

دانشگاه زنجان

### پایان نامه دوره کارشناسی

(گرایش قدرت)

عنوان:

**ادوات جبران هارمونیک ها - شامل انواع فیلتر های پسیو، اکتیو و هیبرید**

**و استفاده از آنها جهت حذف یا جبران هارمونیک ها**

تهیه کننده:

مریم محمدی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر جلیلزاده

تایستان 1392

## چکیده

اختلالات کیفیت توان ناشی از بار (مشترکین)، منبع (شبکه توزیع) را تحت تاثیر قرار می دهد و اغتشاشات ولتاژ در شبکه سرویس دهی مناسب به مشترکین را متاثر می سازد.

شاخص ترین اغتشاش کیفیت توان که مشترکین به شبکه اعمال می کنند آلودگی هارمونیک است هارمونیک ها در دهه 1920 و اواخر 1930 زمانی که شکل موج ولتاژها و جریانهای تغییر شکل یافته مشاهده شد تشخیص داده شدند و اخیراً به علت استفاده زیاد از ادوات الکترونیک قدرت از قبیل یکسوسازها و سایر بارهای غیرخطی اندازه هارمونیک ها و همچنین اثرات مخرب آنها در شبکه قدرت از جمله کاهش کیفیت توان، افزایش تلفات در خطوط انتقال، تداخل الکترومغناطیسی و .... افزایش یافته است. از جمله ادواتی که می توانند کیفیت توان را بهبود دهند فیلترها هستند. فیلترها می توانند برای حل مسائلی مانند نامتعادلی هارمونیک ها و توان راکتیو در شبکه های قدرت به کار روند و شامل انواع پسیو، اکتیو و هیبرید میباشند.

فیلترهای پسیو، فیلترهایی با المان های LC هستند و به عنوان روش سنتی در حذف هارمونیک های سیستم به کار میروند. فیلترهای اکتیو به علت مشکلات به وجودآمده توسط فیلترهای هیبرید پیشنهاد شدند ولی این فیلترها هم دارای مشکل قیمت زیاد می باشند. فیلترهای هیبرید ترکیبی از فیلتر پسیو و اکتیو می باشند که دارای مزایای هر کدام از آنها بوده و مشکل آنها را ندارد. در این پایان نامه ضمن بررسی سایر روش های کاهش هارمونیک به بررسی هر یک از این فیلترها می پردازیم.

# فهرست

## فصل اول - تعاریف ..... 6

1-1- مقدمه ..... 6

1-2-1- تعریف هارمونیک ها ..... 6

1-2-2-1- میان هارمونیک ها ..... 7

1-3-1- اعوجاج هارمونیکی کل (THD) ..... 7

1-4-1- هارمونیک مضرب سه ..... 8

1-5-1- هارمونیک های گذرا ..... 9

1-6-1- قدرت و ضریب قدرت ..... 10

## فصل دوم - عوامل ایجاد هارمونیک ها ..... 13

1-2-1- مقدمه ..... 13

2-2-1- ترانسفورمر ..... 15

2-2-3- موتور ها و ژنراتورها ..... 16

2-2-4- تجهیزات قوس زننده ..... 17

2-2-5- لامپ های فلورسنت ..... 17

2-2-6- تجهیزات الکترونیک قدرت و الکترونیک ..... 18

## فصل سوم - اثر هارمونیک ها ..... 20





6-5-2-2-4-روش کنترلی بر مبنای فیلتر بالا گذر (HPF).....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

6-5-2-2-5-روش کنترلی بر مبنای فیلتر پایین گذر LPF.....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

6-5-2-2-6-روشی جدید کنترل فیلتر اکتیو بر مبنای تئوری تعادل توان.....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

6-5-3-معایب فیلتر اکتیو.....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

6-6-فیلترهای هیبرید.....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

6-6-1-ساختار فیلتر هیبرید نمونه.....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

نتیجه گیری.....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

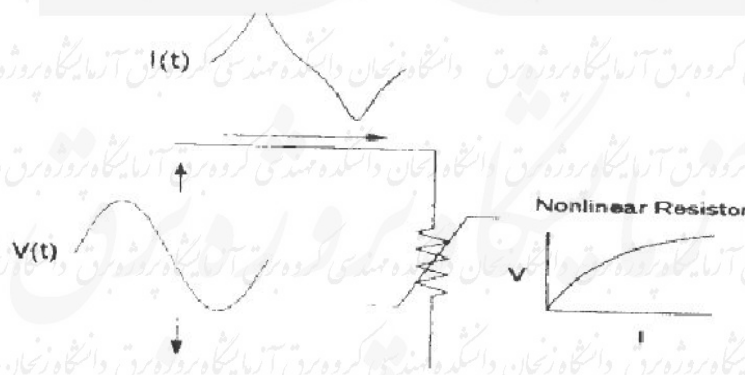
مراجع.....دانشگاه مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

## فصل اول - تعاریف

### 1-2- تعریف هارمونیک‌ها

هارمونیک‌ها، ولتاژها و جریانهای سینوسی هستند که دارای فرکانس‌هایی با مضرب عددی صحیح (مرتبه هارمونیک) از فرکانس اصلی شبکه می‌باشند. هارمونیک‌ها مولفه اصلی ولتاژ با جریان ترکیب شده و موجب اعوجاج در شکل موج می‌گردند. اعوجاج هارمونیکی به علت مشخصه‌های غیرخطی دستگاهها و بارهای سیستم قدرت به وجود می‌آید. در شکل 1-5 این مفهوم توسط اثر یک ولتاژ سینوسی که به دو سر یک مقاومت غیرخطی اعمال گردیده، شرح داده شده است. گرچه ولتاژ اعمالی، کاملاً سینوسی است ولی جریان دارای هارمونیک می‌باشد.

هارمونیک جریان تولید شده توسط بارهای غیرخطی با عبور از امپدانس شبکه به هارمونیک‌های ولتاژ تبدیل شده و علاوه بر وارد آوردن خسارت به تولیدکنندگان انرژی آثار نامطلوبی نیز در مصرف‌کنندگان خواهد داشت که از جمله آنها افزایش تلفات گرمایی کاهش راندمان در تجهیزات الکتریکی، عملکرد نامطلوب تجهیزات الکترونیکی که به عبور جریان (یا ولتاژ) از صفحه حساس می‌باشند. امکان ایجاد تشدید موازی در عناصر  $C, L$  شبکه با فرکانس معادل فرکانس از هارمونیک‌های موجود، تاثیر نامطلوب بر روی شبکه مخابراتی، افزایش صدای ماشین‌های الکتریکی، پیری زودرس و انهدام خازن‌های موجود در شبکه، تاثیر نامطلوب بر عملکرد تجهیزات مانند تلویزیون و کامپیوتر که نسبت به ولتاژ تغذیه حساس می‌باشند.



شکل 1-1: هارمونیک جریان به وجود آمده توسط مقاومت غیر خطی [8]

### 1-2-1- میان هارمونیک‌ها

سیگنال‌هایی که فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس اصلی شبکه نباشد میان هارمونیک گفته می‌شود.

### 1-3-1- اعوجاج هارمونیک کل (THD)

اعوجاج هارمونیک کل (THD) یک شاخص مهم در کیفیت برق شبکه‌های توزیع و انتقال می‌باشد. این شاخص تمامی مولفه‌های هارمونیک موجود در سیگنال را به حساب آورده و نشانگر حجم و اندازه هارمونیک‌های یک شکل موج می‌باشد.

THD برای سیگنال‌های جریان و ولتاژ به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} F_n^2} / F_1 \quad (1-1)$$

$F_n$  مقدار موثر مولفه‌ی هارمونیک  $h$  ام از کمیت  $f$  می‌باشد. THD مقدار موثر مولفه‌های هارمونیک یک موج اعوجاج یافته می‌باشد و نشانگر مقدار انرژی گرمایی هارمونیک‌ها نسبت به مقدار اصلی می‌باشد. اگر THD از یک مقدار خاص بیشتر گردد در آن صورت هارمونیک را به عنوان یک منبع الودگی در شبکه قدرت به حساب می‌آورند.

### 1-4-1- هارمونیک مضرب سه

هارمونیک‌های مضرب 3 ضرایب فرد هارمونیک سه هستند. ( $h = 3, 9, 15, \dots$ ) و اغلب اختلاف قابل ملاحظه‌ای از نظر اندازه با دیگر هارمونیک‌ها دارند. در سیستم‌های سه فاز که سیم نول دارند، جریان هارمونیک سوم و مضارب آن از سیم نول عبور می‌کنند. با جمع جریان‌ها در گره N مولفه‌ی اصلی جریان در نول صفر خواهد شد ولی مولفه‌های مضرب سه، سه برابر جریان‌های هارمونیک مضرب 3 هر فاز می‌باشد. زیرا فاز و زمان آنها به طور طبیعی روی هم قرار می‌گیرند.







ضریب  $\cos \theta$  معمولاً ضریب قدرت نامیده می‌شود. بهر حال تعریف صحیح ضریب قدرت (PF) بقرار زیر است:

$$PF = \frac{P}{S} \quad (4-1)$$

$P, S$  مبهم نیستند حتی اگر ولتاژ و جریان مغشوش شده باشند در حالی که مفهوم واضح و مشخصی از  $P, S$  برآیندهای آن‌ها وجود ندارد.

$$(5-1) S = V_{rms} I_{rms}$$

$$(6-1) P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt$$

اگر ولتاژ  $v$  به صورت کامل مربوط به فرکانس اصلی باشد.  $p$  به صورت فرم زیر مشخص می‌شود.

$$(7-1) P = \frac{V_1 I_1}{2} \cos \theta_1 = V_{1rms} I_{1rms} \cos \theta_1$$

که نشان می‌دهد متوسط قدرت واقعی مقدار تابعی از کمیت فرکانس اصلی است از آنجایی که عموماً در سیستم‌های قدرت اغتشاش در ولتاژ کم است (کمتر از 5٪)، این تقریب بدون در نظر گرفتن اینکه چگونه جریان مغشوش شده خوب است. به عبارت دیگر قدرت‌های ظاهری و غیرواقعی زیاد تحت تأثیر اغتشاش قرار می‌گیرد. قدرت ظاهری ( $S$ ) اندازه بالقوه دو سر بار بر اساس ظرفیت حرارتی سیستم می‌باشد. قدرت ظاهری متناسب با مقدار موثر جریان مغشوش شده است و محاسبات آن صریح می‌باشد. اگرچه کمی پیچیده‌تر از حالت سینوسی می‌باشد. همچنین توسط تعداد زیادی آمپومتر چنگکی می‌توان مستقیماً مقدار صحیح جریان موثر موج مغشوش شده را فهمید.

در میان تجزیه و تحلیل کنندگان هارمونیک‌ها در مورد اینکه تعیین  $Q$  در موقعی که اغتشاش هارمونیکی وجود دارد، چگونه باشد اختلاف نظرهایی وجود دارد.

نکته مهمی که در مورد مفهوم وار ( $Var$ ) وجود دارد این است که این مفهوم فقط برای حالت پایدار سینوسی اعتبار دارد. موقعی که اغتشاش وجود دارد. مابقی کمیت جزء  $S$  و بعد از احتساب  $P$  از اصل بقا تبعیت نمی‌کند.

این بدین مفهوم است که مجموع این کمیت در هر گره صفر نمی‌شود.

تبعیت نمی‌کند.

این بدین معنی نیست که قدرت واقعی  $P$  و یا جریان از اصل بقا تبعیت نمی کنند، زیرا اصل بقای انرژی و قانون جریان کیرشهف برای هر نوع موجی صادق است. مولفه های قدرت غیر واقعی از قانون مجموع مربعات تبعیت می کنند. این باعث شده برخی از تحلیل گران پیشنهاد دهند  $Q$  جزئی از قدرت غیر واقعی می باشد که از قانون بقا تبعیت می کند و مابقی را کمیت جدیدی که از قانون اصل بقا تبعیت نمی کند معرفی کرده اند.

این کمیت  $D$  قدرت اغتشاش و بصورت ساده ولت آمپر اغتشاش نامگذاری شده است. واحد آن ولت آمپر می باشد ولی مناسب نیست که به این کمیت، قدرت گفته شود به خاطر اینکه مانند قدرت در داخل سیستم جریان ندارد.

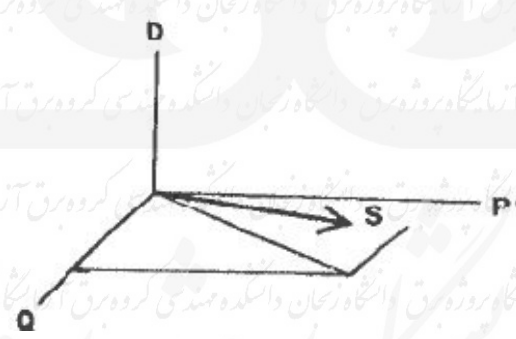
بدین ترتیب از مجموع قدرت غیر واقعی متعارف مربوط به تمامی ولتاژها و جریانهای فرکانس های مختلف تشکیل شده، که تولید قدرت متوسط نمی کنند. رابطه  $S, P, Q, D$  به قرار زیر است.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (8-1)$$

بنابراین  $D$  بعد از بدست آوردن  $S, P, Q$  توسط فرمول زیر تعیین می شود.

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (9-1)$$

بعضی ها ترجیح می دهند که از بردار سه بعدی برای نشان دادن روابط مولفه ها همان طور که در شکل 1-2 نشان داده شده است استفاده کنند.



شکل 1-2- رابطه مولفه های قدرت ظاهری [8]

$P, Q, S$  اجزاء متعارف در  $S$  برای حالت سینوسی هستند. در صورتی که  $D$  جزئی از قدرت ظاهری است. که توسط هارمونیک ها ایجاد می شود.

مولفه فرکانس اصلی قدرت غیر واقعی (Q1) و برای بدست آوردن اندازه خازن‌ها که جهت اصلاح ضریب قدرت به کار می‌روند مفید می‌باشد. خازن‌ها فقط می‌توانند برای اصلاح Q1 باشند عبارت ضریب قدرت جابجایی برای تشریح ضریب قدرت استفاده می‌شود و تنها در آن مولفه فرکانس اصلی به کار می‌رود. در حال حاضر تجهیزات ثبت کننده کیفیت توان این کمیت را همانند ضریب قدرت صحیح ثبت می‌کنند. که همان کمیت ضریب قدرت قبلی می‌باشد تعداد زیادی از وسایل مانند منابع قدرت کلید زنی و یا PWM که برای تنظیم فهرست موتورها به کار می‌روند دارای ضریب جابجایی تقریباً یک می‌باشند، در صورتیکه ضریب قدرت صحیح آنها بین 0/5 یا 0/6 می‌باشد.

خازن قرار داده شده در قسمت مدار ac ممکن است کمی ضریب قدرت صحیح را اصلاح کند. در حقیقت اگر حاصل به حالت تشدید برود، اغتشاش افزایش یافته باعث تضعیف ضریب قدرت می‌گردد. مطلب آخر اینکه اغتشاش باعث مولفه های جریان اضافی که از سیستم عبور می کند می‌شود که حاصل آن انرژی خالص نخواهد شد، بلکه باعث تلفات در عناصر سیستم قدرت که جریان از آنها عبور می کند خواهد شد. در این صورت ضروری است که سیستم کمی بیشتر از ظرفیت انتقال قدرت بار ساخته شود.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

## نتیجه گیری

فیلتر های پسیو راهکاری سنتی و در عین حال ارزان و با ساختی آسان جهت حذف هارمونیک ها از شبکه می باشند اما دارای مشکلاتی می باشند که سبب محدود شدن استفاده از آنها در شبکه قدرت الکتریکی شده است. از این رو فیلتر های اکتیو به عنوان روشی موثر در جبران سازی توان راکتیو و حذف یا محدود کردن هارمونیکهای شبکه مورد توجه صنعت قرار گرفته اند. ساختار قدرت فیلترهای اکتیو تقریباً ثابت می باشد اما توجه به استراتژی کنترلی برای عملکرد فیلتر اکتیو بسیار مهم است در این پروژه روش های مختلف کنترل فیلتر اکتیو مطالعه شد که نتیجه مقایسه آنها در زیر آمده است.

## روش شناسایی هارمونیک

بیشترین THD



کمترین THD

p-q

p-q-r

d-q-o

HPF

LPF

اما فیلتر های اکتیو نیز مشکل قیمت بالا و همچنین مشکلات ساخت را دارند که ساخت آنها را با مشکل مواجه کرده است از ای رو فیلتر های هیبرید ارائه شدند که ترکیبی از فیلتر های پسیو و اکتیو هستند. و

دارای مزایای آنها بوده و معایب آنها را ندارند. و با طراحی مناسب می توان جهت بهبود ضریب توان و جبران جریان هارمونیک استفاده کرد.

## مراجع

[1]- زارع، محسن - نیری پور، مجید- تقی زاده، مهدی- "مقایسه روش های شناسایی هارمونیک و ارائه روشی بهینه برای کاهش تاخیر پاسخ فیلتر های اکتیو"، چهاردهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، شهریور 1390

[2]- تقی زاده، مهدی - نیری، مجید- محبوبی مقدم، اسماعیل، "ارائه روشی جدید به منظور کنترل فیلتر اکتیو جهت بهبود شاخص های کیفیت توان با کاهش اندازه فیلتر اکتیو"، بیست و ششمین کنفرانس بین المللی برق، 1390

[3] - عبدالله زاده سنگرودی، حسین - نظامی زاده، کاوه - شکرالهی گاوزن، احمد - پورولی سورکی، حسن، "بررسی رفتار فیلتر اکتیو موازی و کنترل آن بر اساس تئوری توان لحظه ای"

[4] - رنجبر دونچالی، امید - یزدیان ورجانی، علی - حقی فام، محمودرضا، "تئوری توان راکتیو لحظه ای بهبود یافته برای فیلترهای اکتیو قدرت"، 18 امین کنفرانس بین المللی برق، ص 109-122

[5] - شهینا، فرهاد، حسینی، سید حسین، "بهبود ویژگیهای جبران سازی فیلترهای پسیو با استفاده از فیلترهای اکتیو در سیستمهای قدرت" 20 امین کنفرانس بین المللی برق، ص 1-8

[6] - قیومی، علی رضا - حسینی نژاد، سید محمد، "کار برد فیلترهای فعال در شبکه های توزیع برق"، 8 امین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، ص 433-443- اردیبهشت 1382

[7] - براتی، حسن - ریحانی نژاد، اکبر - جورابیان، محمود - زاده علی، رضا، "بررسی هارمونیک بارهای غیر خطی و طراحی فیلتر های حذف هارمونیک با استفاده از جبران سازی توان راکتیو"، دومین کنفرانس ملی مهندسی برق ایران، اسفند 1388

[8]- جباری، مسعود -- فرزانه فرد، حسین، "طراحی و ساخت یک فیلتر اکتیو قدرت موازی جهت افزایش کیفیت توان" بیستمین کنفرانس بین المللی برق



