساختمان های تجاری را می توان بین فازهای مختلف به نحوی توزیع نمود که مقدار هارمونیک مرتبه سوم وارد شده است به سیستم را کاهش داد. باید توجه نمود که ترانسفورماتورهای ستاره – ستاره هر چه قدر هم بارها بین فازها به خوبی توزیع شده باشند نمی توانند جلوی عبور هارمونیک‌های مرتبه سوم را بگیرند

### (۱-۶-۱) کوره های الکتریکی

در عمل به دلیل متغیر بودن طول قوس الکتریکی حین عمل ذوب، هارمونیک که توسط کوره های ذوب قرا ضه و گرم کننده تولید می گردند به طور پیو سته در حال تغییر ه ستند. مقدار تولید هارمونیک وابسته به نوع کوره می باشد. هارمونیک غالب تولید شده در این کوره ها، هارمونیک سوم ولتاژ می باشد. در ضمن اعوجاج کلی هارمونیکی تولید شده توسط این کوره ها بخصوص هنگامی که الکترود های آنها در ابتدای کار داخل قطعات آهن قراضه قرار می گیرند، به شدت نامنظم و غیر قابل پیش بینی است.

از طرف دیگر، هارمونیک‌های غالب ولتاژ در کوره های گرم کننده هارمونیک‌های سوم و پنجم می با شند. از آنجا که این کوره ها حمامی از فلز مذاب ت شکیل شده ا ست، اعوجاج کلی هارمونیکی آنها منظم و با ثبات تر است.

جرقه های نامنظم در کوره باعث می شود تا هدایت جریان در نیم سیکل مثبت و منفی یکسان نباشد و همین امر باعث می گردد تا در شبکه قدرت متصل به کوره های الکتریکی نیز آلودگی هارمونیکی وجود داشته باشد. بیشترین مقادیر نمونه مؤلفه های هارمونیکی ولتاژ قوس برای هر دو کوره مورد بحث در جدول (۱۵-۲) ارائه گردیده اند. کلیه مقادیر این جدول بر حسب درصدی از مولفه اصلی ولتاژ قوس می باشند.

۱,۱,۱,۱,۱,۱,۱,۱ *جدول (۲-۱۷) ولتاژ هاي هارمونيكي توليد شده در كوره ذوب فراضه و كوره گرم كننده*

| مرتبه هارمونیک | کوره ذوب فراضه (٪) | کوره گرم کننده (٪) |
|---|---|---|
| ۲ | ۵ | ۲ |
| ۳ | ۲۰ | ۱۰ |
| ٤ | ۳ | ۲ |
| ۵ | ۱۰ | ۱۰ |
| ٦ | ۱/۵ | ۱/۵ |
| ۷ | ٦ | ٦ |
| ۸ | ۱ | ۱ |
| ۹ | ۳ | ۳ |
| ۱۱ | ۲ | ۲ |
| ۱۳ | ۱ | ۱ |

جریانهای هارمونیکی که برای یک کوره ذوب قراضه یا گرم کننده اندازه گیری می‌شوند، هنگامی تولید می گردند که ولتاژ قوس به امپدانس های الکترود و ترانسفورمر کوره اعمال گردد. این جریانهای هارمونیکی به داخل سیستم تزریق شده و اگر سیستم در هیچ یک از

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

فرکانسهای هارمونیک‌های غالب تشدید نداشته باشد. مشکلی ایجاد نخواهد شد. اما اگر تشدید در یکی از هارمونیک‌های فوق الذکر وجود داشته باشد، جریان هارمونیکی مربوطه می تواند باعث تحریک مدار تشدید شده و ولتاژ های بسیار بزرگی را تولید نماید. این امر به تجهیزات نصب شده در سیستم صدمه وارد کرده و باعث خرابی آنها خواهد شد.

کوره الکتریکی را می توان بصورت یک منبع ولتاژ هارمونیکی،$V_n$ نشان داد که با یک امپدانس سلفی، $Z_c$ بصورت سری قرار گرفته است. امپدانس مذکور شامل امپدانس کابل های متصل به ثانویه ترانسفورمر کوره و امپدانس الکترودها خواهد بود. باید توجه کرد که امپدانس در نظر گرفته شده در این مدل قابل پیش بینی نبوده و حتما باید در نظر گرفته شود.

کوره های الکتریکی از جمله بارهای تصادفی می باشند. بارهای تصادفی شامل کلیه واحدهایی هستند که به دلیل پیچیدگی بیش از حد شرایط کاری تجهیزات نصب شده در این واحدها، طیف فرکانسی جریان جذب شده توسط آنها را نمی توان به راحتی تعیین نمود. اگر مدل کوره الکتریکی را به صورت مدار معادل نوترون را نمایش دهیم، پارامترهای معادل را می توان از راه تجربی زیر به دست آورد:

رابطه (۲-۳) $Z=Z_r+jZ_i$

که در آن.

رابطه(۲-٤) $$Z_r = 1.2\frac{Uo^2}{SoCOS\varphi}$$

رابطه (۲-۵) $$\frac{Z_i}{Z_r} = \tan\varphi$$

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

که در آن SO توان ظاهری کوره، UO ولتاژ خط، φ زاویه توان کوره می با شد. ضمناً، مقدار منبع جریان های هارمونیکی بصورت زیر تعیین می گردد:

رابطه (۲-۶) برای هارمونیک های زوج: $I_n = \frac{SO}{\sqrt{3}Uo} \cdot \frac{(0.15 + 3.5\exp(-0.4(n-2)))}{100}$

رابطه (۲-۷) برای هارمونیک های فرد: $I_n = \frac{SO}{\sqrt{3}Uo} \cdot \frac{(0.15 + 7.5\exp(-0.45(n-3)))}{100}$

## (۲-۷) جبران کننده های استاتیکی توان راکتیو

جبران کننده های استاتیکی که حاوی راکتورهای کنترل شده با تایریستور (TCR) می‌باشند، تجهیزاتی مؤثر و قابل اطمینان برای تنظیم ولتاژ هستند.

این تجهیزات هارمونیک‌های فرد تولید می نمایند و مقدار مؤثر دامنه این هارمونیک‌ها تابعی از زاویه آتش تایریستورها (a) بوده و از رابطه زیر قابل محاسبه است.

رابطه (۲-۸)
$$I_n = \frac{4}{\pi}\frac{V}{X_L}\left[\frac{\sin(n+1)a}{2(n+1)} + \frac{\sin(n-1)a}{2(n-1)} - \cos a \frac{\sin(na)}{n}\right]$$

که در آن $X_L$ راکتانس سلف، ولتاژ دو سر TCR و n مرتبه هارمونیک می باشند.

از آنجایی که در سیستم های سه فاز جبران کننده ها به صورت مثلث بسته می شوند، به شرط تقارن سیستم تماسی هارمونیک‌های سوم در مثلث بسته به گردش در آمده و از جریان خط حذف می گردند.

بیشترین مقدار هارمونیک‌های TCR در شرایط متعادل به صورت درصدی از مؤلفه اصلی در هدایت کامل در جدول (۲-۲۱) نوشته شده است.

| مرتبه هارمونیک | حداکثر دامنه (درصد مولفه اصلی) | مرتبه هارمونیک | حداکثر دامنه (درصد مؤلفه اصلی) |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۰۰ | ۲۱ | (۰/۲۹) |
| ۳ | (۱۳/۷۸) | ۲۳ | ۰/۲٤ |
| ۵ | ۵/۰۵ | ۲۵ | ۰/۲۰ |
| ۷ | ۲/۵۹ | ۲۷ | (۰/۱۷) |
| ۹ | (۱/۵۷) | ۲۹ | ۰/۱۵ |
| ۱۱ | ۱/۰۵ | ۳۱ | ۰/۱۳ |
| ۱۳ | ۰/۷۵ | ۳۳ | (۰/۱۲) |
| ۱۵ | (۰/۷۵) | ۳۵ | ۰/۱۰ |
| ۱۷ | ۰/٤٤ | ۳۷ | ۰/۰۹ |
| ۱۹ | ۰/۳۵ | | |

در TCR این مسأله حائز اهمیت است که مطمئن باشیم تا زاویه هدایت در دو تایریستور که در جهت خلاف هم قرار دارند، یکسان است. نامساوی بودن زاویه هدایت منجر به تولید مولفه های هارمونیکی زوج و مولفه DC در جریان گردیده که به نوبه خود منجر به تنش حرارتی نابرابر در تایریستورها می گردد. اگر چنانچه راکتور شکل صفحه قبل به دو راکتور جداگانه تقسیم شود. زاویه هدایت در هر یک از شاخه ها می تواند تا مقدار ۳٦۰ درجه افزایش یابد. این آرایش TCR نسبت به شکل صفحه قبل دارای هارمونیک کمتری است ولی در مقابل، به واسطه جریان گردشی بین دو شاخه، تلفات توان افزایش می یابد.

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

## (۲-۸) ترانسفورمرهای قدرت

به دلیل کم بودن جریان در یک ترانسفورماتور بی بار، می توان از اثر مقاومت سیم پیچی وراکتانس نشتی آن صرف نظر نمود. در این حالت با اعمال ولتاژ سینوسی به سیم پیچ اولیه آن کاملا سینوسی نخواهد بود زیرا رابطه بین شار مغناطیسی و جریان مغناطیس کنندگی کاملا خطی نبوده و از منحنی هیسترزیس هسته ترانسفورمر تبعیت می کند. هر گاه نقطه کار ترانسفورمر وارد ناحیه اشباع گردد. شکل موج جریان از حالت سینوسی خود خارج شده و دچار اعوجاج می گردد

### (۱-۸-۱) اشباع ناشی از افزایش ولتاژ

برای اهداف اقتصادی، معمولا یک ترانسفورمر به گونه ای طراحی می شود که از قابلیت های مغناطیسی هسته آن به خوبی ا ستفاده گردد. به همین دلیل انتظار می رود که در حالت ماندگار، دامنه چگالی شار مغناطیسی در هسته حدود ۱/٦ تا ۱/۷ تسلا می باشد. اگر ترانسفورمری که تحت این شرایط کار می کند در برابر افزایش ولتاژی معادل ۳۰٪ قرار گیرد. چگالی شار مغناطیسی هسته به مقدار حدود ۱/۹ الی ۲/۰ تسلا خواهد رسید که باعث اشباع قابل توجهی در ترانسفورمر می‌گردد. این مسأله ممکن است در مورد ترانسفورمرهایی که به یکسو کننده های قدرت و بزرگی متصل با شند. در پی قطع بار یکسو کننده رخ دهد. در این شرایط م شاهده شده ا ست که ولتاژ ترمینالهای مبدل به ۱/٤۳ پریونیت ر سیده و به شدت باعث اشباع شدن ترانسفورمر می گردد. جریان مغناطیس کنندگی بدین ترتیب ایجاد می شود، حاوی هارمونیک‌های فرد می باشد. اگر از مؤلفه اصلی صرفنظر کرده و چنین فرض کنیم که هارمونیک‌های توالی صفر (مضرب سه) در سیم بندی مثلث جذب می‌گردد،

مولفه های باقی مانده از مرتبه $6k \pm 1$ خواهد بود که در آن k عدد صحیح می باشد. اگر ترانسفورمر به یک مبدل شش پالسه متصل باشد، مشکلی نخواهیم داشت. در حقیقت، مبدل های شش پالسه نیز دارای هارمونیک‌های با مرتبه $6k \pm 1$ می باشند. به همین دلیل فیلترهایی که در ایستگاه مبدل جهت حذف هارمونیک های AC نصب شده اند هارمونیک‌های مربوط به اشباع ترانسفورمر را نیز حذف خواهند نمود. اما در مورد مبدل های دوازده پالسه این چنین نخواهد بود و به دلیل این که فیلترهای این مبدل برای حذف هارمونیک‌های مرتبه ۱۳، ۱۱ و... طراحی شده اند، هارمونیک‌های مرتبه پنجم و هفتم حذف نخواهند شد.

## (۲-۹) جریان هجومی ترانسفورمرها

منبع دیگر هارمونیک در شبکه های قدرت جریان هجومی در ترانسفورمرها می باشد که در لحظه برقدار کردن ترانسفورمر از شبکه کشیده می شود. این موضوع از موارد خاصی است که فرق بین اعوجاجات هارمونیک و اعوجاجات از حالت گذر به وضوح مشخص نمی با شد. شکل موج جریان هجومی شکل صفحه بعد در برگیرنده هر دو نوع هارمونیک‌های فرد و زوج می باشد که با گذشت زمان تا رسیدن جریان مغناطیس کنندگی به حالت ماندگار میرا می‌گردند. همانگونه ، هارمونیک‌های غالب در جریان هجومی ترانسفورمر به ترتیب نزولی، هارمونیک‌های مرتبه دوم، سوم، چهارم و پنجم می‌باشند.

هارمونیک‌های جریان هجومی معمولا مشکلی را در شبکه پدید نمی آورند مگر آنکه سیستم در یکی از این هارمونیک‌ها دارای تشدید با شد که در این حالت برقدار کردن ترانسفورمر، سیستم را تحریک کرده و باعث اعوجاج ولتاژ می گردد. این اعوجاج ولتاژ به نوبه خود

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

جریان هجومی را تحت تأثیر قرار داده و باعث تولید جریان های هارمونیکی بیشتری می شود. اثر متقابل بین تشدید سیستم و برقرار کردن ترانسفورمرها، (ولتاژ مؤثر و پیک) بسیار بزرگی را تولید می کند که می تواند باعث از بین رفتن تجهیزات سیستم گردد. شایان ذکر است در مجتمع های فولاد و کارخانجات ذوب آهن به دلیل روشن و خاموش کردن زیاد ترانسفورمرهای کوره الکتریکی، هر ساله هزاران مورد اضافه ولتاژ گزارش می شود که باعث فرسودگی عایق های سیستم می گردند.

## (۲-۱۰) لامپ های تخلیه ای

لامپ های تخلیه ای و بالاخص لامپ های فلورسنت را می توان به صورت دو دیود پشت به پشت در نظر گرفت. در حقیقت در هر دو نیم سیکل برای ایجاد قوس الکتریکی می بایستی دامنه ولتاژ از ولتاژ شروع شکست عایق لامپ بیشتر باشد تا مسیر قوس بسته شده و جریان الکتریکی ایجاد شود. واضح است که وجود دیود به عنوان المان غیر خطی شکل موج ولتاژ را تغییر داده و تولید هارمونیک خواهد نمود. تحلیل هارمونیکی با توجه به تقارن نیم موج شکل موج جریان نشان می دهد که لامپ های فلورسنت باعث افزایش قابل توجه جریان های هارمونیکی مرتبه فرد می گردند. از آنجا که در کلیه مراکز اداری و صنعتی، مهمترین سیستم روشنایی را به دلیل راندمان نوری بالا، عمر زیاد و مصرف کم لامپ های فلورسنت تشکیل می دهند، بنابراین بررسی هارمونیک‌های تولید شده توسط این لامپ ها حائز اهمیت خواهد بود در یک بار سه فاز چهار سیمه متشکل از لامپ های فلورسنت هارمونیک‌های مرتبه سه در نول سیستم با هم جمع می شوند که در بین این هارمونیک‌ها، هارمونیک سوم بر همه غالب است.

با توجه به اینکه مدارهای روشنی معمولا طولانی می باشند، وجود خازن تصحیح ضریب توان می تواند در مدار LC معادل باعث ایجاد تشدید فرکانس مربوط به هارمونیک سوم شود. در پی وجود این مشکلات، در مرحله طراحی بهتر است که از این تشدید پیشگیری

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

بعمل آید. برای نیل به این مقصود، توصیه می شود که خازن های تصحیح ضریب توان را از مجاورت هر لامپ برداشته و بجای این خازن ها از یک بانک خازنی مناسب در تابلوی اصلی استفاده شود. بهتر است که این خازنها به صورت مثلث بسته شده و بین شبکه و سیستم روشنایی قرار گیرند. اگر در حالت ستاره از آنها استفاده شود، باید نقطه صفر ستاره را به صورت معلق رها کرده و به نول سیستم متصل ننمود.

## (۲-۱۱) سایر منابع

تجهیزات زیر به نوبه خود در ایجاد اعوجاج در شکل موجهای ولتاژ و جریان مؤثرند ولی به دلیل قدرت نسبتاً کم این تجهیزات در مطالعات مربوط به هارمونیک‌های سیستم قدرت بصورت مجزا در نظر گرفته نمی شوند. اعوجاج حاصل از این تجهیزات هنگامی اهمیت پیدا می کند که به صورت گروهی از یک محل تغذیه می شوند بعضی از این تجهیزات به شرح زیر می باشند:

- اینورترهای تک فاز و سه فاز
- تجهیزات حرارتی که به روش کنترل فاز کنترل می شوند.
- مبدل های فرکانسی
- منابع تغذیه سوئیچینگ
- گیرنده های تلویزیونی
- دستگاه شارژ کننده باطری

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

# فصل سوم

## آثار هارمونیک‌ها

WikiPower.ir

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

## (۳-۱) مقدمه

اعوجاجات هارمونیکی به صورت جریان های هارمونیکی تو سط بارهای غیر خطی به بقیه شبکه تزریق شده و با توجه به امپدانس شبکه، بصورت اعوجاجات ولتاژ هارمونیکی به تجهیزات مختلف اعمال می شود. لذا تجهیزات مورد استفاده در شبکه های قدرت آلوده به هارمونیک بطور دائم در معرض این اعوجاجات می با شند. لازم ا ست تأثیرات این اعوجاج ها بر تجهیزات را مورد استفاده قرار داده و چنانچه عملکرد صحیح تجهیزات تحت تأثیر قرار بگیرد، می بایستی روش هایی را به منظور کاهش اینگونه تأثیرات جستجو نمود

اعوجاجات هارمونیکی دارای اثرات متفاوتی بر روی تجهیزات و سیستم های الکتریکی می باشند. به عنوان مثال باعث ایجاد تداخل در سیستم مخابراتی گردد. تداخلات در چنین وضعیتی بستگی به مسیر و اندازه هارمونیک و تلفات را در خطوط افزایش می دهند. از طرف دیگر، وسایل اندازه گیری موجود در سیستم های قدرت نیز ممکن است در این حالت د چار خطای اندازه گیری شوند به علاوه، هارمونیک ها میتوانند باعث عملکرد نامناسب رله ها، کلیدها، فیوزها، سیستم های فرمان از راه دور و غیره در شبکه قدرت گردند.

وجود سلف و خازن درشبکه قدرت و ایجاد تشدید در یک یا چند هارمونیک می تواند با عث افزایش اعو جا جات هارمونیکی گرد یده که به نو به خود افزایش آ ثار سوء هارمونیک‌های جریان را به دنبال خواهد داشت.

در این فصل به مطالعه تأثیرات هارمونیک ها بر شبکه های قدرت و مخابرات، و نیز چگونگی این تأثیرات خواهیم پرداخت.

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

## (۳-۲) خازن ها

اعوجاجات هارمونیکی می توانند به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم بر روی خازن ها تأثیر گذار باشند که در بخشه ای زیر به آن خواهیم پرداخت.

### (۳-۲-۱) اثرات مستقیم

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 بشوند که در هر یک از این موارد می توان انتظار خرابی عایق خازن و بالاخره خارج شدن خازن از مدار را داشت.

افزایش جریان

تجهیزات سیستم های قدرت اغلب تحت تأثیر هارمونیک‌های ولتاژ هستند. از مهمترین تجهیزاتی که تحت تأثیر این هارمونیک‌ها 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 شدید خازن می باشد که خود ناشی از ولتاژ های هارمونیکی دو سر آن است. بالابودن جریان ورودی به خازن حتی در صورت کم بودن هارمونیک ولتاژ امکان پذیر است زیرا امپدانس خازن، $X_c$ با عکس فرکانس، $\omega$ ، در ارتباط است.

رابطه (۳-۱)
$$X_c = \frac{1}{C\omega}$$

که در آن C ظرفیت خازن است

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

افزایش تنش الکتریکی

مشکل عایقی خازنها از دیگر آثار سوء هارمونیک‌ها بر روی این تجهیز می باشد. در حقیقت در اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک‌ها ممکن است به حدی برسد که تنش الکتریکی بر روی عایق خازن از حد مجازی بیشتر شده و باعث تخلیه الکتریکی خازن شود. این موضوع اغلب در مواقعی اتفاق می افتد که یک هارمونیکی از لحاظ زمانی با یک ولتاژ فرکانس اصلی یکی می شود. شایان ذکر است در سیستم های قدرت اغتشاشات ولتاژ به اندازه ای نیست که به طور 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 خواهد شد.

افزایش تلفات دی الکتریکی

علاوه بر افزایش مقدار جریان موثر 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:

$$p = \sum_{n=1}^{\infty} v_n^2 C(n\omega o)(tg\delta_n)$$ رابطه (۲-۳)

که در آن $V_n$ مولفه ولتاژ هارمونیکی مرتبه n ظرفیت خازن بر حسب فاراد، $\delta_n$ ضریب تلفات در هارمونیک n-ام و $\omega_o$ سرعت زاویه ای متناظر با فرکانس اصلی می باشد.

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

### (۳-۲-۲) اثرات غیر مستقیم

اگر چه خازنها تجهیزاتی هستند که خود تولید هارمونیک نمی کنند لیکن بر روی هارمونیک‌های ناشی از بارهای غیر خطی تاثیرات خاصی بر جای می گذارند که لازم است بر روی آنها 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 اصولا سیستم های قدرت سلفی هستند و این مساله حتی در فرکانس های هارمونیکی نیز صدق می کند. اما در هنگامی که خازن ها در یک مدار سلفی وارد می گردند، می توانند باعث ایجاد تشدید در فرکانس طبیعی سیستم شوند به همین دلیل، تعیین فرکانس طبیعی سیستم آلوده به هارمونیک در یک مطالعه هارمونیکی لازم به نظر می رسد. اصولا امکان به وجود آمدن دو نوع تشدید وجود دارد که عبارتند از:

- تشدید سری
- تشدید موازی

در فرکانس تشدید، ترکیب موازی بانک خازنی و یا حتی اثر خازنی خطوط انتقال در کنار راکتانس سلفی سیستم منبع به صورت امپدانس بزرگی ظاهر می گردد. در این صورت اگر هارمونیک جریانی به این امپدانس تزریق شود، ولتاژ اعوجاج دار بزرگی به دلیل بالا امپدانس ظاهر می گردد. بایستی توجه نمود که ولتاژ هارمونیکی بزرگ به وجود آمده به نوبه خود سبب تولید هارمونیک جریان در بانک خازنی می شود. عبارت دیگر، اثر تشدید بصورت تقویت هارمونیک جریان تزریق ظاهر می گردد. در چنین حالتی اعوجاج ولتاژ

اعمال شـده به خازن افزایش یافته و همانطور که در بالا اشـاره شـد می تواند باعث آسـیب رسیدن به خازنها شود.

وجود بار مصـــرفی در شـــبکه یکی از پارامترهای مهم در کاهش اعوجاج هارمونیکی در شرایط تشدید 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 به دنبال خواهد داشت.

همچنین در شـــرایط دیگر خازنهایی که در طرف ثانویه ترانســفورمرها قرار دارند از دیدگاه اولیه این ترانســفورمر بصــورت فیلترهای تنظیم شــده ســری ظاهر می گردند. وقتی که بار سیستم کم باشد شرایطی پدید می آید که یک منبع هارمونیک در طرف اولیه ترانسفورمر می تواند سبب تولید اعوجاج ولتاژ بالایی در طرف ثانویه گردد. در نتیجه به راحتی باعث آسیب رسیدن به ولتاژ خازن ها می شود.

پخش عادی جریانهای هارمونیکی

جریان های هارمونیکی معمولا از بارهای غیر خطی ( منابع مولد هارمونیک ) به طرف کوچکترین امپدانس که عموما امپدانس منابع تغذیه یعنی ژنراتورها یا نقطه اتصـال مشـترک coupling point of common (pcc) می باشند. جاری می شوند.

امپدانس منبع تغذیه اغلب خیلی کوچکتر از امپدانس مسیرهای موازی است که بارها ایجاد می کنند. با این وجود جریان هارمونیکی با توجه به نسبت این امپدانس تقسیم خوهد شد. هارمونیک‌های مرتبه بالا به سـمت خازن های شـبکه جاری خواهند شـد، زیرا خازن ها در فرکانس های بالا امپدانس کمی از خود نشان می‌دهند.

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

تشدید موازی

تشدید موازی در واقع حالتی از تشدید ا ست که سیستم امپدانس بسیار بزرگی را در برابر عبور جریان هارمونیکی از خود نشان می دهد. به عنوان مثال تشدید موازی در شکل زیر به هنگامی اتفاق می افتد که در یک فرکانس خواص، راکتانس های سلفی و خازنی سیستم با هم برابر شـوند. اگر ترکیب بانک های خازنی و اندوکتانس سـیسـتم باعث ایجاد تشـدید موازی فرکانسی نزدیک به فرکانس یکی از هارمونیک‌های تولید شده تو سط بار غیر خطی گردد، این جریان هارمونیکی مدار را تحریک کرده و باعث ایجاد جریان بزرگی خواهد شد که بین خازن و سلف نوسان می کند.

تشدید سری

تشدید سری نتیجه ترکیب سری بانک های خازنی با خط یا اندوکتانس ترانسفورمرها است. تشدید سری سرعت ایجاد یک مسیر یا امپدانس کوچک در برابر جریان هارمونیکی شده و به ا صطلاح کلیه جریان های هارمونیکی هم مرتبه با مقدار تنظیمی خودش را به تله انداخته و از نفوذ آنها در سایر قسمتهای شبکه جلوگیری می کند.

تشدید سری می تواند باعث ایجاد مقادیر زیادی اعوجاج 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 متصـل به یک بانک خازنی اسـت، این وضعیت از دید اولیه ترانسفورمر به شکل یک مدار تشدید سری دیده می شود.

در تشدید سری بر خلاف تشدید موازی، هارمونیک جریان تقویت نمی گردد.

اما جریان می تواند در مواد زیر آثار نامطلوبی را در پی داشته باشد:

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

- اگر خطی در شرایط تشدید سری قرار گرفته باشد و خطوط مخابراتی نیز با آن موازی باشند، آنگاه در چنین حالتی تداخلات شدید مخابراتی می تواند بروز کند.
- اعوجاج ولتاژ هارمونیکی به دلیل افزایش هارمونیک جریان در مسیر تشدید پدید می آید.

## (۳-۳) لامپهای روشنایی و المان های حرارتی

لامپ های روشنایی و المان های حرارتی را به عنوان یک مقاومت، در نظر بگیریم، توان مصرفی لامپ های روشنایی و المان های حرارتی، از رابطه زیر به دست می آید:

رابطه (۳-۳)
$$p = \sum_{n=1}^{\infty} V_n^2 \frac{1}{r}$$

که در آن $V_n$ مؤلفه هارمونیکی ولتاژ مرتبه n اعمالی می با شد. همانطور که م شاهده گردید، هارمونیک ها باعث افزایش توان مصرفی و در نتیجه دمای المانهای حرارتی می‌گردند. مطالعاتی در مورد طول عمر این قبیل تجهیزات صورت گرفته و رابطه زیر برای تغییرات طول عمر این تجهیزات پیشنهاد شده است.

رابطه (۳-٤)
$$\left(\frac{T_{MR}}{T_M}\right)^{2.7} = \frac{V_R}{V}$$

رابطه (۳-۵)
$$L = L_R\left(\frac{V_R}{V}\right)^{13.1} = L_R\left(\frac{T_{MR}}{T_M}\right)^{35.4}$$

که در آن $T_{MR}$ دما در ولتاژ نامی $V_R$، دما در ولتاژ V $L_R$ عمر عادی لامپ با ولتاژ $V_R$ و L عمر لامپ با ولتاژ V می‌با شند. معادله فوق بصورت پریونیتی نیز به صورت زیر داده شده است:

رابطه (۳-٦)
$$L = \frac{1}{V^r}$$

که در آن V برابر با مقدار موثر ولتاژ بر حسب پریونیت ( بر حسب ولتاژ نامی) و L نیز عمر پریونیت بر حسب عمر نامی، و r برابر با ۱۳/۱ می باشد. به عبارت دیگر:

رابطه (۳-۷)
$$L = \frac{1}{\left\{V_1^2\left[1+\sum_{n=2}^{\infty}V_n^2\right]\right\}^{\frac{\gamma}{2}}}$$

با توجه به رابطه بالا همچنین مشـــاهده می گردد که افزایش اعوجاجات هارمونیکی باعث کاهش طول عمر لامپ های رشته ای و المان های حرارتی می گردد.

(۳-٤) موتورهای آسنکرون ( القایی)

از آنجایی که بـ سیاری از م صرف کننده های موجود در شبکه های توزیع موتورهای القایی می باشـــند، مطالعه تأثیر هارمونیک‌ها در ســیســـتم های توزیع بر عملکرد این تجهیزات از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

با افزایش مرتبه هارمونیک‌ها، n، و اندوکتانس مؤثر نشـــتی روتور، $L_{r\,n}$، و اســـتاتور، $L_{sn}$، به دلیل اثر پوســـتی کاهش می یابند. مع الوصـف، این تغییرات زیاد نبوده و می توان از تقریب زیر برای محاسبه اندوکتانس نشتی موتور، $L_{1n}$ استفاده کرد:

رابطه (۳-۸)
$$L_{1n} = L_{sn} + L_m \cong L_s + L_r = L_1$$

که در آن و به ترتیب اندوکتانس های معادل نشتی استاتور و روتور، اندوکتانس نشتی موتور در فرکانس اصـــلی می باشـــند. ضـــمناً با توجه به اینکه با افزایش مرتبه هارمونیک‌ها مقدار رأکتانس های ســـلفی موتور افزایش پیدا کرده و لغزش موتور به ســـمت یک میل می نماید، می توان از مقاومت های مدار معادل موتور القایی صـــرف نظر نمود بنابراین مقدار جریان هارمونیک n- ام را می توان با استفاده از رابطه زیر به دست آورد:

رابطه (۳-۹)
$$I_n = \frac{V_n}{n\omega oLl}$$

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

که در آن n مرتبه هارمونیک، ωo سرعت زاویه های متناظر با فرکانس اصلی، $V_n$ مؤلفه هارمونیکی مرتبه nولتاژ و $I_n$مؤلفه هارمونیکی مرتبه n جریان می باشند.

با افزایش مرتبه هارمونیکی، لغزش هارمونیکی موتور به عدد یک میل خواهد کرد.

بنابراین با توجه به اینکه فرکانس جریان القایی در روتور برابر با حاصل ضرب فرکانس استاتور و لغزش موتور است، فرکانس های روتور و استاتور در هارمونیک‌های مرتبه بالا با هم برابر می شوند.

حال با توجه به روابط (۳-۸) و (۳-۹) با فرض این که مقدار مقاومت مؤثر در هارمونیکn-ام ( با توجه به اثر پوستی ) برابر با $R\sqrt{\frac{n}{2}}$ در نظر گرفته میشود، مقدار تلفات مسی موتور در مرتبه هارمونیکی n- ام، $P_n$، از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

رابطه (۳-۱۰)
$$p_n = 3\left(R\sqrt{\frac{n}{2}}\right)\left(\frac{V_n}{n\omega oLl}\right)^2 = \frac{3}{\sqrt{2}}\frac{R}{\omega.L_1}\frac{V_n^2}{n^{3/2}}$$

و کل تلفات ناشی از جریان هارمونیکی، $P_n$ برابر است با:

رابطه (۳-۱۱)
$$p_n = \sum_n p_n = \frac{3R}{\sqrt{2}(\omega oLl)^2}\sum_n \frac{V_n^2}{n^{3/2}}$$

به عبارت دیگر،

رابطه (۳-۱۲)
$$\frac{p_n}{p_{RL}} = k\sum_n \frac{V_n^2}{n^{3/2}V_1^2}$$

که در آن $R_{RL}$ تلفات نامی ماشین با منبع تغذیه سینوسی است اندازه تخمینی ثابت K را میتوان از رابطه زیر به دست آورد:

رابطه (۳-۱۳)
$$k = \frac{(T_s/T_R)\eta}{(1-S_R)(1-\eta)}$$

که در آن $T_s$ گشتاور راه اندازی، $T_R$ , $S_R$ , $\eta$ به ترتیب گشتاور، لغزش و راندمان موتور در نقطه کار نامی را نشـــان می دهند با توجه به معادلات می توان شـــاخص اغتشـــاش موتور Motor Disturbance index (MDI) بصورت زیر تعریف نمود:

$$MDI = \frac{1}{V1}\left(\sum_n \frac{V_n^2}{n^{3/2}V_1^2}\right)^{1/2}$$ رابطه (۳-۱٤)

از رابطه تلفات می توان نتیجه گرفت و همچنین مشـــاهده شـــده که موتورهای با میله های عمیق و یا قفسه سنجابی مضاعف تلفات هارمونیکی بیشتری دارند. اگر چه تاکنون مطالعات عمده ای در مورد مقدار تلفات گرمای هارمونیکی قابل تحمل برای یک موتور در نظر صورت نگرفته است، لیکن در مورد ولتاژ توالی منفی محدودیت هایی مطرح شده است که برای موتورهای القایی بین ۱٪ تا ۵٪ در نظر گرفته شده است. ضمناً نشان داده شده است که می توان تلفات هارمونیکی موتورهای القایی با روتور قفس سـنجابی، را با اسـتفاده از رابطه زیر تخمین زد:

$$\frac{p}{p_R} \cong \left[\frac{V_1}{V_R}\right]^2\left[1+35\sum_n \frac{1}{n}\left[\frac{V_n}{V_1}\right]^2\right] \quad n=5, 7, 11,13,...$$ رابطه (۳-۱۵)

که در آن $V_R$ ولتاژ نامی موتور و $P_R$ تلفات موتور به هنگام تغذیه از یک موج سـینوسـی با مقدار مؤثر $V_R$ می باشند.

## (۳-۵) ماشین های سنکرون

اولین تأثیر هارمونیک‌ها بر ماشین های سنکرون تغییر دادن مقدار امپدانس ماشین است. در صـورتی که موج جریان دارای هارمونیک باشـد، امپدانس ماشـین در برابر هر هارمونیکی معادل امپدانس زیر گذاری ماشـین ضـرب در مرتبه هارمونیک خواهد شـد. اگر چه هنوز مطالعات قابل توجهی در خصوص مسیرهای هارمونیک جریان و در نتیجه گرم شدن اضافی

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

ناشی از آن در مورد ماشین های سنکرون منتشر نشده است، ولی می توان در مورد موتورهای سنکرونی که به روش آسنکرون راه اندازی می شوند از مطالعات انجام شده مربوط به موتور آسنکرون استفاده نمود.

هارمونیک‌های جریان می توانند تأثیر سوء مکانیکی بر توربین و ژنراتور داشته باشند. در حقیقت، به دلیل گشتاور پالسی ناشی از تداخل بین جریان های هارمونیکی و مؤلفه میدان اصلی، نوسانات مکانیکی ایجاد می گردد که باعث آسیب رسیدن به محورها می شود. از طرف دیگر، در صورتیکه فرکانس موج جریان هارمونیکی به نحوی باشد که تولید نوسانات پالسی نموده و فرکانس این نوسانات با مودهای مکانیکی ترکیب ژنراتور- توربین برابر شود آنگاه شرایط تشدید فراهم آید و می تواند منجر به آسیب های عمده بر محور توربین – ژنراتور گردد.

WikiPower.ir

## (۳-۶) ترانسفورمرها

تأثیر هارمونیک‌ها بر ترانسفورمرها را می توان از دو جنبه مورد بررسی قرار داد که عبارتند از:

- تأثیر جریان های هارمونیکی بر تلفات مسی و تلفات هسته ترانسفورمرها
- تأثیر هارمونیک‌ها بر کاهش ظرفیت و طول عمر ترانسفورمرها

با افزایش فرکانس جریان عبوری در یک هادی، طبق پدیده پوستی جریان به سطح هادی تمایل پیدا می کند. لذا مقاومت اهمی هادی مورد نظر در فرکانس های بالا با توجه به

کاهش سطح موثر آن، افزایش می یابد. این موضوع باعث می شود تا وجود اعوجاجات هارمونیکی در جریان عبوری از یک ترانسفورمر باعث افزایش تلفات اهمی در سیم پیچی ها گردد.

**(۳-۶-۱) افزایش تلفات جریان گردابی در هادی ها**

اگر فلزی تحت تأثیر شار مغناطیسی متغیر با زمان، $\varphi$ قرار گیرد، مطابق با قانون فاراده ولتاژ $\lambda$ در آن القا می گردد که از رابطه زیر قابل محاسبه است:

رابطه ( ۳-۱۶)

$$\lambda = -\frac{d\varphi}{dt}$$

به بیان، $\lambda$ متناسب با تغییرات شار و همچنین فرکانس آن می باشد. این ولتاژ در فلز مورد نظر مطابق اهم جریانی موسوم به جریان گردابی ایجاد می نماید. در نتیجه تلفات مسی ناشی از چنین جریانی متناسب با مربع فرکانس است. با توجه به توضیحات داده شده می توان از رابطه زیر برای تخمین تلفات گردابی در هادی های ترانسفورمر استفاده نمود.

رابطه (۳-۱۷)

$$W_E = W_R \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{I_n}{I_R} \right)$$

که در آن $W_E$ تلفات جریان گردابی در هادی ها، $W_R$ اتلاف جریان گردابی در هادی ها در جریان نامی، $I_n$ جریان هارمونیک n- ام، $I_R$ جریان مؤلفه اصلی و n مرتبه هارمونیک می باشد.

بنابراین در صورتی که میزان تلفات گردابی در هادی ها توسط کارخانه سازنده داده شده باشد، همانگونه که رابطه بالا نشان می دهد وجود مؤلفه های هارمونیکی جریان باعث افزایش تلفات جریان گردابی در هادی ها می شود.

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

### ( ۳-۶-۲) افزایش تلفات هیسترزیس

معمولاً در شرایط کاری نرمال ترانسفورمرهای قدرت، شار مغناطیسی هسته برابر ۱/۷ تسلا می باشد. مقدار ۱/۷ در محدوده کار زانویی هسته هایی است که در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرند. لازم به تصحیح است که مقدار اشباع در حدود ۲ تسلا می‌باشد.

وقتی که ولتاژ اعمال شده به ترانسفورمر آلوده به اعوجاجات هارمونیکی باشد، ممکن است دامنه آن و در نتیجه میزان چگالی شار مغناطیسی افزایش یافته و باعث زیاد شدن سطح زیر منحنی هیسترزیس آهن هسته یعنی افزایش تلفات هسته گردد. ضمناً نقطه اشباع هسته نیز در میزان تأثیر هارمونیک‌ها بر تلفات هیسترزیس مؤثر است. به طور کلی تلفات هیسترزیس در لایه های هسته ترانسفورمر بستگی به مقدار و شکل موج چگالی شار مغناطیسی خواهد داشت.

به منظور بررسی دقیق تر موضوع یک ولتاژ غیر سینوسی را به صورت زیر در نظر میگیریم:

$$V(\omega t) = \sum_n \sqrt{2}\sqrt{n}\sin(n\omega t + \theta_n)$$ رابطه ( ۳-۱۸)

در صورتیکه تلفات هیسترزیس ترانسفورمری که از یک موج سینوسی به صورت:

$$V(\omega t)\sqrt{2}V_R \sin(\omega t)$$ رابطه (۳-۱۹)

تغذیه شود را $p_R$ بنامیم، آنگاه نسبت بین تلفات در حضور هارمونیک به تلفات موج سینوسی به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{p}{p_R} \cong \left[\frac{V_1}{V_R}\sum_n \frac{1}{n}\frac{V_n}{V_1}\cos\theta_n\right]^s$$ رابطه (۳-۲۰)

که در آن $\theta_n$ زاویه هارمونیک مرتبه n –ام ولتاژ و s ضریب اشتاینمتر (۱/٦ تا ۱/۸) می باشد قابل توجه است که اعوجاج ولتاژ تأثیر بسیار کمی بر تلفات هیسترزیس در لایه های فلزی ترانسفورمر دارد.

### ( ۳-٦-۳) افزایش تلفات جریان گردابی در هسته

تغییرات زمانی شار مغناطیسی در ترانسفورمر علاوه بر بخش های فلزی، در هسته آن نیز ایجاد جریان گردابی می نماید. بر خلاف بخش های مختلف فلزی ترانسفورمر که از مواد غیر مغناطیسی می باشند، هسته از مواد فرو مغناطیس ساخته می شود. لذا به علت غیر خطی بودن مشخصه منحنی هیسترزیس مواد فرومغناطیسی، استفاده از روش جمع آثار محاسبه جریان های گردابی ناشی از هارمونیک ها امکان پذیر نیست. مطالعات اخیر نشان داده است که تلفات گردابی را می توان از رابطه زیر در هسته تخمین زد:

رابطه ( ۳-۲۱)
$$\frac{p}{p_R} \cong \frac{4\sqrt{2}}{\pi}\left[\frac{V_1}{V_R}\right]^2 \int_0^{\pi} [F_1(\omega t)]^2 F_2(\omega t)\, d(\omega t)$$

رابطه ( ۳-۲۲)
$$F_1(\omega t) = \sum_n \frac{V_n}{V_1} \sin(n\omega t + \theta_n)$$

رابطه ( ۳-۲۳)
$$F_2(\omega t) = \sum_n \frac{1}{n}\frac{V_n}{V_1}\left[\cos\theta_n - \cos(n\omega t + \theta_n)\right]$$

اگر ترانسفورمر در ناحیه خطی منحنی هیسترزیس خود عمل نماید، رابطه (۳-۲۱) بصورت زیر ساده می شود:

رابطه ( ۳-۲٤)
$$\frac{p}{p_R} \cong \left[\frac{V_1}{V_R}\right] \sum_n n^2 \left[\frac{V_n}{V_1}\right]^s k_n$$

که در آن ضریب $K_n$ عددی بزرگتر از یک بوده و تابعی از عمق نفوذ میدان الکترو مغناطیس با فرکانس nf در هسته می باشد.

**( ۳-٦-٤) کاهش توان نامی ترانسفورمر**

انتخاب ترانسفورمرها از نظر توان نامی با توجه به نیاز باردر ولتاژ سینوسی مشخص، تعیین می گردد. در نتیجه ابعاد ترانسفورمر برا ساس توان اکتیو و راکتیوی تعیین می شود که باید از خود عبور دهد. حال اگر در محا سبه توان انتقالی تأثیر هارمونیک‌ها در نظر گرفته نشود، توان و در نتیجه جریان مؤثر عبوری از ترانسفورمر بیش از ظرفیت نامی آن خواهد شد. در چنین حالتی، به علت افزایش تلفات احتمال گرم شدن بیش از حد ترانسفورمرو در نتیجه کاهش عمر آن زیاد خواهد بود. به همین دلیل در هنگام انتخاب ترانسفورمرها برای تغذیه بار هایی با جریان غیر سینوسی، میزان کاهش ظرفیت ترانسفورمر ناشی از مؤلفه هارمونیکی جریان باید در نظر گرفته شود. یکی از پیشنهادات در این خصوص برای محا سبه ضریب کاهش توان نامی، $\Gamma$ ، در رابطه زیر آورده شده است:

$$\Gamma = \sqrt{\left\{1+0.1\left[\sum_{n=2}^{\infty} n^{1.6}\left(\frac{I_n}{100}\right)^2\right]\right\}}$$

رابطه ( ۳-۲۵)

که در آن میزان هارمونیک جریان بر حسب درصدی از مؤلفه اصلی می باشد.

اگر مقادیر مؤلفه های هارمونیکی به ترتیب $I_5$=%25 ,$I_7$=%14, $I_{11}$=%9 , $I_{13}$=%8 باشند، مقدار برابر $\Gamma$ با ۹۱٪ خواهد شد به عبارت دیگر، اگر ظرفیت ترانسفورمر در حضور موج

سینوسی ۱۰۰۰ کیلو ولت آمپر باشد، ظرفیت واقعی ترانسفورمر ۹۱۰ کیلو ولت آمپر خواهد بود

شایان ذکر است که نوعی اتصال سیم پیچی ترانسفورمرهای سه فاز در افزایش تلفات و کاهش توان نامی مؤثر می باشند. در حقیقت هارمونیک‌های مضرب سه همانند مؤلفه توالی صفر جریان عمل کرده و به طور دائم در سیم پیچی های ترانسفورمرهای سه فاز با اتصال مثلث به گردش در می آیند.

## ( ۳-۷) عملکرد رله ها

بطور کلی رله ها وسایل حفاظتی هستند که با فرمان دادن به دژنکتور بخشی از سیستم را که در آن خطا رخ داده است از بقیه شکل جدا می نمایند، به طوری که بقیه سیستم به طور عادی کار خود را دنبال نماید. تحت چنین عملکردی، سیستم حفاظتی باید قادر به تشخیص حالت عادی و وجود خطا در سیستم بوده و به نحوی طراحی شده باشد که فقط در مقابل خطا عکس العمل نشان دهد. هر عاملی که سبب عدم عملکرد به موقع رله ها گردد، مشکلات زیادی را برای شبکه های انتقال و توزیع به همراه خواهد داشت. رله ها با توجه به سیستم عملکردشان، ممکن است به هارمونیک‌های جریان، ولتاژ و یا هر دو آنها حساس باشند. از طرف دیگر، رله های مختلف ممکن است رفتار یکسانی را در مقابل اعوجاجات هارمونیکی نشان ندهند. به طور مثال، اعوجاجات هارمونیکی تأثیر قابل توجهی بر رله های الکترو مکانیکی نخواهند گذاشت در حالی که رله های استاتیکی سریع می توانند به شدت تحت تأثیر مؤلفه های هارمونیکی موج جریان و ولتاژ قرار می گیرند. علت این امر وجود عناصر مکانیکی در رله های الکترومکانیکی است که به عنوان یک فیلتر پایین گذر عمل

کرده و عملا هارمونیک های با فرکانس های بالا را نخواهد دید. مع الوصف بکارگیری روز افزون رله هی سریع استاتیکی که جایگزین رله های الکترومکانیکی می شوند، اهمیت مطالعه تأثیرات اعوجاجات هارمونیکی بر اینگونه رله ها را دو چندان کرده است.

در رله های استاتیکی اضافه جریان عملکرد رله ها بستگی به شکل موج جریان دارد و تنها مقدار درصد هارمونیک مؤثر نیست. به عبارت دیگر اگر دو موج به دلیل اختلاف فاز متفاوتی که هارمونیک‌ها با موج اصلی دارند دارای دامنه هارمونیک یکسان ولی شکل موج متفاوت بوده و به رله اعمال شوند پاسخ رله متفاوت خواهد بود. بنابراین می‌توان تنها با استفاده از مقدار دامنه هارمونیک‌ها عملکرد رله ها را مورد بررسی قرار داد.

با حضور اعوجاجات هارمونیکی مقدار جریان لازم برای عملکرد رله های سریع کمتر و یا بیشتر از مقدار نامی می گردد. شایان ذکر است این تغییرات برای آلودگی هارمونیکی زیاد یا کمتر از ۱۵٪ است. توالی هارمونیک ها نیز می تواند در عملکرد رله ها مؤثر باشد زیرا گشتاور ناشی از هارمونیک‌های توالی منفی در خلاف جهت گشتاور ناشی از هارمونیک‌های توالی مثبت می باشد.

همین امر ممکن است زمان عملکرد رله هایی که دارای تأخیر زمانی هستند شدیداً تحت تأثیر قرار دهد. وجود توالی صفر جریان ناشی از مؤلفه مضرب سه جریان هارمونیک، بر رله های جریان زمین تأثیر می گذارد و باعث ارسال فرمان قطع اشتباه می گردد.

رله های استاتیکی تشخیص دهنده کاهش فرکانس شدیداً تحت تأثیر هارمونیک‌های ولتاژ قرار دارند به نحوی که وجود ۱۰٪ هارمونیک ولتاژ ممکن است زمان عملکرد آنها را دو

برابر افزایش دهد. بنابراین پیشنهاد شده است که این گونه هارمونیک‌ها در کمتر از ۵٪ محدود گردند.

وجود هارمونیک‌هایی که دارای زوایای خاصی نسبت به موج اصلی می باشند، سبب می شود که در شکل موج ولتاژ هنگام عبور از نقطه صفر اغتشاش به وجود آید. این امر عملکرد رله های فرکانسی را شدیداً تغییر می‌دهد. در ضمن، هارمونیک‌ها عملکرد خیلی سریع رله های دیفرانسیلی را نیز شدیداً تحت تأثیر قرار می دهند. لازم است بین هارمونیک‌های ناشی از اشباع ترانسفورمرهای جریان و هارمونیک‌های موجود در سیستم تفاوت قائل شویم. هارمونیک‌های موجود در سیستم بر روی رله های اضافی بار و رله های پشتیبان تأثیر مهمی دارند. اما وجود اشباع در ترانسفورمرهای جریان سبب می شود که موج جریان وارد شده به رله ها شدیداً غیر سینوسی شده به طوریکه تنظیم رله ها در حضور چنین جریانی می بایست به طور کامل مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به مطالب اشاره شده در بالا، پیدا کردن تأثیر هارمونیک‌ها و تعیین آنها بدون انجام آزمایش بر روی رله ها و نیز بدون اطلاع از ساختمان و سیستم عملکرد آنها بسیار مشکل تقریباً غیر ممکن است. برای این منظور جهت ارزیابی عملکرد رله ها در شرایط مختلف دستگاههایی ساخته شده اند که به طور مصنوعی اعوجاجات هارمونیکی جریان و ولتاژ تولید می نمایند.

شایان ذکر است که میزان اعوجاج هارمونیکی که باعث عملکرد نامناسب بعضی از رله ها می گردد عموماً بیشتر از سطح قابل قبول هارمونیک در شبکه است. لذا در صورتی که

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

سطح هارمونیک در حد استاندارد قرار گیرد عملکرد رله ها چندان دستخوش تغییر نمی‌شود.

## (۳-۸) وسایل اندازه گیری انرژی الکتریکی

هارمونیک‌ها می توانند بر عملکرد و سایل اندازه گیری انرژی تأثیر بسزایی دا شته با شند. از طرف دیگر مفاهیم و تعاریفی که این وسایل اندازه گیری بر اساس آنها طراحی شده اند، در ح ضور اعوجاجات هارمونیکی تغییر می نمایند. به همین منظور برر سی اثر هارمونیک‌ها بر واتمترها، وارمترها، توان ظاهری و ضریب قدرت در این بحث آورده شده است.

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

### (۳-۸-۱) توان حقیقی

دستگاه های القایی اندازه گیری توان و انرژی الکتریکی نظیر کنتورهای خانگی تحت تأثیر فرکانس جریان و ولتاژ قرار می گیرند. این موضوع به خاطر آن است که گشتاور وارد شده به دیسک گردنده این دستگاه ها متناسب با شار مغناطیسی و جریان گردابی است که در آن القا می شود. شار و جریان گردابی نیز با افزایش فرکانس کاهش می یابند. بنابراین کنتورها دارای خطای منفی در فرکانس های بالاتر از فرکانس نامی هستند به عبارت دیگر مقادیری که این دستگاه های اندازه گیری نشان می دهند کمتر از مقدار واقع می باشند. مطالعات انجام شده نشانگر آن است که میزان تقریبی خطا برای هارمونیک دوم در حدود ۵ درصد و برای هارمونیک دهم برابر ٥٦٪ می باشد. از سوی دیگر اثر هارمونیک‌ها بر روی این نوع وسایل اندازه گیری بستگی به جهت عبور هارمونیک دارد. با دو مثال زیر بحث مشخص تر خواهد شد.

خطای اندازه گیری در دستگاههای اندازه گیری توان و انرژی الکتریکی می تواند تابعی از جهت عبور انرژی هارمونیکی نیز باشد. بار مورد نظر خطی بوده و تولید هارمونیک نمی نماید، اما ولتاژ اعمالی دارای اعوجاجات هارمونیکی است. در چنین وضعیتی جهت توان هارمونیکی از منبع به سمت بار می‌باشد.

واضح است در چنین حالتی دستگاه اندازه گیری مقداری کمتر از مقدار واقعی را اندازه گیری می کند. در حقیقت، توان مؤلفه اصلی به درستی اندازه گیری می شوند. در حالی که مؤلفه های هارمونیکی با خطای منفی اندازه گیری می شوند گرچه در حالت مصرف کننده مقدار هزینه کمتری را می پردازند، لیکن مقدار انرژی هارمونیکی که به بار وارد می گردد

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

انرژی مفیدی نخواهد بود و در ترانسفورمرها و ماشین های سنکرون به صورت تلفات ظاهر می گردد.

هنگامی که ولتاژ سینوسی یک بار غیر خطی را تغذیه می کند، جهت توان‌های هارمونیکی از بار به سمت سیستم می باشد. در این حالت، توان هارمونیکی از توان مؤلفه اصلی کم می شود ولی به علت خطای منفی که در اندازه گیری توان هارمونیکی وجود دارد مقداری کمتر از مقدار واقعی از توان مؤلفه اصلی کاسته می گردد.

### (۳-۸-۲) توان راکتیو

به منظور اندازه گیری توان راکتیو از وسیله ای به نام وارمتر استفاده می گردد. روش های مختلفی برای ساخت وارمترها وجود دارد.

اگر شکل موجود جریان ولتاژ سینوسی فرض شوند:

رابطه (۳-۲۶) $$v = \sqrt{2}V \sin \omega t$$

رابطه (۳-۲۷) $$i = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \theta)$$

در این خروجی وارمتر به صورت زیر در می آید.

رابطه (۳-۲۸) خروجی وارمتر: $$\frac{1}{5}VI \sin \omega t$$

که در نتیجه با توان راکتیو متناسب است.

در صورتی که شکل موج های جریان و ولتای غیر سینوسی باشند یعنی:

رابطه (۳-۲۹) $$v = \sqrt{2}\sum_n V_n \sin(n\omega t)$$

رابطه (۳-۳۰) $$i = \sqrt{2}\sum_n I_n \sin(n\omega t - \theta_n)$$

در این حالت با توجه به سیگنال خروجی وارمتر برابر خواهد بود با:

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

رابطه ( ۳-۳۱) $\frac{1}{\omega}\sum_n \frac{V_n I_n}{n}\sin\theta_n$ :خروجی وارمتر

که مشاهده می شود خروجی وارمتر چیزی غیر از توان راکتیوی است که تعریف شده است.

در صورتی که ولتاژ سه فاز متقارن باشند، خواهیم داشت:

رابطه (۳-۳۲) $V_a = \sqrt{2}\sum_n V_n \sin[n\omega t]$

رابطه ( ۳-۳۳) $V_b = \sqrt{2}\sum_n V_n \sin\left[n\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\right]$

رابطه (۳-۳٤) $V_c = \sqrt{2}\sum_n V \sin\left[n\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)\right]$

در این حالت با توجه به سیگنال خروجی متناسب خواهد شد با:

رابطه (۳-۳۵) سیگنال خروجی $= \frac{1}{\omega}\sum_n \left(\frac{V_{nI_n}}{n}\sin\theta_n\right)\sin\left(\frac{2\pi}{3}.n\right)$

WikiPower.ir

رابطه بالا نشـان می دهد که هارمونیک های توالی صـفر (n=3 ,6, 9,...) تأثیری بر سـیگنال خروجی ندارند و هارمونیک های توالی منفی تأثیری مخالف با مقدار اصـــلی دارند. لازم به تذکر است تعریف توان راکتیو در شرایط غیر سینوسی توسط ANCI/IEEE به صورت زیر می باشد:

رابطه ( ۳-۳٦) $Q = \sum_n V_n I_n \sin\theta t$

با مقایسه تعریف بالا و مقادیر نشان داده شده توسط وارمتر مشاهده می شود که چنین وارمترهایی توان راکتیو را بر حسب تعریف IEEE محاسبه نمی نماید. بنا براین برای محاسبه ضریب قدرت لازم است که از رابطه زیر استفاده شود.

رابطه ( ۳-۳۷)

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

وقتی که ضریب قدرت با استفاده از واتمتر محاسبه می شود، مقدار ضریب قدرت بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود:

رابطه (۳-۳۸)

$$pf' = \frac{P}{\sqrt{p^2 + Q^2}} = \frac{P}{\sqrt{S^2 - D^2}}$$

که در آن D بیانگر توان اعوجاجی هارمونیکی می باشد. بنابراین pf می باشد $pf' > pf$. استفاده از توان ظاهری درمحاسبه ضریب قدرت از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود ولی لازم است که تعاریف متفاوتی نیز که از توان ظاهری وجود دارد، مشخص گردد. این تعاریف در بخش بعد تشریح خواهد شد.

### ( ۳-۸-۳) توان ظاهری

بعضی از پارامترها در مهندسی برق در سیستم های تک فاز و سینوسی دارای معانی خاص می باشد. در حالی که در یک رژیم غیر سینوسی و چند فاز معنای واحد خود را از دست می دهند. از مهمترین این پارامترها توان ظاهری و ضریب قدرت می باشند حال با توجه به تعاریف متفاوتی که وجود دارد، دستگاه های اندازه گیری که در عمل ساخته می شوند تحت شرایطی که موج ولتاژ یا جریان دارای اعوجاج هارمونیکی باشد، مقادیر متفاوتی را نشان می دهند.

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

در تئوری توان ها در سیستم های الکتریکی، چهار کمیت مختلف قابل تمایز می باشند که شامل توان های اکتیو (P)، راکتیو ( Q)، ظاهری (S) و اعوجاجی (D) هستند. از میان چهار توان یاد شده فقط توان حقیقی به طور واضح تعریف شده و عموما در تمام شرایط سینوسی، غیر سینوسی، تک فاز، متقارن، غیر متقارن، متعادل و غیر متعادل پذیرفته شده است. در حالی که در مورد توان ظاهری در دایره المعارف استانداردهای تعاریف متفاوتی ارائه شده است. اولین شکل تعریف توان ظاهری بصورت فازوری است که با علامت معین شده است. تعریف به صورت زیر می باشد:

رابطه (۳-۳۸)
$$S_{PH} = \sqrt{P^2 + Q_B^2}$$

که در آن:

رابطه ( ۳-۳۹)
$$P = \sum_n V_n I_n \cos\theta_n$$

رابطه ( ۳-٤۰)
$$Q_B = \sum_n V_n I_n \sin\theta_n$$

در این روابط، به ترتیب مقدار ولتاژ، جریان و اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان مربوط به هارمونیک $V_n, I_n, \theta_n$ – ام هستند.

در یک سیستم سه فاز، توان مربوط به فازها را می توان با یکدیگر جمع نمود و در نتیجه برابر خواهد بود با :

توان سه فاز k= 1,2,3, برابر خواهد بود:

رابطه ( ۳-٤۱)
$$P = \sum_{k=1}^{3} P_k$$

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

$$Q_B = \sum_{k=1}^{3} Q_{BK}$$ رابطه ( ۳-۴۲)

به طوریکه $P_k$ و $Q_{BK}$ به ترتیب از روابط ( ۳-۳۹) و (۳-۴۰) به دست می آیند.

نوع دیگری از تعریف توان ظاهری مقدار بردار توان می باشد که در دایره المعارف استاندارد های با علامت نشان داده شده است و به صورت زیر تعریف می گردد:

$$S_{VEC} = \sqrt{P^2 + Q_B{}^2 + D^2}$$ رابطه ( ۳-۴۱)

که در آن:

$$P = \sum_{k=1}^{3} P_k$$ رابطه ( ۳-۴۲)

$$Q_B = \sum_{k=1}^{3} Q_{BK}$$ رابطه ( ۳-۴۳)

$$D = \sum_{k=1}^{3} D_K$$ رابطه ( ۳-۴۴)

تعریف دیگری از توان ظاهری به صورت زیر می باشد:

$$S = V_{rms}.I_{rms}$$ رابطه ( ۳-۴۵)

و برای سه فاز خواهیم داشت:

$$s' = \sum_{k=1}^{3} V_{rmsk}.I_{rmsk}$$ رابطه ( ۳-۴۶)

توان ظاهری به صورت زیر نیز تعریف شده است:

$$S'' = \sqrt{\sum_{k=1}^{3} V_{rmsk}^2} \times \sqrt{\sum_{k=1}^{3} I_{rmsk}^2}$$ رابطه (۳-۴۷)

در تعاریف ذکر شده بالا، نکات زیر قابل توجه می باشد.

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

- فازور توان را فقط در سیستم متقارن، سینوسی و متعادل می توان به کار برد
- توان های حقیقی و راکتیو به صـــورت برداری با یکدیگر جمع می گردند و در یک سیستم نامتعادل توان های مربوط به فازها ممکن است یکدیگر را خنثی نمایند

از نظر تئوری توان راکتیو هر یک از فازها می تواند مخالف صـفر باشـد در حالیکه مجموع آنها می تواند صـفر باشـد. با ملاحظه تعاریف مختلف توان ظاهری ملاحظه می شـود که :

$$S_{PM} \le S_{rec} \le S'$$

با استفاده از نامعادله کوشی شوارتز خواهیم داشت:

$$s' = \sum_{k=1}^{3} V_{rmsk}.I_{rmsk} < \sqrt{\sum_{k=1}^{3} V^2}_{rmsk} \sqrt{\sum_{k=1}^{3} I^2}_{rmsk} = S''$$ رابطه ( ۳-۴۸)

در نتیجه در شرایط غیر سینوسی بهترین تعریف می تواند به صورت زیر باشد:

$$s' = \sum_{k=1}^{3} V_{rmsk}.I_{rmsk}$$ رابطه ( ۳-۴۹)

$$S'' = \sqrt{\sum_{k=1}^{3} I^2_{rmsk}} \sqrt{\sum_{k=1}^{3} V^2_{rmsk}}$$ رابطه ( ۳-۵۰)

## (۳-۹) کید های فشار قوی

کلید های فشـــار قوی کلید هایی هســـتند که در صـــورت لزوم جریان مدار را قطع می‌کنند. عملکرد صحیح این کلید ها بستگی به شکل موج جریانی دارد که قرار است قطع گردد. در صـــورت وجود اعوجاجات هارمونیکی در جریان مدار ممکن اســـت شـــکل موج جریان به نحوی با شد که در حوالی جریان صفر، di/dt بسیار بزرگ گردد. چنین وضعیتی عمل قطع جریان تو سط کلید را م شکل می سازد. نمونه ای از این نوع جریان ها، جریان های مربوط به مبدل ها می باشند که در حوالی جریان صفر، di.dt بسیار بزرگی را دارند.

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

از طرف دیگر، بسیاری از خرابی های کلید های فشار قوی ناشی از عدم عملکرد موفق سیم پیچ های طویل کننده قوس کلید در حضور اعوجاجات هارمونیکی می با شد. زیرا این سیم پیچ ها هنگام عمل قطع، سبب حرکت قوس به مجرای قوس می گردد. در صورتیکه این عمل به طور ناکافی صورت پذیرد، قوس دیرتر خاموش شده و سبب آسیب رسیدن به کلید می گردد. این نوع اختلافات به وجود آمده در عملکرد کلید های فشار قوی را می توان به طور مشابه در سایر کلیدها با قطع کنندگی کمتر نظیر کلید قطع کننده بار و غیره مشاهده نمود. شایان ذکر است که در کلیدهای خلا سیم پیچ های طویل کننده قوس وجود ندارند و به همین دلیل این کلیدها حساسیت کمتری نسبت به هارمونیک های جریان دارند.

WikiPower.ir

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

## ( ۳-۱۰) عایق ها

همانطور که قبلا اشاره شده، هارمونیک ها باعث افزایش تنش الکتریکی و نیز افزایش تلفات دی الکتریکی در عایق ها می گردد. شایان ذکر است که هر یک از این دو عامل می تواند به طور بالقوه بر توانای عایق مورد نظر تاثیر گذاشته و سبب شکست آن گردد با توجه به اینکه عایق ها (جامد، مایع و گاز) در تمام تجهیزات مورد استفاده در صنعت برق وجود دارند، لذا بررسی تاثیر هارمونیک ها بر عایق ضروری به نظر می رسد. از جمله این تجهیزات کابل های زمینی هستند که هارمونیک‌ها می توانند به طور جدی عملکرد عایقی آنها را تحت تأثیر قرار دهند.

## (۳-۱۱) فیوزها

فیوزها عناصری هستند که گرم شدن المان آنها سبب عمل نمودن آنها می گردد. لذا وجود هارمونیک‌ها در شبکه می تواند به دلیل گرم شدن اضافی باعث تغییر دادن منحنی مشخصه جریان – زمان فیوز شود. این مساله به خصوص در سطح جریان های اتصال کوتاه بیشتر نمایان می گردد.

## ( ۳-۱۲) سیستم های مخابراتی

از مهمترین مسایلی که هارمونیک جریان ایجاد می نماید، تداخلات مخابراتی است.

جریان های هارمونیکی به صورت القا و یا هدایت مستقیم وارد سیستم های مخابراتی می شوند. تداخل نا شی از القا در سیستم های مخابراتی که از سیم های معمول ا ستفاده می نماید، بسیار موثر می باشد. لیکن با توجه به اینکه در حال حاضر از سیم های تلفنی استفاده

می شود که دارای شیلد هستند و یا به صورت زوج به هم پیچیده شده هستد، اثر کوپلاژ القایی کمتر شده است.

با این وجود اگر مقدار جریان هارمونیکی بالا با شد کوپلاژ القای در شیلد بالا خواهد بود و در این مورد نیز مسأله خواهیم داشت میزان کوپلاژ در هر دو سیم مخابراتی یکسان خواهد بود و در نتیجه به دلیل القا افت ولتاژی در کل حلقه وجود ندارد. در چنین حالتی بخ شی از جریان از شیلد کابل های مخابراتی عبور خواهد کرد. میزان این جریان ب ستگی به سی ستم زمین و سیستم قدرت دارد. اصولا سیستم های مخابراتی در مقابل فرکانس قدرت حساس نمی باشند لیکن در مقابل سیگنالهای فرکانسی هارمونیکی حساس می باشند.

## (۳-۱۳) تاثیرات دیگر هارمونیک ها

علاوه بر موارد ذکر شده بالا، اعوجاجات هارمونیکی می توانند تاثیر نامطلوبی بر سیستم های کنترل و سیستم هایی که وظیفه انتقال فرمان از راه دور را بر عهده دارند، داشته باشند. ضمنا هارمونیک ها می توانند سبب اشباع هسته ترانسفورمرهای ولتاژ شده و باعث افزایش خطای اندازه گیری گردند! اگر چه این تاثیر در ترانسفورماتورهای جریان کمتر می باشد، اما پارامترهای ترانسفورماتور نظیر اختلاف فاز بین جریان اولیه و ثانویه، توان و غیره دستخوش تغییرات می گردند. از طرف دیگر هارمونیک های توالی صفر با عبور از سیستم زمین بر آن تأثیر گذاشته و لذا در انتخاب شرایط نامی تجهیزات مربوطه می بایستی مورد توجه قرار گیرد.

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

# فصل چهارم

# روشهای حذف هارمونیکها

WikiPower.ir

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

## (۴–۱) مقدمه

به علت کاربرد وسیع تجهیزات غیر خطی در شبکه قدرت، اعوجاجات هارمونیکی به عنوان مشکلی جدی در راستای افزایش عملکرد نادرست تجهیزات، افزایش تلفات و غیره مطرح می شود. هر چه کاربرد این تجهیزات گسترش یابد نیاز به وجود یک روش قابل اعتماد برای هارمونیک‌ها در مراحل مختلف طراحی، تحلیل و بهره برداری از سیستم های قدرت بیشتر احساس می گردد. لذا هم شرکت های تولید کننده انرژی الکتریکی به دنبال روش های مؤثر کاهش اعوجاجات هارمونیکی می باشند

روش های موجود برای کاهش مقدار اعوجاجات ناشی از هارمونیک‌ها موضوع اصلی این فصل را تشکیل خواهد داد این روشها عبارتند از:

- روش های چند پالسه
- فیلترهای چند پالسه
- فیلترهای غیر فعال
- فیلترهای فعال
- روش تزریق جریان
- استفاده از ماشین سنکرون با مدار تحریک رزونانس

WikiPower.ir

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

## (۴-۲) روش های چند پالسه

کلمهٔ چند پالسه اساسا به معنی بیش از یک پالس می باشد ولی در صنعت الکترونیک قدرت، این لفظ به مبدل هایی القا می شود که در یک سیستم سه فازه کار کرده و در سمت DC بیش از شش پالس در هر سیکل تولید می نمایند.

مبدل های چند پالسه در واقع در برگیرنده چندین مبدل می با شند. این مبدل ها به گونه ای به یکدیگر و به سیستم قدرت متصل می گردند که هارمونیک‌های تولید شده یک مبدل توسط هارمونیک‌های تولید شده مبدل دیگر حذف گردند. بدین ترتیب هارمونیک‌های بخصوصی که با تعداد مبدل ها در ارتباط می باشند، از سیستم قدرت حذف می شوند. این روش ها در سطحی گسترده در صنایع الکترو شیمیایی که مصرف کننده توان زیادی می با شند، مورد ا ستفاده قرار می گیرند. البته گسترش ا ستفاده از مبدل های قدرت برای کنترل موتورهای AC باعث شده است که روش های چند پالسه در توان های کمتر مثل ۱۰۰ اسب بخار نیز مورد استفاده قرار بگیرند.

برای پرداختن به تحلیل مبدل های چند پالسه، چنین فرض می شود که مدار سمت DC مبدل کاملاً فیلتر می شود به گونه ای که تغییرات ایجاد شده توسط بار DC، تأثیر قابل توجهی بر جریان در سمت DC نمی گذارد. این فرض در مورد بارهای غیر فعال و برای اکثر مبدل هایی که قدرت DC را برای اینورترهای منبع ولتاژ تحویل می دهند، صادق است. البته این فرض در مورد اینورترهای منبع جریان صحت ندارد. در مورد این نوع اینورترها نمی توان با فیلترها و روش های کنترل موجود اثر تغییرات بار DC را بر ریپل کلی از بین برد. در این حالت جریان ورودی خط AC شامل گستره وسیعی از هارمونیک‌ها و نیز زیر

هارمونیک‌ها ( مولفه هایی که فرکانس آنها م ضرب صحیحی از فرکانس قدرت نمی با شد) خواهد بود که نمی توان آنها را با روش های ساده چند پالسه حذف نمود.

روش های چند پالسه دارای دو مزیت عمده اصلی زیر می باشند:

- کاهش جریان هارمونیک‌های جریان خط ورودی AC
- کاهش ریپل ولتاژ خروجی

کاهش هارمونیک‌های جریان خط ورودی AC از نظر تأثیری که بر سیستم قدرت متصل به مبدل می گذارد حائز اهمیت است. ضمناً برای رعایت استاندارد هارمونیک‌ها نیز این موضوع مهم است.

روش های چند پالسه با ا ستفاده از چندین مبدل یا چندین تجهیز نیمه هادی با یک بار DC مشترک تحقق می یابند. ترانسفورماتورهای تغییر دهنده فاز نیز از عناصر مهم در این روشها می باشند، زیرا از طریق همین ترانسفورماتورهاست که مکانیزم حذف جریان های هارمونیکی خاص هم مرتبه انجام می پذیرد.

برای شروع می توان حالتی را در نظر گرفت که در آن چندین مبدل از سیستم قدرت تغذیه شده و هر یک بار DC مربوط به خودشان را که از بارهای DC سایرین مجزا می باشد، تغذیه می نماید. دو بار مجزا از طریق ترانسفورمر می گردند که هر یک دارای ترانسفورمر مجزا می با شند. یکی از مبدل ها از طریق تراز سفورمر ستاره – مثلث تغذیه می گردند که در آن ولتاژ های سه فاز ثانویه نسبت به ولتاژ های اولیه دارای ۳۰ درجه اختلاف فاز هستند دومین مبدل از طریق یک ترانسفورمر مثلث– مثلث تغذیه می گرد که هیچ اختلاف فازی را از خود نشان نمی دهد.

رابطهٔ بین فاز جریان های هارمونیکی هر یک مبدل ها نسبت به ولتاژ ثانویه ترانسفورمرها یکسان خواهد بود ولی با این وجود به دلیل تأثیر سیم پیچی ترانسفورمر، جریان هارمونیکی در اولیه ترانسفورمر دارای اختلاف فاز های متفاوتی بوده و برخی از جریان های هارمونیکی تولید شده در یک مبدل با جریان های هارمونیکی م شابه تولید شده در مبدل دیگر در فاز متقابل قرار گرفته و از دید سیستم تغذیه، یکدیگر را حذف می نمایند. اگر بارهای دو مبدل با هم برابر باشند، برخی از هارمونیک‌های کاملاً از سیستم حذف می گردند. در عمل بارهای مبدل دقیقاً با هم برابر نمی باشند و این روش می تواند وسیله ای برای محدود کردن هارمونیک‌ها باشد.

برای ح صول اطمینان از برابری بارها می توان بارهای DC شکل صفحه قبل را م ستقیماً به یکدیگر وصل نمود. با این وجود برای این که مبدل ها بتوانند به صورت مستقل کار کرده و عناصر نیمه هادی به اندازه ۱۲۰ درجه هدایت داشته باشند، لازم است که از ترانسفورمرهای بین فازی ا ستفاده نمود. بدین ترتیب می توان جریان دوازه پالسی را با یک مبدل AC به DC بدست آورد.

از موازی کردن سه پل مبدل ٦ پالسه در کنار یک ترانسفورمر بین فازی بد ست آمده ا ست. اختلاف فاز مورد نیاز بین مبدل ها در این حالت $\pm 20$ درجه می باشد که به روشهای مختلف قابل دسترسی پیدا است. روش دیگری که برای دستیابی به عملکرد چند پالسه قابل انجام می باشد.

این شکل چگونگی بکارگیری چندین مبدل دیودی سه پالسه را در روش های چند پالسه نشان داده و مرتبه و دامنه هارمونیک‌های تولید شده در هر حالت را مشخص می نماید.

همانطور که در این شکل مشاهده می شود، دامنه هارمونیک‌های مرتبه پایین تر حذف شده و هارمونیک‌های باقی مانده نیز دامنه های کمتری خواهند داشت و این نتیجه بسیار خوبی است. برای دستیابی به شکل سینوسی نصب فیلتر اضافی کوچکی کافی خواهد بود.

با مثال هایی که تا اینجا بیان شد، با بستن موازی مبدل های که دارای تعداد پالس کمتر بودند، امکان ایجاد تعداد پالس های بیشتر فراهم گردید. این روشها به خصوص در مواردی که جریان مبدل ها بسیار زیاد می با شد، مورد ا ستفاده قرار می گیرند. چون اگر جریان بیش از حد تحمل عنا صر نیمه هادی با شد، به هر حال باید آنها را با هم به صورت موزی قرار داد. همانگونه که قبلاً هم بیان شد، به هنگام موازی کردن مبدل ها، ا ستفاده از تراز سفورمر بین فازی ضروری خواهد بود. ترانسفور بین فازی اختلاف ولتاژ های لحظه ای بین دو مبدل را جذب کرده و باعث می‌گردد که کلیه المان های نیمه هادی هدایت ۱۲۰ درجه خود را دا شته با شند. البته طراحی ترانسفورمرهای بین فازی کار بسیار د شواری ا ست که نیازمند مطالعات و بررسی زیادی می باشد.

ساختارهای دیگری نیز برای ب ستن موازی مبدل ها وجود دارند که در آنها از تراز سفورمر بین فازی استفاده نمی شود. در این ساختارها، دیگر زاویه هدایت عناصر نیمه هادی به ۱۲۰ درجه محدود نبوده و اجازه داده می شود که مبدل ها بر یکدیگر اثر بگذارند. البته برای رهایی از کاربرد ترانسفورمر بین فازی می توان از ترکیب سری مبدل ها نیز سود جست. در این حالت زاویه هدایت عناصر نیمه هادی را می توان در مقدار ۱۲۰ درجه ثابت نگه داشت اما از آنجائیکه افت ولتاژ هدایت مستقیم این عناصر افزوده می شود، تلفات آنها بیشتر

خواهد بود مگر آنکه محدودیت های ولتاژی آنها ما را بر آن دارند تا عناصر را به صورت سری قرار دهیم.

### (٤-٢-١) چگونگی حذف هارمونیک‌ها

برای کاهش هارمونیک‌ها، چندین مبدل از طریق ترانسفورمرهای تغییر دهنده فاز تغذیه می گردند. از آنجاییکه تغذیه سه فاز در اختیار می با شد، می توان با افزودن تکه های منا سب ولتاژی در یک ترانسفورمر اختلاف فاز مورد نیاز را به د ست آورد. شیفت فازی به د ست آمده باید متناسب با تعداد مبدل ها باشد. در کل، حداقل شیفت فازی مورد نیاز برای حذف جریان های هارمونیکی در حالتی که از مبدل های شش پالسه استفاده می شود، از رابطه زیر به دست می آید:

رابطه ( ٤-١)

$$\theta_{min} = \frac{60^o}{N_{conv}}$$

که در آن حداقل شیفت فازی مورد نیاز برای حذف جریان های هارمونیکی و $N_{conv}$ تعداد مبدل ها می باشند.

در بسیاری از مدارهای چند پالسه، جریان هارمونیکی کلیه مبدل ها با هم برابرند. این ترانسفورمرها هستند که باعث می شوند جریان های هارمونیکی مورد نیاز مبدل توسط مبدل دیگر تأمین می گردد. این واقعیت نیز که ولتاژها و جریان های توالی منفی در جهت خلاف ولتاژ ها و جریان های توالی مثبت شیفت پیدا می کنند، مکانیزمی برای حذف دوبه دوی هارمونیک‌ها می باشد.

با چشـــم پوشـــی از تلفات در ترانســـفورمر و نیز با توجه به این که هیچگونه انرژی در آن ذخیره نمی گردد، میتوان گفت که اختلاف فاز ولتاژ و جریان در اولیه باید برابر با اختلاف فاز ولتاژ و جریان در ثانویه باشد.

فرض کنید در یک ترانسفورمر تغییر دهنده فاز بردار مؤلفه اصلی ورودی به اندازه چرخیده و بردار خروجی را ایجاد می نماید. هارمونیک پنجم در خروجی به دلیل منفی بودن توالی این هارمونیک به اندازه دوران کرده و در خروجی ظاهر می گردد. در لحظه ای که $\omega t = \varphi$ می باشد، بردار مؤلفه اصلی خروجی به مکان مرجع صفر خواهد رسید. در همین فاصـــله زمانی بردار هارمونیک پنجم به دلیل داشـــتن فرکانس چرخش چند برابر به اندازه $5\varphi$ + جابجا خواهد شـد. بنابراین زاویه فاز این هارمونیک برابر $6\varphi$ خواهد بود. هارمونیک هفتم را هم می توان به همین ترتیب مورد برر سی قرار داد. از آنجا که این هارمونیک دارای توالی مثبت می باشـــد، با عبور از ترانســـفورمر به اندازه $\varphi -$ دوران پیدا می کند. هر گاه خروجی به مبدأ مکان برســـد، هارمونیک هفتم به اندازه $7\varphi$ + دوران پیدا خواهد کرد. بنابراین هارمونیک هفتم نسبت به خروجی دارای فاز $6\varphi$ خواهد بود. بدین ترتیب ملاحظه می شود که اگر $\varphi = 30^{o}$ انتخاب گردد، می توان هارمونیک های پنجم و هفتم خروجی را در فاز متقابل هیمن هارمونیک‌ها نسبت به ورودی ترانسفورمر قرار داد. دو مبدل نشان داده شـــده در شـــکل را در نظر بگیرید. جریان هارمونیکی ثانویه ترانســـفورمر ( ســـمت مبدلها) یکســـان هســـتند، در حالیکه به دلیل دوران فازی ۳۰ درجه در ترانســـفورمر ســـتاره – مثلث هارمونیک‌های پنجم و هفتم بوده و از جریان $i_1$ نســـبت به همین هارمونیک‌ها در جریان $i_2$ دارای اختلاف فاز ۱۸۰ درجه بوده و از جریان ( $i_1+i_2$) حذف خواهند شد.

در دیدگاه دیگری از روش های چند پالسه، از ترانسفورمرها جهت ایجاد سیستم های چند پالسه استفاده می شود. برای مثال در یک پل یکسو کننده نه فاز، احتیاج به یک سیستم تغذیه نه فازه خواهد بود که توسط ترانسفورمر ایجاد می گردد. برای ایجاد چنین سیستمی، برداریهای ولتاژ با زاویای ٤٠ درجه از هم مجزا خواهند بود. با توجه به رابطه (٤-١)، این اختلاف فاز در برابر شیفت فازی است که برای ترکیب سه مبدل شش پالسه موازی مورد نیاز می باشد. مشاهده می شود که در این حالت نیز کلیه هارمونیک‌های مرتبه پایین حذف شده و شکل موج ۱۸ پالسه قابل حصول می باشد.

WikiPower.ir

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

### ( ٤-٢-٢) ترانسفورمرهای دو سیم پیچه

ترانسفورمرهایی که در روش های چند پالسه مورد استفاده قرار می گیرند دارای انواع مختلف می باشند که در این قسمت به تفکیک مورد بررسی اجمالی قرار خواهند گرفت.

ترانسفورمر مثلث – چند ضلعی

اختلاف زاویه ای بین ولتاژ خط ولتاژ خروجی $V_{LS}$، ولتاژ خط ورودی سیم پیچی مثلث، $V_{LIN}$، را برابر $\varphi$ در نظر می گیریم.

در اولیه ترانسفورمر، تعداد دور سیم پیچی هر فاز را $N_p$ و در ثانویه آن، تعداد دور سیم پیچی بلندتر را $N_1$ و تعداد دور سیم پیچی کوتاهتر را $N_s$ می نامیم. با توجه به دیاگرام برداری شکل زیر می توان نوشت:

رابطه ( ٤-٢)
$$\frac{V_{LS}}{\sin(120)} = \frac{V_{NS}}{\sin\varphi} = \frac{V_{NI}}{\sin(60^0 - \varphi)}$$

بنابراین:

رابطه ( ٤-٣) ولتاژ سیم پیچی بلند در چند ضلعی:
$$V_{NS} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) V_{LS} \sin\varphi$$

رابطه ( ٤-٤) ولتاژ سیم پیچی کوتاه در چند ضلعی:
$$V_{NL} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right) V_{LS} \sin(60^0 - \varphi)$$

از طرف دیگر:

رابطه ( ٤-٤)
$$\tan\varphi = \frac{V_{NS}.\sin(60^0)}{V_{NL} + V_{NS}\cos(60^0)}$$

یکی از کاربردهای ترانسفورمرهای چند ضلعی، ترکیب سه مبدل شش پالسه ( به صورت سری یا موازی) از طریق یک ترانسفورمر چهار سیم پیچه می باشد که در آن:

- سیم پیچ اولیه به صورت مثلث در نظر گرفته می شود تا هارمونیک‌های توالی صفر را هم به خود جذب کند.
- یکی از سیم پیچ های ثانویه نیز به صورت مثلث در نظر گرفته شده و مبنای سنجش زاویه انتخاب می گردد.
- دومین سیم پیچی ثانویه از نوع چند ضلعی با شیفت فازی ۲۰+ درجه می باشد.
- سومین سیم پیچی ثانویه از نوع چند ضلعی با شیف فازی ۲۰–درجه می باشد.

شیفت فازی ۲۰ درجه مورد نیاز برای این ترکیب از رابطه ( ۱–۵) قابل محاسبه است.

از ترکیب های دیگر، اتصال شش ضلعی می باشد. برای هر فاز، شش سیم پیچی خروجی در نظر گرفته شده است تا شیفت فازی ۳۰ درجه تولید و ولتاژ خروجی دوازده پالسه ایجاد گردد. این خروجی باعث می شود تا دو سیستم شش فازه در اختیار ما قرار گیرد که نسبت به هم ۳۰ درجه اختلاف فاز دارند. هر یک از این دو سیستم شش فاز مبدل ٦ پالسه ای را تغذیه می کند که پریود هدایت برای عناصر نیمه هادی آن ٦۰ درجه می باشد.

این دو مبدل را می توان به طور مؤثر با هم سری نمود و این ترکیب نسبت به بسیاری از سیستم ها که در آنها مبدلها را به صورت موازی به هم متصل می نمایند، دارای مزایایی به شرح زیر است:

- هیچ ترانسفورمر بین فازی مورد نیاز نمی باشد.
- این ترکیب به طور مؤثری نسبت به هارمونیک‌های ولتاژ موجود در سیستم بی تأثیر است.

- می توان از راکتانس اضـــافی در خط AC برای کاهش هارمونیک‌های یازدهم و بالاتر استفاده نمود.

ترانسفورمر مثلث – زیگزاگ

نمونه ای از این ترانسفورمر دو سیم پیچه که شیفت فازی ۱۵ درجه را ایجاد می کند، اگر تغذیه سه فاز را در نظر بگیریم، برای هر فاز ثانویه شش حالت را می توان بوجود آورد. این شش حالت با انتخاب سه زاویه و دو جهت سیم پیچی برای هر یک از آنان قابل حـصول می باشند. اگر انتهای سیم پیچ ها باز گذاشته شود، ترکیب چنگالی شکل به دست می آید. چنانچه تعداد دور ســـیم پیچهای دو گانه هر فاز در ثانویه با هم برابر باشـــند، اتصـــال مثلث – زیگزاگ باعث ایجاد شـــیفت فازی ۳ درجه می گردد که برخی اوقات برای تغذیه مبدل سه پالسه که حاوی سه دیود / تایریستور می باشد، مورد استفاده قرار می گیرد. برای این مبدل، اتصال زیگزاگ نسبت به اتصال ستاره – مثلث ( که این اتصال نیز شیفت فازی ۳۰ درجه ایجاد می نماید) دارای این مزیت اســـت که مؤلفه DC جریان در هر فاز ثانویه از دو ســـیم پیچی با تعداد دور برابر و قطبیت مخالف عبور می نماید. این موضـــوع باعث می شود تا مقدار آمپر دور خالص DC و در نتیجه شار DC در هسته ترانسفورمر صفر گردد. برای مبدل های دوازده پالسه می توان در ثانویه ترانسفورمر دو دسته سیم پیچی زیگزاگ در نظر گرفت که شـــیفت فازی درجه ایجاد می نمایند. در این حالت دو مبدل را می توان به صورت موازی یا سری وصل نمود.

ترانسفورمر مثلث – ستاره

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

اتصال مثلث – ستاره اتصال آشنایی برای ترانسفورمرهای دو سیم پیچ می باشد. در این اتصال بدلیل روابط طبیعی حاکم بر ولتاژ های خط در یک سیستم سه فاز، شیفت فازی معادل ۳۰ درجه ایجاد می گردد.

### ( ٤-٢-٣) ترانسفورمرهای تک سیم پیچه

در ترانسفورمرهای تک سیم پیچه، برای هر فاز دو یا چند انشعاب وجود دارد. تغذیه سه فاز ورودی در یکی از این انشعاب ها به ترانسفورمر اعمال شده و از سایر انشعاب خروجی های دوران یافته برای اعمال مبدل ها و ایجاد ترکیب های چند پالسه گرفته می‌شوند. در ادامه اتصال های مختلف این ترانسفورمرها معرفی می گردند.

## ( ٤-٣) فیلترهاي غیر فعال :

یکی دیگر از روش های حذف هارمونیک‌ها، استفاده از فیلترهای غیر فعال است. در این بخش، مراحل طراحی این نوع فیلترها که متداول ترین روش حذف هارمونیک در صنعت می باشند، مورد توجه قرار خواهند گرفت. هدف اولیه از طراحی یک فیلتر غیر فعال، کاهش دامنه یک یا چند مؤلفه هارمونیکی ولتاژ یا جریان است. چنانچه تنها مقصود از طرای این فیلتر پیشگیری از نفوذ یک مؤلفه فرکانسی خاص به قسمتهایی از شبکه قدرت باشد، می توان از فیلتر نوع سری استفاده نمود که از ترکیب موازی یک خازن و سلف به دست آمده و در برابر فرکانس های مربوطه امپدانس بزرگی را از خود نشان می دهد. مع الوصف، در مورد مبدل های استاتیکی و ترانسفورمرهای متصل به آنها نمی توان از این روش استفاده کرد زیرا این تجهیزات برای عملکرد عادی خود ناگزیر به تولید شکل موجهای غیر سینوسی و به تبع آن هارمونیک می باشند. در این حالت می توان با ایجاد مسیرهای موازی و در عین

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

حال با امپدانس کم برای فرکانس های مورد نظر، هارمونیک‌ها را به این مسیر هدایت کرده و از نفوذ آنها در سایر نقاط سیستم پیشگیری کرد. جهت به حداقل رساندن دامنه ولتاژ ها و جریان های هارمونیکی در سیستم AC می توان از ترکیب های فیلترهای سری با موازی نیز استفاده نمود ولی باید هزینه زیادی را صرف این کار کرد.

به منظور تبعیت از محدوده های مجاز تعیین شده توسط استاندارد ها، طراحی فیلتر در سه مرحله به صورت زیر انجام می گیرد:

۱- جریان های هارمونیکی تولید شده توسط بارهای غیر خطی در فرکانس های مورد نظر در شبکه ای تزریق می شوند که فیلترهای طراحی شده در محل مورد نظر به موازات کل سیستم قرار گرفته اند.

۲- از نتایج محاسبات مرحله قبل استفاده کرده و ضریب های اعوجاج ولتاژ یعنی TIF و IT محاسبه می گردند.

۳- جریان های عبوری و ولتاژ هر یک از المان های فیلتر محاسبه شده و با مقادیر نامی آنان مقایسه می گردند.

اگر در هر یک از مراحل سه گانه بالا حدود مجازات رعایت نشوند باید طراحی فیلتر با پارامترهای جدید مجدداً تکرار گردد.

### ( ٤-۳-۱) انواع فیلترهای غیر فعال

از متداول ترین فیلترهای غیر فعال که برای حذف هارمونیک‌های جریان مورد استفاده قرار می گیرند، فیلترهای تک تنظیمه، دو تنظیمه و بالا گذر می باشند. فیلترهای تک تنظیمه دارای فرکانس تشدید نزدیک به مؤلفه فرکانس هارمونیکی می باشند که قرار است حذف

گردد. فیلتر دو تنظیمه، از طرف دیگر مسئولیت حذف دو فرکانس هارمونیکی بطور همزمان را دارد. در حقیقت، این نوع فیلترها برای مؤلفه جریان هارمونیکی مربوطه یک مسیر با امپدانس کوچک ایجاد کرده و با به تله انداختن مولفه/ مؤلفه های مذکور، از نفوذ آنها به سایر قسمت های شبکه جلوگیری می نماید. در کنار این نوع فیلترها، معمولاً فیلتر بالا گذر نیز مورد استفاده قرار می گیرد که در برابر کلیه مؤلفه های هارمونیکی با فرکانس بیش از فرکانس قطع، امپدانس کوچکی از خود نشان می‌دهد و مانع از نفوذ آنها به شبکه می شود. شکل مداری، مشخصه امپدانسی و سایر ویژگیهای فیلترهای تک تنظیمه، دو تنظیمه و بالا گذر در بخش های بعدی تشریح خواهد شد.

### (٤-٣-٢) پارامترهای فیلترهای غیر فعال

پارامترهایی که در طراحی مشخصه فیلترهای غیر فعال حائز اهمیت هستند، به شرح زیر می باشند:

فرکانس تنظیم

در فیلتر غیر فعال تک تنظیمه، فرکانسی وجود دارد که امپدانس خازن فیلتر در این فرکانس برابر امپدانس سلف آن می گردد. این فرکانس اصطلاحاً فرکانس تنظیم نامیده شده و معمولاً بر حسب مرتبه هارمونیک فرکانس قدرت ( ۵۰ یا ٦۰ هرتز) بیان می‌شود.

فرکانس قطع

فرکانس تنظیم فیلتر غیر فعال بالا گذر فرکانسی است که در آن اندازه امپدانس کل فیلتر تقریباً برابر با مقدار مقاومت فیلتر می شود. این فرکانس به "فرکانس قطع" نیز معروف

ا ست. همانطور که قبلاً ا شاره شد، عملکرد این فیلتر بدین صورت ا ست که در برابر مولفه هایی که دارای فرکانسی بیش از فرکانس قطع هستند، امپدانس کوچکی از خود نشان داده و آنها را به خود جذب می نماید.

کیفیت

"کیفیت" فیلتر غیر فعال پارامتری اســت که تیزی مشــخصــه فیلتر را مشــخص می نماید. فیلترهایی که دارای کیفیت بالا می باشــند، فقط برای حذف یک هارمونیک خاص طراحی می شــوند. از طرف دیگر اگر فیلتر دارای کیفیت پایین باشــد، قادر خواهد بود که علاوه بر هارمونیک مربوط به فرکانس تنظیم، تا حدی دامنه مؤلفه های مجاور را نیز تضــعیف نماید. فیلترهای تک تنظیمه دارای کیفیت بالا ( معمولا بین ۳۰ تا ٦۰) می باشــند. در حالی که کیفیت فیلترهای بالا گذر پایین ( در حد ۰/۵ الی ۵) می باشد.

کیفیت در مورد فیلترهای تک تنظیمه، $Q_{ST}$، به صــورت نســبت امپدانس ســلفی فیلتر در فرکانس تشدید به مقاومت آن تعریف می گردد. البته چون مقدار امپدانس سلفی و امپدانس خازنی فیلتر در فرکانس تشدید یا هم برابرند، کیفیت را می توان به صورت نسبت امپدانس خازنی به مقاومت فیلتر نیز تعریف کرد:

رابطه (٤-٦)

$$Q_{ST} = \frac{Xo}{R}$$

که در آن $X_o$ امپدانس ســلفی (یا خازنی) فیلتر در فرکانس تشــدید و R مقاومت فیلتر می‌باشند.

کیفیت م شخ صه فیلترهای بالاگذر، $Q_{HP}$ معادل عکس تعریفی ا ست که برای فیلترهای تک تنظیمه در نظر گرفته می شود به عبارت دیگر

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

رابطه ( ٤-٧)

$$Q_{HP} = \frac{R}{X_o}$$

ضریب عدم تنظیم

مقدار انحراف فرکانس تشدید فیلتر غیر فعال از فرکانس تنظیم نامی آن "ضریب عدم تنظیم" نامیده می شود. و با $\delta$ نمایش داده می شود. این پارامتر عوامل زیر را در بر می‌گیرد.

- انحراف فرکانس اصلی شبکه از مقدار نامی
- انحراف ناشی از تغییر مقادیر خازن و سلف فیلتر در اثر حرارت و استهلاک
- انحراف ناشی از تولرانس های موجود در ساخت عناصر فیلتر و عدم پیوستگی بین نقاط تنظیم

$\delta$ را به صورت زیر تعریف نمود:

رابطه (٤-٨)

$$\delta = \frac{\omega - \omega_n}{\omega_n}$$

که در آن $\omega_n$ و $\omega$ به ترتیب فرکانس تنظیم و فرکانس تشدید واقعی فیلتر می باشند.

توان راکتیو تزریقی

مهمترین پارامتر فیلتر غیر فعال که در واقع اندازه فیلتر را مشخص می نماید، مقدار توان راکتیوی است که در فرکانس اصلی توسط فیلتر به شبکه تزریق می گردد. با توجه به مشخصه امپدانسی فیلترها می توان نتیجه گرفت که امپدانس خازنی در فرکانس اصلی بزرگتر از امپدانس سلفی آن خواهد بود. این بدان معنی است که فیلتر می تواند عمل یک بانک خازنی را نیز در فرکانس اصلی انجام دهد. در مورد هر یک از انواع فیلترها، توان

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

راکتیو در فرکانس پایه از روابط خاص همان فیلتر بدســـت می آید که در بخش های آتی ارائه خواهد شد.

### ( ٤-٣-٣) طرحی فیلترهای تک تنظیمه

اگر ولتاژ اعمال شده به فیلتر تک تنظیمه ، با فرض اینکه $\omega_o$ سرعت زاویه ای در فرکانس اصلی و $\omega_n$ سرعت زاویه ای در فرکانس تشدید مربوط به مرتبه هارمونیکی n –ام باشند، روابط الکتریکی حاکم بر این نوع فیلتر را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\left.\begin{aligned} X_L &= L\omega_o \\ X_C &= \frac{1}{C\omega_o} \\ (n\omega_o)^2 &= \frac{1}{LC} \end{aligned}\right\} \Rightarrow X_L = \frac{1}{n^2} X_C$$

رابطه ( ٤-٩)

WikiPower.ir

$$Q_{ST} = \frac{n.X_L}{R}$$

رابطه ( ٤-١٠)

$$|I| = \frac{|V|}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}$$

رابطه ( ٤-١١)

برای بدست آوردن مقدار توان راکتیو فیلتر در فرکانس اصلی، می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

رابطه ( ٤-١٢)

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

$$Q_{ST}^{COMP} = Q_C - Q_L = (|X_C| - |X_L|)|I|^2 = \frac{|V^2|(n^2-1)}{X_L\left[\left(\frac{n}{Q_{ST}}\right)^2 + (1-n^2)^2\right]}$$

در روابط ( ٤-٩) و ( ٤-١٢) مقادیر کلیه امپدانس ها، ولتاژ ها و توان های بکار رفته بر حسب پریونیت می باشند.

اما روند طراحی، عکس روند فوق می باشـــد. به عبارت دیگر با معتوم بودن فرکانس تنظیم فیلتر، کیفیت و توان راکتیو آن در فرکانس پایه، باید مقدار R و $X_L$ , $X_C$ فیلتر را محاســـبه نمود. برای این منظور می توان آن را به صورت زیر در محاسبات گنجاند:

رابطه ( ٤-١٣)
$$X_L = \frac{|V^2|.(n^2-1)}{Q_{ST}^{comp}\left[\left(\frac{n}{Q_{ST}}\right)^2 + (1-n^2)^2\right]}$$

رابطه ( ٤-١٤)
$$X_C = n^2.X_L$$

رابطه ( ٤-١٥)
$$R = \frac{n^2.X_L}{Q_{ST}}$$

با توجه به تعریفی که از ضـریب عدم تنظیم در رابطه ( ٤-٨) ارائه گردید، می توان آن را به صورت زیر در محاسبات گنجاند:

رابطه ( ٤-١٦)
$$\delta = \frac{\omega - \omega_n}{\omega_n} \Rightarrow \frac{\omega}{\omega_n} = \delta + 1$$

رابطه ( ٤-١٧)
$$n = \frac{\omega_n}{\omega_o} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

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

با توجه به روابط ( ٤-١٦) و (٤-١٧) می توان امپدانس $X_C$ ,$X_L$ را به صورت زیر تصحیح نمود:

رابطه ( ٤-١٨)
$$X'_C = \frac{X_C}{1+\delta}$$

رابطه ( ٤-١٩)
$$X'_L = L_L(1+\delta)$$

پس از محاسبه امپدانس فیلتر، می توان از رابطه ( ٤-١١) جریان فیلتر را به دست آورد و به تبع آن با ضریب آن جریان در امپدانس هر یک از عناصر، ولتاژ اعمال شده به دو سر آنها را محاسبه نمود.

### ( ٤-٣-٤) طراحی فیلترهای دو تنظیمه

مزیت اصلی فیلتر دو تنظیمه نسبت به تک تنظیمه کاربرد آن در ولتاژهای بالا می باشد زیرا عناصر آن در معرض کل دامنه ولتاژهای ضربه ای خط قرار نمی گیرند. البته امکان طراحی فیلترهای سه و چهار تنظیمه وجود دارد ولی به ندرت از آنها استفاده می گردد.

جهت طراحی فیلتر دو تنظیمه ابتدا مشخصه آن به دو قسمت تقسیم می شود که هر قسمت معادل مشخصه یک فیلتر تک تنظیمه خواهد بود. سپس فیلترهای تک تنظیمه خواهد بود. سپس فیلترهای تک تنظیمه معادل هر یک از این قسمت ها با توجه به مطالب ارائه شده در بخش قبل طراحی می گردند.

در نزدیکی فرکانس های رزونانس دو فیلتر موازی تک تنظیمه، روابط تقریبی زیر بین عناصر فیلتر دو تنظیمه و عناصر فیلترهای تک تنظیمه برقرار می باشند:

رابطه ( ٤-٢٠)
$$C_1 = C_a + C_b$$

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

$$C_2 = \frac{C_a C_B (C_a + C_b)(L_a + L_b)}{(L_a C_a - L_b C_b)^2}$$ رابطه ( ٤-٢١)

$$L_1 = \frac{L_a L_b}{L_a + L_b}$$ رابطه ( ٤-٢٢)

$$L_2 = \frac{(L_a C_a - L_b C_b)}{(C_a + C_b)^2 (L_a + L_b)^2}$$ رابطه ( ٤-٢٣)

$$R_2 = R_a \left[ \frac{a^2(1-x^2)}{(1+ax^2)(1+x^2)} \right] + R_b \left[ \frac{1-x^2}{(1+ax^2)(1+x^2)} \right]$$ رابطه ( ٤-٢٤)

که در آن:

$$x = \sqrt{\frac{L_b C_b}{L_a C_a}} \quad , a = \frac{C_a}{C_b}$$ رابطه ( ٤-٢٥)

بدین ترتیب کلیه المان های فیلتر دو تنظیمه تعیین خواهند شد.

### ( ٤-٣-٥) طراحی فیلترهای بالا گذر

ولتاژ اعمال شـــده به فیلتر بالا گذر، روابط الکتریکی حاکم بر مدار فیلتر را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

$$(n\omega_o)^2 = \frac{1}{C^2(R^2-1)} \cong \frac{1}{R^2 C^2} \Rightarrow n = \frac{X_c}{R}$$ رابطه ( ٤-٢٦)

$$I_c = V \times \frac{R + jX_L}{X_L X_C + jR(X_L - X_C)}$$ رابطه ( ٤-٢٧)

$$I_L = I_C \times \frac{R}{R + jk_L} = V \times \frac{R}{X_L X_C + jR(X_L - X_C)}$$ رابطه ( ٤-٢٨)

$$I_R = I_C - I_L$$ رابطه ( ٤-٢٩)

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

رابطه ( ٤-٣٠)

$$Q_{HP}=\frac{R}{X_o}=\frac{R}{nX_L}$$

رابطه ( ٤-٣١)

$$Q_{HP}^{comp}=Q_C-Q_L=|X_C||I_C|^2-|X_L||I_L|^2=\frac{X_C(X_C-X_L)+n^2X_L^2}{X_C(X_C-X_L)^2+n^2X_L^2X_C}V^2=$$

$$\frac{\left(1-\frac{1}{n^2Q_{HP}}\right)+\frac{1}{n^2Q_{HP}^2}}{\left(1-\frac{1}{n^2Q_{HP}}\right)^2+\frac{1}{n^2Q_{HP}^2}}\cdot\frac{V^2}{X_C}$$

بدین ترتیب طراحی فیلتر بالا گذر در سه مرحله زیر انجام می گردد:

- با معلوم بودن n, $Q_{HP}$ $Q_{HP}^{comp}$ از رابطه ( ٤-٣١) مقدار $X_C$ محاسبه می شود،
- از رابطه (٤-٢٦) مقدار R بدست می آید،
- مقدار $X_L$ از رابطه (٤-٣٠) محاسبه می گردد.

WikiPower.ir

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

### ( ٤-٣-٦) طراحی بهینه فیلترهای غیر فعال

اگر چه روش های طراحی که تاکنون در مورد فیلترهای غیر فعال معرفی شدند برای حذف هارمونیک‌ها بسیار مؤثرند، ولی در هیچیک از آنها قیمت عناصر فیلتر در نظر گرفته نشده است. این موضوع، طراحی بهینه فیلترهای غیر فعال را با هدف مینیمم کردن هزینه ساخت علاوه بر عملکرد مناسب آن مطرح می نماید.

در مسئله طراحی بهینه فیلتر با توجه به روابطی که برای طراحی فیلتر در بخش های پیشین ارائه گردید، با تابع هدف غیر خطی مواجه هستیم که در عین حال به دلیل گسسته بودن مقادیر ظرفیت های خازنی قابل استفاده در مدارد فیلتر، مشتق پذیر هم نخواهد بود. همین امر باعث می شود که بسیاری از روش های بهینه سازی غیر خطی در مورد طراحی بهینه فیلترهای هارمونیکی قابل استفاده نبا شد. لذا برای حل مسائل بهینه سازی فیلترها از روش های تقریبی استفاده می شود که معمولاً این الگوریتم ها بجای نقاط بهینه کلی، در نقاط بهینه محلی همگرا می گردند.

روشی که برای غلبه بر این مشکل مورد استفاده قرار می گیرد، روشی است که براساس الگوریتم انیل شبیه سازی شده بر مسئله اعمال می گردد. این الگوریتم کلی و قدرتمند بوده و می توان از آن برای حل مسائل ترکیبی بهینه سازی استفاده نمود. مطالعات انجام شده در این زمینه نشان داده شده است که این روش در حد، با احتمال یک به نقطه بهینه کلی همگرا شده و در نقاط بهینه محلی بهدام نمی افتد

### ( ٤-٣-٧) ملاحظات لازم در طراحی و نصب فیلترهای غیر فعال

ولتاژ دو سر خازن هایی که به همراه سلف ها به عنوان بخشی از یک فیلتر مورد استفاده قرار می گیرند، بیش از ولتاژ فاز نامی باس باری است که فیلتر بدان وصل شده است.

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

مقدار این افزایش ولتاژ تابعی از مرتبه هارمونیکی متناظر با فرکانس تنظیم فیلتر می‌باشد درصد این اضافه ولتاژ در حالت ماندگار به شرح زیر می باشد:

$$V_{rise} = \frac{n^2}{n^2-1} \times 10($$ رابطه ( ٤-٣٢)

افزایش ولتاژ نا شی از قراردادن سلفها، تنها مربوط به فرکانس ا صلی می با شد. چنانچه در سی ستم هارمونیک‌هایی هم وجود دا شته با شند، ولتاژ های نا شی از آنها نیز به مقدار فوق افزوده خواهد شد. برای در نظر گرفتن اضافه ولتاژ ناشی از هارمونیک‌های موجود در سیستم، معمولاً پیشنهاد می گردد که یک مقدار اضافی در حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد به هنگام انتخاب برای مقدار نامی ولتاژ فاز خازن در نظر گرفته شود.

پس از طراحی فیلتر، شخص طراح باید بررسی نماید که آیا ولتاژ و جریان خازن به کار رفته در فیلتر، در محدوده های استاندارد زیر قرار گیرند:

- مقدار مؤثر ولتاژ خازن کمتر از ۱۱۰٪ ولتاژ نامی خازن باشد،
- دامنه ولتاژ خازن کمتر از ۱۲۰٪ ولتاژ نامی خازن باشد،
- مقدار مؤثر جریان خازن کمتر از ۱۳۰٪ جریان نامی خازن باشد،
- توان راکتیو خروجی خازن به ۱۳۵٪ مقدار توان راکتیو نامی خازن محدود شود.

واضح است که قبل از شروع محاسبات مربوط به فیلترهای هارمونیکی، لازم است با انجام محاسبات پخش بار، مقدار راکتیو مورد نیاز جهت طراحی فیلتر را مشخص نمود. با توجه به مطالبی که تاکنون ارائه شد، طراحی فیلتری که اندازه خازن آن بهینه بوده و در عین حال هارمونیک‌های مزاحم را از سیستم حذف کند، نیازمند بررسی حالت مختلف بوده و روندی تکراری خواهد داشت.

جدول ( ٤-١٧) مثالی از ارزیابی خازن را نشان می دهد. در این مثال، خازن تحت یک ولتاژ هارمونیکی قرار می گیرد. مؤلفه اصلی جریان بار کامل برای یک خازن ۱۲۰۰ کیلو واری در یک سیستم با ولتاژ خط ۲۰ کیلو از رابطه زیر به دست می آید:

$$I_C = \frac{K\,var_{3\phi}}{\sqrt{3}KV} = \frac{1200}{\sqrt{3}\times 20} = 34.68$$ رابطه ( ٤-٣٣)

اصولاً خازنها در معرض دو نوع هارمونیک پنجم و هفتم قرار می گیرند. اغتشاش ولتاژ ٤ درصدی هارمونیک پنجم و ۳ درصدی هارمونیک هفتم باعث می گردد ۲۰ درصد هارمونیک پنجم جریان و ۲۱ در صد هارمونیک هفتم جریان دا شته با شیم. مقادیر به د ست آمده در این حالت همانطور که در جدول آمده است همگی زیر مقدار استاندارد قرار گرفته اند. به طور کلی هارمونیک‌ها میزان تلفات عایقی در خازنها را افزایش می دهند.

WikiPower.ir

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

| | | | |
|---|---|---|---|
| محاسبات مربوط به خازنها هنگامی که توسط ولتاژهای غیر سینوسی تغذیه می شوند | | | |
| اطلاعات مربوط به بانک خازنی – جدول ٤-١٧ | | | |
| توان نامی | ١٢٠٠ کیلو وار | فرکانس مؤلفه اصلی | ٥٠ هرتز |
| ولتاژ نامی | ٢٠٠٠٠ ولت | جریان نامی مؤلفه اصلی | ٣٤/٦٤ آمپر |
| ولتاژ کاری | ٢٠٠٠٠ ولت | راکتانس خازنی | ٣٣٣/٣ اهم |
| توزیع هارمونیکی در ولتاژ شینه: | | | |

| مرتبه هارمونیک | فرکانس (هرتز) | دامنه ولتاژ(درصد نسبت به مولفه اصلی) | دامنه ولتاژ (ولت) | جریان خط (درصد نسبت به مؤلفه اصلی) |
|---|---|---|---|---|
| ١ | ٥٠ | ١٠٠ | ١١٥٤٧ | ١٠٠ |
| ٣ | ١٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |
| ٥ | ٢٥٠ | ٤ | ٤٦١/٨ | ٢٠ |
| ٧ | ٣٥٠ | ٣ | ٣٤٦/٤ | ٢١ |
| ١١ | ٥٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |
| ١٣ | ٦٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |
| ١٧ | ٨٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |
| ١٩ | ٩٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |
| ٢١ | ١٠٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |
| ٢٣ | ١١٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |
| ٢٥ | ١٢٥٠ | ٠ | ٠ | ٠ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| اعوجاج ولتاژ کل (THD): | | ٥ درصد | اعوجاج کل جریان خازن: ٢٩ درصد |
| ولتاژ مؤثر خازن: | | ١١٥٦١/٤٨ولت | مقدار مؤثر جریان خازن: ٣٦/٠٥ آمپر |
| حدود بانک خازنی: | | | |

| | محاسباتی ( درصد) | حدود مجاز (درصد) |
|---|---|---|
| پیک ولتاژ | ١٠٧ | ١٢٠ |
| ولتاژ مؤثر | ١٠٠/١ | ١١٠ |
| مقدار مؤثر جریان | ١٠٤/١ | ١٣٠ |
| توان نامی | ١٠٤/٣ | ١٣٥ |

مقدار امپدانس سیستم تحت بررسي در هارمونيك مورد نظر از ديد باس باري كه قرار است فيلتر بدان متصل گردد، حائز اهميت فراواني است. اگر امپدانس سيستم در يك هارمونيك خاص كوچك باشد، فيلتري كه براي همان هارمونيك طراحي مي گردد عملكرد خوبي را از خود نشان نخواهد داد. برعكس، اگر در يك هارمونيك خاص امپدانس سيستم و فيلتر هر دو داراي مقادير بزرگي باشند، باعث ايجاد ولتاژ هاي هارمونيكي بسيار بزرگ در آن سيستم خواهند شد.

یکی از مسائل که به هنگام نصب فیلترها بروز می کند، ایجاد تشدید جدیدی در سیستم می باشد. فرض کنید که در باس باری چهار فیلتر جهت حذف هارمونیک‌های دوم، سوم، پنجم و هفتم نصب شده است. در این صورت اگر مشخصه فرکانسی امپدانس مجموعه این فیلترها را رسم کنیم، نموداری به دست می آید ، در این صورت اگر مشخصه کل سیستم متصل به باس بار را نیز با راکتانس بدست آمده از سطح اتصال کوتاه باس بار مدل کنیم، مشخصه فرکانسی امپدانس سیستم به صورت یک خط راست با شیب ثابت خواهد بود. فرکانس متناظر با نقاط تلاقی سیستم ( خط راست) با بخش خازنی مشخصه های فیلترها معرف فرکانس های تشدید جدیدی خواهد بود که در این باس بار وجود دارند.

حال اگر برای مثال فیلتر هارمونیک سوم خراب شده و از مدار خارج گردد، مشخصه امپدانسی مجموعه فیلتر های باقیمانده ( فیلتر هارمونیک دوم، پنجم، هفتم) و سیستم مطابق نموداری خواهد شدز در این حالت مشاهده می شود که امکان ایجاد تشدید در فرکانس مربوط به هارمونیک سوم وجود دارد. لذا چنانچه جریان های هارمونیک سوم نیز در سیستم وجود داشته باشند، نه تنها این هارمونیک از سیستم حذف نمی شوند بلکه به دلیل بروز تشدید، مقدار آن تقویت نیز خواهد شد.

با توجه به امکان بروز تشدید جدید در سیستم باید به خاطر داشت که هر گاه فیلتر برای یک هارمونیک خاص طراحی می شود، کلیه فیلترهای مربوط به هارمونیک‌های هفتم در مثال اخیر دچار اشکال شده و از مدار خارج گردد، کارکرد سیستم با فیلترهای هارمونیک‌های مرتبه دوم، سوم و پنجم بلا مانع خواهد بود. اما در صورت بروز مشکل در فیلتر هارمونیک پنجم، فیلتر مربوط به هارمونیک هفتم را نیز باید از مدار خارج کرد. به

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

همین ترتیب اگر فیلتر هارمونیک سوم دچار ا شکال شد، فیلترهای هارمونیک پنجم و هفتم را نیز باید به همراه آن از مدار خارج نمود. این موضوع را به هنگام ورود فیلترها به مدار نیز باید مد نظر قرار داده و فیلترها را به ترتیب از مرتبه پایین به مرتبه بالا وارد شبکه کرد.

معمولاً چون هارمونیک‌های مرتبه پایین از دامنه بیشتری نسبت به سایر هارمونیک‌ها برخور دارند، برای هر یک از هارمونیک های مرتبه پایین یک فیلتر تک تنظیمه طراحی کرده و جهت حذف کلیه هارمونیک‌های مرتبه بالاتر از یک فیلتر بالا گذر استفاده می‌گردد.

## (٤-٤) فیلترهاي غیر فعال

همانطور که در بخش های قبلی اشاره شد، فیلترهای موازی غیر فعال در فرکانس های هارمونیکی تنظیم شده خود امپدانس کمتری را نسبت به امپدانس منبع از خود نشان می

WikiPower.ir

دهند. بدین ترتیب، قسمت اعظم جریان بار غیر خطی را به خود جذب کرده و از جاری شدن آن به سمت ولتاژ منبع ولتاژ جلوگیری می کند. در حقیقت، مشخصه هارمونیکی فیلترهای موازی غیر فعال با نسبت به امپدانس منبع به امپدانس فیلتر در فرکانس تنظیم تعیین می گردد. با توجه به این موضوع، این فیلترها دارای مشکلات زیر خواهند بود:

- امپدانس منبع با تغییر شکل شبکه در حال تغییر است و این موضوع مشخصه هارمونیکی فیلتر را به شدت تحت تأثیر قرار می دهد.
- در برخی از شرایط بهره برداری، ممکن است فیلتر موازی با امپدانس منبع در تشدید سری قرار گیرد. برای حل مشکلات و نارسایی های مربوط به فیلتر موازی غیر فعال، فیلترهای موازی فعال مورد بررسی قرار گرفته اند. فیلترهای فعال به دو گروه فیلترهای

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

خالص فعال و فیلتر هایبرید فعال دسته بندی می گردند. فیلترهای خالص فعال سری و موازی حدود یک دهه قبل از فیلترهای هایبرید فعال شناخته شده بودند. برای فیلترهای فعال می توان از اینورترهای PMW منبع جریان (CSI) یا منبع ولتاژ ( VSI) استفاده کرد. پهنای باند این اینورترها بدلیل داشتن مراجع ولتاژ یا جریان غیر سینوسی باید نسبت به اینورترهای معمول مورد استفاده در محرکه های بیشتر باشد، و این موضوع نسبت "هزینه عملکرد" این اینورترها را بسیار بیشتر می نماید.

در سال های اخیر، کاربرد فیلترهای غیر فعال علاوه بر جریان هارمونیک‌ها به موارد اضافی زیر نیز گسترش پیدا کرده است:

- ایجاد ایزولاسیون هارمونیکی بین تغذیه و بار یا بین مشترکین، و میرا سازی شرایط تشدید بین منبع و بار
- تنظیم ولتاژ در خط یا ایجاد مصونیت در برابر افت و خیزهای ولتاژ
- جبران فلیکر
- جبران توان راکتیو
- جبران عدم تعادل یا مؤلفه توالی منفی
- در ادامه روشهای مختلف کاربرد فیلترهای غیر فعال برای شبکه های صنعتی ارائه شده و از دیدگاه سیستمی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

### ( ٤-٤-١) فیلترهای فعال موازی

اندوکتانس در طرف DC باعث پیوسته و حتی صاف شدن بار ($i_L$) می‌گردد و بدین ترتیب THD را کاهش داده و پیک جریان را هم کم می کند. توان نامی فیلتر فعال موازی به صورت

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

نوعی بین ۲۵ الی ۳۰ درصد توان ظاهری بار می باشد. این فیلترها برای بارهای کوچک و متوسط در حد چند kVA تا چند MVA روشی بسیار عملی برای جبران هارمونیک‌ها می باشند. اینورتر فیلتر فعال به صورت یک منبع جریان هارمونیکی عمل کرده و لذا تغییرات امپدانس منبع مشخصات فرکانسی آن تحت تأثیر قرار نمی دهند. اینورترهای فیلتر بدلیل بزرگ بودن di/dt جریان بار ($i_L$) بخصوص در غیاب ترانسفورمر ایزوله کننده / یکسو کننده باید دارای پهنای باند زیادی باشند.

فیلترهای فعال موازی دارای خواص زیر می باشند:

- به صورت یک" جعبه سیاه" با حداقل تلاش و هزینه طراحی در سیستم نصب می شوند.
- هیچگونه مشکلاتی را نظیر ضریب قدرت اعوجاجی و بارگذاری بر تغذیه ایجاد نمی نمایند.
- نیاز به سیستم های حفاظتی گران قیمت ندارند.
- قادر به میراسازی نفوذ هارمونیک‌ها و نیز تشدید بین خازن های تصحیح ضریب توان موجود یا فیلترهای غیر فعال و راکتانس های خطوط در سیستم توزیع می باشند
- واحدهای موتزی فیلتر فعال امکان گسترش بار را فراهم آورده و هر واحد می تواند جریان یک بار خاص یا کل طیف فرکانسی جریان بارها را جبران نماید.
- با فیلترهایی که دارای توان نامی بیشتری می با شند می توان توان اکتیو را هم جبران نمود.

برای بارهای غیر خطی بزرگ معمولاً از ترکیب فیلترهای غیر فعال و فیلترهای فعال موازی استفاده می شود. در حقیقت، از فیلترهای تک تنظیمه برای حذف هارمونیک‌های غالب جریان بار غیر خطی ( به عنوان مثال، هارمونیک‌های مرتبه ۵ و۷ در یک مبدل شش پال سه) ا ستفاده کرده، حذف سایر هارمونیک‌ها را بر عهده فیلتر فعال قرار می دهند. به این ترتیب، توان نامی فیلتر به میزان ۱۰–۱۵ درصد توان بار کاهش می یابد.

البته در مورد این سیستم حتماً باید از راکتانس ترانسفورمر ایزوله کننده مبدل برای کاهش di/dt جریان و THD ( به میزان کمتر از ۵۰٪ ) استفاده کرد.

WikiPower.ir

ضمناً برای اطمینان از این که هیچ تشدید موازی یا سری در سیستم وجود ندارد، برخی مطالعات سیستمی مورد نیاز خواهند بود یک نمونه از این ترکیب در شکل (٤–٢٠) نشان داده شده است. فیلترهای فعال موازی با و بدون فیلتر غیر فعال برای بسیاری از کاربردهای صنعتی از توان 50 kVA تا توان 50 MVA مورد ا ستفاده قرار گرفته اند. اگر چه ا ستفاده از فیلترهای فعال سری هم غیر ممکن نیست ولی به دلیل آنکه باید توان نامی بالاتری را داشته باشند، زیاد مورد استفاده قرار نمی گیرند.

### (٤–٤–٢) فیلترهای فعال هایبرید

در ترکیب های هایبرید، از فیلترهای غیر فعال و فعال در کنار یکدیگر ا ستفاده می شود. این ترکیب باعث می شود که هر یک از این فیلترها نارسایی های دیگری را بپوشانند. به این

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

ترتیب، مشـــخصـــه هارمونیکی فیلتر غیر فعال بهبود یافته و توان نامی مورد نیاز برای فیلتر فعال نیز کاهش خواهد یافت. فیلتر هایبرید را می توان در پســـت های توزیع برای حذف برخی از هارمونیک‌های مشخص و نا مشخص بار در فیدرهای خاص به کار برد. در این جا دو نوع از این فیلترهای هایبرید مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

WikiPower.ir

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

## سیستم هایبرید سری

بین فیلترهای فعال هایبرید، فیلتر فعال سری هایبرید از همه جالب تر می باشد زیرا توان نامی فیلتر فعال سری بسیار کم و در حد ۳ الی ۵ درصد توان نامی بار است. فیلتر فعال نوعی ایزولا سیون بین منبع و بار ایجاد کرده و همه جریان های هارمونیکی بار را به سمت فیلتر غیر فعال هدایت می نماید. در بدترین شرایط، ولتاژ نامی فیلتر فعال برابر با جمع حسابی اعوجاج هارمونیکی ولتاژ منبع و ولتاژ فیلتر غیر فعال می با شد. البته این جدا سازی هارمونیکی بار و منبع، بستگی به الگوریتم فیلتر سازی دارد.

تحقیقات انجام شده نشان داده است که فیلترهای فعال سری که با روش" مختصات مرجع سنکرون" ( SRF) کنترل می شوند، میتوانند در کلیه شرایط کاری بار و منبع ایزولاسیون 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، و به 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، کار فیلتر غیر فعال را هم آسانتر می نماید. یعنی این فیلتر را هم می‌توان دقیقاً بر روی فرکانس هارمونیک‌های غالب( مثلاً هارمونیک‌های پنجم و هفتم) تنظیم نمود و هم می توان آن را دقیقاً تنظیم کرده و فقط از یک خازن تصحیح ضریب توان استفاده نمود بدین ترتیب، طراحی فیلتر به

امپدانس منبع وابسته نبوده و اضافه 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 برابر افت و خیزهای ولتاژ و اضافه ولتاژ های نا شی از کلید زنی خازنها مصونیت ایجاد خواهد نمود. فیلتر فعال سری می تواند ضریب قدرت بار را نیز بهبود بخشد. از آنجا که فیلتر فعال سری از طریق یک ترانسفورمر سری کوپلاژ در خط قرار می گیرد، بنابراین برای حفاظت آن در برابر شرایط اتصال کوتاه به کلیدها و تجهیزاتی از این قبیل احتیاج خواهد بود که باعث افزایش هزینه می گردد.

فیلترهای فعال هایبرید عموماً دارای هزینه های اضافی نظیر هزینه ترانسفورمر کوپلاژ، هزینه فیلتر غیر فعال، هزینه نصب و تنظیم در محل و هزینه های مهندسی ( 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 سمت فیلتر غیر فعال می راند. به همین دلیل، ولتاژ فیلتر غیر فعال ممکن است در حد غیر قابل قبولی بالا باشد، بخصوص اگر امپدانس فیلتر در فرکانس های هارمونیکی مقدار بزرگی داشته باشد.

کنترل کننده هایی که به روش "مختصات مرجع سنکرون تغییر یافته" (MSRF) عمل کنترل را انجام می دهند، فقط در صدی از جریان بار را به شبکه تزریق می کنند تا هارمونیک‌های موجود در محدوده تعیین شده توسط استاندارد قرار گیرند، این موضوع باعث می شود که

THD ولتاژ در ترمینال فیلتر کاهش یابد. روش کنترل MSRF نه تنها اندازه و مقادیر نامی فیلتر غیر فعال را می کاهد بلکه این امکان را به ما می دهد که به جای فیلتر غیر فعال از یک خازن تصحیح ضریب توان هم استفاده کرده و لذا لزومی به طراحی مجدد فیلترها برای کاهش THD نخواهد بود. با این وجود که فیلترهای فعال خود جالب، عملی و از نظر اقتصادی هم با ارزش می باشند ولی این خواص جدید بر جذابیت آنها می افزاید.

ترکیب عملی و کم هزینه فیلتر هایبرید سری برای یک بار غیر خطی ( مبدل شش پالسه دیودی). همانطور که در این شکل مشاهده می شود، فیلتر فعال در خازن باس DC با محرکه AC شریک می باشد. این موضوع، بدلیل کاهش یک خازن در کل سیستم باعث کاهش هزینه ها می گردد. در این ترکیب نیز مانند ترکیب های قبل برای کاهش مقادیر نامی فیلتر غیر فعال احتیاج خواهد بود. استفاده از روش کنترل MSRF مانند گذشته به کاهش مقادیر نامی فیلتر کمک کرده و با کاهش THD ولتاژ در ترمینال فیلتر غیر فعال، این امکان را فراهم می سازد تا از فیلتر غیر فعال تک شاخه ( خازن تصحیح ضریب توان) استفاده شود.

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

سیستم هایبرید موازی

دومین ساختار عملی برای سیستم های هایبرید، فیلتر هایبرید موازی است که شامل یک فیلتر فعال با توان نامی کوچک ( ۲ الی ۵ درصد) می باشد که به صورت سری با فیلتر غیر فعال قرار گرفته تا با هم به طور موازی سه بار وصل شوند.

برخلاف ساختارهای قبلی که برای ایزولاسیون هارمونیکی مورد استفاده قرار می گرفتند، این ساختار برای بارهای غیر خطی 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 به عنوان یک فیلتر غیر فعال ارزان قیمت در کنار فیلتر فعال که به صورت اینورتر PWM منبع ولتاژ (VSI) عمل می کند، استفاده نمود.

در مورد فیلترهایی که در کابردهای توان بالا مورد استفاده قرار می گیرند، معمولاً از ایورترهای منبع ولتاژ موج مربعی ( SWVSI) یا از اینورترهای PWM با فرکانس کلید زنی کم که دارای کنترل کننده ولتاژ باس DC می باشند، استفاده می شود. کنترل کننده SRF باعث می شود که عدم تنظیم دقیق در فیلترهای غیر فعال که می تواند ناشی از تولرانس های عناصر L وC در آنها باشد، از بین رفته و مشخصه فرکانسی فیلتر غیر فعال بهبود یابد. این فیلترها نسبت به فیلترهای فعال هایبرید سری آسانتر حفاظت شده و به کلیدهای گرانقیمت و تجهیزاتی از این قبیل نیاز ندارند.

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

## (٤-٥) سایر روشها

### ( ٤-٥-١) روش میکروپروسسوری تزریق جریان

اساس این روش تغییر جریان هارمونیکی تولید شده توسط بار غیر خطی به گونه ای است که مقدار مؤلفه های هارمونیکی آن کاهش می یابد. شکل موج های جریان با تزریق جریان های هارمونیکی که از نظر اندازه مساوی ولی از نظر زاویه در خلاف جهت هارمونیک‌های موجود در جریان اصلی بار می باشند، انجام می گردد.

اصول کار جبران هارمونیکی

حالتی را در نظر بگیرید که در آن یک منبع ولتاژ غیر سینوسی با راکتانس داخلی $X_C = 2\pi f L_S$ یک بار غیر خطی را تزریق می کند، ولتاژ منبع، $V_S$ را می توان بصورت جمع برداری مؤلفه اصلی ولتاژ، $V_F$ و کلیه ولتاژ های هارمونیکی داخلی تولید شده توسط منبع، $V_r$ نشان داد یعنی:

رابطه (٤-٣٤) $V_S=V_F+V_r$

به همین ترتیب جریان بار، $I_L$، را نیز می تواند بصورت جمع برداری مؤلفه اصلی جریان، $I_F$، و کلیه جریان های هارمونیکی، $I_R$ نشان داد به عبارت دیگر:

رابطه ( ٤-٣٥) $I_L=I_F+I_R$

در حالت کلی، اعوجاج ولتاژ در ترمینال بار هم ناشی از ولتاژ هارمونیکی داخل منبع و هم ناشی از جریان هارمونیکی بار خواهد بود که از امپدانس منبع می گذرد. یک جبران ساز هارمونیکی ایده آل می تواند کلیه هارمونیک‌ها را از ترمینال حذف کند بدون آنکه تأثیری بر جاری شدن مؤلفه اصلی بگذرد. چنین تجهیزی یک مولد جریان هارمونیکی است که به

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

موازات ترمینال بار قرار می گیرد و تولید جریان خروجی $I_R$-$I_r$ می نماید. در حقیقت، با قرار دادن یک منبع جریان ایده آل که کلیه جریان های هارمونیکی مورد نیاز را تولید می کند دیگر هیچیک از هارمونیک‌های جریان بار به سمت منبع جاری نشده و هیچیک از جریان های هارمونیکی ناشی از ولتاژ های هارمونیکی منبع نیز به سمت بار جاری نخواهند شد. به عبارت دیگر برای حذف کلیه هارمونیک‌های تولید شده توسط یک بار غیر خطی، یک مولد جریان باید جریان هارمونیکی را که دقیقاً برابر جریان هارمونیکی تولید شده تو سط بار می باشد، با شیفت فازی مناسب به شبکه باز گرداند. در این صورت، در شبکه مورد نظر هیچ هارمونیکی باقی نخواهد ماند.

برای تولید جریان های هارمونیکی مورد نظر در روش فوق، از یک کامپیوتر شخصی جهت اجرای نرم افزار و کنترل بخش های مختلف آن استفاده می شود.

این سیستم از سه بخش زیر تشکیل شده است:

- آشکار سازی سیگنال
- ذخیره اطلاعات
- تقویت جریان

آشکار سازی سیگنال

در شرایطی که اتصال مستقیم تجهیزات به سیستم قدرت امکان نداشته باشد از ترانسفورمرهای جریان و ولتاژ برای ایجاد یک نمونه از جریان و ولتاژ سیستم قدرت در سطح ولتاژ یا جریانی که برای تجهیزات منا سب با شد، ا ستفاده می گردد. آ شکار سازی

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

سیگنال باطد این امکان را داشته باشد که بدون هیچگونه تأخیر فاز، سیگنال را با همان بهره منتقل کرده و ایزولاسیون لازم را برای بخش تحصیل اطلاعات فراهم آورد.

ذخیره اطلاعات

عملکرد این بخش شامل قسمتهای زیر می باشد:

مبدل آنالوگ به دیجیتال (A/D):

کار این قسمت این است که سیگنال های پیوسته را به بیت های دیجیتالی تبدیل کند تا کامپیوتر قادر به خواندن آنها باشد.

مبدل دیجیتال به آنالوگ ( D/A):

این قسمت مکانیزمی را برای کامپیوترهای دیجیتال فراهم آورد تا مستقیماً با دنیای واقعی در ارتباط باشند و مقادیر دیجیتال تولید شده توسط کامپیوتر را به سیگنال های آنالوگ تبدیل می نماید.

WikiPower.ir

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

واسط کاربرو کامپیوتر:

این قسمت در واقع خود واسطه ای است بین انسان و کامپیوتر و در برگیرنده نمایش گرافیکی، صفحه کلید، ماوس، امکانات چاپ گرفتن و نرم افزاری ا ست که کار ا ستفاده از کامپیوتر را آسانتر می نماید.

کاهش اطلاعات و تحلیل:

این قسمت شامل مقایسه اطلاعات با مقادیر مورد نظر، تبدیل مقادیر به واحدهای مهند سی یا انتقال اطلاعات از حوزه زمان به حوزه فرکانس می باشد. پردازش اطلاعات را می توان به دو صورت بلادرنگ یا با تأخیر انجام داد.

تقویت جریان

از تقویت کننده جریان برای تقویت سیگنال های جریان به اندازه ای که برای تزریق به سیستم منا سب با شد، ا ستفاده می گردد. امپدانس خروجی تقویت کننده باید به اندازه کافی بزرگ با شد تا بتوان آن را به عنوان یک منبع جریان در نظر گرفت. ضریب تقویت و تأخیر فازی باید در یک حوزه فرکانسی خاص و معین ثابت باشند.

**( ٤-٥-٢) استفاده از ماشین سنکرون با مدار تحریک رزونانس**

روشی که در این بخش معرفی می گردد. در واقع روشی برای جذب هارمونیک‌های سیستم متصل به یک ماشین سنکرون است. این روش را می توان هم به سیستم های فعال و هم به سیستم غیر فعال اعمال نمود. در سیستم های فعال، سیم پیچ های میدان به صورت فعال با یک منبع AC خارجی که دارای کنترل کننده می باشد، تحریک شده و هارمونیک‌های جریان را کاملاً جذب می نمایند. در سی ستم های غیر فعال، سیم پیچ های میدان با ایجاد ت شدید

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

بین خازن های تعبیه شـــده در آنها به صـــورت غیر فعال و بدون کنترل کننده تحریک می گردند. شایان ذکر است که هزینه سیستم غیر فعال از سیستم فعال کمتر می باشد و در اینجا این سیستم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

اصول کار جبران هارمونیکی

ماشین سنکرون دارای دو سیم پیچی میدان است که یکی در راستای محور d و دیگری در راستای محور q قرار دارند. چنانچه هر یک از سیم پیچها به یک خازن تشدید وصل گردند، ماشـــین قادر خواهد بود تا جریان های هارمونیک‌های پنجم و هفتم را به خود جذب نماید. جریان های هارمونیکی ســـیم پیچی آرمیچر نیروی محرکه مغناطیســـی (MMF) را تولید می کنند که در دو جهت مســـتقیم و معکوس نســـبت به اســـتاتور می چرخند. اگر این موجهای MMF حذف شوند، شار مغناطیسی هارمونیکی تولید نشده و هارمونیک ولتاژ نیز در سیم پیچی آرمیچر تولید نمی گردد.

جریان هارمونیک پنجم در ســـیم پیچی های آرمیچر موج MMF را به نحوی تولید می کند که در جهت مخالف با سرعت $5\omega$ ($\omega$ سرعت چرخش مکانیکی بر حسب زاویه الکتریکی می باشـــد) نســـبت به اســـتاتور می چرخد. به همین ترتیب، جریان هارمونیک هفتم در ســـیم پیچی های آرمیچر موج MMF را به نحوی تولید می کند که در جهت مســـتقیم با ســـرعت $7\omega$ نســـبت به اســـتاتور می چرخد. اما روتور هر دو موج MMF بوجود آمده را با ســـرعت $6\omega$ می بیند که در جهت مستقیم یا معکوس در حال چرخش می باشند.

اگر در سیم پیچ های محور d و محور q جریان های هارمونیک ششم با توالی فازی مثبت و منفی تزریق شود، می توان این دو موج MMF را از میان برد.

جریان های هارمونیکی شـــشـــم را می توان با یک منبع هارمونیکی خارجی یا با اســـتفاده از خازن های رزونانس متصل به سیم پیچی میدان ایجاد نمود.

نحوه تولید جریان با روش اخیر به این ترتیب اســـت که در ســـیم پیچ های میدان ولتاژ های هارمونیک ش شم القا می گردند. حال اگر خازن ها به گونه ای تنظیم شده با شند که با این ولتاژ ایجاد تشدید نمایند، جریان هارمونیک ششم نیز در سیم پیچهای میدان جاری خواهد شد.

مدار عملی این روش در شکل بالا ن شان داده شده ا ست. منبع هارمونیکی، هارمونیک‌های پنجم و هفتم را به شبکه تزریق می کند. نکته قابل ذکر در این مدار وجود یک سلف با منبع DC متصل به سیم پیچی محور d است. وجود این سلف ضروری است زیرا از جاری شدن جریان های هارمونیک شـــشـــم به منبع DC که در فرکانس های هارمونیکی منبع به صـــورت اتصال کوتاه عمل می نماید، جلوگیری خواهند نمود.

WikiPower.ir

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

## پیشنهاد:

با توجه به اهمیت انرژی و کیفیت برق، در هجدهمین کنفرانس بین المللی برق دستگاهی ارائه شده که نام آن الکترو فلو می باشد.

الکتروفلو چیست؟

الکتروفلو یک سیستم یکپارچه برای دستیابی همزمان به کیفیت برق و صرفه جویی انرژی است.

الکتروفلو یک ساختار میکروپروسسوری پیشرفته دارد که ولتاژ، جریان، ضریب توان و هارمونیکها را با نرخ نمونه برداری ۳۸۴۰- ۱۵۳۶۰ به صورت کامل مشخص می کند.

الکتروفلو ازمدارات RLC تشکیل شده است که بر پایه پارامترهای طراحی شده و منطق نردبانی این مدارات فعال می شوند.

الکتروفلو قابلیت طراحی برای سطوح مختلف ولتاژ از ۲۰۸ ولت تا ۳۴۵ کیلو ولت و برای تمام فرکانسهای بین المللی را دارا است.

الکتروفلو از حداقل توان ۱۰۰ کیلو وات تا توان ۳۵۰۰مگاوات سابقه نصب دارد.

الکتروفلو سیستم عیب یاب خودکار دارد که هر یک از المانها یا مدارهای آن مشکلی پیدا کند به صورت اتوماتیک آن المان را مشخص کرده و به کاربر گزارش می دهد.

الکتروفلو سیستمی بدون نیاز به تعمیر و نگهداری است.

خصوصیات الکتروفلو:

اولین خصوصیت الکتروفلو، تثبیت ولتاژ و متعادل سازی آن

دومین خصوصیت الکتروفلو، متعادل سازی جریان

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

سومین خصوصیت الکتروفلو، حذف حالات گذرا

چهارمین خصوصیت الکتروفلو، فیلتر کردن پهنای باند گسترده

پنجمین خصوصیت الکتروفلو، بهبود ضریب توان

ششمین خصوصیت الکتروفلو، آزاد سازی ظرفیت KVA

هفتمین خصوصیت الکتروفلو، محافظت در برابر Brownouts (اختیاری)

هشتمین خصوصیت الکتروفلو، محافظت در برابر قطع لحظه ای منبع تغذیه (اختیاری)

نهمین خصوصیت الکتروفلو، بازیابی فاز از دست رفته و ساختن آن از روی دو فاز موجود ( اختیاری)

دهمین خصوصیت الکتروفلو، فیلتر کردن یک هارمونیک خاص ( اختیاری)

با توجه به مطالب ارائه شده در هر کارخانه و مجتمع صنعتی می توان با خرید و نصب این دستگاه به میزان قابل توجهی کیفیت برق را افزایش داد و همچنین از خاصیت حذف هارمونیکی آن استفاده نمود و میزان هارمونیک اغتشاشی شبکه را کاهش داد.

الکتروفلو در زمینه حذف هارمونیکها مزیتهای زیادی نسبت به دستگاههای مشابه دارد که جهت اطلاعات بیشتر می توانید به CD هجدمین کنفرانس بین المللی برق مراجعه نمایید.

پایان

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

## منابع و مؤاخذ :

۱- کیفیت توان، تألیف و ترجمه: دکتر سید حسین حسینیان، دکتر عارف درودی

۲- بررسی هارمونیکی سیستم قدرت، تألیف: جوز آریلاگا، بروس س. اسمیت، نویل ر. رواتسن، آلن ر. وود، ترجمه: دکتر محمد علی شرکت معصوم ( دانشیار دانشکده برق دانشگاه علم و صنعتی ایران)

۳- هارمونیك ها در شبکه قدرت، تألیف: دکتر سید حسین ( حسام الدین) صادقي- استاد مهندسي برق، مهندس آرتین در میناسیانس- کارشناس ارشد مهندسي برق، دکتر شهرام منتصر کوهساري دانشیار مهندسي برق

٤- هجدهمین کنفرانس بین المللی برق

WikiPower.ir