دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق– گرایش قدرت

جایابی و اندازه‌یابی فیلترهای اکتیو قدرت به منظور بهبود وضعیت هارمونیکی سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی

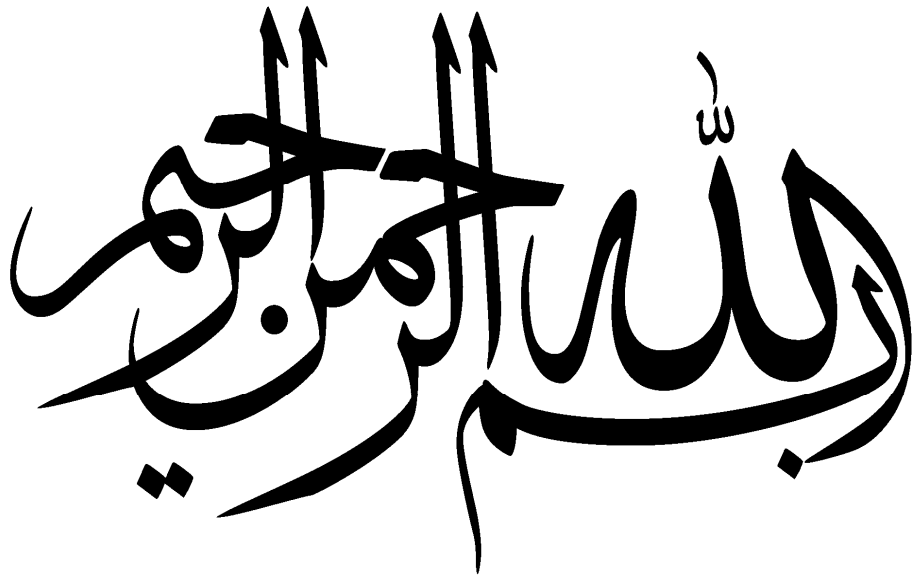
نگارش:

امیر مرادی فر

استاد راهنما:

دکتر رضا کی پور

پاییز 89


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق– گرایش قدرت

جایابی و اندازه‌یابی فیلترهای اکتیو قدرت به منظور بهبود وضعیت هارمونیکی سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی

نگارش:

امیر مرادی فر

استاد راهنما:

دکتر رضا کی پور

پاییز 89

این جانب ..... بدین وسیله اظهار می دارم که محتوای علمی این نوشتار با عنوان

.....

که به عنوان پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش ..... به دانشکده برق کامپیوتر- دانشگاه سمنان ارائه شده، دارای اصالت پژوهشی بوده و حاصل فعالیت علمی این جانب است.

این جانب می دانم که اگر خلاف ادعای بالا در هر زمانی محرز شود، کلیه حقوق مترتب بر این نوشتار از این جانب سلب شده و مراتب قانونی مرتبط با آن نیز از طرف مراجع ذی ربط قابل پیگیری است.

نام و نام خانوادگی - شماره دانشجویی

تاریخ و امضاء

دانشگاه سمنان
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تایید دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

پایان‌نامه آقای **امیر مرادی فر** برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق- گرایش قدرت

با عنوان:

جایابی و اندازه‌یابی فیلترهای اکتیو قدرت به منظور بهبود وضعیت هارمونیکی سیستم توزیع با استفاده از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی

در تاریخ / /1389 دفاع شد و مورد تایید قرار گرفت.

تاییدکنندگان:

1)استاد محترم داور..... امضاء

2) استاد محترم داور..... امضاء

3) استاد محترم راهنما..... امضاء

4) مدیریت محترم گروه قدرت..... .....امضاء

تقدیم به عموی شهیدم:

شهید محمد علی مرادی فر

سپاس گزاری

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی، به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است، به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید، و به پاس محبت‌های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم.

در آغاز لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر گرامی‌ام و کلیه کسانی که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند کمال تشکر را نمایم. هم چنین از زحمات اساتید محترم و دانشجویان صمیمی و مهربان دانشگاه سمنان و به خصوص استاد راهنمای ارجمند دکتر کی پور که با راهنمایی های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

چکیده

فیلترهای اکتیو قدرت، می‌توانند برای جبران هارمونیک‌ها در کل شبکه برق بکار گرفته شوند. لذا موضوع جایابی و اندازه‌یابی فیلترهای اکتیو قدرت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. در فصل سوم انواع روش‌های حل تحلیلی و هوشمند مسئله مورد بررسی قرار گرفته‌اند و به اختصار به توضیح نرم‌افزار GAMS که به‌صورت خاصی از روش‌های تحلیلی استفاده می‌کند پرداخته شده است و مشاهده گردید که متناسب با پیشرفت الگوریتم‌های جستجوی تصادفی این نوع نرم‌افزارهای تحلیلی بهینه‌سازی جای خود را در مسائل بهینه‌سازی از دست نداده‌اند و با دارا بودن پاسخ سریع و مناسب جایگاه خود را در مسائل بهینه‌سازی حفظ کرده‌اند. در ادامه برخی از روش‌های حل هوشمند معرفی گردیده‌اند که یکی از این روش‌ها، حل به روش الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است، تمرکز بیشتر در مورد این روش‌ها بر روی الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات تطبیق پذیر به عنوان یکی از نسخه‌های نسبتا جدیدتر این روش‌ها بوده است و این الگوریتم به همراه برخی از اصلاحات جدید محققین در فصل چهارم بیان گریده است و بر روی دو شبکه 5 و 18 شینه تست گردیده است و نتایج آن ضمن قیاس با نرم‌افزار GAMS بیان شده است. در فصل چهارم الگوریتم جایابی بر اساس تئوری فازی پیشنهاد گردیده است. در این الگوریتم با توجه به شاخص‌های THD_i خطوط، جریان‌های هارمونیکی عبوری از خطوط، THD_V و اعوجاجات تکی ولتاژ در هر باس از شبکه‌های مورد مطالعه ضمن درنظر گرفتن قیود (IEEE 519) و جریان مؤثر تزریقی فیلتر اکتیو و گسسته بودن آن به حل مسئله پرداخته شده است. برنامه پخش بار هارمونیکی در محیط متلب برای آماده‌سازی ورودی‌ها به الگوریتم مورد نظر نوشته شده و در هر بار تغییر در اندازه جریان تزریقی فیلترهای اکتیو قدرت، این برنامه اجرا و ولتاژها و جریان‌های هارمونیکی جدید برای تصمیم‌گیری جدید در اختیار الگوریتم قرار گرفته است. روش ارائه شده مبتنی بر تئوری مجموعه-های فازی، حساس‌ترین نقاط برای نصب فیلتر اکتیو قدرت را ارائه می‌دهد که دارای قدرت و سرعت پاسخگویی بالایی می‌باشد. به‌طور خاص در ترکیب توابع عضویت برای نتیجه‌گیری از ضرب فازی بجای عملگر اشتراک فازی بهره برده شده است.

کلید واژه : کیفیت توان، هارمونیک، فیلترهای اکتیو قدرت، بهینه سازی، APSO، GAMS، تئوری مجموعه‌های فازی

فهرست مطالب

فصل 1

مقدمه 1

1– هارمونیک‌ها 4

1–2– تعاریف و معیارها 4

1–3– علل بروز هارمونیک 4

1–4–آثار سوء هارمونیک‌ها 5

1–5– استانداردها 6

1–6– روش‌های اندازه‌گیری و مانیتورینگ 7

1–7– روش‌های آنالیز هارمونیکی سیستم‌های قدرت 8

1–7–1– آنالیز غیرخطی در حوزه زمان 8

1–7–2– آنالیز خطی در حوزه فرکانس 9

1–7–3– آنالیز غیرخطی در حوزه فرکانس 9

1–7–4–آنالیز به روش هیبرید 9

1–8– تشخیص منابع هارمونیک در شبکه 10

1–9– روش‌های بهبود 10

1–9–1– حفاظت بارها و کاهش هارمونیک‌های موجود 10

1–9–2– کاهش تولید هارمونیک در بارهای غیرخطی 12

فصل 2

فیلترهای اکتیو و کنترل هارمونیک ها در شبکه

2–1– مقدمه 14

2–2– اساس عملکرد فیلترهای اکتیو 15

2–3– ساختار داخلی فیلترهای اکتیو 15

2–3–1– مقایسه فیلترهای اکتیو از نوع ولتاژی با نوع جریانی 16

2–4–روش‌های تصحیح‌هارمونیک در فیلترهای اکتیو 17

2–4–1– تصحیح در حوزه زمان 17

2–4–2– تصحیح در حوزه فرکانس 17

2–4–3– مقایسه دو روش تصحیح در حوزه فرکانس و تصحیح در حوزه زمان 18

2–5– تحقیقات انجام شده 19

2–6– استفاده از فیلترهای اکتیو در کنترل هارمونیک‌های شبکه 20

2–7– اصول و فرضیات اولیه برای اندازه‌یابی فیلترهای اکتیو 22

2–7–1– مدل‌سازی فیتلرهای اکتیو 22

2–7–2 –مدل شبکه قدرت 22

2–7–3– تاثیر جریان فیلتر اکتیو بر ولتاژ باس‌ها در هر هارمونیک 22

2–8– توابع هدف و قیود 24

فصل 3

انواع روش‌های حل مسائل بهینه سازی

3–1– انواع روش‌های تحلیلی 28

3–1–1– روش تندترین شیب کاهشی (روش گرادیان) 28

3–1–2– روش هسیان 32

3–1–3– روش نیوتون 32

3–1–4– روش برنامه‌ریزی متوالی درجه دو 33

3–1–5– روش برنامه‌ریزی خطی 34

3–1–6– روش نقطه داخلی 34

3–1–7– مرور کلی بر نرم افزار بهینه‌سازی GAMS برای حل مسائل غیرخطی 38

3–2–روش‌های حل هوشمند 40

3–2–1– الگوریتم‌های جستجوی تصادفی 40

3–2–1–1– الگوریتم شبیه‌ساز حرارتی 40

3–2–1–1–1– پیاده‌سازی الگوریتم شبیه‌ساز حرارتی 41

3–2–1–1–2– برخی از ویژگی‌های الگوریتم شبیه‌ساز حرارتی 43

3–2–1–2– الگوریتم ژنتیک 43

3–2–1–2–1– پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک 44

3–2–1–2–2– عملگر دوباره تولیددر الگوریتم ژنتیک 46

3–2–1–2–3– عملگر انتقال صفات در الگوریتم ژنتیک 48

3–2–1–2–4– عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک 49

3–2–1–3– الگوریتم تکاملی تفاضلی 51

3–2–1–3–1– پیاده‌سازی الگوریتم تکاملی تفاضلی 51

3–2–1–4– الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات 53

3–2–1–4–1– تاثیر رفتار شناختی ذره در الگوریتم PSO 55

3–2–1–4–2– تاثیر رفتار اجتماعی ذره در الگوریتم PSO 56

3–2–1–4–3– تاثیر رفتار اینرسی ذره در الگوریتم PSO 56

3–2–1–4–4– پیاده‌سازی الگوریتم PSO 57

3–2–2– شبکه‌های عصبی مصنوعی 57

3–2–3– منطق فازی 58

3–2–3–1– پیشینه منطق فازی 58

3–2–3–2– مقدمه ای بر نظریه فازی 59
3–2–3–3– مفاهیم مجموعه های فازی 60

فصل 4

الگوریتم های پیشنهادی

4–1– الگوریتم PSO تطبیق‌پذیر یا APSO 64
4–1–1-ضریب اینرسی متغیر با زمان یا TVIW 65
4–1–2– ضرایب شتاب متغیر با زمان یا TVAC 66
4–2– الگوریتم ارائه شده بر پایه تئوری فازی 68
4–2–1– انجام پخش بار هارمونیکی در شبکه توزیع 69
4–2–2– پیاده سازی الگوریتم ارائه شده برای جایابی فیلترهای اکتیو قدرت بر پایه تئوری فازی 70

فصل 5

نتایج شبیه سازی و جمع بندی پایان نامه

5–1– آماده‌سازی ورودی ها 80
5–2– اعمال الگوریتم APSO برای کمینه‌سازی جریان تزریقی فیلتر اکتیو 82
5–2–1– معرفی شبکه 5 شینه و نتایج شبیه‌سازی بر روی آن 82
5–2–2– معرفی شبکه 18 شینه و نتایج شبیه‌سازی بر روی آن 86

5–3– پیاده‌سازی عمل کمینه‌سازی جریان تزریقی فیلتر اکتیو در محیط نرم‌افزار GAMS و نتیجه‌گیری 89
5–3–1– شبکه 5 شینه 90
5–3–2– شبکه 18 شینه 92
5–4– پیاده‌سازی الگوریتم ارائـــــه شده برای جایابی و اندازه یابی فیلتر اکتیو بر پایه تئـــــــوری فازی 94
5–4–1– جایابی و اندازه یابی چند فیلتر اکتیو در شبکه 18 شینه با وجود چندین منبع هارمونیک‌زا 94

فصل 6

نتیجه‌گیری از پایان‌نامه و پیشنهاد تحقیقات بیشتر 100

پیوست ها 103
پیوست (الف): استانداردها 103
پیوست (ب): توابع هدف موجود برای مسئله جایابی و اندازه‌یابی فیلترهای اکتیو 106
پیوست (ج): برخی عملگرهای اجتماع و اشتراک پیشنهاد شده توسط محققین در تئوری فازی 108
پیوست (د): مشخصات شبکه پنج شینه 110
پیوست (ه): مشخصات شبکه 18 شینه 111
مراجع 113

فصل اول

مقدمه

از سال ۱۹۸۰ تاکنون، موضوعی با عنوان «کیفیت برق»، توجه ویژه‌ی دست‌اندرکاران صنعت برق و سازندگان لوازم الکتریکی را به خود جلب کرده است. این واژه بعنوان یک کلمه کلیدی است که تمام اغتشاشات سیستم برق را پوشش می‌دهد. بطور کلی اغتشاش، به هرگونه تغییر در ولتاژ، جریان و فرکانس سیستم که باعث اختلال در عملکرد صحیح وسایل الکتریکی مشترکان شود، اطلاق می‌گردد [۱] [۲]، ایده‌آل آن است که ولتاژی که هر مشترک از سیستم برق تحویل می‌گیرد. دائما یک شکل موج سینوسی، بدون اعوجاج با دامنه و فرکانس ثابت در حد مجاز باشد. از این رو کیفیت برق، معادل با کیفیت ولتاژ می-باشد.

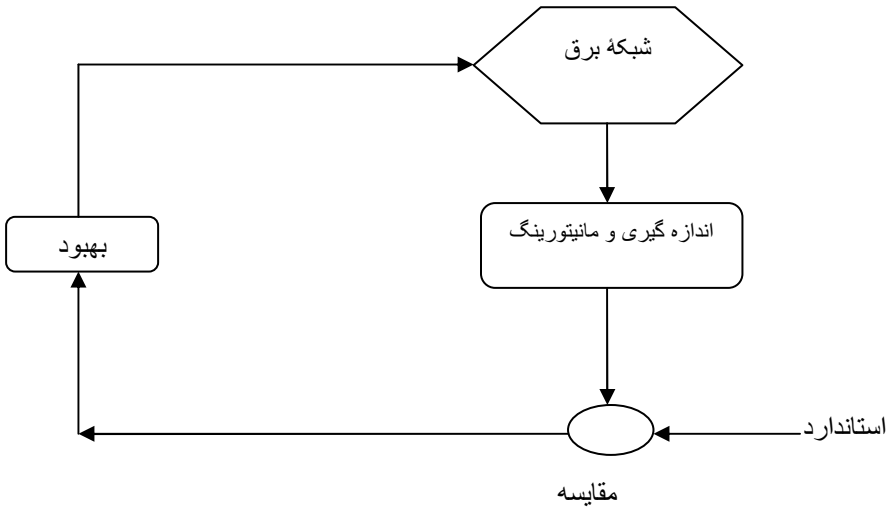
اغتشاشات انواع مختلفی دارند و تأثیرات آن‌ها بر روی تجهیزات شبکه قدرت و مصرف‌کننده‌ها نیز متفاوت است. اغتشاشات شامل گذراها (ضربه‌ای و نوسانی) تغییرات ولتاژ (کوتاه مدت و بلند مدت) نامتعادلی ولتاژ، اغتشاشات شکل موج، چشمک‌زدن ولتاژ (فلیکر) و تغییرات فرکانس می‌شود. تغییرات ولتاژ شامل وقفه‌ها و کاهش و افزایش ولتاژ است که هریک می‌توانند کوتاه مدت یا بلند مدت باشند. اغتشاشات شکل موج شامل آفست DC، هارمونیک‌ها، اینترهارمونیک‌ها و نویز می‌باشد.

اغتشاشات به دو دسته‌ی ماندگار و غیرماندگار تقسیم می‌شوند. اغتشاشات ماندگار اغتشاشاتی هستند که برای مدت طولانی در شبکه موجودند. اغتشاشات شکل موج، چشمک‌زدن و نامتعادلی ولتاژ از این نوعند. اغتشاشات غیرماندگار از قبیل گذراها، و تغییرات ولتاژ کوتاه مدت، برای مدت کوتاهی در شبکه بوجود می‌آیند.

با این که بسیاری از مسایل «کیفیت برق»، مسایل جدیدی نیستند، این واژه، یک واژه‌ی نو است. این بدین علت است که در حال حاضر میل و رغبت دست اندرکاران صنعت برق در این است که این مسایل با هم و بطور سیستماتیک در نظر گرفته شوند. پاره‌ای از علل این امر را می‌توان در موارد ذیل یافت:

۱) از آنجا که امروزه بسیاری از مصرف‌کننده‌های انرژی الکتریکی دارای کنترل‌های میکروپروسسوری و ادوات الکترونیک قدرت هستند، در برابر انواع اغتشاشات بسیار حساستر از گذشته می‌باشند.
۲) بعلت قابلیت‌هایی که ادوات الکترونیک قدرت در افزایش بازده، کاهش هزینه و کنترل هزینه و کنترل دقیق‌تر و ساده‌تر دارند؛ استفاده از آن‌ها، روز به روز افزایش می‌یابد. از طرفی بعلت غیرخطی بودن این وسایل، با گسترش روزافزون کاربرد آن‌ها، سطح اغتشاشات هارمونیکی در شبکه بشدت رو به افزایش است.
۳) هم‌اینک بسیاری از مشکلات برق رسانی، برطرف شده است و از این پس تأکید بر برق رسانی با کیفیت خوب خواهد بود.

مطالعات بسیاری در زمینه‌ی مانیتورینگ و بهبود «کیفیت برق» و تهیه‌ی ممیزهای و تدوین استانداردهایی برای آن‌ها انجام شده است [۷-۳]. ارتباط بین آن‌ها در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. در تدوین استانداردها باید به علل و آثار سوی هر اغتشاش توجه شود.



شکل ۱-۱ زمینه‌های مطالعات کیفیت برق و ارتباط آن‌ها با یکدیگر

با گسترش روزافزون بکارگیری ادوات الکترونیک قدرت، سطح هارمونیک‌ها در شبکه روز به روز بالاتر می‌رود و درنتیجه مسأله‌ی«هارمونیک‌ها» به یکی از حادترین مسایل «کیفیت برق» تبدیل خواهد شد.

حضور هارمونیک‌ها در شبکه، باعث افزایش تلفات، کاهش عمر و اختلال در کارکرد تجهیزات و بارهای مصرفی می‌شود. راه‌حل‌های بسیاری برای کاهش اثرات سوء هارمونیک‌ها موجود است. در فصل ۲ هارمونیک‌ها و مسائل مرتبط با آن‌ها مطرح خواهد شد.

در حال حاضر، اغلب مشکلات حاد هارمونیکی، به وجود منابع بزرگ و خاص هارمونیک، مانند موتورهای دور متغیر و یکسوکننده‌ها نسبت داده می‌شود. این مشکلات عموما در فیدرهای توزیع یا در سیستم برق صنعتی پیش می‌آیند و راه‌حل اقتصادی موجود برای آن‌ها عبارتست از تجدید آرایش شبکه، قطع و وصل خازن‌ها، و استفاده از فیلترهای پسیو.

با فراگیرشدن و افزایش تعداد بارهای کوچک الکترونیک قدرت در شبکه، پس زمینه‌ی سطح هارمونیک‌ها در کل سیستم قدرت، بالا خواهد آمد. راهکارهای اقتصادی ذکر شده جهت حل مشکلات منابع بزرگ و مشخص، برای حل این مشکل کم اثر و تقریبا غیرعملی خواهند بود. در نتیجه بطور جدی، نیاز به فیلترهای اکتیوی احساس می‌شود که بتوانند سطوح هارمونیک‌ها را، با وجود تغییرات گسترده‌ی آن‌ها و همچنین متغیر بودن امپدانس‌های شبکه، کنترل کنند. در حالت ایده‌آل این فیلترهای اکتیو باید بر کل شبکه نظارت داشته، و سطوح هارمونیک‌ها را در کل شبکه کمینه نمایند.

قرار دادن فیلترهای اکتیو مناسب، در مکان‌های مناسب، یکی از موضوعاتی است که در آن تحقیقات مهمی انجام گرفته است[۱۶-۸] و با ظهور روش‌های جدید حل اینگونه مسایل اعم از روش‌های تحلیلی و روش‌های هوشمند همچنان در این زمینه تحقیقات به صورت گسترده انجام می‌گیرد. زمینه‌ی کار این پایان‌نامه نیز در همین موضوع می‌باشد. فاکتورهای مهم در نصب فیلترهای اکتیو عبارتند از : (۱) وضعیت آلودگی هارمونیکی، (۲) استانداردهای هارمونیک‌ها، (۳) مکان و اندازه‌ی فیلترهای اکتیو، (۴) وضعیت شبکه، و غیره. منظور از اندازه‌ی فیلتراکتیو حداکثر جریان مؤثری است که می‌تواند به شبکه تزریق نماید.

در بخش‌های بعدی همین فصل به هارمونیک‌ها و مسائل مرتبط با آن مانند علل، آثار سوء، استانداردهای موجود، روش‌های آنالیز و مانیتورینگ، و روش‌های بهبود آن‌ها پرداخته خواهد شد در فصل دوم به معرفی فیلترهای اکتیو و کاربرد آن‌ها در کنترل هارمونیک‌های شبکه و مدل‌سازی و ارائه تابع هدف خواهیم پرداخت. در فصل سوم انواع روش‌های حل مسئله بیان می‌گردد و در فصل چهارم الگوریتم-های پیشنهادی برای جایابی و اندازه‌یابی فیلترهای اکتیو، معرفی و مدل‌سازی خواهند شد. در فصل پنجم با انجام آزمایش‌های متنوع، کارآیی الگوریتم‌های فوق به نمایش گذاشته خواهد شد. برای این منظور از دو شبکه ۵ شینه و ۱۸ شینه، استفاده می‌شود. و در انتها به نتیجه‌گیری و پیشنهادات پرداخته می‌شود.

۱-هارمونیک‌ها

تکنولوژی قطعات نیمه‌هادی مدام در حال پیشرفت بوده، اجزای بهتر، قابل اعتمادتر و اقتصادی‌تری را بوجود می‌آورد. این پیشرفت‌ها بعلاوه قابلیت‌های کارآیی و کنترل‌پذیری باعث پدید آمدن یک «انقلاب در الکترونیک قدرت» در وسایل مصرف‌کنندگان نهایی شده است. ولی متأسفانه بعلت غیرخطی بودن جریان ورودی، این وسایل، مشکل اغتشاشات هارمونیکی را برای مصرف‌کنندگان دیگر بوجود می‌آورند. این اغتشاش یا به عبارتی آلودگی برق که بوسیله یک منبع بزرگ و یا جمع اثرات بارهای کوچک ولی زیاد بوجود می‌آید، تا کیلومترها در سیستم توزیع منتشر می‌گردد. در واقع، این اغتشاشات، اغلب در نقاطی دور از منبع خود تقویت می‌گردند [۱۷].

۱-۲- تعاریف و معیارها

هارمونیک‌ها طبق تعریف ولتاژها یا جریان‌های سینوسی هستند، با فرکانس‌هایی که مضارب صحیحی از فرکانس طراحی شده شبکه می‌باشند [۱] [۲]. شکل موج‌های خراب شده را می‌توان بصورت مجموع فرکانس اصلی و هارمونیک‌ها تجزیه کرد.

سطوح اغتشاش هارمونیکی بوسیله طیف کامل هارمونیک‌ها با مقداردامنه و اختلاف فاز هر هارمونیک مشخص می‌گردد. همچنین مرسوم است که از یک مقدار بنام ضریب اعوجاج کل (THD)[1] بعنوان مقدار مؤثر اغتشاش هارمونیک استفاده شود. در روابط زیر V_K و I_K مقادیر مؤثر هارمونیک K ام ولتاژ و جریان هستند.

$$THD_V = \sqrt{\sum_{K\geq 2}\left(\frac{V_K}{V_1}\right)^2} \times 100\%$$

(۱-۲) ضریب اعوجاج کل ولتاژ

$$THD_I = \sqrt{\sum_{K\geq 2}\left(\frac{I_K}{I_1}\right)^2} \times 100\%$$

(۲-۲) ضریب اعوجاج کل جریان

THD_V بطور نوعی کمتر از 5% می‌باشد [۱۸]. مقدار متوسط آن در ممیزی مرجع [۱۹]، 1/5% اندازه‌گیری شده است. THD_I معمولا زیاد بوده، مقدار بیش از 40% آن غیر معمول نیست [۱۸].

۱-۳- علل بروز هارمونیک

[1] Total Harmonic Distortion

علت اصلی بروز هارمونیک در سیستم‌های قدرت وجود تجهیزات و بارهای غیرخطی است. وسایل فرومغناطیسی (از قبیل ترانسفورماتورها و موتورها)، تجهیزات تخلیه‌ای (از قبیل لامپ‌های فلورسنت، لامپ‌های بخار سدیم و بخار جیوه و کوره‌های قوس الکتریکی) و اخیرا رشد چشمگیر استفاده از لامپ‌های کم مصرف و وسایل الکترونیکی و الکترونیک قدرتی (از قبیل ASDها[1]، SVCها[2]، مبدل‌ها و رایانه‌ها) نمونه‌هایی از مولدهای هارمونیک هستند.

بارهای کوچکی مانند وسایل روشنائی و کامپیوترهای شخصی هرچند به تنهایی هارمونیک قابل توجهی تولید نمی‌کنند، اما بعلت زیاد بودن تعدادشان در شبکه، در مجموع یکی از مولدهای اصلی هارمونیک می‌باشند. جریان‌های هارمونیک ناشی از بارهای متفاوت، در اثر اختلاف فاز بین خود، بطور نسبی یکدیگر را حذف می‌نمایند. به این اثر Diversity گویند. در اثر تعاملات داخلی بین جریان و ولتاژ بارهای غیرخطی، اغتشاشات تا حدی کاهش می‌یابند که به این اثر Attenuation گویند. در مراجع [۲۰] و [۲۱] مدل‌های تحلیلی و روش محاسبه میزان Diversity و Attenuation بیان شده است. در مرجع [۲۲] با ترکیب این دو اثر میزان اغتشاشات هارمونیک جریان برای یک سایت با تعداد زیادی کامپیوترهای شخصی شبیه‌سازی گشته است.

۱-۴-آثار سوء هارمونیک‌ها

هارمونیک‌ها با افزایش جریان عبوری از خازن‌ها باعث از کار افتادن آن‌ها و یا سوختن فیوز آن‌ها می‌گردند. در صورت نزدیکی خطوط انتقال قدرت با خطوط مخابراتی، در این خطوط القا شده، تداخل تلفنی را باعث می‌گردند [۲۳]. هارمونیک‌ها در کار رله‌های حفاظتی اختلال ایجاد می‌نمایند [۲۴] و همانند سایر اغتشاشات برای تخمین فرکانس شبکه و در نتیجه کنترل پایداری آن مشکل‌ساز هستند [۲۵].

یکی از اثرات سوء هارمونیک‌ها، افزایش تلفات در تجهیزات (از قبیل ترانسفورماتورها و ماشین‌های الکتریکی گردان) و خطوط است. این تلفات هم باعث افزایش هزینه عملکرد تجهیزات می‌گردند و هم با ایجاد گرمای اضافی عمر مفید آن‌ها را کاهش می‌دهند. یکی از زمینه‌های تحقیق، محاسبه هزینه‌های ناشی از تلفات هارمونیک‌هاست. در مراجع [۲۶] و [۲۷]، با طرح سناریوهای مشخصی، هزینه عملکرد ناشی از تلفات هارمونیک‌ها محاسبه شده است. از آنجا که هارمونیک‌های ولتاژ و جریان، عناصری احتمالاتی هستند و در ضمن عمر مفید تجهیزات نیز یک مقدار امید ریاضی[3] است، در مرجع [۲۸] با یک روش احتمالاتی، هم هزینه‌ی عملکرد و هم هزینه‌ی ناشی از کاهش عمر تجهیزات را تخمین زده است. محاسبه‌ی این هزینه می‌تواند بعنوان یک تابع هدف در زمینه روش‌های بهبود بکار رود.

---

[1] Adjustable Speed Drives
[2] Static Var Compensator
[3] Mathematical expectation

۱-۵- استانداردها

اولین استانداردهای هارمونیک در اروپا بوجود آمدند. در سال ۱۹۶۹، CENELEC و IEC در اروپا، کمینه‌هایی را به منظور تعیین هارمونیک‌هایی که توسط مدارهای سوئیچینگ در لوازم خانگی بوجود می-آید، تشکیل دادند. در سال ۱۹۷۵ اولین استاندارد (EN50006) توسط CENELEC بوجود آمد و توسط ۱۴ کشور اروپایی پذیرفته شد. سند IEC555 در سال ۱۹۸۲ ارائه شد و سپس در سال ۱۹۹۱، بخش دوم آن یعنی IEC-555-2 [۲۹] در CENELEC بعنوان یک استاندارد اروپایی (EN60555-2) به تصویب رسید.

در آمریکا انجمن IAS از IEEE، از سال ۱۹۷۳ پروژه‌ی تعیین استاندارد هارمونیک را آغاز کرد و در سال ۱۹۸۱ اولین استاندارد IEEE-519 را با عنوان «Guide» [۳۰] بوجود آورد. سپس در سال ۱۹۸۶، با همکاری دو گروه IAS و PES بر روی این استاندارد تجدید نظری شد و با حجم مطالب بیشتری به «Recomended Practice» IEEE-519 تغییر نام یافت و در نهایت در سال ۱۹۹۲ با ارائه مطالب اساسی در زمینه‌ی علل، اثرات، اندازه‌گیری و کنترل هارمونیک‌ها در سیستم قدرت، کاملتر شد و اخیرا در سال ۲۰۱۰ , Recommend جدید دیگری ارائه گردیده است. جدول ۱-۲ حد مجاز این استاندارد نشان می-دهد [۳۱].

جدول ۱-۲ حدود مجاز هارمونیک‌های ولتاژ مطابق با استاندارد IEEE-519

ولتاژ شبکه	اعوجاج تکي ولتاز هر هارمونیک به درصد	اعوجاج کلي ولتاز به درصد
کوچکتر از 69 kV	3	5
69 kV تا 138 kV	1,5	2,5
بیشتر از 138 kV	1	1,5

چندین مشکل و موارد نامشخص در استفاده از این استانداردها ظاهر می‌گردد، از جمله آن‌ها:

۱- ست کردن حدود مناسب برای وسیله مشخص، قبل از آن که این وسیله در سیستم قدرت قرار بگیرد.
۲- تعین سهم مسئولیت مالی بین سازنده‌ی وسیله، مصرف‌کننده و شرکت برق بعد از راه‌اندازی وسیله.

اغلب استانداردهای موجود در مورد حدود مجاز هارمونیک‌ها مقادیر ثابتی هستند. از طرفی، همان‌طور که ممیزهای موجود نشان می‌دهند [۱۹][۳۲]، بعلت تغییرات پیوسته در سیستم قدرت و شرایط بارها، هارمونیک‌های ولتاژ و جریان، کمیت‌های متغیر با زمان هستند. از آنجا که این تغییرات بصورت نامشخص،