POWEREN.IR

کیفیت توان سیستم‌های الکتریکی

مؤلفین :

راجر سی. دوگان مارک اف. مک‌گراناهان اچ. واین بیتی

مترجمین :

دکتر جواد روحی دکترسید علی نبوی نیاکی

دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی مهندس حسین محمدیان

انتشارات دانشگاه مازندران

۱۳۴

انتشارات دانشگاه مازندران

۱۳۴

Dugan , Roger C.

دوگان ، راجر سی.

کیفیت توان سیستم های الکتریکی / راجر سی. دوگان و دیگران . ترجمه : جواد روحی و همکاران . - بابلسر : دانشگاه مازندران ۱۳۷۸ .

شش ، ۲۵۵ ص . مصور ، جدول ، نمودار (دانشگاه مازندران ۱۳۴)

عنوان اصلی : Electrical Power System Quality

۱. سیستم های برق ، پایداری ۲. کنترل کیفیت الف. مک گراناهان ، مارک اف. ، نویسنده همکار ب. واین بیتی ، اچ. ، نویسنده همکار ج. نبوی نیاکی . ع . مترجم د. شیخ الاسلامی ، ع ، مترجم ه. محمدیان ، ح ، مترجم و. عنوان

TK ۱۰۱۰ / ۹ک۹د ۱۳۷۸

عنوان کتاب : کیفیت توان سیستم های الکتریکی

مؤلفین : راجر سی. دوگان مارک اف.مک گراناهان اچ. واین بیتی

مترجمین : جواد روحی علی نبوی نیاکی عبدالرضا شیخ الاسلامی حسین محمدیان

ناشر : دانشگاه مازندران

تاریخ انتشار : مرداد ۱۳۷۸ (چاپ اول)

محل انتشار : بابلسر

تعداد صفحات : ۲۵۵

تیراژ : ۱۵۰۰ نسخه

قیمت : ۱۲۰۰۰ ریال

ویراستاری و متن آرائی : دفتر مطالعات برق شمال

(کلیه حقوق برای مترجمین و دانشگاه مازندران محفوظ است .)

بابلسر : خیابان پاسداران ، دانشگاه مازندران ، حوزهٔ معاونت پژوهشی ، ص.پ. ۴۱۶

شابک ۹-۰۴-۶۴۳۳-۹۶۴ ISBN 964-6433-04-9

فهرست

پیشگفتار ۱
معرفی ۳

فصل ۱ - مقدمه ۷
۱-۱ کیفیت توان چیست ؟ ۸
۱-۲ کیفیت توان یعنی کیفیت ولتاژ ۱۱
۱-۳ چرا به کیفیت توان توجه می کنیم؟ ۱۲
۱-۴ چه کسانی می توانند از این کتاب استفاده کنند ۱۳
۱-۵ مروری اجمالی بر کتاب ۱۳

فصل ۲ - تعاریف واصطلاحات ۱۵
۲-۱ ضرورت داشتن یک واژه نامه سازگار ۱۵
۲-۲ دسته بندی مسائل کیفیت توان ۱۵
۲-۳ گذراها ۱۹
۲-۳-۱ گذرای ضربه ای ۱۹
۲-۳-۲ گذرای نوسانی ۲۰
۲-۴ تغییرات کوتاه مدت ولتاژ ۲۲
۲-۴-۱ قطعی ۲۲
۲-۴-۲ کمبود ولتاژ ۲۳
۲-۴-۳ بیشبود ولتاژ ۲۵
۲-۵ تغییرات بلند مدت ولتاژ ۲۶
۲-۵-۱ اضافه ولتاژ ۲۷
۲-۵-۲ کاهش ولتاژ ۲۷
۲-۵-۳ قطعی بادوام ۲۷
۲-۶ نامتعادلی ولتاژ ۲۷
۲-۷ اعوجاج شکل موج ۲۸
۲-۷-۱ افست dc ۲۹
۲-۷-۲ هارمونیک ها ۲۹
۲-۷-۳ میان هارمونیک ها ۳۰
۲-۷-۴ شکاف ۳۰
۲-۷-۵ نویز ۳۱
۲-۸ تغییرات ولتاژ ۳۱
۲-۹ تغییرات فرکانس قدرت ۳۲

۲-۱۰ واژگان کیفیت توان ۳۳
۲-۱۱ منحنی شاخص (CBEMA) ۴۰
۲-۱۲ منابع ۴۲

فصل ۳- کمبود ولتاژ و قطعی ها ۴۳
۳-۱ عوامل کمبودها و قطعی ها ۴۴
۳-۲ ناحیهٔ تأثیر پذیر ۴۷
۳-۳ اصول بنیادی حفاظت ۴۸
۳-۴ مسائل مرتبط با مصرف کننده ۴۹
۳-۴-۱ ترانسفورمرهای فرورزونانس ۵۰
۳-۴-۲ جمع کننده های مغناطیسی ۵۱
۳-۴-۳ منبع تأمین برق (UPS) همیشه در مدار ۵۳
۳-۴-۴ منبع تغذیه (UPS) آماده باش ۵۳
۳-۴-۵ منبع تغذیه(UPS) هایبرید ۵۴
۳-۴-۶ مجموعه های موتور - ژنراتور ۵۴
۳-۴-۷ ذخیره سازی انرژی مغناطیسی ابر رسانائی (SMES) ۵۴
۳-۵ کمبود ولتاژ ناشی از راه اندازی موتور ۵۵
۳-۵-۱ روشهای راه اندازی موتور ۵۶
۳-۵-۲ تخمین کمبود ولتاژ در زمان راه اندازی ۵۷
۳-۶ مسائل مرتبط با رفع خطا در سیستم توزیع ۵۸
۳-۶-۱ اصول هماهنگی اضافه جریان ۵۹
۳-۶-۲ رله گذاری ۵۹
۳-۶-۳ فیوزها ۶۰
۳-۶-۴ باز بستن ۶۱
۳-۶-۵ حفظ کردن فیوزها ۶۲
۳-۶-۶ قابلیت اطمینان ۶۳
۳-۶-۷ افزایش مجزاسازی ۶۴
۳-۶-۸ تریپ کردن تک فاز ۷۰
۳-۶-۹ فیوزهای محدودکنندهٔ جریان ۷۱
۳-۶-۱۰ ندیدن هارمونیک های سوم جریان ۷۲
۳-۷ منابع ۷۳

فصل ۴ - اضافه ولتاژهای گذرا ۷۵
۴-۱ منابع اضافه ولتاژهای گذرا ۷۵
۴-۱-۱ کلیدزنی خازن ۷۵

۲-۱-۴ بزرگی ولتاژ گذرای کلیدزنی خازن ۷۸
۳-۱-۴ صاعقه ۸۱
۲-۴ اصول حفاظت اضافه ولتاژ ۸۵
۳-۴ ادوات حفاظت از اضافه ولتاژ ۹۰
۴-۴ حالتهای گذرای کلیدزنی خازن در شبکهٔ توزیع ۹۴
۱-۴-۴ زمانهای کلیدزنی ۹۴
۲-۴-۴ مقاومتهای از پیش تعبیه شده ۹۵
۳-۴-۴ وصل همزمان ۹۷
۴-۴-۴ محل خازن ۹۸
۵-۴ حفاظت تأسیسات از صاعقه ۹۹
۱-۵-۴ سیم محافظ ۹۹
۲-۵-۴ برقگیرهای خط ۱۰۱
۳-۵-۴ ضربه های طرف فشار ضعیف ۱۰۲
۴-۵-۴ حفاظت کابل ۱۰۸
۵-۵-۴ طرح برقگیر اسکات ۱۱۲
۶-۴ مشکلات حالتهای گذرای کلیدزنی بار ۱۱۳
۱-۶-۴ قطع بیمورد موتورهای تنظیم سرعت ۱۱۳
۲-۶-۴ حالتهای گذرای ناشی از کلید زنی بار ۱۱۵
۳-۶-۴ بارگذاری ترانسفورماتور ۱۱۶
۷-۴ ابزار کامپیوتری برای تحلیل حالتهای گذرا ۱۱۷
۸-۴ منابع ۱۱۸

فصل ۵ - هارمونیکها **۱۱۹**
۱-۵ اغتشاش هارمونیکی ۱۲۱
۲-۵ ولتاژ ناشی از اغتشاش جریان ۱۲۳
۳-۵ مقایسهٔ هارمونیکها و حالات گذرا ۱۲۵
۴-۵ مجموع اغتشاش هارمونیکی و مقدار مؤثر ۱۲۶
۵-۵ قدرت و ضریب قدرت ۱۲۷
۶-۵ هارمونیکهای مضرب سه ۱۳۰
۷-۵ منابع برق تک فاز ۱۳۳
۸-۵ مبدل های قدرت سه فاز ۱۳۶
۱-۸-۵ محرک های dc ۱۳۷
۲-۸-۵ محرک های ac ۱۳۸
۳-۸-۵ اثر شرایط کار ۱۴۰
۴-۸-۵ اثر چکهای خط ac روی هارمونیکها ۱۴۱

۵-۹ دستگاههای جرقه ساز ۱۴۱
۵-۱۰ دستگاههای با قابلیت اشباع ۱۴۴
۵-۱۱ اثرات اغتشاشات هارمونیکی ۱۴۶
۵-۱۱-۱ اثر روی خازنها ۱۴۶
۵-۱۱-۲ اثر هارمونیکها روی ترانسفورماتور ۱۴۸
۵-۱۱-۳ اثر هارمونیک روی موتورها ۱۵۲
۵-۱۲ مشخصه های پاسخ سیستم ۱۵۳
۵-۱۲-۱ امپدانس سیستم ۱۵۴
۵-۱۲-۲ امپدانس خازنی ۱۵۶
۵-۱۲-۳ تشدید موازی ۱۵۷
۵-۱۲-۴ اثر بار مقاومتی ۱۵۹
۵-۱۳ اصول کار کنترل هارمونیکها ۱۶۰
۵-۱۳-۱ کاهش جریانهای هارمونیکی در بارها ۱۶۱
۵-۱۳-۲ فیلتر گذاری ۱۶۲
۵-۱۳-۳ اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم ۱۶۲
۵-۱۳-۴ در فیدرهای توزیع ۱۶۳
۵-۱۳-۵ در تجهیزات مصرف کننده ها ۱۶۴
۵-۱۴ مشخص کردن محل هارمونیکها ۱۶۵
۵-۱۵ وسایل فیلتر کردن اغتشاشات هارمونیکی ۱۶۶
۵-۱۵-۱ فیلترهای غیرفعال ۱۶۶
۵-۱۵-۲ فیلترهای فعال ۱۶۹
۵-۱۶ روش مطالعهٔ هارمونیک ۱۶۹
۵-۱۷ مؤلفه های متقارن ۱۷۰
۵-۱۸ مدل کردن منابع هارمونیکی ۱۷۲
۵-۱۹ طراحی فیلتر هارمونیک ۱۷۴
۵-۲۰ تداخل در ارتباط مخابراتی ۱۷۸
۵-۲۱ ابزارهای کامپیوتری برای تحلیل هارمونیکها ۱۷۹
۵-۲۱-۱ قابلیتهای برنامه های تحلیل هارمونیکی ۱۸۱
۵-۲۲ منابع ۱۸۲
فصل ۶ - تغییرات بلند مدت ولتاژ **۱۸۵**
۶-۱ اصول تنظیم ولتاژ ۱۸۵
۶-۲ تجهیزات تنظیم ولتاژ ۱۸۶
۶-۲-۱ تنظیم کننده های پله ای ولتاژ توزیع ۱۸۷
۶-۲-۲ ترانسفورماتورهای فرورزونانس ۱۸۸
۶-۲-۳ رگولاتور با تپ سوئیچ شوندهٔ الکترونیکی ۱۸۹

۶-۲-۴ جمع کننده های مغناطیسی ۱۹۰
۶-۲-۵ سیستم های تغذیه (UPS) روی خط ۱۹۰
۶-۲-۶ مجموعه های موتور ژنراتور ۱۹۰
۶-۲-۷ جبران کننده های استاتیک وار ۱۹۱
۶-۳ کاربرد تنظیم کنندهٔ ولتاژ توزیع ۱۹۲
۶-۳-۱ جبران ساز افت خط ۱۹۲
۶-۳-۲ رگولاتورهای سری ۱۹۵
۶-۴ بکارگیری خازنها برای تنظیم ولتاژ ۱۹۶
۶-۴-۱ خازنهای موازی ۱۹۶
۶-۴-۲ خازنهای سری ۱۹۷
۶-۵ کاربرد خازن در سوی مصرف کننده ۱۹۷
۶-۵-۱ مکان یابی خازنهای تصحیح قدرت ۱۹۸
۶-۵-۲ افزایش ولتاژ ۱۹۹
۶-۵-۳ کاهش تلفات سیستم قدرت ۲۰۰
۶-۵-۴ کاهش جریان خط ۲۰۰
۶-۵-۵ ضریب قدرت جابجائی بر حسب ضریب قدرت و قعی ۲۰۱
۶-۵-۶ انتخاب مقدار خازنها ۲۰۲
۶-۶ منابع ۲۰۴

فصل ۷ - سیم اتصال زمین و زمین کردن ۲۰۵
۷-۱ تعاریف ۲۰۶
۷-۲ دلایل زمین کردن ۲۱۰
۷-۳ نمونه هائی از اشکالات زمین کردن و سیم زمین ۲۱۲
۷-۳-۱ مشکلات مربوط به سیم ها و اتصالات ۲۱۲
۷-۳-۲ از دست دادن ایمنی سیم زمین ۲۱۳
۷-۳-۳ زمین کردن در چند نقطه ۲۱۳
۷-۳-۴ تجهیزات بدون اتصال به زمین ۲۱۴
۷-۳-۵ میله های اضافی زمین ۲۱۴
۷-۳-۶ مسیرهای بستهٔ زمین ۲۱۴
۷-۳-۷ سیم خنثی ناکافی ۲۱۵
۷-۴ حل مشکلات سیم کشی و اتصال زمین ۲۱۶
۷-۴-۱ اتصال زمین مناسب ۲۱۶
۷-۴-۲ الکترود زمین (بشکل میله ای) ۲۱۶
۷-۴-۳ اتصالات سرویس ورودی ۲۱۷
۷-۴-۴ جعبه تقسیم ۲۱۹

۷-۴-۵ سیم زمین ایزوله شده ۲۱۹
۷-۴-۶ سیستمهائی که بصورت مجزا به زمین وصل می شوند ۲۲۰
۷-۴-۷ روشهای زمین کردن برای بدست آوردن یک نقطهٔ مبنا ۲۲۱
۷-۴-۸ نکات بیشتر برای زمین کردن دستگاههای حساس ۲۲۳
۷-۴-۹ جمع بندی راه حل های اتصالات و سیم زمین ۲۲۴

فصل ۸ - نظارت کیفیت توان **۲۲۵**
۸-۱ بازدید محلی ۲۲۵
۸-۲ نظارت دقیق کیفیت توان ۲۲۸
۸-۲-۱ انتخاب مکان نظارت ۲۲۹
۸-۲-۲ فرم ثبت اغتشاش ۲۲۹
۸-۲-۳ اتصالات مانیتور اغتشاش ۲۳۰
۸-۲-۴ تنظیم محدوده های مانیتور ۲۳۱
۸-۲-۵ کمیاتی که باید اندازه گیری شوند ۲۳۱
۸-۲-۶ تفسیر نتایج اندازه گیری ۲۳۲
۸-۲-۷ یافتن منبع یک اغتشاش ۲۳۲
۸-۳ دستگاههای اندازه گیری کیفیت توان ۲۳۳
۸-۳-۱ انواع دستگاههای اندازه گیری ۲۳۳
۸-۳-۲ دستگاههای تست سیمکشی و سیستم زمین ۲۳۵
۸-۳-۳ مولتی مترها ۲۳۶
۸-۳-۴ اسیلوسکوپها ۲۳۷
۸-۳-۵ تحلیل گرهای اغتشاش ۲۳۹
۸-۳-۶ تحلیل گرهای طیف و تحلیل گرهای هارمونیک ۲۴۰
۸-۳-۷ تحلیل گرهای مرکب اغتشاش و هارمونیک ۲۴۲
۸-۳-۸ دستگاههای اندازه گیری فلیکر ۲۴۵
۸-۳-۹ موارد مورد نیاز مبدل ها ۲۴۶
۸-۳-۱۰ سطوح سیگنال ۲۴۷
۸-۳-۱۱ پاسخ فرکانسی ۲۴۸
۸-۳-۱۲ ملاحظات نصب ۲۵۱
۸-۳-۱۳ خلاصه ای از پیشنهادات مربوط به مبدلها ۲۵۳
۸-۴ خلاصه ای از توانائیهای تجهیزات ۲۵۴
۸-۵ منابع ۲۵۵

POWEREN.IR

پیشگفتار

کیفیت توان برق درسالهای اخیربطورجدی موردتوجه مؤسسات برق و مصرف کنندگان دربرخی از کشورها قرار گرفته است . بدون شک کیفیت برق تولیدی در حال حاضر همانند یا بهتر از گذشته می باشد . عامل اساسی ضرورت بازنگری مسئله،گسترش بکارگیری تجهیزات جدید الکتریکی در شبکه هاست .کاربرهای جدید مانند :میکروپروسسورها ،کامپیوترها ، وسایل الکترونیکی سیستم های تغذیه و کنترل الکتروموتورها و فرآیند تولید ، کوره های القائی ، لامپ های کم مصرف و غیره از یک سو حساسند و به توان الکتریکی با کیفیت مطلوب نیاز دارند و از طرفی خود منشاء برخی پدیده های مخل کیفیت توان مانند هارمونیک ها هستند .

پدیده های جدید اغتشاش در کنار عوامل سنتی مخرب کیفیت توان مانند صاعقه ، کلیدزنی ، قطع و وصل بانکهای خازنی و ... بررسی موضوع را ضروری و لزامی ساخته است .

برای بیان کیفیت برق اغلب از شاخص قدیمی قابلیت اطمینان استفاده می شود . در محاسبهٔقابلیت اطمینان شرکت های برق عمدتاً میزان قطع برق مشترک (خاموشی) را ملاک قرار داده و میزان متوسط دسترسی به برق (ASAI) را محاسبه مینمایند . این شاخص بصورت نسبت ساعات برقدار بودن مشترک به‌کل ساعات یک سال تعریف میگردد و اکثر مؤسسات برق با ضریب اطمینان بیش از ۹۹/۹۹ درصد کار میکنند . ولی قابلیت اطمینان برای ارزیابی وبیان کیفی کار شبکه های امروزی ناکافی است .

امروزه در ارزیابی کیفیت توان برق با توجه به ویژگیهای تجهیزات جدید و توقعات مشترکین بخصوص در محیط رقابت اقتصادی علاوه بر مدت زمان برقدار بودن ، میزان اغتشاشات و از جمله : پدیده های گذرای ضربه ای یا نوسانی ، کاهش و افزایش کوتاه مدت ولتاژ ، انحراف شکل موج و اعوجاج آن ، تغییر فرکانس ، فلیکر و شکاف باید دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد . زیرا اثرات سوء آنها روی تجهیزات موجب عملکرد نادرست ، صدمه دیدن دستگاهها و قطع روند تولید میگردد . چنین اشکالاتی ضررهای زیادی دارد زیرا فرآوری تولید بطور ناگهانی متوقف میشود و راه اندازی مجدد آن مستلزم هزینه میباشد بعلاوه صدمه دیدن تجهیزات و تعمیرات آنها موجب ازدست رفتن پول وزمان است . آسیب دیدگی فرآورده ها در اثر پدیده های مخرب الکترومغناطیسی که به ترمیم یا دور ریز می انجامد نیز مشکلات اقتصادی زیادی ایجاد میکند .

بمنظور شناسائی و رفع این مشکلات در شبکه های توزیع برق اقدام به تعریف یک پروژهٔ تحقیقاتی گردید . در راستای انجام این طرح تحت عنوان " ارزیابی کیفیت توان سیستم بیست کیلوولت مازندران و روشهای کنترل آن " گروه شناخت تئوری کیفیت توان جستجوی گسترده ای را با استفاده از بانکهای اطلاعاتی و کاوش از طریق اینترنت در مورد کتابها ، گزارش ها ، نشریات و مقالات از مراکز تخصصی برق (*IEE , IEEE ,CIGRE*) انجام و موفق به جمع آوری ۹۰ اثر در مقوله کیفیت توان گردید . در بین این آثار کتاب " کیفیت توان سیستم های الکتریکی " تألیف راجر سی. دوگان ، مارک اف. مک گراناهان ، اچ. واین بیتی بهترین و به روزترین کتا ب مدون در این زمینه بعنوان متن کا رگروه انتخاب شد . با کوشش همکاران دانشگاهی و صنعت برق آقایان دکتر نبوی نیاکی ، دکتر شیخ الاسلامی ، دکتر آبروش ، دکتر طحانی ، دکتر رادمان ، مهندس فیاض و خانم مهندس براری با نظارت آقای مهندس محمدیان تلاشهای زیاد و سازمان یافته ای در انجام موضوع تحقیق بعمل آمد . بطوریکه گزارش سه بخش از کار در کمتر از نیمسال ارائه شد و در همین زمان ترجمهٔ کتاب حاضر توسط تعدادی از اعضای گروه آماده گردید و بدلیل فوریتی که برای نشر آن احساس میشد با کمک های همه جانبه در تیراژ محدود انتشار یافت .

همکاریهای استادان دانشگاه و کارشناسان خبره صنعت برق بویژه جناب مهندس بهزاد و همکارانشان در شرکتهای برق و توزیع نیرو در مازندران بسیار مغتنم بود و در حقیقت بستر و امکان انجام تحقیق و انتشار کتاب حاضر را میسر ساخت . گروه مطالعات برق امیدوار است در آینده بسیار نزدیک نتایج تجربیات ، آزمایش ها و تحقیقات در بیش از ۳۰ سایت گسترده در منطقه را جهت استفاده متخصصان ارائه نماید .

در اینجا لازم میدانم از زحمات خانم مهندس روحی و خانم مهندس رضائی بخاطر همکاریشان در ویرایش ، تنظیم و چاپ کتاب قدردانی نمایم .

با توجه به اینکه مسئلهٔ کیفیت توان دارای گستردگی موضوعی و محتوائی است علیرغم تلاشهای همه جانبه امکان وجود کاستی ها زیاد است لذا از صاحبنظران ارجمند انتظار دارد با ارائهٔ رهنمودها در جهت بهبود کار یاری نمایند و پیشاپیش از این عنایت سپاسگزاری می شود .

دکتر جواد روحی

سرپرست مطالعات

POWEREN.IR

معرفی
از : مارک ساموتیچ[1]

اهمیت کیفیت توان

من از نویسندگان این کتاب بخاطر کار ارزشمندشان در زمینه ای که اهمیت آن در حال گسترش است ، تشکر و قدردانی می کنم . در مؤسسه تحقیقات توان الکتریکی (EPRI)[2] بیش از ده سال است که مسائل کیفیت توان را مطالعه می کنیم . شرکت الکتروتک کانسپتس [3] بعنوان پیمانکار در بسیاری از این تحقیقات که شامل بیش از ۵۰ مطالعه موردی کیفیت توان در تجهیزات مشترکین می‌شود شرکت داشت . بیشتر دانش بدست آمده توسط این مطالعات و دیگر موارد تحقیقاتی کیفیت توان در این کتاب گنجانده شده ست ، تا مهندسین برق را برای بررسی و تحلیل مسائل کیفیت توان چه از دیدگاه شرکت های برق و چه از دیدگاه مشترکین آماده سازد .

کیفیت توان شامل زمینه وسیعی از ارزیابی ها و موارد قابل توجه است . لذا مرتب کردن مطالبی که بتوان آنها را بهم مرتبط و بصورت کتاب درآورد بسیار مشکل است . ارزیابی ها میتواند شامل هر موردی از مطالعات اتصال کوتاه سیستم انتقال گرفته تا بررسی اثر ولتاژ گذرا روی خطوط انتقال به داده‌های کامپیوتر بشود . برای نشان دادن دشواری مسئله ، باید اذعان کرد این جمع بندیها باید طوری فراهم شود که قابل فهم برای مهندسین شرکت برق ، مدیران صنایع و طراحان تجهیزات باشد ، که کار آسانی نیست .

این کتاب برای درک مسائل کیفیت توان و اینکه چگونه این مسائل در سطح وسیعی از سیستم وجود دارند ، کمک بسیار مناسبی است . این کتاب می تواند برای جمع کردن کسانی که با همکاری یکدیگر راه حل هایی برای مسائل مذکور می یابند چاره ساز خوبی باشد . طراحان تجهیزات بایستی برای منطبق کردن مشخصهٔ دستگاهها با مسائل واقعی سیستم قدرت تلاش کنند .

---

[1] مارک ساموتیچ (Marek Samotyj) مدیر واحد تجارتی کیفیت توان در" مرکز تحقیقات توان الکتریکی " واقع در" پالو آلتو" کالیفرنیا می‌باشد . او تا کنون مسئول تعدادی از مطالعات موردی کیفیت توان و فعالیت های انتقال تکنولوژی بوده است که تأثیر زیادی روی صنایع در ده سال اخیر داشته است . از سال ۱۹۸۸ تا کنون کنفرانس های بین المللی کیفیت توان را هدایت کرده است و مقالات و گزارشات متعددی در این زمینه از او به چاپ رسیده است .

[2] Electric Power Reasearch Institute

[3] Electrotec Concepts

به این معنی که تولید سطح هارمونیکی تجهیزات کمتر باشد یا در برابر کمبود ولتاژ کارکرد بهتری از خود نشان دهند .
مدیران صنایع و طراحان باید سیستم هایی را بسازند و یا بهره برداری نمایند که مسائل تداخل بین ادوات و سیستم قدرت در آنها در نظر گرفته شده باشد . بعنوان مثال ، تصحیح ضریب قدرت بایستی با نیازهای کنترل هارمونیک هماهنگ باشد تا از بروز فرکانس تشدید در سیستم اجتناب شود. در نهایت ، مهندسین شرکت برق بایستی درکی از حساسیت و مشخصه های تجهیزات مصرف کنندگان داشته باشند. این مشخصات ممکن است روی طراحی سیستم توزیع از قبیل مسائل حفاظتی و نحوه کلیدزنی خازنی ، اثر داشته باشد .
من فکر می کنم ما در حال پیشرفت چشمگیری بسوی مفهوم تطبیق پذیری هستیم . من دبیر کمیته هماهنگی استاندارد کیفیت توان (IEEE ، SCC-22) هستم . این کمیته ، هماهنگ کننده استانداردهایی است که مورد استفاده ارگانهای متعددی که علاقمند به مفهوم تطبیق پذیری هستند می باشد . ما حتی هماهنگی بین مؤسسهٔ مهندسی برق و الکترونیک(IEEE) و ارگانهای استانداردهای بین المللی از قبیل کمیتهٔ بین المللی برق (IEC) را هم آغاز کرده ایم . من منتظر روزی هستم که کلیه استانداردهای کیفیت توان بصورت بین المللی مورد توافق کلیه مراکز باشد .
این کتاب می تواند بعنوان سنگ بنائی برای درک مسائل مهم کیفیت توان بوده و برسیدن به آن آرزوی نهایی کمک کند .

تقدیر

این کتاب مجموعه مطالبی است در رابطه با کیفیت توان سیستمهای الکتریکی که توسط راجر سی. دوگان(Roger C. Dugan) و مارک اف. مک گراناهان (Mark F. McGranaghan) از شرکت الکتروتک کانسپتس ازکلیهٔ کارهای این شرکت جمع آوری شده است . آقای اچ. واین بیتی (H. Wayne Beaty) ویراستار این کتاب بوده اند . ما این کارمان را مدیون بسیاری از همکاران گروه مهندسی سیستم های قدرت الکتروتک بخاطر کمکهای همه جانبه شان هستیم . از آنجا که ذکر تک تک اسامی همکاران در هر قسمتی از متن که مربوط به کار آنها می باشد از لحاظ عملی امکان پذیر نیست ، لذا لازم میدانیم که بطور کلی از تلاش افرادی که لیست آنها در زیر آمده است و متخصصین مجموعه آنها قدردانی نمائیم .
دانیل بروکس (Daniel Brooks) مهندس سیستم های قدرت است . او بازرس ارزیاب پروژه کیفیت توان توزیع EPRI (RP 3098-1) می باشد و در این کتاب بعنوان تصحیح کننده متون در هنگام چاپ همکاری می کرد .

روری وی. دایر(Rory V. Dwyer) مهندس با سابقه سیستم های قدرت می باشد . او با مهندسین شرکتهای توزیع و صنایع در محدودهٔ حفاظت تجهیزات در برابر هارمونیک ها ، گذراها و کمبودهای ولتاژ همکاری می کند .

تامس ای. گرب (Thomas E. Grebe) مدیر مطالعات توزیع می باشد . او مدیر پروژه ازریابی کیفیت توان توزیع EPRI و هماهنگ کننده گروههای استفاده کننده EMTP و HARMFLO است .

اریک دبلیو. گانتر(Erich W. Gunther) مدیر تکنولوژی است . او برنامه های کامپیوتری TOP و SuperHarm را که برای تحلیل هارمونیکها و گذراها بکار می رود نوشته است و همچنین رابط بین کنفرانس بین المللی شبکه های بزرگ برق [1] و کنفرانس بین المللی توزیع برق [2] در فعالیت های کیفیت توان در هر دو پروژه SCC-22 و P1159 می باشد .

افروز خان (Afroz Khan) مهندس سیستم های قدرت است . و در تحلیل اثرات هارمونیکی ناشی از لامپهای فلورسنت فشرده روی سیستم های توزیع مشغول بوده است و همچنین در تهیهٔ برنامه کامپیوتری SuperHarm همکاری داشته است .

جک ای. کینگ (Jack A. King) مدیر توسعه نرم افزاری است . و برنامه های کامپیوتری زیادی را در رابطه با تحلیل کیفیت توان از قبیل نرم افزار PASS برای BMI 8010 PQNode نوشته است .

جفری دی. لاموری (Jeffrey D. Lamoree) مدیر پروژه های کیفیت توان است . او هدایتگر مانیتورینگ کیفیت توان و تحلیل پروژه هایی که درگیر تداخل بین سیستم توزیع و سیستم های مصرف کننده است می باشد . او مدیر پروژه EPRI برای بنا کردن یک دیتابیس کیفیت توان که دارای قابلیت پردازش اطلاعات و انبوه مطالعات موردی ، خروجی های مانیتورینگ و آزمایشات تجهیزات است ، می باشد .

کریستوفر جی. مل هورن (Christopher J. Melhorn) مسئول کاربرد در صنایع است . او هماهنگ کننده پروژه هایی است که درگیر مانیتورینگ کیفیت توان و شبیه سازی برای مشترکین صنعتی و تجاری است . او برای تجهیزات مانیتورینگ نرم افزار خاصی را طراحی کرده است که شامل نرم افزار FlukeView برای دستگاههای Fluke 97 و Fluke 41 می باشد .

دیوید آر. مولر (David R. Mueller) مشاور ارشد است . او در سطح وسیعی مطالعات کیفیت توان از قبیل کمبودهای ولتاژرا با توجه خاص روی کیفیت توان مشترکین صنعتی و تجاری انجام داده است . او به مدت دو سال برای ایجاد واحد تجاری سرویس های کیفیت توان (PQS) و کمک به

---

[1] CIGRE

[2] CIRED

راه اندازی پروژه مانیتورینگ کیفیت توان با شرکت برق میدلند شرقی (انگلستان) همکاری می کرد .

دی. دانیل سابین (D. Daniel Sabin) مهندس با سابقه سیستم های قدرت است . او در حال حاضر بازرس پروژه ارزیابی کیفیت توان برق EPRI و مسئول تحلیل داده های کیفیت توان که حدوداً از ۳۰۰ نقطهٔ مانیتورینگ روی فیدرهای توزیع در ایالات متحده جمع آوری شده است میباشد .

جی. چارلز اسمیت (J. Charles Smith) معاون و مدیر کل برنامه های بین الملل و بازسازی است . او در تعیین استانداردهای کیفیت توان نقش ارزنده ای داشته است و ریاست گروه کاری P1159 را بعهده داشت .

رابرت ام. زاواریل (Robert M. Zavadil) مدیر کاربردی شرکت برق است . او متخصص در کاربرد محرک های با سرعت قابل تنظیم و همچنین از فعالان منابع انرژی تجدیدپذیر می باشد .

قسمت عمدهٔ مطالب تئوری این کتاب در خلال مطالعات موردی کیفیت توان تهیه شده است . بیشتر آنها با حمایت EPRI و شرکت های برق مستقل صورت پذیرفت . نویسندگان ، بخصوص قدردانی خود را از زحمات مارک ساموتی از EPRI بیان می دارند . مارک در کلیه این بازرسی ها بعنوان مدیر پروژه و بعنوان محرک اصلی برای پیشبرد پروژه کیفیت توان همکاری داشت . بخصوص درکنفرانس های بین المللی کیفیت توان که توسط EPRI از سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ برگزار شده بود سهم زیادی در تهیه اطلاعات از واحدهای صنعتی داشت .

ما همچنین از سازندگان تجهیزات که با تهیهٔ عکسهایی از محصولاتشان برای استفاده در این کتاب همکاری کردند کمال تشکر را داریم .

سربرگ کیفیت توان سیستم های توزیع (Home Page)

یک سربرگ در WWW برای مطالعه کنندگان این کتاب تهیه شده است . از خوانندگان محترم درخواست می شود که با نظریات خود در رابطه با مسائل مطرح شده در این کتاب با اتصال به آدرس زیر

http: // www.electrotec.com / pqbook /

و یا با آدرس **pqbook @ electrotec.com** e-mail باما همکاری نمایند .

راجر سی. دوگان
مارک اف. مک گراناهان
اچ. واین بیتی

فصل اول

مقدمه

POWEREN.IR

کیفیت توان الکتریکی توجه روزافزون شرکتهای برق ومشترکین را به خود معطوف کرده است . عبارت " کیفیت توان " از اواخر دهۀ ۱۹۸۰ بصورت یکی از معروفترین واژه های صنعت برق درآمده است . این واژه بعنوان یک مفهوم فراگیر برای انواع مختلف اغتشاشات سیستم قدرت بکار می رود . موضوعاتی که تحت این مفهوم قرار می گیرند لزوماً جدید نیستند . آنچه که جدید است ، تلاش کنونی مهندسین برای برخورد با این مفهوم ازیک دیدگاه سیستماتیک است نه بصورت مسائل منفرد و متفرقه .

بطور کلی چهار دلیل را میتوان برای توجه روزافزون به این مطلب ذکر کرد :

۱- حساسیت تجهیزات الکتریکی کنونی در مقایسه با تجهیزات مورد استفاده در گذشته نسبت به تغییرات کیفیت توان بیشتر شده است . بسیاری از ادوات مشترکین دارای کنترل کننده های میکروپروسسوری و قطعات الکترونیکی قدرت هستند ، که به بسیاری از انواع اغتشاشات حساس می‌باشند .

۲- اهمیت روزافزون بر بهبود راندمان کلی سیستم قدرت ، موجب رشد مدام استفاده از تجهیزات پربازده از قبیل محرکه های پربازده با قابلیت تنظیم سرعت موتور و خازنهای موازی تصحیح ضریب قدرت برای کاهش تلفات گردیده است . این امر موجب افزایش سطح هارمونیکی در شبکه های قدرت شده است و بسیاری از کارشناسان نگران عواقب آتی آن روی شبکه هستند .

۳- افزایش روزافزون آگاهی مشترکین نسبت به موضوعات کیفیت توان . مطلع شدن مصرف کنندگان برق از موضوعاتی مانند قطعی ها ، کمبودهای ولتاژ و گذراهای کلیدزنی موجب شده است که شرکت های برق نسبت به بهبود کیفیت توان تحویلی تلاش کنند .

۴- اتصال شبکه ها به یکدیگر و تشکیل شبکه های بزرگتر موجب شده است که معیوب شدن یک عنصر تبعات نامطلوب بیشتری را بدنبال داشته باشد .

انگیزه اصلی پشت این دلایل ، افزایش بهره وری مشترکین می باشد . کارخانجات تولیدی خواستار ماشین های سریعتر ، با بهره وری و راندمان بیشتر هستند . شرکت های برق هم مشوق سوق دادن کارخانجات تولیدی به این سمت هستند زیرا این عمل اولاً موجب بهره وری بیشتر برای

مشترکین و ثانیاً موجب صرفه جوئی قابل ملاحظه ای در سرمایه گذاری مراکز تولید و پست ها به خاطر استفاده کردن مشترکین از وسایل پر بازده خواهد شد . نکتهٔ جالب توجه این است که دستگاههائی که برای افزایش بهره وری بکار می روند اغلب نسبت به بیشتر اغتشاشات کیفیت توان حساس هستند و گاهی اوقات این ادوات خود منشاء مضاعف مشکل کیفیت توان هستند .

۱-۱- کیفیت توان چیست ؟

در مراجع مختلف می توان مشاهده کرد که تعاریف کاملاً متفاوتی برای کیفیت توان ارائه داده اند . بعنوان مثال شرکت های برق کیفیت توان را مترادف با قابلیت اطمینان تعریف کرده اند و بصورت آماری نشان می دهند که مثلاً یک شبکه ۹۸/۹۹ درصد قابلیت اطمینان دارد . در عوض سازندگان وسایل الکتریکی کیفیت توان را بصورت کارکرد مناسب دستگاهها بر اساس مشخصات منبع تغذیه تعریف می نمایند .

این تعریف می تواند برای وسایل الکتریکی متفاوت وسازندگان مختلف ، معانی متفاوتی داشته باشد . بهرحال کیفیت توان در نهایت مسئله ای است مختص مشترکین ، و نق[illegible]ات مشترکین در این امر بسیار دخیل است . بنابراین ، تعریفی که در این کتاب برای مسئله کیفیت توان مورد استفاده قرار گرفته است عبارت است از :

" هر گونه مشکلی که باعث تغییر در ولتاژ ، جریان یا فرکانس گردد و موجب خرابی و یا عملکرد نادرست تجهیزات مصرف کننده شود . "

در رابطه با عوامل ایجاد کننده مسائل کیفیت توان ، سوء تفاهم زیادی وجود دارد . نمودار شکل ۱-۱ نتایج حاصل از یک بررسی آماری که توسط شرکت برق جورجیا (Georgia Power) انجام گرفته است را نشان میدهد ، که در آن از افراد شرکت برق و مشترکین در رابطه با علل ایجاد مسائل توان نظرخواهی شده است .

شکل ۱-۱ نتایج حاصل ازیک بررسی آماری برای شناسائی عوامل مسائل کیفیت توان میباشد .

در حالیکه نتایج آماری شرکت های دیگر می تواند کاملاً متفاوت با این نتایج باشد ، ولی به وضوح می‌توان مشاهده کرد که یک مسئلهٔ مشترک در بین تمامی این نتایج آماری وجود دارد و آن این است که نقطه نظرات شرکت برق و مشترکین در اغلب اوقات بسیار با هم متفاوت است . درحالیکه هر دو گروه حدوداً دو سوم عامل وقایع را پدیده های طبیعی (از قبیل صاعقه) میدانند ، مشترکین بیش از افراد شرکت برق تصور می کنند که علت ایجاد مسئله عملکرد اشتباه شرکت برق است .

هنگامیکه یک مسئلهٔ توان برای دستگاه برقی مصرف کننده رخ دهد ، مشترکین ممکن است سریعاً به شرکت برق شکایت کنند که یک قطعی برق عامل این مسئله بوده است . در حالیکه اطلاعات شرکت برق هیچگونه وقایع غیر عادی را روی فیدر مصرف کننده نشان نمی دهد . این نکته بایدروشن شود که بسیاری از وقایعی که موجب مشکلات مصرف کننده می شود ممکن است از دیدگاه شرکت برق در شبکه توزیع نباشد .

شکل ۱-۱ - نتایج بررسی آماری شناسائی عوامل مسائل کیفیت توان

یک نمونه از این وقایع ،کلید زنی خازنی است که ازلحاظ شرکت برق امری کاملاً عادی است ، ولی موجب اضافه ولتاژهای گذرا و از کار انداختن ماشین های صنایع می شود . مثال دیگر وجود یک اتصال موقتی در یک قسمت از شبکه میباشدکه موجب کمبود ولتاژ مختصری درتجهیزات

مشترک مورد نظر میشود . این حادثه ممکن است باعث تریپ کردن محرکهای با قابلیت کنترل دور موتورهای الکتریکی شود ، اما شرکت برق بهیچ وجه متوجه اشکالی در فیدر مورد نظر نمیشود مگر اینکه مانیتور کیفیت توان در آن فیدر نصب گردد .

علاوه بر مسائل واقعی کیفیت توان ، مواردی از مشکلات کیفیت توان مشاهده شده است که عملاً مرتبط با عملکرد نادرست سیستم سخت افزاری ، نرم افزاری و یا کنترل می باشد . المانهای الکترونیکی در اثر ولتاژهای گذرای مکرر ، فرسوده و یا حتی بعلت یک حادثه با دامنه نسبتاً کم خراب میشوند . بنابراین ، گاهی اوقات یافتن ارتباط خرابی یک دستگاه به یک علت خاص دشوار خواهد بود. امکان وقوع حوادث زیادی وجود دارد که در نرم افزارهای کنترلی پیش بینی نشده باشد .

با توجه به مسائل روزافزون کیفیت توان ، شرکتهای برق برنامه هایی را در حال اجرا دارند تا پاسخگوی نگرانیهای مشترکین باشد . فلسفهٔ این برنامه ها یا واکنشی است ، که پاسخگوی شکایات مشترکین باشد و یا اینکه پیشگیرانه است ، به این معنی که شرکت برق به آموزش مشترکین پرداخته و در ضمن خدماتی را ارائه می دهد که به یافتن راه حل هایی برای مشکلات کیفیت توان کمک کند .

در تجزیه و تحلیل حل مسئله کیفیت توان حتماً بایستی مسائل اقتصادی را هم مدنظر داشت . همیشه حذف کامل تغییرات کیفیت توان مقرون بصرفهٔ اقتصادی نیست . در بسیاری از موارد ، راه حل بهینه مسئله ، کم کردن حساسیت قسمتی از دستگاهی میباشد که به کیفیت توان بسیار حساس است . سطح لازم کیفیت توان ، سطحی است که موجب عملکرد مناسب تجهیزات در استعمال خاص خود شود . بیان کمی کیفیت توان ، همانند مفهوم کیفیت در سایر اجناس و خدمات ، بسیار مشکل است . باید اذعان کرد که حتی یک تعریف مورد قبول همه ، برای کیفیت توان وجود ندارد . استانداردهایی برای ولتاژ و دیگر معیارهای فنی که امکان اندازه گیری آنها هست وجود دارد ، اما تعیین مقدار نهایی کیفیت توان با توجه به نحوهٔ عملکرد تجهیزات مشترکین مشخص خواهد شد . در نتیجه اگر توان الکتریکی برای این عملکرد ناکافی باشد ، آنگاه گفته میشود که کیفیت توان مناسب وجود ندارد .

یکی از موارد سمبولیکی که بیانگر ناهمخوانی بین شبکه توزیع و تکنولوژی مشترکین است وجود پدیده چشمک زن ساعت می باشد . طراحان ساعت برای ساعت های دیجیتالی ، نمایشگر را طوری طراحی کرده اند که هنگام قطع برق و وصل مجدد آن بصورت چشمک زن عمل کند تا نادرست بودن ساعت را هشدار دهد و این طرح بعنوان یکی از ابتدائی ترین مانیتورهای کیفیت توان عمل می کند . این طرح استفاده کننده از دستگاه را مطلع می سازد که یک اغتشاش کوچکی در شبکه توزیع رخ داده است که حتی ممکن است هیچ اثر سوئی جز چشمک زدن ساعت نداشته باشد .

با تعدد دستگاههایی که ساعت در آنها تعبیه شده است ، مشترکین خانگی ممکن است در صورت قطعی بسیار کم مجبور شوند بطور متوسط یک دوجین ساعت را تنظیم کنند . در حالیکه در تکنولوژی قدیمی که از موتور الکتریکی در ساعتها استفاده می شد ، قطع چند ثانیه ای برق تأثیر چندانی در عملکرد ساعت نداشت .

۲-۱ - کیفیت توان یعنی کیفیت ولتاژ

هر چند که واژه معمول توصیف کننده موضوع این کتاب کیفیت توان است ، اما در حقیقت در بسیاری از موارد کیفیت ولتاژ مورد نظر است . از لحاظ فنی ، در اصطلاح مهندسی ، توان عبارتست از نرخ انتقال انرژی و متناسب است با حاصلضرب ولتاژ و جریان . تعریف کیفی این کمیت به طریقی که معنی دار باشد بسیار مشکل است . شبکه توزیع فقط می تواند کیفیت ولتاژ را کنترل کند و هیچ کنترلی روی جریانی که یک بار خاص می کشد ندارد . بنابراین استانداردهای کیفیت توان تنها حدود مجاز ولتاژ منبع را مشخص میکنند .

شبکه های قدرت جریان متناوب طوری طرحی می شوند که در یک ولتاژ سینوسی با فرکانس (۵۰ یا ۶۰ هرتز) و دامنه مشخص کار کنند . هرگونه انحراف قابل توجه در دامنه ، فرکانس ویا خلوص شکل موج ، یک مسئلهٔ کیفیت توان خواهد بود .

البته همیشه یک ارتباط نزدیک بین ولتاژ و جریان در هر شبکه قدرت مشخص وجود دارد . اگر چه ژنراتورها یک موج ولتاژ تقریباً سینوسی کامل تولید می کنند ولی جریان عبوری از امپدانس شبکه می تواند موجب بروز اغتشاشات ولتاژی متعددی گردد . برای مثال :

۱- جریان حاصل از یک اتصال کوتاه موجب کمبود ولتاژ ، یا صفر شدن آن می گردد.

۲- جریانهای ناشی از اصابت صاعقه با عبور از شبکه قدرت ، ولتاژهای ضربه ای بزرگی را ایجاد می کنند که عموماً باعث جرقه روی عایقها گشته و در نتیجهٔ آن ، پدیده های دیگری از قبیل اتصال کوتاه را بوجود میآورند .

۳- جریانهای اعوجاج یافته ناشی از بارهای هارمونیک بهنگام عبور از امپدانس شبکه موجب اعوجاج شکل موج ولتاژ می شوند . لذا ، ولتاژ اعوجاج یافته ای را برای سایر مشترکین درست می کنند . بنابراین ، هر چند که توجه نهائی ما معطوف به ولتاژ است ، بایستی پدیده های موجود درجریان را هم مد نظر داشته باشیم تا مبانی بسیاری از مسائل کیفیت توان را بتوانیم درک نمائیم .

۳-۱ - چرا به کیفیت توان توجه می‌کنیم؟

دلیل نهائی توجه ما به کیفیت توان ، مسائل اقتصادی است . اثرات اقتصادی فراوانی برای شرکت های برق،مشترکین آنها و تولید کنندگان تجهیزات الکتریکی وجود دارد .

کیفیت توان می تواند اثر اقتصادی مستقیمی روی مشترکین صنعتی داشته باشد . در سنوات اخیر تأکید زیادی روی تجدید سازمان صنایع در جهت بکارگیری اتوماسیون بیشتر و تجهیزات مدرن تر صورت گرفته است . این حرکت موجب بکارگیری کنترل کننده های الکترونیکی و تجهیزات پر بازده که اغلب در مقایسه با ادوات الکترومکانیکی قدیمی به تغییرات منبع ولتاژ بسیار حساس هستند ، شده است . بنابراین ، همانند چشمک زدن ساعت در مصارف خانگی ، مشترکین صنعتی در حال حاضر نسبت به اغتشاشات جزئی در شبکه توان مراقب تر شده اند . ضررهای مالی زیادی در اثر این اغتشاشات بوجود خواهد آمد . عاقلانه نیست که در اثر عملکرد یک کلید قدرت ، شبکهٔ توزیع یک کارخانه متوسط ، خط تولیدش بخوابد و برای راه اندازی مجدد آن چهار ساعت وقت لازم باشد و در نتیجه آن کارخانه حدود ۱۰۰۰۰ دلار متضرر شود .

بدین ترتیب شرکت های برق هم توجه خود را به موضوعات کیفیت توان معطوف کرده اند . برآوردن انتظارات مشترکین و تأمین اعتماد مصرف کنندگان یک انگیزهٔ قوی برای شرکتهای برق است . با در نظر گرفتن حرکتهای رقابت آمیز بین شرکتهای برق ، توجه به این مسئله نسبت به قبل بسیار اهمیت پیدا کرده است . از دست دادن مشترک ناراضی و جذب شدن آن به شرکت برق رقیب تأثیر زیادی روی کار یک شرکت برق خواهد داشت .

علاوه بر اثرات اقتصادی ملموس برای شرکت های برق و مشترکین ، بطور غیر مستقیم نیز هزینه های زیادی در ارتباط با مسائل کیفیت توان وجود دارد . مشترکین خانگی بطور مستقیم از لحاظ اقتصادی متضرر نمی شوند ، اما هنگامیکه متوجه شوند شرکت های برق سرویس ضعیفی ارائه می دهند میتوانندبعنوان یک عامل اعتراض قوی برای شرکت های برق عمل کنند تا خدمات بهتری را ارائه دهند . همچنین گروههای مدافع حقوق اجتماعی اغلب با پیمانکاران خدمات عمومی درگیرمی شوند که حاصل آن پرداخت هزینه های اضافی توسط شرکت های برق برای استخدام وکلا و مشاوران برای مقابله با این گروهها می باشد .

در حالیکه این موارد خاص حاصل مستقیم مسائل کیفیت توان نیست ولی مشهور شدن به دادن سرویس با کیفیت ضعیف ، کمکی به حل مسائل نمی کند .

سازندگان وسایل الکتریکی عموماً خود را در یک میدان رقابتی تجاری با بیشتر مصرف کنندگان می بینند که خواستار خرید اجناس ارزان هستند . بنابراین سازندگان تمایل چندانی به مجهز کردن دستگاهها به مشخصات اضافی جهت مقابله کردن در برابر اغتشاشات معمولی ندارند مگر اینکه

مصرف کننده مشخصاً خواستار آن باشد . بعضی از سازندگان حتی نسبت به انواع اغتشاشاتی که در شبکه های قدرت رخ می دهد آگاهی ندارند . لذا آموزش آنان که هدف کلیدی این کتاب است از موضوعات ضروری می باشد .

مسئولیت اصلی شناسائی نواقص دستگاههای الکتریکی بر عهدهٔ مصرف کنندگانی است که آنرا می خرند و از آن استفاده میکنند . مشخصات هر وسیله بایستی دربرگیرندهٔ معیارهای مشخصاتی توان باشد . از آنجا که بسیاری از مصرف کنندگان از این مطالب مطلع نیستند ، شرکت های برق می توانند بعنوان یک کار مفید اطلاعاتی دربارهٔ کیفیت توان و مشخصات لازم دستگاهها برای عملکرد مناسب به مصرف کنندگان آموزش دهند .

۱-۴ - چه کسانی میتوانند از این کتاب استفاده کنند

موضوعات کیفیت توان غالباً در محدودهٔ اندازه گیری انرژی بین شرکت برق و مشترک مطرح می شود . لذا این کتاب مسائلی را مطرح می کند که مورد علاقهٔ مهندسین شرکت برق و مهندسین و تکنیسینهای صنایع می باشد . کلیهٔ تلاشها در این کتاب برای بدست آوردن رهیافت متعادلی بین شناسائی مسائل و ارائهٔ راه حلهای آن صرف شده است . این کتاب همچنین می تواند مورد استفاده طراحان دستگاههای الکتریکی واقع شود تا آگاهی یابند دستگاههای ساخته شدهٔ آنها در چه محیطی بکار گرفته میشود . آرزومندیم که این کتاب بتواند بعنوان یک بستر مشترکی بین شرکت برق ، مصرف کنندگان و سازندگان لوازم الکتریکی بکار رود تا مشکلات مشترکشان را حل نماید .

این کتاب همچنین می تواند بعنوان یک کتاب مرجع و هم بعنوان یک کتاب متن درسی برای مهندسین شرکت توزیع مورد استفاده قرار گیرد . قسمت هائی از این کتاب برای کسانی که درکیفیت توان و شبکه های قدرت تازه وارد هستند دارای طبیعت آموزشی است ، در حالیکه قسمتهای دیگر آن کاملاً مرجعی برای متخصصین با تجربه است .

۱-۵ - مروری اجمالی بر مطالب کتاب

فصل های کتاب بشرح زیر مرتب شده اند :

فصل ۲ مطالب زیر بنائی مربوط به انواع متفاوت پدیدهٔ کیفیت توان را شرح میدهد و همچنین بعضی از فعالیت های جاری در تدوین واژه های استاندارد و تعاریف پدیدهٔ کیفیت توان را بیان میدارد .

فصل ۳ الی ۶ قلب این کتاب است که چهار موضوع اصلی تغییرات کیفیت توان را بـا جزئیـات تشریح می کند : کمبودهای ولتاژ و قطعی ها ، گذراها ، هارمونیکها و تغییرات بلند مدت ولتاژ .

بعضی از تغییرات کیفیت توان از نحوهٔ سیم کشـی و زمیـن کـردن ناشـی مـی شـود . فصـل ۷ خلاصه ای از مسائل مرتبط با سیم کشی و زمین کـردن و بعضـی از راهنمـائی هـائی کـه موجـب شناسائی و تصحیح آنها میشود را بیان میدارد .

در خاتمه ، فصل ۸ عهده دار بیان راهنمائیهائی برای مانیتورینگ کیفیـت تـوان و نحـوهٔ بررسـی آماری آنها می باشد .

فصل دوم

تعاریف و اصطلاحات

۲-۱ - ضرورت داشتن یک واژه نامه سازگار

واژهٔ کیفیت توان به مجموعهٔ متنوعی از پدیده های الکتریکی در سیستم قدرت اطلاق می شود . کاربرد روز افزون تجهیزات الکترونیکی موجب توجه مصرف کنندگان به مفهوم کیفیت توان در سالهای اخیر گشته است و این علاقمندی موجب گسترش اصطلاحات عمومی و فنی خاص برای تشریح پدیدهٔ کیفیت توان شده است . متأسفانه این اصطلاحات در صنایع مختلف بصورت یکسان و سازگار بکار گرفته نمی شود . عدم سازگاری بکارگیری این اصطلاحات موجب آشفتگی در فهم عوامل شناسائی خرابی دستگاه می گردد . کلمات مبهم زیادی مورد استفاده قرار میگیرد که دارای معانی متعدد و یا معانی نامعلومی هستند . بعنوان نمونه واژهٔ موج ضربه ای (surge) برای توصیف مجموعهٔ متنوعی از اغتشاشاتی که موجب خرابی و یا بدکاری تجهیزات میشود ، بکار گرفته شده است . یک وسیلهٔ ضربه گیر امواج (surge suppressor) می تواند مانع بروز بعضی از این پدیده ها گردد ولی روی بقیه هیچ اثری ندارد . واژه هائی از قبیل (glitch) و سوسو زدن (blink) از لحاظ فنی هیچ معنائی ندارند در حالیکه وارد اصطلاحات شده اند .

این فصل عهده دار توصیف واژه نامهٔ سازگاریست که برای بیان پدیده های متنوع کیفیت توان مورد استفاده قرار می گیرد . همچنین علت نامناسب بودن بعضی از اصطلاحات مورد استفاده را تبیین می کند .

۲-۲ - مراتب متفاوت مسائل کیفیت توان

اصطلاحات بیان شده در این بخش برگرفته از تلاش همه جانبه دانشمندان جهان در استاندارد کردن این مفاهیم است. یکی از پیشگامان این تلاش انجمن مهندسین برق و الکترونیک(IEEE) می باشد که وظیفه هماهنگی بین مجامع بین المللی دیگر از قبیل کنفرانس بین المللی شبکه های بزرگ برق (CIGRE) را برای استاندارد کردن این تعاریف بعهده داشت.

استاندارد IEC ، پدیده های مختلف الکترومغناطیسی را در گروههائی که در جدول ۱-۲ آمده است دسته بندی کرده است . توجه اصلی ما در این کتاب روی چهار گروه عمدهٔ اول این جدول میباشد .

جدول ۱-۲ - دسته بندی پدیده های اصلی و مسبب اغتشاش الکترومغناطیسی توسط IEC

- پدیده های هدایتی فرکانس پائین
  - هارمونیک ها ، میان هارمونیک ها
  - سیستم های پیام رسانی (PLC)
  - تغییرات ولتاژ
  - فرورفتگیهای ولتاژ و قطعی ها
  - عدم تعادل ولتاژ
  - تغییرات فرکانس قدرت
  - ولتاژهای القائی فرکانس پائین
  - مؤلفهٔ dc در شبکهٔ ac
- پدیده های تشعشعی فرکانس پائین
  - میدانهای مغناطیسی
  - میدانهای الکتریکی
- پدیده های هدایتی فرکانس بالا
  - ولتاژ و یا جریانهای القائی با شکل موج پیوسته
  - گذراهای یک جهته
  - گذراهای نوسانی
- پدیده های تشعشعی فرکانس بالا
  - میدانهای مغناطیسی
  - میدانهای الکتریکی
  - میدانهای الکترومغناطیسی
    - امواج پیوسته
    - گذراها
- پدیده های تخلیهٔ الکتروستاتیک
- پالس الکترومغناطیسی ناشی از فعالیت های هسته ای

صنایع برق آمریکا در ادامهٔ تلاشهای خود برای توسعهٔ فعالیتهای پیشنهادی جهت مانیتورینگ ، چند عبارت را به واژه نامه IEC اضافه کرده است . واژهٔ کمبود (Sag) بجای مترادف آن در IEC یعنی فرورفتگی (dip) بکار گرفته شده است .

از دسته بندی " تغییرات کوتاه مدت " برای ارجاع دادن به فرورفتگی های ولتاژ و قطعی های کوتاه مدت استفاده شده است . واژهٔ بیشبود (swell) بعنوان متضاد کلمهٔ کمبود (فرورفتگی) معرفی شده است . دسته بندی " تغییرات بلند مدت " بخاطر هماهنگی با محدودیت های استاندارد (ANSI - C84.1)[1] اضافه شده است . دسته بندی " نویز " بخاطر در بر گرفتن حوزهٔ وسیع پدیدهٔ هدایتی اضافه شده است .

دسته بندی " اعوجاج شکل موج " برای در برگرفتن دسته بندی های پدیده های "هارمونیک ها ، میان هارمونیک ها و مؤلفهٔ dc در شبکهٔ ac " در استاندارد IEC و یک پدیدهٔ دیگر از استاندارد IEEE شمارهٔ ۵۱۹ بنام "شکاف" مورد استفاده قرار گرفته است .

جدول ۱-۲ ، پدیده های الکترومغناطیسی مورد استفاده در مطالعه کیفیت توان را بصورت دسته بندی شده نشان می دهد. پدیده های عنوان شده در این جدول را میتوان توسط مشخصه های مناسب خودش توصیف نمود . برای پدیده های حالت مانا ، مشخصه های زیر می تواند مورد استفاده قرار گیرد :

دامنه ، فرکانس ، طیف ، مدولاسیون ، امپدانس منبع ، عمق شکاف ، سطح شکاف

برای پدیده های غیرحالت مانا ، مشخصه های دیگری ممکن است مورد نیاز باشد :

نرخ افزایش ، دامنه ، زمان تداوم ، طیف ، فرکانس ، تعداد حوادث ، پتانسیل انرژی ، امپدانس منبع

این جدول اطلاعاتی دررابطه بامؤلفهٔ طیفی نوعی ، زمان تداوم ودامنه ای که متناسب باهردسته بندی باشد را نشان می دهد . دسته بندی های بیان شده در این جدول بهمراه مشخصه های ذکر شده می تواند بعنوان ابزاری برای توصیف اغتشاشات الکترومغناطیسی بکار گرفته شود . برای شناسائی مسائل کیفیت توان و اندازه گیری آنها ، دسته بندی ذکر شده در جدول ۲-۲ از اهمیت خاصی برخوردار است که به تشریح آنها می پردازیم .

---

[1] American National Standards Institude

جدول۲-۲ - دسته بندی و مشخصات پدیده های الکترومغناطیسی سیستم قدرت

گروه	مؤلفه طیفی نامی	مدت زمان نامی	دامنه ولتاژ نامی
۰-۱ -گذرا			
۱-۱ - ضربه			
۱-۱-۱ - نانوثانیه	خیز ۵- ns	< ۵۰ ns	
۲-۱-۱ - میکروثانیه	خیز ۱۰- µs	۵۰ns - ۱ ms	
۳-۱-۱ - میلی ثانیه	خیز ۰/۱ - ms	> ۱ms	
۲-۱ - نوسانی			
۱-۲-۱ - فرکانس پایین	۰ - ۵ KHz	۰/۳-۵۰ms	۰-۲pu
۲-۲-۱ - فرکانس متوسط	۵-۵۰۰ KHz	۲۰ µs	۰-۸pu
۳-۲-۱ - فرکانس بالا	۰/۵ - ۵ MHz	۵µs	۰-۴ pu
۰-۲ - تغییرات کوتاه مدت			
۱-۲ - آنی			
۱-۱-۲ - قطعی		۰/۵-۳۰ سیکل	> ۰/۱ pu
۲-۱-۲ -کمبود (Sag)		۰/۵-۳۰ سیکل	۰/۱-۰/۹ pu
۳-۱-۲ - بیشبود (Swell)		۰/۵-۳۰ سیکل	۱/۱-۱/۸ pu
۲-۲ - لحظه ای			
۱-۲-۲ - قطعی		ثانیه ۳-۳۰ سیکل	> ۰/۱ pu
۲-۲-۲ - کمبود		ثانیه ۳-۳۰ سیکل	۰/۱-۰/۹ pu
۳-۲-۲ - بیشبود		ثانیه ۳-۳۰ سیکل	۱/۱-۱/۴ pu
۳-۲ - موقتی			
۱-۳-۲ - قطعی		۳ s - ۱ min	> ۰/۱ pu
۲-۳-۲ - کمبود		۳ s - ۱ min	۰/۱-۰/۹ pu
۳-۳-۲ - بیشبود		۳ s - ۱ min	۱/۱-۱/۴ pu
۰-۳ - تغییرات بلند مدت			
۱-۳ - قطعی (دائمی)		> ۱ min	۰/۰ pu
۲-۳ - افت ولتاژ		> ۱ min	۰/۸-۰/۹ pu
۳-۳ - اضافه ولتاژ		> ۱ min	۱/۱-۱/۲ pu
۰-۴ - ولتاژ نامتعادل		حالت ماندگار	۰/۵ -۲ %
۰-۵ - اعواجاج موج			
۱-۵ - مؤلفه dc		حالت ماندگار	۰-۰/۱ %
۲-۵ - هارمونیک ها	۰-۱۰۰ th	حالت ماندگار	۰-۲۰ %
۳-۵ - درون هارمونیک ها	۰-۶KHz	حالت ماندگار	۰/۲ %
۴-۵ - شکاف		حالت ماندگار	
۵-۵ - نویز		حالت ماندگار	۰-۱ %
۰-۶ - تغییرات ولتاژ	<۲۵ Hz	ادواری	۰/۱-۷ %
۰-۷ - تغییرات فرکانس قدرت		< ۱۰ s	

۳-۲ -گذراها (Transients)

واژهٔ گذراها مدتهاست که در تحلیل سیستم قدرت بکار رفته و به پدیده هائی گفته می شود که نامطلوبند ولی طبیعتی لحظه ای دارند . بیشتر مهندسین قدرت هنگامیکه کلمهٔ " گذرا " را می شنوند به یاد گذرای نوسانی میرا شونده ناشی از یک مدار RLC می افتند .

تعریف دیگری که عموماً بکار برده می شود و شامل مفهوم فراگیری است عبارت است از :
" بخشی از تغییرات متغیری که در حالت انتقال از یک نقطهٔ کار در حالت مانا به نقطهٔ کار دیگر در حالت میرا می شود ." متأسفانه این تعریف می تواند برای توصیف هر پدیدهٔ غیر معمول در سیستم قدرت بکار رود .

کلمهٔ دیگری که اغلب بعنوان مترادف کلمهٔ گذرا استفاده می شود ، واژهٔ " ضربه " است . یک مهندس شرکت برق واژهٔ ضربه را برای توصیف گذرای ناشی از اصابت صاعقه که منجر به نصب برقگیر برای حفاظت می شود بکار می برد . در حالیکه مشترکین غلب این واژه را برای توصیف هر پدیدهٔ غیر معمول که در سیستم تغذیه مشاهده شود بکار می برند . بخاطر وجود معانی متعدد این واژه در مطالعه کیفیت توان ، ما از بکار گیری این واژه تا حد امکان اجتناب کرده ایم مگر اینکه بر اساس تعریف مشخص این واژه را به آن ارجاع دهیم .

از نظر کلی می توان گذراها را به دو دسته ضربه ای و نوسانی تقسیم کرد . این واژه ها ، شکل موج گذرای یک جریان و یا ولتاژ را توصیف می کنند . حال به تشریح بیشتر آنها می پردازیم .

۳-۲-۱ - گذرای ضربه ای

یک گذرای ضربه ای تغییر ناگهانی با فرکانسی غیر از فرکانس قدرت درحالت مانای ولتاژ ، جریان و یا هر دوی آنهاست که پلاریتهٔ آن در یک جهت مثبت و یا منفی میباشد.گذرای ضربه ای معمولاً با زمانهای خیز و میرائی مشخص می شوند . برای مثال گذرای ضربه ای با مشخصات $1.2 \times 50 - \mu s$ 2000 -v دارای تغییرات از صفر تا مقدار پیک v ۲۰۰۰ در۱/۲ میکروثانیه است که پس از ۵۰ میکروثانیه به نصف مقدارش کاهش می یابد.

عامل اصلی ایجادگذرای ضربه ای پدیده صاعقه است. شکل ۱-۲ یک موج جریان ضربه ای ناشی از صاعقه را نشان می دهد. بعلت وجود فرکانسهای بالا ، شکل موج ضربه ممکن است دراثر مؤلفه های مدار ، سریعاً تغییر کند و هنگامیکه از قسمت های مختلف شبکه نگاه شود ، مشخصه های بسیار متفاوتی از خود نشان دهد. عموماً این شکل موج نمی تواند از نقطه ای که وارد سیستم می شود زیاد دور شود و دوام بیاورد. اما گاهی اوقات موج ضربه ممکن است پس از طی مسافت طولانی به

شبکه توزیع هم منتقل شود . گذراهای ضربه ای می توانند فرکانس طبیعی مدارهای شبکهٔ قدرت را تحریک نموده و گذراهای نوسانی را پدید آورند .

شکل ۱-۲ - جریان ضربه ای ناشی از اصابت صاعقه

۲-۳-۲ - گذرای نوسانی

یک گذرای نوسانی تغییر ناگهانی با فرکانسی غیر از فرکانس قدرت در حالت مانای ولتاژ ، جریان و یا هر دوی آنهاست که هر دو پلاریتهٔ مثبت و منفی را دارا می باشد . گذرای نوسانی شامل شکل موجهای ولتاژ یا جریان است که مقدار لحظه ای آن سریعاً تغییر پلاریته می دهد . مشخصه های این پدیده توسط محتوای طیفی (فرکانس مسلط) طول دورهٔ زمانی و دامنه تعیین میشوند. طبق جدول ۱-۲ ، گذرای نوسانی برحسب فرکانس به سه نوع فرکانس بالا ، متوسط و کم تقسیم شده است . مقدار گذرای ضربه ای و یا نوسانی را با و یا بدون مؤلفه اول اندازه میگیرند.

گذرای نوسانی بالاتر از ۵۰۰ کیلوهرتز و تداوم زمانی میکروثانیه ، بعنوان گذرای نوسانی فرکانس بالا در نظر گرفته می شود. گذرای نوسانی فرکانس بالا اغلب ناشی از پاسخ سیستم محلی به یک گذرای ضربه ای می باشد.

گذراهائی که دارای مؤلفه های فرکانسی بین۵ و ۵۰۰ کیلوهرتز با تداوم چندین ده میکروثانیه باشند ،گذرای فرکانس متوسط نامیده می شوند.

برقدار کردن خازنهای پشت به پشت (Back - to - back) موجب گذرائی در محدوده دهها کیلوهرتز خواهد شد. این پدیده موقعی اتفاق می افتد که یک بانک خازنی در نزدیکی یک بانک خازنی دیگر که در مدار است وارد مدار شود. از دیدگاه بانک خازنی در مدار، وقتی بانک خازنی جدید وارد مدار می شود آنرا بصورت مسیر امپدانس کم می بیند. شکل ۲-۲ جریان گذرای ناشی از پاسخ سیستم به یک گذرای ضربه ای را نشان میدهد.

شکل ۲ -۲ -گذرای نوسانی بوجود آمده توسط کلیدزنی بانک خازنی پشت سر هم

گذرائی که مؤلفه اصلی فرکانس آن کمتر از ۵ کیلوهرتز و تداوم از ۰/۳تا ۵ میلی ثانیه داشته باشد بعنوان گذرای فرکانس پایین در نظر گرفته می شود.

این پدیده متناوباً در سیستم های فوق توزیع و توزیع مشاهده می شود و عوامل متعددی در بوجود آمدن آن دخیل هستند . از عوامل عمده آن معمولاً انرژی دار کردن بانک خازنی می باشد که موجب گذرای نوسانی ولتاژ با مؤلفه اصلی فرکانس بین ۳۰۰ و ۹۰۰ هرتز می شود. این گذرا دارای دامنه پیک حدوداً ۱/۵-۱/۳ پریونیت است که گاهی به ۲/۰ پریونیت هم می رسد و دارای تداوم ۰/۵تا۳ سیکل خواهد بود(شکل ۳-۲) .

گذراهای نوسانی با فرکانس کمتر از ۳۰۰ هرتز هم در سیستم های توزیع مشاهده می شوند. اینها کلاً در ارتباط با پدیده فرورزونانس و انرژی دار کردن ترانسفورماتورها بوجود می آیند (شکل ۴-۲). گذراهای شامل خازنهای سری هم دراین دسته جای می گیرند .

شکل ۳-۲ -گذرای نوسانی فرکانس کم ناشی از انرژی دار کردن بانک خازنی

شکل ۴-۲ -گذرای نوسانی فرکانس کم ناشی از فرو رزونانس یک ترانسفورماتو

۴-۲ - تغییرات کوتاه مدت

این گروه در دسته بندی فرو رفتگی های ولتاژ و قطعی های کوتاه مدت IEC جای میگیرند . این تغییرات بر حسب زمان تداوم آنها طبق جدول ۲-۲ درسه دسته آنی ، لحظه ای و موقتی قرارمیگیرند. تغییرات ولتاژ کوتاه مدت اغلب بعلت شرایط اتصال کوتاه ، انرژی دار کردن بارهای بزرگ که محتاج جریان راه اندازی زیاد می باشند ، ویا بعلت عدم اتصال محکم سیم بندی قدرت بوجود می آیند. بستگی به محل اتصال کوتاه و شرایط سیستم ، اتصال کوتاه می تواند موجب افزایش موقتی ولتاژ (swell) یا افت ولتاژ (sag) یا از دست دادن کامل ولتاژ (قطعی) شود . محل وقوع اتصال کوتاه ممکن است در نزدیکی یا دور از نقطهٔ مورد نظر باشد . در هر صورت وقوع اتصال کوتاه تأثیری کوتا مدت روی ولتاژ داشته و اثر آن تا زمانی است که وسایل حفاظتی وارد عمل شوند و اتصال کوتاه رارفع نمایند .

۱-۴-۲ - قطعی

یک قطعی . موقعی اتفاق می افتد که ولتاژ تغذیه یا جریان بار به مقدار کمتر از ۰/۱ پریونیت برای مدت کمتر از یک دقیقه کاهش یابد. عوامل مؤثر در قطعی می تواند اتصال کوتاه سیستم قدرت ، خرابی دستگاه و بدکار کردن سیستم کنترل باشد.قطعی ها توسط زمان تداوم شان اندازه گیری می شوند. چون دامنه آن همواره کمتر از ۱۰ درصد مقدار نامی است . مدت زمان یک قطعی ناشی از خطای اتصال کوتاه در سیستم توزیع توسط زمان عملکرد سیستم حفاظتی تعیین می شود. مدت زمان یک قطعی ناشی از خرابی دستگاه و یا قطع شدن اتصالات می تواند نامنظم باشد و از قاعده خاصی پیروی نکند. بعضی از قطعی ها ممکن است بعداز یک کمبود ولتاژ (sag) ناشی از خطای اتصال کوتاه در سیستم رخ بدهد . بیشبود ولتاژ (swell) بین لحظه وقوع اتصال کوتاه و زمان عمل کردن رله های حفاظتی اتفاق میافتد. در فیدر اتصالی شده ، مصرف کنندگان یک کمبود ولتاژ

را تجربه می کنند که بلافاصله قطعی را در پی دارد. مدت تداوم قطعی بستگی به قابلیت باز بستن (reclosing) سیستم حفاظتی دارد. بازبست آنی عموماً خطاهای اتصالی بی دوام را با قطعی کمتر از ۳۰ سیکل محدود می کند. بازبست تأخیری سیستم حفاظت ، ممکن است موجب قطعی لحظه ای و یا موقتی گردد. شکل ۵-۲ یک قطعی لحظه ای را برای تداوم افت ولتاژ حدوداً ۲/۳ ثانیه را نشان می دهد. در شکل مشاهده میشود که ولتاژ آنی ممکن است بمحض قطعی ولتاژ منبع ، فوراً به صفر نرسد. این ته مانده ولتاژ ناشی از نیروی ضدمحرکه موتورهای القائی می باشد.

شکل ۵-۲ - قطعی لحظه ای ناشی از یک اتصال کوتاه و عکس العمل عملکرد کلید بازبست

۲-۴-۲ - کمبود ولتاژ (Sags)

کمبود ولتاژ عبارت است از کاهش در ولتاژ مؤثر به اندازهٔ ۰/۱ الی ۰/۹ پریونیت در فرکانس نامی که برای مدت زمانی از ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه ادامه یابد . عبارت کمبود ولتاژ (sag) در جمع متخصصین کیفیت توان سالهاست که مورد استفاده قرار گرفته است تا نوع خاصی از اغتشاش کیفیت توان را توصیف کند. این توصیف مستقیماً از معنی کلمه sag اقتباس شده است. تعریف IEC برای توصیف این پدیده کلمه dip است. ایندو عبارت هم معنی هستند و می توانند بجای هم استفاده شوند ولی در جامعه کیفیت توان آمریکا استفاده از کلمه sag ترجیح داده می شود .

یک "کمبود ۲۰ درصد" به ولتاژی گفته می شود که دارای دامنه ای برابر ۰/۸ پریونیت باشد .

کمبود ولتاژ معمولاً با خطاهای اتصال کوتاه همراه است البته کلیدزنی بارهای سنگین یا راه اندازی موتورهای پرقدرت هم میتواند علت آن باشد. شکل۶-۲ یک کمبودولتاژمتعارف که ناشی

از اتصال تک خط به زمین میباشد را نشان می دهد. همچنین خطای اتصال کوتاه در یکی از فیدرهای موازی موجب افت ولتاژ در باس توزیع شده که در نتیجه روی کلیه فیدرهای خروجی از آن باس ، تا زمانیکه خطای اتصال کوتاه برطرف شود تأثیر می گذارد . معمولاً زمان رفع خطای اتصال کوتاه از ۳ تا ۳۰ سیکل است که بستگی به دامنه جریان اتصال کوتاه و نوع تشخیص دهنده اضافه جریان و کلید قطع دارد.

شکل ۶-۲ - کمبود ولتاژ لحظه ای ناشی ازاتصال کوتاه خط به زمین (SLG)

کمبود ولتاژ ممکن است ناشی از تغییرات بار یا راه اندازی موتور باشد. یک موتور القائی هنگام راه اندازی به مقدار ۶ تا ۱۰ برابر جریان نامی از شبکه جریان می کشد. این جریان پس فاز موجب افت ولتاژ در دو سر امپدانس شبکه می گردد.اگر دامنه این جریان در مقایسه با جریان اتصال کوتاه قابل ملاحظه باشد ، کمبود ولتاژ بوجود آمده می تواند چشمگیر باشد. شکل ۷-۲ اثر راه اندازی یک موتور بزرگ را نشان می دهد.

قبلاً مدت دوام حادثه کمبود بوضوح تعریف نشده بود. زمان تداوم کمبود در بعضی از مقالات در محدوده ای از یک دهم سیکل (۲ میلی ثانیه) تا چند دقیقه تعریف شده بود. افت ولتاژ هائی که عمری کمتر از نیم سیکل دارند نمی توانند مقدار مؤثر مؤلفه فرکانس اصلی را تحت تأثیر خود قرار دهند. لذا این حوادث در طبقه گذراها جای می گیرند . افت ولتاژهائی که بیشتر از ۱ دقیقه طول بکشند معمولاً توسط تجهیزات تنظیم ولتاژ کنترل شده و ممکن است که عوامل متعددی بغیراز اتصال کوتاه داشته باشند. لذا این پدیده ها تحت تغییرات بلند مدت تقسیم می شوند.

شکل ۷-۲ -کمبود ولتاژ موقتی ناشی از راه اندازی موتور

مدت زمان کمبود در این قسمت به سه دسته تقسیم می شود : آنی ، لحظه ای و موقتی که منطبق بر دسته های سه گانه قطعی ها ، کمبودها و بیشبودها است . این تقسیم های زمانی در رابطه با عملکرد زمانی دستگاه های حفاظتی تعیین شده اند.

۳-۴-۲- بیشبود ولتاژ (Swell)

بیشبود ولتاژ بصورت یک افزایش در مقدار مؤثر ولتاژ یا جریان بین ۱/۱ الی ۱/۸ پریونیت در فرکانس نامی برای مدت زمان از ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه تعریف می شود . دامنه بیشبود بصورت باقیمانده ولتاژ توصیف می شود که در این حالت معمولاً بزرگتر از ۱/۰ پریونیت است.

همانند کمبودها، بیشبودهاهم معمولاً براثر شرایط خطای اتصال کوتاه سیستم بوجود میآیند اما وقوع آنها بسیار کمتر از وقوع کمبودهاست. یک بیشبود می تواند براثر یک اتصال کوتاه تک خط به زمین اتفاق بیفتد که در اثر آن در فازهای دیگر یک اضافه ولتاژ موقتی رخ دهد. بیشبودها همچنین ممکن است بعلت از مدار خارج شدن بارهای بزرگ یا وارد مدار شدن یک بانک خازنی بزرگ رخ دهد. شکل ۸-۲ یک بیشبود ولتاژ که ناشی از اتصال کوتاه خط به زمین است را نشان می دهد.

بیشبودها توسط دامنه (مقدار rms) و مدت زمان شناسائی می شوند. شدت اضافه ولتاژ هنگام شرایط خطای اتصال کوتاه تابعی از محل خطا ، امپدانس سیستم و نحوه زمین کردن می باشد. در یک سیستم زمین نشده ، ممکن است در اثر اتصال کوتاه یک فاز به زمین . ولتاژ فازهای سالم به ۱/۷۳ پریونیت برسد .

در نزدیکی پست توزیعی که زمین شده است ، هیچگونه اضافه ولتاژی بعلت وجود ترانسفورماتور پست روی فازهای اتصالی نشده رخ نمی دهد چون این ترانسفورماتورها بصورت ستاره - مثلث

متصل شده اند که مسیری را برای عبوری مؤلفه صفر جریان اتصال کوتاه بـــا امپدانـس کـم ایجـاد می کنند.

شکل ۸-۲ -بیشبود ولتاژ آنی ناشی از خطای اتصال کوتاه خط به زمین (SLG)

در اثر اتصال کوتاه در نقاط مختلف یک سیستم چهار سیمه که در چند جـا زمیـن شـده اسـت ، مقدار بیشبودهای ولتاژ در فازهای سالم متفاوت خواهد بود . بسیاری از نویسندگان عبـارت "اضافـه ولتاژ لحظه ای" را بعنوان مترادفی برای واژهٔ بیشبود ستفده می کنند .

۵-۲ - تغییرات بلند مدت ولتاژ

تغییرات بلند مدت هر گونه تغییر در مقدار مؤثر ولتاژ در فرکانس نامی بـرای زمـان بیشـتر از ۱ دقیقه را شامل می شود.

تغییرات بلند مدت می تواند بصورت اضافه ولتاژ و یا کاهش ولتاژ باشد ، که بسـتگی بـه عوامـل ایجاد کننده آن دارد. اضافه و یا کاهش ولتـاژ عمومـاً از خطاهـای اتصـال کوتـاه سیسـتم ناشـی نمی شوند بلکه عوامل ایجاد کننده آنها تغییرات بار سیستم و عملکرد کلیدزنی در سیستم مـی باشـد. مشخصه های این پدیده ها توسط منحنی های ولتاژ مؤثر برحسب زمان است.

۲-۵-۱ - اضافه ولتاژ

اضافه ولتاژ به افزایش در مقدار مؤثر ولتاژ به میزان بیش از ده درصد ، در فرکانس نامی و برای مدت بیش از یک دقیقه گفته می شود .

اضافه ولتاژها می توانند در نتیجه کلیدزنی بار (از مدار خارج شدن بارهای بزرگ) ، یا تغییرات جبران کننده های راکتیو موجود در سیستم (وارد مدار شدن بانک خازنی) بوجود آیند . قابلیت ضعیف سیستم تنظیم ولتاژ یا کنترل کننده ها موجب اضافه ولتاژها خواهد شد. همچنین تنظیم نامناسب تپ های ترانسفورماتورها می تواند موجب اضافه ولتاژها گردد.

۲-۵-۲ - کاهش ولتاژ

کاهش ولتاژ به کاهش در مقدار مؤثر ولتاژ به میزان بیش از ده درصد در فرکانس نامی و برای مدت بیش از یک دقیقه گفته می شود .

کاهش ولتاژ در نتیجه وقایعی بوجود می آیند که برعکس عوامل ایجاد کننده اضافه ولتاژ عمل می کنند. وارد مدار شدن بارهای سنگین یا از مدار خارج شدن بانک خازنی می تواند موجب کاهش ولتاژ گردد ، مگر اینکه تجهیزات تنظیم کننده ولتاژ وارد مدار گردد و کاهش ولتاژ را برطرف سازد. علاوه براین اضافه بار مدار هم می تواند موجب کاهش ولتاژ گردد.

۲-۵-۳ - قطعی بادوام

کاهش ولتاژ منبع تغذیه به مقدار صفر برای مدت زمان بیشتر از یک دقیقه بعنوان قطعی بادوام در نظر گرفته می شود. قطعی های ولتاژ بیشتر از یک دقیقه اغلب طبیعتاً ماندگار هستند و محتاج بازبینی های موردی برای رفع آن می باشند. قطعی های بادوام بصورت یک پدیده سیستم قدرت هیچ رابطه ای با عبارت مستعمل خاموشی (outage) ندارد. خاموشی ، همچنانکه در استاندارد IEEE . Std ۱۰۰-۱۹۹۲ آمده است، به یک پدیده خاصی اطلاق نمی شود. همچنین استفاده از کلمهٔ " قطعی " در متن ارزیابی کیفیت توان هیچ رابطه ای با قابلیت اطمینان و یا اطلاعات آماری ندارد.

۲-۶ - نامتعادلی ولتاژ

نا متعادلی ولتاژ براساس نسبت مؤلفه های منفی و یا صفر به مؤلفه مثبت تعریف می شود. مؤلفه ولتاژهای منفی یا صفر در سیستم عموماً ناشی از بارهای نامتعادلی است که موجب عبور جریانهای مؤلفه منفی ویا صفر می شود. شکل ۹ -۲ مثالی از ولتاژ اندازه گیری شده یک منطقه مسکونی را در طول مدت یک هفته نشان میدهد.

نامتعادلی می تواند بصورت حداکثر انحراف از مقدار متوسط ولتاژها یا جریانهای سه فاز تقسیم بر متوسط مقدار ولتاژها یا جریانهای سه فاز بصورت درصد بیان شود. بصورت فرمول داریم

نامتعادلی ولتاژ = ۱۰۰ (حداکثر انحراف از مقدار متوسط ولتاژ / مقدار متوسط ولتاژ

بعنوان مثال ، ولتاژهای قرائت شده فازها برابر است با ۲۳۰ ، ۲۳۲ ، ۲۲۵ که مقدار متوسط آنها ۲۲۹ است . حداکثر انحراف از مقدار متوسط برابر است با ۴ لذا درصد نامتعادلی برابر است با ۱/۷٪ = ۲۲۹/ (۴×۱۰۰) . عوامل اصلی نامتعادلی ولتاژ کمتر از ۲٪ در یک سیستم سه فاز عبارتند از بارهای تک فاز نامتعادل. نامتعادلی ولتاژ و همچنین بدکار کردن بانک خازنی مثلاً سوختن فیوز یک فاز بانک خازنی سه فاز.

شکل ۹-۲ - نامتعادلی ولتاژها دریک فیدر مسکونی

۷-۲ - اعوجاج شکل موج

اعوجاج شکل موج در حالت مانا عبارت است از انحراف از یک موج سینوسی در فرکانس نامی که توسط محتوای طیفی آن موج مشخص می گردد .

پنج نوع اعوجاج در شکل موج را می توان بشرح زیر تشخیص داد :

الف - افست dc

ب - هارمونیک ها

ج - میان هارمونیک ها

د - شکاف (Notching)

ه - نویز

۲-۷-۱ - افست dc

حضور یک ولتاژ و یا جریان مستقیم در یک سیستم قدرت ، افست dc نامیده می شود. این پدیده می تواند در نتیجه اغتشاش مغناطیسی زمین ، یا براثر رکتی فایرهای نیم موج بوجود آید. وجود جریان مستقیم در یک شبکه متناوب می تواند موجب آسیب های جدی از قبیل افزایش اشباع هسته ترانسفورماتورها ، استرس های اضافی روی عایقها و دیگر اثرات مخرب شود.

۲-۷-۲ - هارمونیک ها

هارمونیک ها ، ولتاژها و جریانهای سینوسی هستند که دارای فرکانسهائی با مضرب عددی صحیح از فرکانس اصلی شبکه می باشند. هارمونیک ها با مؤلفه اصلی ولتاژ یا جریان ترکیب شده و موجب اعوجاج در شکل موج می گردند. اعوجاج هارمونیکی بعلت مشخصه های غیرخطی دستگاهها و بارهای سیستم قدرت بوجود میآیند.

این دستگاهها را معمولاً می توان بصورت منابع جریان که جریان هارمونیکی به شبکه قدرت تزریق می کنند مدل کرد. این جریانها موجب افت ولتاژ غیرخطی در دو سر امپدانس شبکه شده و در نتیجه اعوجاج ولتاژ را بوجود می آورند. اعوجاج هارمونیکی یکی از مواردی است که توجه روزافزون بسیاری از مصرف کنندگان و سیستم قدرت را بعلت افزایش استفاده از تجهیزات الکترونیکی به خود جلب کرده است.

سطح اعوجاج هارمونیکی را می توان توسط طیف کامل هارمونیکی با دامنه و زاویه فاز برای هر مؤلفه هارمونیکی مشخص کرد. همچنین می توان برای اندازه گیری اعوجاج هارمونیکی از یک کمیت واحد بنام مجموع اعوجاج هارمونیکی (THD)[1] استفاده کرد.جریانهای هارمونیکی درنتیجه عملکرد تجهیزات غیرخطی در سیستم قدرت بوجود می آید.

شکل موج و طیف هارمونیکی جریان ورودی یک موتورباتنظیم سرعت در شکل ۱۰ -۲ نشان داده شده است . همانطور که ذکر شد سطح اعوجاج هارمونیکی را می توان توسط THD توصیف کرد ، در گاهی اوقات این امر گمراه کننده است. بعنوان مثال ، بعضی از سیستم های کنترل سرعت هنگامی که دربارهای سبک کار میکنند دارای THD زیادی در جریان ورودی هستند . این امر اهمیت چندانی ندارد چون دامنه جریان هارمونیکی بسیار اندک است در حالیکه معیار اندازه گیری THD مقدار زیادی را نشان می دهد.

[1] Total Harmonic Distortion

برای رفع این مشکل درشناسائی مشخصه هارمونیکی ، استاندارد مؤسسهٔ مهندسی برق و الکترونیک (IEEE Std. 519 -1992) تعریف دیگری را تحت نام مجموع اعوجاج مصرفی (Total Demand Distortion) ارائه نموده است. این عبارت مشابه THD است با این تفاوت که اعوجاج بر حسب درصد جریان بار نامی در نظر گرفته می شود نه برحسب درصد دامنه جریان مؤلفه اصلی .

شکل ۱۰-۲ - شکل موج جریان و طیف هارمونیکی برای یک موتور کنترل دور با جریان ورودی

۳-۷-۲ - میان هارمونیک ها

ولتاژها و یا جریانهائی که مؤلفه فرکانس آنها مضرب صحیحی از فرکانس مؤلفه اصلی نباشد را میان هارمونیک ها(Interharmonics) می نامند. میان هارمونیک ها را می توان در کلیه سطوح ولتاژ شبکه مشاهده کرد. آنها بصورت فرکانسهای منفرد و یا طیف وسیعی از فرکانسها ظاهر می شوند. منبع اصلی تولید اعوجاج میان هارمونیک ها ، مبدلهای فرکانسی استاتیک ، سیکلوکانورتر ، موتورهای القائی و دستگاههای تولید قوس الکتریکی هستند. سیگنالهای PLC هم می توانند بعنوان منابع تولید میان هارمونیکی شناخته شوند. اثرات میان هارمونیک ها چندان شناخته شده نیستند ، اما اثرات منفی آنها روی سیگنالهای PLC و ایجاد فلیکر روی مانیتورها شناسائی شده است. این کتاب به جزئیات اثرات این پدیده نمی پردازد .

۲-۷-۴ - شکاف (Notching)

شکاف ، اغتشاش ولتاژ منظمی است که بعلت عملکرد دستگاههای الکترونیک قدرت بهنگام کموتاسیون جریان از یک فاز به فاز دیگر ایجاد می شود. از آنجا که شکاف بصورت مداوم اتفاق می افتد ، میتوان آنرا بصورت طیف هارمونیکی که روی ولتاژ اثر میگذارد شناسائی کرد. مؤلفه های فرکانسی وابسته به شکاف کاملاً بالاست و توسط دستگاههای اندازه گیری معمولی که برای تحلیل هارمونیک ها بکار برده می شود قابل خواندن نیست. شکل ۱۱ -۲ مثالی از شکاف ولتاژ یک مبدل سه فاز که جریان dc تولید می کند را نشان می دهد. شکافها موقعی اتفاق می افتند که جریان کموتاسیون از یک فاز به فاز دیگر منتقل می شود. در این مدت ، یک اتصال کوتاه موقتی بین ایندو فاز با امپدانس نزدیک به صفر رخ می دهد.

شکل ۱۱-۲ - مثالی از شکاف ولتاژ ناشی از عملکرد یک مبدل

۲-۷-۵ - نویز

نویز عبارت است از سیگنالهای الکتریکی ناخواسته با مؤلفه های طیفی وسیع کمتر از ۲۰ کیلوهرتز که برروی ولتاژ یا جریان سیستم قدرت سوار می شود.

نویز در سیستم قدرت می تواند بعلت دستگاههای الکترونیک قدرت ، مدارهای کنترل ، دستگاههای قوس الکتریکی ، بارهای بایکسو کننده های استاتیک ومنابع تغذیه قدرت با ساختار کلید زنی بوجود آید.

مشکلات ایجاد شده توسط نویز گاهی اوقات بعلت سیستم زمین نامناسب است که موجب عدم خروج نویز از سیستم قدرت می گردد . اصولا نویز شامل کلیه اعوجاج ناخواسته سیگنال قدرت است که آنها را نمی توان در طبقه بندی هارمونیک ها جایگزین کرد. نویز موجب اختلال دردستگا ههای الکترونیکی از قبیل میکروکامپیوترها و کنترل کننده ها ی قابل برنامه ریزی می گردد. این مشکل را می توان با استفاده از فیلتر و ترانسفورماتورهای ایزولاتور بر طرف کرد .

۲-۸ - تغییرات ولتاژ

بر اساس تعریف (ANSI C84.1-1981) تغییرات ولتاژعبارت است از تغییرات منظم پوش ولتاژ یا یک سری تغییرات ولتاژ تصادفی که دامنه آنها معمولا از ۰/۹ تا ۱/۱ پریونیت باشد .

انواع مختلفی از تغییرات ولتاژ تعریف شده است (IEC 1000 - 3-3) که بحث ما روی تعریف نوع (d) آن محدود می شود که تغییرات ولتاژ را بصورت یک سری از تغییرات تصادفی یا پیوسته ولتاژ در نظر می گیرد.

بارهایی که موجب تغییرات سریع و پیوسته دامنه جریان می شوند می توانند عامل تغییرات ولتاژ باشند که اغلب بعنوان فلیکر هم از آنها نام برده می شود . عبارت فلیکر از اثر تغییرات ولتاژ روی منابع روشنائی که با چشم مشاهده می شوند گرفته شده است .

از نظر فنی ، تغییرات ولتاژ یک پدیدهٔ الکترومغناطیسی است ، در حالیکه فلیکر نتیجهٔ نامطلوب نوسان ولتاژ است . بهر حال در استانداردها این دو واژه ممکن است بجای یکدیگر استفاده شوند . بنابراین ما از واژهٔ فلیکر برای توصیف تغییرات ولتاژ استفاده میکنیم .

مثالی از یک شکل موجی که نشانگر فلیکر است در شکل ۱۲-۲ آورده شده است . این موج توسط یک کوره قوسی که عامل عمده در ایجاد این پدیده است بدست آمده است . سیگنال فلیکر بصورت مقدار مؤثر دامنه بر حسب درصد مولفه اصلی بیان میشود . فلیکر ولتاژ در رابطه با حساسیت چشم انسان اندازه گیری می شود معمولاً دامنه هایی به اندازه ۰/۵ درصد در رنج فرکانسی ۶ تا ۸ هرتز موجب بروز فلیکر در لامپ ها می گردد.

۲-۹ - تغییرات فرکانس قدرت

تغییرات فرکانس قدرت بصورت انحراف از مقدار نامی فرکانس مولفه اصلی تعریف میشود فرکانس سیستم قدرت بر اساس سرعت دورانی ژنراتور های تغذیه کننده سیستم تعیین میشود . بعلت تغییرتعادل دینامیکی بین تولیدومصرف تغییرات ملایمی درفرکانس وجود دارد . اندازه انحراف فرکانس ومدت تداوم آن بستگی به مشخصه بار و پاسخ مستقیم کنترل ژنراتور به تغییرات بار دارد.

تغییرات فرکانسی که در حالت بهره برداری عادی . خارج از محدوده مجاز می باشند می تواند توسط خطای اتصال کوتاه سیستم انتقال ، از مدار خارج شدن حجم عظیمی از بار یا خارج شدن چند ژنراتور از سیستم باشد.

درسیستمهای بهم پیوسته جدید تغییرات فرکانس چشمگیر، بسیارنادراست.تغییرات فرکانس متوالی درمواردی اتفاق میافتدکه باری به یک ژنراتورمنفردمتصل شده باشد که دراین حالت پاسخ سیستم کنترل فرکانس(گاورنر)برای نگه داشتن سیستم درمحدوده باریک‌فرکانس مجاز چندان‌موفق نیست .

گاهی اوقات ممکن است شکاف ولتاژ اشتباهاً بجای تغییرات فرکانس گرفته شود شکاف ولتاژ در مواردی که نزدیک صفر است موجب می شود که دستگاههای اندازه گیری یا سیستم کنترل که بر اساس عبور از صفر کار می کنند دچار خطای عملکرد می شوند.

شکل ۱۲-۲ - مثالی از تغییرات ولتاژ ناشی از عملکرد یک کورهٔ قوسی

۲-۱۰ - واژه گان کیفیت توان

برای درک بهتر موضوعات این کتاب ، در اینجا ما به تعریف واژه های عمومی کیفیت توان می پردازیم .

active filter - **فیلتر فعال :** مجموعه ای از ادوات الکترونیک قدرت که برای حذف اعوجاج هارمونیکی بکار می رود .

CBEMA curve - **منحنی شاخص :** مجموعه ای از منحنی ها که برای نمایش و مدت زمان اغتشاش ولتاژ بکار می روند . این منحنی ها بعنوان شاخصی برای ارزیابی نحوهٔ عملکرد انواع ادوات و شبکه های قدرت خواهند بود .

common mode voltage - **ولتاژ مود مشترک :** ولتاژ نویزی که بین هادی حامل جریان و زمین ظاهر می شود .

coupling - **هم بندی :** عنصر یا عناصری از مدار یا شبکه که از لحاظ ورودی و خروجی بصورت مشترک در نظر گرفته می شوند و انرژی از یکی به دیگری منتقل می شود .

crest factor - **ضریب پیک :**عبارت است از نسبت مقدار پیک یک شکل موج به مقدار مؤثرآن . بعنوان مثال ضریب پیک یک موج سینوسی برابر ۱/۴۱۴ است .

critical load - **بار مهم :** قطعات و تجهیزاتی که عدم کارکرد مناسب آن سلامتی و یا ایمنی اشخاص را بخطر می اندازد و یا موجب توقف کار ، ضررهای مالی و یا آسیبهای وارده به اموالی که از نظر مصرف کننده با اهمیت است می شود .

current distortion - **اعوجاج جریان :** اعوجاج در جریان ac خط . به اعوجاج رجوع شود .

differential mode voltage - **ولتاژ مود تفاضلی :** ولتاژ بین دو هادی مشخص شده .

dip - **فرورفتگی :** به کمبود (sag) رجوع شود .

distortion - **اعوجاج :** هر تغییری از موج سینوسی برای یک کمیت ac .

dropout - **خروج از مدار :** توقف بهره برداری از تجهیزات بخاطر نویز ، کمبود ولتاژ یا قطعی .

dropout voltage - **ولتاژ خروج از مدار :** ولتاژی که موجب توقف بهره برداری از یک دستگاه می شود .

electromagnetic compability - **سازگاری مغناطیسی :** قابلیت یک قطعه دستگاه یا سیستمی که در یک محیط مغناطیسی خودش عملکرد رضایت بخشی داشته باشد بدون اینکه اغتشاش الکترومغناطیسی نامطلوبی در محیط ایجاد کند .

equipment grounding conductor - **هادی زمین کنندهٔ تجهیزات :** هادیی که برای اتصال قسمت های بدون حامل جریان لوله های فولادی ، سینی های کابل و محفظه های تجهیزات به هادی زمین و الکترود زمین مورد استفاده قرار می گیرد .

failure mode - **مود خرابی :** آثاری که در نتیجهٔ خرابی مشاهده می شود .

fast tripping - **قطع سریع :** به عملکرد عادی رله های حفاظتی اطلاق می شود که به این عمل حفظ کردن فیوزها هم گفته می شود . این عمل موجب رفع تصلات گذرا شده بدون اینکه قطعی بادوامی را بدنبال داشته باشد . اما استفاده از آن بخاطر قطع موقت یا لحظه ای بارهای صنعتی نسبتاً مشکل آفرین است .

fault - **خطا :** معمولاً به یک اتصال کوتاه در سیستم اطلاق می شود .

fault , transient - **خطای گذرا :** اتصال کوتاهی در سیستم قدرت که معمولاً در اثر صاعقه ، شاخه های درخت،یا حیوانات ایجاد شده ودارای ماهیتی موقتی است که باقطع جریان برطرف میشود.

fliker - **فلیکر :** تأثیر زود گذری که یک منبع روشنائی روی حس بینائی گذاشته و دارای این مشخصه است که توزیع طیفی با شدت روشنائی آن تغییر می کند .

frequency deviation - **انحراف فرکانس :** کاهش و یا افزایش در فرکانس قدرت . زمان انحراف فرکانس می تواند از چند سیکل تا چند ساعت ادامه یابد .

frequency response - **پاسخ فرکانسی :** در حوزهٔ کیفیت توان این عبارت عموماً بـــه تغییـرات امپدانس سیستم (یا یک ترانسدیوسر اندازه گیری) بر حسب تابعی از فرکانس اطلاق می شود .

fundamental (component) - **مؤلفهٔ اصلی :** مؤلفهٔ مرتبهٔ اول (۵۰ یا ۶۰ هرتز) سری فوریهٔیک کمیت دوره ای .

ground - **زمین :** یک اتصال عمدی یا تصادفی به زمین اســت کــه توسـط ایــن اتصــال مــدار یــا تجهیزات الکتریکی به زمین و یا به یک هادی در حجم و اندازهٔ بزرگ که بـــه مشابـه زمیـن عمـل می کند وصل شوند.

ground electrod - **الکترود زمین :** یک هادی یا مجموعه ای از هادی ها که با زمین در تمـــاس می باشند تا شرایط اتصال به زمین فراهم شود .

ground gride - **شبکهٔ زمین :** سیستمی است که با آرایش خاصی از اتصالات هادیهای لخـــت در ناحیهٔ خاصی که در زیر سطح زمین دفن شده باشد . هدف اولیه استفاده از شبکه زمین تأمین حفاظت پرسنل می باشد که این هدف با محدود کردن اختلاف پتانسیل در سطح پتانسیل مجاز تأمین میشود . اختلاف پتانسیل مذکور در اثر اتصالی و عبور جریان زیاد از زمین بوجود می آید .

ground loop - **حلقهٔ زمین :** عبارت است از مسیر ناخواسته ای که در صورت اتصـــال الکـتریکی بین دو نقطه و یا بیشتر از سیستم شکل می گیرد .در این صورت پتانسیل یکی از آنها و یا هـــر دوی آنها با پتانسیل زمین اختلاف خواهد داشت .

ground window - **پنجرهٔ زمین :** به ناحیه ای که کلیهٔ هادی های زمین وارد منطقـــهٔ مخصوصـی می شوند اطلاق می شود . این مورد اغلب در سیستم های مخابراتی استفاده می شود .

harmonic (component) - **هارمونیک (مؤلفه) :** مؤلفه فرکانسی بالاتر از مرتبه یک سری فوریه یک کمیت دوره ای .

harmonic content - **محتوای هارمونیکی:** کمیتی که با تفریق مؤلفهٔ اصلـــی از کـــل مقـــدار آن کمیت بدست می آید .

harmonic distortion - **اعوجاج هارمونیکی :** اعوجاج دوره ای یک موج سینوسی . به تعـــاریف اعوجاج و کل اعوجاج هارمونیکی مراجعه شود .

harmonic filter - **فیلتر هارمونیک :** فیلتر هارمونیک در شبکهٔ قدرت عبارت است از دستگاهی که برای حذف یک یا چند هارمونیک از شبکه بکار رود و اکثر این فیلترهـــا بصـورت ترکیبـی از عناصر غیر فعال از قبیل اندوکتانس ، خازن و مقاومت می باشـــند .تکنولـوژی هـــای جدیـد شـامل فیلتر های فعال می باشد که اغلب می تواند احتیاجات توان راکتیو را هم برآورده کند .

harmonic number - **عدد هارمونیکی :** عدد صحیحی که با تقسیم کردن فرکانس هارمونیک به فرکانس مؤلفهٔ اصلی بدست می آید .

harmonic resonance - **تشدید هارمونیکی :** شرایطی که در آن سیستم قدرت در حوالی یکی از هارمونیک های اصلی که توسط یک عنصر غیر خطی ایجاد شده ، شروع به رزونانس می کند و در نتیجهٔ آن اعوجاج هارمونیکی تولید می شود .

impulse - **ضربه :** عبارت است از یک پالسی که برای یک کاربرد مشخص ، یک ضربه واحد یا تابع دیراک را تقریب می زند . هنگامیکه برای مانیتورینگ کیفیت توان بکار برده می شود از واژهٔ گذرای ضربه ای بجای ضربه استفاده می شود .

impulsive transient - **گذرای ضربه ای:** یک تغییر ناگهانی در شرایط ماندگار ولتاژ یا جریان با پلاریتهٔ تک جهته (مثبت یا منفی) و فرکانس غیر فرکانس قدرت .

instantaneous - **آنی :** برای توصیف مدت زمان یک تغییر کوتاه مدت بکار می رود . محدودهٔ زمانی مورد نظر از ۰/۵ تا ۳۰ سیکل فرکانس قدرت می باشد .

instantaneous reclosing - **بازبست آنی :** واژه ای که عموماً برای وصل مجدد هر چه سریعتر یک بریکر بعد از قطع جریان اتصالی بکار می رود . (کلمهٔ باز در این عبارت به معنی مجدد است . بازبست = وصل مجدد)

inter harmonic (component) - **میان هارمونیک (مؤلفه) :** مؤلفهٔ فرکانسی یک کمیت دوره ای که مضرب صحیحی از فرکانس نامی طراحی شده دستگاه (۵۰ یا ۶۰ هرتز) نباشد.

interruption , momentary (electric power system) - **قطع لحظه ای (از دید شبکهٔ قدرت) :** قطعی با مدت زمانی محدود که در خلال آن بریکرها می توانند با عملکرد اتوماتیک کلید و یا اپراتور به مدار برگردد . چنین کلید زنی بایستی در مدت زمان مشخصی که از ۵ دقیقه تجاوز نکند صورت گیرد .

interruption , momentary (power quality monitoring) - **قطع لحظه ای (از دیدگاه مانیتورینگ کیفیت توان) :** نوعی از تغییرات کوتاه مدت . قطع کامل ولتاژ (کمتر از ۰/۱ پریونیت) یک یا چند هادی فاز برای دورهٔ زمانی بین ۳۰ سیکل تا ۳ ثانیه .

interruption , sustained (electric power system) - **قطع بادوام (از دیدگاه شبکهٔ قدرت) :** هر گونه قطعی که در طبقه بندی قطع لحظه ای جای نگیرد .

interruption , sustained (power quality) - **قطع بادوام (از دیدگاه کیفیت توان) :** نوعی از تغییرات بلند مدت . قطع کامل ولتاژ (کمتر از ۰/۱ پریونیت) یک یا چند هادی فاز برای دورهٔ زمانی بزرگتر از یک دقیقه .

interruption , temporary - **قطع موقتی :** نوعی از تغییرات کوتاه مدت . قطع کامل ولتاژ (کمتر از ۰/۱ پریونیت) یک یا چند هادی فاز برای دورهٔ زمانی بین ۳ ثانیه و یک دقیقه .

isolated ground - **زمین ایزوله :** هادی ایزوله ای که برای زمین کردن تجهیزات بکار میرود و در همان مسیر هادی های سیستم قرار داده می شود . این هادی از کلیهٔ قسمت های فلزی و نقاط زمین شده ایزوله می شود . این هادی از بلوک ترمینال های ورودی دستگاه شروع می شود و به نقطهٔ اتصال خنثی (نوترال) و زمین منبع تغذیه ختم می شود .

isolation - **عایقکاری :** مجزا کردن یک قسمت از سیستم از تأثیر نامطلوب سایر قسمت ها .

linear load - **بار خطی :** یک دستگاه الکتریکی که در حالت بهره برداری ماندگار همانند یک امپدانس ثابت عمل کند .

long_duratoin variation - **تغییرات بلند مدت :** تغییرات مقدار مؤثر ولتاژ از مقدار نامی برای مدت زمان بزرگتر از یک دقیقه .

low_side surge - **ضربه سمت فشار ضعیف :** واژه ای که توسط طراحان ترانسفورماتور استعمال شده وبرای توصیف موج ضربه ای که در برخورد صاعقه به هادی زمین شده مجاور ترانس ، به ترمینالهای ثانویه تزریق می شود بکار می رود .

momentary - **لحظه ای :** برای تغییرات کوتاه مدت بکار برده می شود . محدوده زمان مورد نظر بین ۳۰ سیکل از فرکانس قدرت تا ۳ ثانیه می باشد .

noise - **نویز :** سیگنالهای ناخواستهٔ الکتریکی که اثرات نامطلوبی در مدارهای سیستمهای کنترل ایجاد می کند .

nominal voltage (V_n) - **ولتاژ نامی :** مقدار نامی مشخص شده یک مدار یا یک سیستم برای آنکه سطح ولتاژی آن براحتی تعیین شود .

nonlinear load - **بار غیر خطی :** یک بار الکتریکی که جریان ناپیوسته می کشد یا آنکه امپدانس آن در مدت زمان ولتاژ عملی تغییر کند .

normal mode voltage - **ولتاژ مد عادی :** ولتاژی که بین هادیهای مدار در حالت برقدار بودن وجود دارد .

notch - **شکاف :** اغتشاشی که در اثر کلید زنی روی شکل موج ولتاژ عادی قدرت ظاهر شده و طول عمری کمتر از نیم سیکل دارد . این اغتشاش دارای پلاریته ای مخالف پلاریتهٔ موج اصلی می باشد و در نتیجه از شکل موج اصلی تفریق می شود . این پدیده ممکن است کل شکل موج را در مدت نیم سیکل حذف کند .

oscillatory transient - **گذرای نوسانی :** یک تغییر ناگهانی با فرکانسی غیر از فرکانس قدرت در ولتاژ و یا جریان حالت مانا که مقدار آن دارای پلاریتهٔ مثبت و منفی می باشد .

overvoltage - **اضافه ولتاژ :** برای توصیف نوع مشخصی از تغییرات بلند مدت بکار برده می شود و به ولتاژی که حداقل بیشتر از ۱۰ درصد از مقدار نامی خود داشته باشد و زمان تداوم آن بیشتر از یک دقیقه باشد ، اطلاق می شود .

passive filter - **فیلتر غیر فعال :** ترکیبی از اندوکتورها ، خازنها و مقاومت ها که به منظور حذف یک یا چند هارمونیک طراحی شده اند . متداول ترین نوع آن عبارت است از ترکیب سری یک سلف و مقاومت که با یک خازن موازی شده است . این ترکیب بیشتر مؤلفه های هارمونیکی سیستم را اتصال کوتاه می کند .

phase shift - **جابجائی فاز :** جابجائی زمان یک شکل موج نسبت به شکل موجهای دیگر .

power factor , displacement - **ضریب قدرت :** ضریب قدرت مؤلفهٔ فرکانس اصلی شکل موجهای ولتاژ و جریان .

power factor (true) - **ضریب قدرت واقعی :** نسبت توان حقیقی (وات) به توان ظاهری (ولت آمپر) .

pulse - **پالس :** تغییر ناگهانی کوتاه مدت یک کمیت فیزیکی که بسرعت به مقدار اولیهٔ خود باز می گردد .

reclosing - **بازبست[1] :** عملگر متداول روی خطوط هوائی که موجب بستن مجدد بریکر پس از مدت کوتاهی که اتصالی برطرف شده است می شود . باید توجه داشت که اکثر اتصالی های خطوط هوائی دارای ماهیتی لحظه ای و یا گذرا هستند .

recovery time - **زمان بازگشت :** مدت زمان مورد نیاز برای اینکه ولتاژ یا جریان بتواند به مقدار محدوده مشخص شده پس از تغییر پله ای در بار یا خط برگردد . همچنین ممکن است به زمانی که سیستم لازم دارد تا پس از قطعی کامل به شرایط کار عادی خود برگردد اشاره شود.

recovery voltage - **ولتاژ برگشتی :** ولتاژی که در بین ترمینالهای یک قطب از یک قطع کننده مدار در طی قطع جریان بوجود می آید .

safety ground - **زمین ایمنی :** به هادی زمین کننده ادوات رجوع شود.

sag - **کمبود :** کاهشی بین ۰/۱ الی ۰/۹ پریونیت در مقدار مؤثر ولتاژ یا جریان در فرکانس قدرت برای زمان تداوم ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه .

---

[1] بازبست یا وصل مجدد . در این واژهٔ فارسی "باز" بمعنی "مجدد" است .

shield - **شیلد :** پوششی از یک هادی روی عایق در بر گیرنده هادی اصلی . هدف استفاده از آن کاهش کوپلینگ بین هادیها می باشد . این هادی ممکن است دریافت کننده یا تولیدکننده میدانهای الکتروستاتیکی و الکترومغناطیسی باشد .

shielding - **شیلد کردن :** استفاده کردن از یک هادی و یا یک مانع فرومغناطیسی بین منبع نویز و مدار حساس به نویز می باشد . شیلدها برای حفاظت کابلها و مدارات الکترونیکی بکار می روند . آنها ممکن است به شکل سد کننده های فلزی ،محفظه ها و یا روی مدار منبع و مدار دریافت کننده پیچیده شود .

shielding - **شیلد کردن (خط توزیع) :** قرار دادن یک یا چند هادی زمین روی خطوط هوائی به منظور حفاظت هادیهای فاز از اصابت صاعقه و ورود آنها به شبکه قدرت .

short_duration variation - **تغییرات کوتاه مدت :** تغییر در مقدار مؤثر ولتاژ از مقدار نامی آن برای مدت زمان بزرگتر از نیم سیکل از فرکانس قدرت تا یک دقیقه .

signal reference grid - **شبکهٔ مرجع سیگنال :** به مجموعه ای از مسیرهای هدایت کننده بین ادوات بهم متصل شده اطلاق می شود که موجب کاهش ولتاژ القائی نویز در سطحی که موجب حداقل شدن عملکرد نامناسب آنها شود .

sustained - **بادوام :** هنگامیکه برای توصیف مدت زمان قطعی ولتاژ بکار برده شود ، به زمانی گفته می شود که متناظر با تغییرات بلند مدت باشد (بزرگتر از یک دقیقه) .

swell - **بیشبود :** افزایش موقتی در مقدار مؤثر ولتاژ بیش از ۱۰ درصد مقدار نامی برای مدت ۰/۵ سیکل از فرکانس قدرت تا یک دقیقه .

synchronous closing - **بستن سنکرون :** عموماً به بستن هر سه پل کلید یک خازن بصورت سنکرون با شبکهٔ قدرت بمنظور کاهش گذراها اطلاق می شود .

temporary - **موقتی :** هنگامیکه برای توصیف تداوم زمانی تغییرات کوتاه مدت بکار می رود به محدودهٔ زمانی بین ۳ ثانیه تا یک دقیقه اطلاق می شود .

total demanded distortion(TDD)-**کل اعوجاج مصرفی:**عبارتست ازنسبت مقدارمؤثر جریان هارمونیکی به مقدارمؤثرجریان نامی یا حداکثرجریان مصرف بصورت مؤلفهٔ اصلی برحسب درصد .

total distorbance level - **سطح کلی اغتشاش :** به درجه ای از اغتشاش الکترومغناطیسی اطلاق می شود که بعلت جمع آثار تشعشع شده از کلیه قسمتهای آن دستگاه حاصل شده است .

total harmonic distortion (THD) - **کل اعوجاج هارمونیکی :** عبارت است از نسبت مقدار مؤثر جریان هارمونیکی به مقدار مؤثر فرکانس اصلی بر حسب درصدی از مؤلفهٔ اصلی .

transient - **گذرا :** به پدیده و یا کمیتی اطلاق می شود که بین دو حالت مانای پی در پی با تداوم زمانی بسیار کوتاه تغییر میکند . یک گذرا می تواند بصورت یک پالس یک جهته با هرپلاریته ای ویا موج نوسانی میرا شونده ای که پیک اول آن با هر پلاریته ای می تواند ظاهر شود .

triplen harmonics - **هارمونیک های مضرب سه :** واژه ای است که اغلب به هارمونیک فرد مضرب سه اطلاق می شود . این اطلاق بعلت توجه مخصوصی است که در اثر ظاهر شدن این هارمونیک ها در توالی صفر بوجود می آید .

under voltage - **کاهش ولتاژ :** هنگامیکه برای توصیف نوع خاصی از تغییرات بلند مدت بکار می رود به معنی ولتاژ اندازه گیری شده ای است که مقدار آن ۱۰ درصد کمتر از مقدار نامی باشد که در مدت زمان بیشتر از یک دقیقه اتفاق افتد .

voltage change - **تغییر ولتاژ :** به تغییردر مقدار مؤثر یاپیک ولتاژ بین دوحالت مانای پی درپی برای مدت زمان معین اطلاق می شود .

voltage dip - **فرورفتگی ولتاژ :** به تعریف sag رجوع شود .

voltage distortion-**اعوجاج ولتاژ :** اغتشاش درولتاژacخط. به تعریف distortion رجوع شود .

voltage flactuation -**تغییر ولتاژ :** به مجموعه ای از تغییرات ولتاژ یا تغییرات دوره ای پوش ولتاژ اطلاق می شود .

voltage imbalance (unbalance) - **ولتاژ نامتعادل :** به شرایطی اطلاق می شود که در آن ولتاژهای سه فاز در دامنه و یا از لحاظ زاویه فاز ۱۲۰ درجه و یا در هر دو مورد با هم اختلاف داشته باشند . اغلب بصورت نسبت مؤلفهٔ توالی منفی یا صفر ولتاژ به مؤلفهٔ مثبت ولتاژ بر حسب درصد بیان می شود .

voltage interruption - **قطعی ولتاژ :** ناپدید شدن ولتاژ تغذیه از یک فاز و یا بیشتر . معمولاً با عبارت دیگری که بیانگر زمان تداوم قطعی می باشد ارزیابی می شود (از قبیل لحظه ای ، موقتی یا بادوام) .

voltage regulation - **تنظیم ولتاژ :** به درجه ای از کنترل یا پایداری مقدار مؤثر ولتاژ در سمت مصرف اطلاق می شود . اغلب بصورت مرتبط با سایرپارامترها از قبیل تغییرات ولتاژ ورودی ، تغییرات بار ، یا تغییرات دما مشخص می شود .

voltage magnification - **زیاد شدن ولتاژ :** زیاد شدن ولتاژ گذرای نوسانی ناشی از کلیدزنی خازنی در سمت اولیه بعلت وجود خازن در سمت ثانویهٔ ترانسفورماتور .

waveform distortion - **اعوجاج شکل موج :** تغییردرحالت مانا از یک موج سینوسی ایده آل با فرکانس قدرت که بر حسب تغییرات محتوای طیفی آن اعوجاج شناسائی می شود.

۱۱-۲ - منحنی شاخص(CBEMA)

یکی از متداول ترین طرز نمایش داده های بدست آمده از مطالعات کیفیت توان منحنی CBEMA می باشد . نمونه ای از این منحنی که توسط استاندارد IEEE-446 برای تحلیل نتایج حاصل از مانیتورینگ استفاده می کنیم در شکل ۱۳-۲ نشان داده شده است . این منحنی توسط CBEMA ارائه شده تا وسیله ای برای بیان تحمل تجهیزات کامپیوترهای مرکزی در اثر تغییرات دامنه و مدت زمان ولتاژ سیستم قدرت باشد . از آنجائیکه بسیاری از کامپیوترهای امروزی دارای قدرت تحمل متفاوتی از موارد مذکور میباشند ، اما این منحنی بعنوان استاندارد برای ارزیابی تجهیزات حساس و بیان گزارش داده های تغییرات کیفیت توان بکار می رود .

محورهای این منحنی ، دامنه و زمان تداوم حادثهٔ ایجاد شده را نشان می دهند . فرض می شود که نقاط زیر پوش موجب قطع عملکرد دستگاهها بعلت نبود انرژی میگردد . همچنین نقاط بالای پوش موجب عیوب دیگرازقبیل خرابی عایق ، قطع ناشی از اضافه ولتاژ و اضافه تحریک میگردد . در واقع منحنی بالائی بر اساس تعاریف بیان شده بایستی در محور افقی به مقدار ۰/۰۰۱ سیکل و در محور عمودی به مقدار ۳۷۵ درصد ولتاژ محدود شود . ولی بعلت محدودیت دستگاههای مانیتورینگ کیفیت توان ، این مشخصه را از ۰/۱ سیکل نشان داده ایم .

شکل ۱۳-۲ - منحنی CBEMA برای استفاده در طراحی تجهیزات گزارش داده های کیفیت توان

در این کتاب از منحنی مذکور بعنوان مرجعی برای ارزیابی ظرفیت تحمل بارها و ادوات گوناگون برای حفاظت در برابر تغییرات کیفیت توان استفاده شده است . به منظور نمایش داده های مقادیر

مانیتورینگ کیفیت توان ، محور سومی هم به این گراف اضافه کرده ایم که تعداد حوادث در یک دورهٔ معین و دامنه و زمان تداوم مشخص را نشان می دهد .

۲-۱۲ - منابع

2.13 References

1. TC77WG6 (Secretary) 110-R5, *Draft Classification of Electromagnetic Environments,* January 1991.
2. IEEE P1159, *Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality,* Working Group on Monitoring Electrical Power Quality of SCC22—Power Quality, Draft 6, November 1994.
3. IEC 50 (161), *International Electrotechnical Vocabulary,* Chap. 161: Electromagnetic Compatibility, 1989.
4. UIE-DWG-3-92-G, *Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations—Part 1: General Introduction to Electromagnetic Compatibility (EMC), Types of Disturbances and Relevant Standards,* Advanced UIE Edition, "Disturbances" Working Group GT 2.
5. UIE-DWG-2-92-D, *UIE Guide to Measurements of Voltage Dips and Short Interruptions Occurring in Industrial Installations.*
6. IEC 1000-2-1, "Description of the Environment—Electromagnetic Environment for Low Frequency Conducted Disturbances and Signaling in Public Power Supply Systems," *Electromagnetic Compatibility (EMC)*—Part 2 Environment, Section 1, 1990.
7. ANSI/NFPA No. 70-1993, *National Electrical Code.*
8. IEEE Standard 100-1988, *IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms.*
9. IEEE Standard 446-1987, *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications* (IEEE Orange Book).
10. ANSI Standard C84.1-1982, *American National Standard for Electric Power Systems and Equipment—Voltage Ratings (60 Hz).*

فصل سوم

کمبود ولتاژ و قطعی ها

کمبود ولتاژ و قطعی ها عمومی ترین مسائل مبتلا به کیفیت توان می باشند ، لذا هر دوی آنها در اینجا مورد بررسی قرار می گیرند . تعریف کمبود ولتاژ عبارت است از : کاهش کوتاه مدت (معمولاً ۰/۵ تا ۳۰ سیکل) در مقدار مؤثر (rms) ولتاژ که بعلت خطاهای اتصال کوتاه و یا راه اندازی بارهای بزرگ از قبیل موتورهای پر قدرت در شبکه بوجود می آید . قطعی های موقتی (نوعاً از ۲ تا ۵ سیکل) موجب قطع کامل ولتاژ می شود و علت اصلی آن ، مانورهای اعمالی برای رفع اتصال کوتاه در سیستم می باشد . قطعی هائی که تداوم آنها بیش از یک دقیقه است عموماً ناشی از خطاهای اتصالی دائم می باشد .

در سالهای اخیر ، شرکت های برق شکایات زیادی از جانب مصرف کنندگان بخاطر بدی کیفیت توان ناشی از کمبودهای ولتاژ و قطعی ها دریافت میکنند . دلایل عدیده ای برای این امر وجود دارد که اکثرآنها وجود مصرف کنندگان با ادوات حساسی همانند کامپیوترها و سایر کنترل کننده های الکترونیکی می باشد . کنترل کننده ها وکامپیوترها در اثر این پدیده ها ، حافظه و پروسه ای که باید کنترل کنند را از دست میدهند و بعلت پیچیدگی ، راه اندازی مجدد آنها زمان طولانی تری را طلب میکند . صنایع بخاطر دستیابی به تولید بیشتر و باقی ماندن در میدان رقابت ، از تجهیزات اتوماتیک بیشتری نسبت به قبل استفاده میکنند بنابراین اثرات زیان بارکمبودها و قطعی ها در این زمان نسبت به چند دهه قبل بیشتر شده است .

۱-۳ - عوامل کمبودها و قطعی ها

کمبودهای ولتاژ و قطعی ها عموماً توسط اتصالهای کوتاه در سیستم توزیع بوجود می آیند . سیستم شکل ۱-۳ را در نظر بگیرید که مصرف کننده ای با فیدری که توسط بریکر ۱ حفاظت می شود تغذیه می گردد . اگر اتصال کوتاهی در این فیدر رخ دهد ، مصرف کننده شاهد یک کمبود ولتاژ در زمان اتصال کوتاه خواهد بود و پی آمد آن قطعی کامل است که در اثر باز شدن بریکر برای رفع اتصال کوتاه بوجود می آید . اگر اتصال کوتاه دارای طبیعتی موقتی باشد ، عملکرد باز بست بریکر موفقیت آمیز بوده و قطعی بوجود آمده موقتی میباشد . معمولاً برای این نوع بریکرها حدوداً پنج یا شش سیکل لازم است تا عمل بکنند که در این مدت کمبود ولتاژ رخ می دهد . بریکر حداقل به مدت ۲۰ سیکل تا ۲ یا ۵ ثانیه بصورت باز باقی می ماند تا عمل باز بست انجام شود . تجهیزات حساس مطمئناً در این مدت تریپ خواهند کرد و از مدار خارج می شوند .

شکل ۱-۳ - کمبود ولتاژ در اثر اتصال کوتاه خط به زمین

حادثه ای که بیشتر احتمال وقوع آن هست ، اتصال کوتاهی است که روی یکی ازفیدرهای دیگر پست و یا در مکان دیگر ، روی سیستم انتقال (که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است) رخ دهد . در هر یک از این حالات مصرف کننده شاهد یک کمبود ولتاژ در مدت زمان وقوع اتصال کوتاه خواهد بود . بمحض باز شدن بریکر ها برای خارج کردن منطقه اتصالی ، ولتاژ عادی دوباره به مصرف کننده برمیگردد .

شکلهای ۲-۳ و۳-۳ توسط ثبات های اندازه گیری گروه تحقیق (EPRI) در دو محل مختلف سیستم توزیع در اثر اتصال کوتاه بدست آمده است . شکل بالائی هر یک از ایندو تغییرات ولتاژ موثر را بر حسب زمان و نمودار پایینی شکل واقعی موج را برای ۱۷۵ میلی ثانیه اول نشان می دهد . مقادیر اندازه گیری شده در محل مصرف کننده که روی فیدر غیر اتصالی شده قرار دارد در شکل ۲-۳ نشان داده شده است . شکل ۳-۳ قطعی موقتی در انتهای خط معیوب را نشان می دهد . دستگاه قطع کننده در این سیستم یک بازبست است که قادر است خطای اتصال کوتاه را در مدت کوتاه ۲/۵ سیکل قطع نماید . این باز بست می تواند تنظیم های مختلفی داشته باشد در این سیستم این دستگاه دارای تنظیم معمولی است یعنی دو عملکرد سریع و دو عملکرد تاخیری . شکل ۲-۳ نشان می دهد که کمبود ولتاژ مختصر در عملکرد سریع اول رخ می دهد . در عملکرد دوم یک کمبود ولتاژ کاملاً مشخص در شکل ملاحظه میشود . در حالیکه کمبود ولتاژ مختصر که اثر آنرا حتی نمی توان بصورت چشمک زدن لامپ مشاهده کرد . در بسیاری از پروسه های صنعتی موجب از کار افتادن تجهیزات حساس میشود . چون کمبود ولتاژ در این مدت به ۶۵ درصد خود می رسد .

شکل ۲-۳ - کمبود ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه در دو فیدر موازی هم

شکل ۳-۳ بوضوح کمبودولتاژ قبل ازرفع اتصال کوتاه وهمچنین حاصل عملکردسریع باز بست دو مرحله ای را نشان میدهد زمان باز بست (زمان باز بودن آن)کمی بیشتر از ۲ ثانیه بودکه زمان متعارف بازبستهای شرکتهای برق میباشد. ظاهراًخطای اتصال کوتاه درمرحله اول عملکرد برطرف

نشده بود که در نتیجه آن عملکرد دوم بوقوع پیوست . سیستم پس از عملکرد دوم بحالت عادی برگشته است .

شکل ۳-۳ - حادثه اتصال کوتاه با عملکرد سریع دو مرحله ای یک باز بست خط توزیع

شکل ۴-۳ کمبودهای ولتاژ ثبت شده سیستم توزیع درآمریکا را نشان میدهد . نمودار میله ای مقدار متوسط تعداد وقایعی از کمبود ولتاژ که در طول ۳۰ روز یک ماه رخ داده است را نشان می دهد منحنی رسم شده در شکل جمع احتمال وقایعی که ولتاژ کمتر از مقدار نامی است را بیان می کند . قطعی واقعی توسط میله ولتاژ صفر نشان داده شده است . بر اساس این داده ها تقریباً ۱۰ درصد وقایع ، مربوط به ولتاژ کمتر از ۹۰ درصد (قطعی) می باشد . بقیمانده وقایع ، کمبودهای ولتاژ با دامنه های متفاوت است که علت آنها اتصال کوتاه در نقاط مختلف می باشد .

شکل ۴-۳ - کمبود ولتاژ سیستم توزیع در یک پریود یک ماهه

۲-۳ - ناحیهٔ تأثیر پذیر

مفهوم " ناحیه تاثیر پذیر " برای بررسی کمبود ولتاژ در همسایگی منطقه اتصال کوتاه بسیار مفید است . شکل ۵-۳ یک منطقه تاثیر پذیر را برای مصرف کننده صنعتی که از یک فیدر توزیع تغذیه می شود نشان میدهد .

شکل۵-۳ - ناحیه تاثیر پذیر یک سیستم توزیع در اثر اتصال کوتاه

کمبود ولتاژ پیش بینی شده بر اساس شبیه سازی اتصال کوتاه و محاسبه دامنه ولتاژ بر حسب محل قرار گرفتن اتصال کوتاه در سیستم قدرت بدست آمده است .این شکل نشان می دهد ناحیه تأثیر پذیر به حساسیت تجهیزات به ولتاژ بستگی دارد . بارهائی که در ۵۰ درصد ولتاژ از مدار خارج می شوند ناحیه کوچکی را در بر می گیرند در حالیکه بارهای موتوری که به ۹۰ درصد ولتاژ بر اثر اتصال کوتاه در نواحی دیگر حساس هستند منطقه وسیعتری از ناحیه تأثیر پذیر در سیتم توزیع را شامل می شوند .

مشخصه زمانی اتصال کوتاه (بر حسب تعداد خطا در سال در هر ۱۰۰ مایل از خط) می تواند برای تخمین تعداد کمبودهای هر سال که زیرمقدار مجاز قرار میگیرند مورد استفاده قرار گیرد . شکل ۶-۳ چنین مشخصه ای را نشان می دهد این اطلاعات برای بررسی نیاز مصرف کننده به سیستم تنظیم ولتاژ می تواند مورد استفاده قرار گیرد .

شکل ۶-۳- تخمین کمبود ولتاژ (مصرف کننده) بر حسب سطح ولتاژ خطوط معیوب ومیزان کمبود ولتاژ

۳-۳ - اصول بنیادی حفاظت

راههای متعددی می تواند توسط شر کت توزیع ، مصرف کننده ها ، و کارخانجات سازنده وسایل برای جلوگیری از کمبود ولتاژ و تحت تأثیر قرار گرفتن تجهیزات حساس به ولتاژ صورت گیرد . شکل ۷ -۳ راه حلهای متعدد حذف کمبود ولتاژ و هزینه های تقریبی آنها را نشان می دهد . همچنانکه دراین شکل نشان داده شده است . معمولاً هرچه مسئله در سطح پایین تر (نزدیک مصرف کننده) حل شود کم هزینه تر است . کم هزینه ترین راه حل استفاده از تجهیزاتی است که در برابر

شکل ۷-۳ - راههای حذف کمبود ولتاژ

کمبودهای ولتاژ طراحی مناسبی داشته باشند . در قدم بعدی ممکن است از منابع تغذیه بدون قطع (UPS)[1] یا دستگاههای دیگری که عملکرد مشابه دارند استفاده شود . این راه حل برای مواقعی سودمند است که خود ماشین کمبود ولتاژ را می تواند تحمل کند ولی کنترلرها بطور اتوماتیک سیستم را خارج می کنند. در سطح ۳ در شکل ، بعضی از منابع قدرت پشتیبان که قابلیت تحویل توان به مصرف کننده را در مدت زمان محدود دارد مورد نیاز است . سطح ۴ راه حلها ئی را پیشنهاد میکند که خود سیستم توزیع برای کاهش اثر کمبود ها تدابیری اتخاذ کند .

۴-۳ - مسائل مرتبط با مصرف کننده

برای حل مشکل کمبود ولتاژ ، مصرف کننده محتاج سیستمی است که در مدت یک و نیم سیکل عمل کند و برای چند ثانیه شرایط عادی توان را ایجاد نماید تا آنکه سطح ولتاژ به حالت عادی برگردد . لازمه اینکار یا داشتن یک منبع ذخیره کننده انرژی در محل و یا منبع دیگری است که انرژی خواسته شده را تأمین نماید . این دستگاهها یا بایستی قابلیت سوییچ شدن را داشته باشند و یا اینکه دائماً در مدار باشند .

بعلت مسائل اقتصادی ، در حالت عادی حفاظت فقط به بارهائی که از اهمیت بیشتری برخوردار هستند اعمال می شود . این بارها معمولاً کنترل کننده های الکترونیکی یا کامپیوترها هستند و برای رفع مشکل آنها عموماً از سیستم های تغذیهٔ بدون قطع (UPS) استفاده می شود. ولی در سالهای اخیر فعالیتها بسوی تغذیه کردن کل سیستم در مدت زمانی که خطا اتفاق می افتد سوق داده شده است . این امر موجب توسعه دستگاههای ذخیره ساز انرژی بالا از قبیل دستگاه ذخیره ساز ابررساناها (SMES) و کلیدهای انتقال دهنده سریع که بسرعت می تواند بار را به یک فیدر دیگر متصل کند شده است . بارهای جریان مستقیم از قبیل سیستم های تلفن محتاج سیستم های بزرگ تغذیهٔ بدون قطع (UPS)می باشند لذا آنها می توانند در فاصله ای بصورت آماده باش عمل کنند تا آنکه ژنراتورهای کمکی وارد عمل شوند ترانسفورماتورهای فرورزو نانس ، منابع تغذیهٔ پیوسته و جمع کننده های مغناطیسی می توانند بعنوان دستگاههای بهبود دهنده قدرت که سیستم را در برابر کمبودها و قطعی ها

[1] Uninterruptible Power Supply

نجات می دهد بکار گرفته شوند . از این دستگاهها میتوان برای تغییرات بلند مدت تا ۱۵ دقیقه هم استفاده نمود .

۱ -۴-۳ - ترانسفورمرهای فرورزونانس

ترانسفور ماتورهای فرورزونانس که ترانسفورماتورهای ولتاژ ثابت هم نامیده می شوند (CVT) می توانند بسیاری از کمبودهای ولتاژ را جبران کنند . این ترانسفورماتورهاخصوصاً برای بارهای ثابت و کم مصرف بسیار مورد توجه هستند. بارهای متغیر بخصوص با جریانهای هجومی زیاد برای آنها مشکل ساز هستند . این نوع ترانسفور ماتورها اصولاً ترانسفور ماتورهای با نسبت تبدیل ۱:۱ که با جریان تحریک زیاد روی قسمت اشباع مشخصه خود قرار دارند موجب داشتن یک ولتاژ ثابت در خروجی ، صرف نظر از اینکه ولتاژ ورودی چه تغییراتی داشته باشد ، خواهد بود. یک مدار فرورزونانس متعارف در شکل ۸ -۳ نشان داده شده است . شکل ۹-۳ چگونگی بر طرف شدن کمبود ولتاژ را برای یک پروسه کنترل کننده که از یک ترانسفورماتور فرورزونانس ۱۲۰ ولت آمپر استفاده شده را نشان می دهد .

شکل ۸-۳ - ترانسفورماتور ولتاژ ثابت فرورزونانس

ترانسفورماتور فرورزونانس از لحاظ اندازه بایستی چهار برابر بزرگتر از قدرت مصرف کننده طراحی شوند . شکل ۱۰ -۳ مشخصه درصد بهبود کمبود ولتاژ نسبت به بارگیری ترانسفورماتور فرورزونانس را که از طرف کارخانه سازنده داده شده است نشان می دهد .

در ۲۵ درصد بارگیری مقدار کمبود ولتاژ مجاز حدود ۳۰ درصد مقدار نامی می باشد به این معنی که مادامیکه ولتاژ ورودی ۳۰درصد ولتاژ نامی باشد خروجی ترانسفورماتور فروزرونانس(CVT) به

مقدار ۶۰درصد ولتاژ نامی خواهد بود . این مسئله مهم است چون در حالت عادی بندرت کمبود ولتاژ به ۳۰ درصد می رسد . ولی همچنانکه بار افزایش می یابد مقدار جبران کمبود ولتاژ کاهش می یابد تا موقعی که تحت اضافه بار زیاد (مثلاً ۱۵۰ درصد بارگیری) میزان جبران سازی ولتاژ در ترانسفورمرهای فرورزونانس به صفر خواهد رسید .

شکل ۹-۳ - بهبود کمبود ولتاژ توسط ترانسفورماتور فرورزونانس

شکل ۱۰- ۳ - کمبود ولتاژ بر حسب بارگیری از ترانسفورماتورهای فرورزونانس

۲-۴-۳ - جمع کننده های مغناطیسی

جمع کننده های مغناطیسی عموماً برای بارهای سنگین مورد استفاده قرار می گیرند . برای بهره برداری اقتصادی از این نوع سیستم ، میزان مصرف بایستی در حد کیلوولت آمپر باشد . اینها برای کامپیوترهای بزرگ و سایر تجهیزات الکترونیکی حساس به ولتاژ مورد استفاده قرار میگیرند .

جمع کننده های مغناطیسی دستگاههای مغناطیسی هستند که توان ورودی را گرفته و خروجی سه فاز کاملاً عاری از هرگونه اغتشاش را صرف نظر از اینکه کیفیت توان ورودی چه باشد تحویل می دهند. نمودار بلوک یک چنین سیستمی در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است .

شکل ۱۱-۳ - نمودار بلوکی جمع کننده مغناطیسی

انتقال انرژی و ایزولاسیون خط توسط چک های غیر خطی تأمین می شوند با این عمل مسائلی از قبیل نویز بر طرف خواهد شد . شکل موج ac خروجی توسط ترکیب کردن ولتاژهای مشخص و ترانسفورماتورهای اشباع شده ساخته می شود .

شکل موج انرژی ترانسفورماتورهای اشباع شده و خازنها بصورت جریان و ولتاژ ذخیره میگردد . این منبع ذخیره انرژی موجب تولید خروجی کاملاً صاف و عاری از هر گونه اعوجاج هارمونیکی خواهد شد . در نهایت توان سه فاز توسط یک ترانسفورماتور زیگزاگ به مصرف کننده تحویل میشود . شکل ۱۲-۳ جبرانسازی کمبود ولتاژ توسط یک جمع کننده مغناطیسی را نشان می دهد که برای مقایسه منحنی شاخص ارائه شده توسط کارخانه هم رسم شده است .

شکل ۱۲-۳ - ظرفیت رفع کمبود ولتاژ توسط یک جمع کننده مغناطیسی

۳-۴-۳ - منبع تأمین برق (UPS) همیشه در مدار

شکل ۱۳-۳ آرایش متعارف یک منبع تغذیه بدون قطع بـــرق (UPS) همیشـــه در مـــدار را نشـــان می دهد . دراین طراحی بار همواره توسط UPS تغذیه می شود . توان ac ورودی پس از یکسوســـازی بشکل توان dc در می آید که یک بانک باتری را شارژ می کند . آنگاه تـــوان dc دوبـــاره بصـــورت توان ac تبدیل شده و مصارف را تغذیه می کند . اگر توان ac ورودی قطع شود ، اینورترها از باتری ها تغذیه شده و توان بار بطور مداوم تأمین خواهد شد . ولی داشتن UPS همیشه در مدار کاملاً گران قیمت و پر تلفات می باشد .

شکل ۱۳-۳ - یک منبع تأمین برق همیشه در مدار

۴-۴-۳ - منبع تغذیه (UPS) آماده باش

یک منبع تغذیه آماده باش (شکل ۱۴-۳) . گاهی وقات بعنوان UPS خارج از خـــط نـــیز نـــامیده میشود چون در حالت عادی از توان خط برای تغذیه مصارف استفاده میشود. ولی موقعیکه اغتشـــاش مشاهده شودآنگاه کلیدها بطورخودکاربار به اینورترهائی که توسط باتری‌تغذیه میشوندوصل میکنند .

زمان انتقال بار از خط اصلی به اینورترها از اهمیت خاصی برخوردار است . منحنی CBEMA نشان میدهد که ۸ میلی ثانیه حداکثر زمانی است که میتواند برای خلاصی ازکمبود ولتاژ مورد استفاده قرار گیرد . لذا زمان انتقال ۴ میلی ثانیه مضمناً تداوم عملکرد بارهای حساس را تضمین می کنـــد . یـــک منبع تغذیه آماده باش هیچگونه حفاظت گذرا یا تنظیم ولتاژی که UPS همیشه در مدار انجام می دهد را تأمین نمیکند . مشخصه های منبع تغذیهٔ آماده باش شامل ظرفیت (کیلوولت آمپر) ، تنظیم ولتـــاژ دینامیک واستاتیک، اعوجاج هارمونیکی جریان وولتاژ ورودی ،حفاظت ضربه‌وتضعیف نویزمیباشد .

شکل ۱۴-۳ - منبع تغذیه آماده باش

۵-۴-۳ - منبع تغذیه (UPS) هایبرید

منبع تغذیه (UPS) هایبرید همانند UPS آماده باش طراحی می گردد با این تفاوت که با استفاده از ترانسفورماتورها فروزونانس عمل تنظیم ولتاژ هم بنحو کامل صورت می پذیرد (شکل ۱۵-۳) .

شکل ۱۵-۳ -منبع تغذیه (UPS) هایبرید

۶-۴-۳ - مجموعه های موتور- ژنراتور

مجموعه های موتور- ژنر تور(M-G) در اندازه ها و آرایش های متنوع وجود دارند. یک نوع از مجموعه M-G از یک موتور الکتریکی برای چرخاندن یک ژنراتور سنکرون برای ایجاد یک ولتاژ ثابت ۶۰ هرتز استفاده میشود . خروجی ثابت تا هنگامیکه سرعت رتور بین ۳۱۵۰ تا ۳۶۰۰ دور در دقیقه باشد قابل حصول است . با استفاده از اینرسی یک چرخ لنگر می توان تحت شرایط بارداری کامل به مدت ۱۵ ثانیه به هنگام قطعی کامل ، توان لازم در ۶۰ هرتز را به مصرف کننده رساند .

۷-۴-۳ - ذخیره سازی انرژی مغناطیسی ابررسانائی (SMES)

یک SMES با بهره برداری از یک مغناطیس ابررسانائی برای ذخیره کردن میدان مغناطیسی میتواند همانند یک منبع تغذیه (UPS) در ذخیره سازی انرژی در باتریها عمل کند. ذخیره سازهای طراحی شده در محدود ۱ الی ۵ مگاژول بعنوان micro-SMES نامیده می شوندتا بتوان آنها را از ذخیره سازهای قدرت تمیز داد . یکی از مزیت های مهم این ذخیره سازها کاهش بسیار زیاد اندازه آنها درمقایسه با باتری هاست .

اتصالات micro- SMES در مقایسه با UPS بسیار اندک است . لذا قابلیت اطمینان آنهاافزایش و مسائل نگهداری آنها بمراتب کاهش می یابد . طراحی های اولیه ذخیره سازهای ابررسانائی در حال حاضر در مکانهای متعدد مورد آزمایش مطلوبی قرار گرفته است .

شکل ۱۶-۳ - دیاگرام تک خطی یک دستگاه ذخیره ساز ابررسانا (SSD)

۵-۳ - کمبودهای ولتاژ ناشی از راه اندازی موتور

موتورها در حالت راه اندازی بخاطر کشیدن جریان زیاد (چندین برابر جریان نامی) اثرات نامطلوبی ایجاد می کنند . بر حسب امپدانس شبکه ، این جریان زیاد ممکن است موجب کمبود ولتاژی شود که باعث کم نور شدن چراغها ، قطع شدن کنتاتورها واز مدار خارج شدن بارهای حساس گردد . این مسئله وقتی بدتر می شود که با ضریب جابجائی ضعیف راه اندازی معمولاً بین محدوده ۱۵ تا ۳۰ درصد مواجه باشیم . زمان لازم برای دور گرفتن موتور در حالت کمبود ولتاژ افزایش می یابد و اگر این کمبود شدید باشد ممکن است موجب عدم راه اندازی موفق موتور گردد . کمبودهای ناشی از راه اندازی موتور ممکن است برای چندین ثانیه ادامه یابد (شکل ۱۷-۳) .

شکل ۱۷-۳ - کمبود ولتاژ متعارف راه اندازی یک موتور

۱-۵-۳ - روشهای راه اندازی موتور

انرژی دار کردن موتور در یک مرحله (راه اندازی ولتاژ کامل) موجب هزینه کمتر و سرعت بیشتر خواهد شد . این روش در حالتی که کمبود ولتاژ یا استرس های مکانیکی ناشی از آن مهم نباشد ارجحیت دارد. راه اندازی توسط اتوترانسفورماتورها شامل ترکیب دو اتوترانسفور ماتور بصورت دلتای باز می باشد. تپ های ولتاژ ۸۰ ، ۶۵ ، یا ۵۰ درصد ، ولتاژ سیستم را برای راه اندازی تامین می کنند. جریان خط و گشتاور راه اندازی با مربع ولتاژ اعمالی رابطه دارد ، لذا تپ ۵۰ درصد فقط ۲۵ درصد جریان و گشتاور ولتاژ نامی را تامین می کند.

مقاومت و راکتانس راه انداز اصولاً وظیفه شان ضافه کردن امپدانس سری به موتور می باشد . مقاومت های راه انداز ممکن است در مراحل راه اندازی یکی پس از دیگری اتصال کوتاه شده و از مدار خارج گردد ولی راکتورهای راه انداز در یک مرحله اتصال کوتاه شده و خارج می شوند دراین نوع راه اندازی جریان و گشتاور مستقیماً با ولتاژ اعمالی رابطه دارند. لذا جریان راه اندازی در این روش بیشتر از مورد قبلی با اتوترانسفور ماتور می باشد ولی بهمین نسبت گشتاور راه اندازی نیز افزایش می یابد. راکتورها معمولاً دارای تپ های ۵۰ ، ۴۵ ، یا ۳۷/۵ درصد می باشند . راه اندازی سیم بندی دوگانه برای موتورهای با ولتاژهای دوگانه (۲۲۰/۴۴۰ ولت یا ۲۳۰/۴۶۰ ولت) مناسب است. استاتور این نوع موتورها شامل دو سیم بندی بهم متصل شده بصورت موازی در ولتاژ پائین و متصل شده بصورت سری در ولتاژ بالا میباشد. درحالت راه اندازی در ولتاژ پائین فقط یک سیم بندی

در مدار قرار می گیرد که جریان و گشتاور راه اندازی به مقدار ۵۰ درصد مقداری که هر دو سیم بندی درمدار باشند کاهش می یابد. راه اندازی ستاره - مثلث موجب اتصال استاتور در حالت راه اندازی بصورت ستاره و بعد از مدتی بصورت مثلث می باشد. اتصال ستاره موجب ولتاژ اعمالی راه اندازی ۵۷ درصد می شود که در این حالت جریان و گشتاور راه اندازی به مقدار ۳۳ درصد مقدار ولتاژ نامی خود کاهش می یابد.

۲-۵-۳ - تخمین کمبود ولتاژ در زمان راه اندازی

همانطور که در شکل ۱۸-۳ نشان داده شده است ، راه اندازی یک مرحله ای موتور القائی موجب یک کاهش ولتاژ ناگهانی که بتدریج از بین می رود می شود در این حالت کمبود ولتاژ برحسب درصد ولتاژ سیستم عبارت است از :

$$V_{\min}(pu) = \frac{V_{(pu)} . KVA_{sc}}{KVA_{LR} + KVA_{sc}}$$

$V_{(pu)}$ = ولتاژ واقعی سیستم برحسب پریونیت

KVA_{LR} = KVA موتور در حالت رتورقفل

KVA_{SC} = KVA اتصال کوتاه در ترمینال موتور

شکل ۱۸-۳ نتایج این محاسبات را برای کمبود تا ۹۰ درصد ولتاژ نامی با استفاده از امپدانس متعارف و مشخصه های موتور نشان می دهد.

اگر نتایج در شکل مقدار حداقل کمبود ولتاژ حالت مانا را بر آورده کند ، آنگاه راه اندازی در ولتاژ کامل قابل قبول است. در غیر اینصورت دامنه کمبود ولتاژ برحسب مشخصه تداوم بایستی با منحنی تلرانس تجهیزات مقایسه گردد.

محاسبات مورد نیاز کاملاً پیچیده است و بهترین راه استفاده از شبیه سازی کامپیوتری برای بررسی این پدیده می باشد .

شکل ۱۸-۳ - مشخصه قدرت موتور بر حسب ظرفیت ترانسفورماتور در راه اندازی ولتاژ کامل

۶-۳ - مسائل مرتبط با رفع خطا در سیستم توزیع

شرکت های توزیع با فعالیت درجلوگیری از خطای اتصال کوتاه شبکه منافع زیادی خواهند برد. این فعالیت ها نه تنها رضایت خاطر مصرف کننده را جلب می کند بلکه از صدمه دیدن تجهیزات شبکه قدرت هم جلوگیری می کند .

شرکتهای توزیع دو راه حل برای کاهش تعداد و صدمات ناشی از اتصال کوتاه در شبکه درپیش رو دارند.

۱- جلوگیری از خطاهای اتصال کوتاه

۲- بهبود روش های رفع خطا

فعالیتهای جلوگیری از ایجاد خطا عبارتند از قطع درختها در مسیر ، اضافه کردن برقگیرهای خط ، شستن مقره ها و نصب حصار برای حفاظت از هجوم حیوانات . عایقبندی خطوط توزیع توانائی مقاومت در برابر کلیه صاعقه ها را ندارند . ولی کلیه خطوطی که در برابر اصابت صاعقه منجر به خطای اتصال کوتاه مشکوک هستند بایستی بررسی شوند . در خطوط انتقال ، هادی گارد محافظ برای جلوگیری از اصابت مستقیم صاعقه مؤثر است . مقاومت پایه دکل یکی از عوامل مهم قوس برگشتی می باشد . اگر مقاومت پایه دکل زیاد باشد ، انرژی ضربه ناشی از صاعقه نمی تواند سریعاً توسط زمین دفع شود . در فیدرهای توزیع سیم گارد ممکن است بجای نصب برقگیرهای متعدد در طول خط مورد استفاده قرار گیرد . بهبود رفع خطای اتصال کوتاه ممکن است شامل نصب بازبست خط ، حذف تریپ سریع ، اضافه کردن طرح حلقوی و بهبود طراحی فیدرها باشد . این فعالیت ها

ممکن است تعداد و یا مدت زمان قطعی موقتی و کمبود ولتاژ ها را کاهش دهد اما خطاهای سیستم توزیع را بهیچ وجه به صفر نمی رساند .

۱-۶-۳ - اصول هماهنگی اضافه جریان

درک عملکرد سیستم توزیع درشرایط خطا از اهمیت خاصی برخورداراست . معمولاً محدودیتهای فیزیکی زیادی برای قطع جریان اتصالی و بر گرداندن توان وجود دارد . این امر موجب می شود که حداقل هائی برای بارها در نظر گرفته شود تا بدون قطعی بتواند از اینگونه حوادث بسلامت بگذرد .
برای بهبود کیفیت توان بجای دستکاری در تجهیزات مصرف کننده ، بهتر است تا در قسمت سیستم توزیع بعضی کارها انجام پذیرد . لذا در این قسمت برای بهبود مسائل رفع خطای اتصال کوتاه ، هم طرف مصرف کننده و هم طرف شبکه توزیع در نظر گرفته می شود .
در این قسمت دو نوع خطای بنیادی سیستم قدرت در نظر گرفته می شوند .
۱- خطاهای گذرا (موقتی) ، اینها خطاهائی هستند از قبیل جرقه زدن خطوط هوائی که موجب صدمه دیدن مقره ها نشود . توان را می توان بمحض خاموش شدن جرقه برگرداند . سوئیچ گیرهای اتوماتیک می توانند این عمل را در چند ثانیه انجام دهند . بعضی از خطاهای گذرا خود بخود رفع می شوند .
۲- خطاهای مانا (دائمی) ، اینها خطاهائی هستند که از صدمه دیدن فیزیکی بعضی از ایزولاتور های سیستم ناشی می شوند که بایستی تعویض شوند و اثر اینگونه خطا ها ، خاموشی مصرف کننده ها ست که از چندین دقیقه تا چند ساعت بطول می انجامد .

۲-۶-۳ - رله گذاری

اصل مهم عملیات رفع خطا در سیستم توزیع ، محدود کردن صدمات وارده به تجهیزات شبکه توزیع می باشد . بنابراین شناسائی خطا و رفع آن بایستی باحداکثر سرعت ممکن انجام پذیرد .
دو مورد مهم صدمات بطور متعارف عبارتند از :
۱- صدمه دیدن بوشینگ ها و هادیها در اثر قوس
۲- صدمه دیدن ترانسفورماتورها در اثر خطا

۳-۶-۳ - فیوزها

ابتدائی ترین عنصر حفاظت در برابر جریان ، فیوزها هستند . فیوزها نسبتاً ارزان قیمت بوده و احتیاج به هیچگونه نگهداری هم ندارند . به این دلیل آنها به تعداد بسیار زیاد برای حفاظت در سیستم های توزیع بکار برده می شوند . شکل ۱۹-۳ یک فیوز کات اوت متعارف خط هوائی را نشان می دهد .

شکل ۱۹-۳ - یک فیوز کات اوت متعارف سیستمهای توزیع

وظیفه اصلی این فیوزها عملکرد در زمان خطاهای دائمی و ایزوله کردن قسمت معیوب از سایر قسمت ها میباشد .

فیوزها ، جریان خطا را بصورت ذوب شدن عناصر فیوز تشخیص می دهند . از رشته های نازک نقره و یا قلع برای ذوب شدن استفاده می شود و چون این ذوب شدن بستگی به شدت جریان و گرم شدن فلز دارد لذا بسته به اینکه از چه نوع فلزی استفاده شده است زمان عملکرد فیوزها متفاوت خواهد بود . اگر سطح جریان افزایش یابد ، زمان قطع فیوز کاهش می یابد که چنین مشخصه ای در شکل ۲۰-۳ نشان داده شده است . برای هماهنگی کامل با فیوزها ، کلیه دستگاههای حفاظت اضافه جریان بایستی از منحنی مشخصه مشابهی پیروی کنند .

شکل ۲۰-۳ - مشخصه زمان - جریان فیوز

۴-۶-۳ - باز بستن

چون بیشتر خطاهای خطوط هوائی گذرا هستند ، توان را می توان بطور موفقیت آمیزی بعد از چند سیکل که جریان قطع شد دوباره باز گرداند . بنابراین بیشتر بریکرهای اتوماتیک برای باز بستن سه یا چهار مرتبه مجدد طراحی شده اند .

شکل ۲۱-۳ - باز بست تک فاز متعارف خط

مدار شکن های مخصوصی برای شبکه توزیع وجود دارند که اصطلاحاً به آنها باز بست گفته می شود و طوری طراحی شده اند که عمل باز بستن را بخوبی انجام می دهند . بسیاری از خطاها در عملکرد اول رفع می شوند . شکل ۲۱-۳ یک باز بست تک فاز متعارف و شکل ۲۲-۳ نوع سه فاز آنرا نشان میدهد .

شکل ۲۲-۳ - باز بست متعارف سه فاز

در شبکه های توزیع آمریکای شمالی ، استفاده از بازبست ها کاملاً جا افتاده است . شرکت هـای توزیع در مناطقی که شاهد صاعقه های کمی هستند ، عملکرد باز بست های آنها یکبـار مـی باشـد چون آنها می دانند که بیشتر خطاهای سیستم از نوع دائمی خواهد بود نه گذرا .

در کلیه مناطق صاعقه خیز عملکرد باز بست ها تا چهار بار می رسد ، تا مطمئن شوند که خطاهـای گذرا رفع شده است. شکل ۲۳-۳ توالی عملکرد دو باز بست متعارف را درچهارمرحله نشان می دهد که ایندو نوع باز بست عبارت است از :

۱- یک عملکرد سریع و سه عملکرد تأخیری

۲- دو عملکرد سریع و دو عملکرد تأخیری

شکل ۲۳-۳ - توالی باز بستن برای باز بست های خط و پست مورد استفاده در U.S.

۵-۶-۳- حفظ کردن فیوزها

مهندسین توزیع علاقه مندند که از سوختن فیوزها بخصوص در زمان خطای گذرا اجتناب ورزنـد . چون بایستی برای تعویض آن ، گروه خدمات وارد عمل شوند . باز بست های خط مخصوصـاً بـرای این طراحی شده اند که فیوزها را در این موارد حفاظت کنند. مدار شکن های پست مـی تواننـد بـا استفاه از رله آنی زمین همین عمل را انجام دهند . ایده اصلی این است کـه دسـتگاههای مکـانیکی قطع جریان آنقدر سریع عمل کنند تا عملکرد اولیه آنها مانع ذوب شدن فیوزها شود . هنگامیکه این

دستگاهها وصل مجدد می شوند ، توان بطو ر کامل در بسیاری از موارد بدون دخالت نیروی انسانی باز گردانده می شود . تنها شکایت مصرف کننده وجود یک چشمک زدن مختصر می باشد که این امر بنام عملکرد سریع دستگاهها ویا تریپ آنی نامیده می شود .

اگر خطا همچنان باقی باشد ، هنگامیکه بازبست یا مدار شکن مجدداً وصل می شود دو حالت امکان وقوع دارد:

۱-کلید زنی با مشخصه تریپ تأخیری .این امر بیشتر اوقات تنها انتخاب مدار شکن های پست میباشد ، آنها فقط یکبار عمل می کنند ، آنهم بصورت تریپ آنی . این فلسفه فرض می کند که خطا هم اکنون دائمی است و کلید زنی به صورت عملکرد تأخیری موجب سوختن فیوز و موجب قطع قسمت معیوب از سایر قسمت ها می گردد .

۲- تلاش برای عملکرد دوم سریع . این فلسفه جائی مورد استفاده قرار می گیرد که تجربه نشان داده است که برای رفع خطای گذرا دو عملکرد لازم ست در حالیکه فیوز ها هم باید سالم بمانند .

۶-۶-۳ - قابلیت اطمینان

عبارت قابلیت اطمینان در متون توزیع به مقدار زمانی که مصرف کننده کاملاً بدون توان است ارجاع داده میشود . تعاریف قطعی در شرکت های مختلف توزیع بسیار متفاوت است و در محدوده ۱ تا ۵ دقیقه قرار میگیرد . بعضی از شرکت ها این قطعی را جزو خاموشی ها بحساب می آورند . در استاندارد جدید کیفیت توان کلیه قطعی های بیشتر از ۱ دقیقه را قطعی های ماندگار می نامند . بهر صورت قابلیت اطمینان تحت تأثیر خطاهای دائمی سیستم که محتاج تعمیرات است قرار می گیرد . جدیداً کوششهائی بعمل آمده است تا قطعی های موقتی هم در تعریف کلاسیک آن گنجانده شود .

تعریف کلاسیک شاخص قابلیت اطمینان در سیستم های توزیع بصورت زیر است .

SAIFI : شاخص متوسط قطعی های سیستم

SAIFI = (تعداد قطعی ها) (تعداد مصرف کنندگان قطعی داده شده) / تعداد کل مصرف کنندگان

SAIDI : شاخص متوسط زمان قطعی های سیستم

SAIDI = Σ(تعداد مصرف کنندگان قطعی داده شده) (زمان خاموشی) / تعداد کل مصرف کنندگان

CAIFI : شاخص متوسط قطعی های مصرف کنندگان

CAIFI = مجموع تعداد مصرف کنندگان قطعی داده شده / تعداد کل مصرف کنندگان

CAIDI : شاخص متوسط زمان قطعی مصرف کنندگان

CAIDI = مجموع زمان های قطعی مصرف کنندگان / تعداد کل قطعی های مصرف کنندگان

ASAI : شاخص متوسط در دسترس بودن سیستم

ASAI = تعداد ساعات قابل دسترسی برای مصرف کنندگان / تعداد ساعات مورد نیاز مصرف کنندگان

مقدار متعارف هر یک از این شاخصها بشرح زیر است .

شاخص	مقدار متعارف
SAIFI	1.0 h
SAIDI	1.0-1.5 h
CAIDI	1.0-1.5 h
ASAI	0.99983

مقادیر ذکر شده فقط برای طراحی های متعارف و ساده بود و عملاً برای مقاصد خاص و سیستم های پیچیده این مقادیر ممکن است متفاوت باشد .

۷-۶-۳ - افزایش مجزا سازی

فیدر توزیع اولیه بطور متعارف در آمریکا بصورت شعاعی از طریق مدار شکن پست تغذیه می شود . این طرح شامل فیدر سه فاز اصلی با انشعابات فیوز دار تک فاز و سه فاز می باشد همچنانکه در شکل ۲۴ -۳ نشان داده شده است .

شکل ۲۴-۳ - فیدر متعارف یک شبکه توزیع با فیوزها

اولین قدم در مجزا سازی فیدر ، اضافه کردن یک باز بست خط است همچنانکه در شکل ۲۵-۳ نشان داده شده است . اگر فقط قابلیت اطمینان مد نظر باشد ، ممکن است باز بست در محل وسط

فیدر یا در منطقه میانی بار قرار گیرد . برای مسئله کیفیت توان ، ممکن است قرار دادن باز بست هرچه نزدیکتر به پست (بسته به اینکه بارهای مهم در کجا قرار گرفته باشند) بهتر باشد . یکی از معیارهای محتمل ، قرار دادن آن در اولین مکانی است که جریان خطا به مقداری باشد که هماهنگی آن با فیوزها همواره تضمین شود . معیار دیگر آن است که باز بست را درست در ابتدای خروجی بارهای سنگین و یا بارهای حساس قرار داد که از خاموشی های احتمالی موقتی در امان بمانند .

با این مفهوم ، تریپ کردن سریع را می توان از مدار شکن های پست حذف نمود در حالیکه اصل حفظ فیوز در قسمتی کوچکی از فیدر را قربانی کردیم . همچنانکه در بالا ذکر شد ، رعایت اصول حفظ فیوز در نزدیکی پست بسیار دشوار است . تلاش خاصی صورت گرفت تا قسمت اول فیدر اصلی عاری از خطاهای گذرا باشد . این امر مستلزم نگهداری دقیق مدام خطوط هوائی از قبیل قطع درخت ها و شستن مقره ها می باشد . همچنین عملیات اضافی دیگر را هم برای جلوگیری از جرقه زدن ناشی از صاعقه میتوان صورت داد مانند شیلد گذاری یا نصب برقگیرهای خط حداقل در هر دو یا سه اسپن .

شکل ۲۵-۳ - اضافه کردن باز بست خط به فیدر اصلی برای قدم اول مجزا سازی

سؤالی که باقی می ماند این است که چه مقدار از قابلیت اطمینان توسط حذف تریپ کردن سریع حاصل میشود . برای بررسی این سؤال یک تحلیل قابلیت اطمینان روی تعدادی از فیدرها انجام

شده است . یکی از فیدرهای مورد بررسی در این مطالعه مشابه شکل ۲۴-۳ می باشد ، با این تفاوت که کلیه خروجی های تک فاز بصورت یکنواخت در طول فیدر توزیع شده اند .در این مطالعه کلیه خروجی ها ، مسکونی در نظر گرفته شده اند.

این نوع فیدر را با شماره ۱ مشخص می کنیم . این یک فیدر یکنواخت بطول ۸ مایل با فیوزهای مشابه در هر ۰/۲۵ مایل با بار مصرفی KVA ۶۴۰۰ میباشد .

هر چند این فیدر چندان با واقعیت مطابقت ندارد ، ولی نتایج جالبی برای راهبردهای عملی می توان از آن بدست آورد. مفروضات ما عبارتند از : یک خطا در سال در هر مایل روی فیدر اصلی و ۰/۲۵ خطا در سال روی فیوزها و اینکه ۸۰ درصد خطاها ، گذرا در نظر گرفته شوند .

در نگاه اول ، حالت مبنا (حالت ۱ در جدول ۱-۳) که شرکت توزیع از سیاست حفظ فیوز و نجات ۱۰۰ درصد فیوزها در خطاهای گذرا پیروی می کند را در نظر می گیریم. برای حالت ۲ ، مشخصه تریپ سریع از کار انداخته شد و فرض شد که هیچ یک از فیوزها را نتوان نجات داد و نهایتاً در حالت ۳ ، یک باز بست سه فاز بفاصله یک مایلی از پست قرار دادیم و فرض شد که فیوزهای پایین خط حفظ شوند . نتایج شاخص های SAIFI . SAIDI درجدول ۱-۳ نشان داده شده اند .

جدول ۱-۳ - شاخص های قابلیت اطمینان محاسبه شده برای فیدر ۱

حالت	SAIFI	SAIDI (h)	عملکرد سالانه فیوز
1	0.184	0.551	1.2
2	0.299	0.666	6.0
3	0.182	0.516	1.88

مقادیر متعارف SAIFI و SAIDI برای یک منطقه مسکونی در حالت ۱ و ۳ تقریباً یکسان می باشد . در حالیکه هیچیک از این حالت ها از لحاظ عملی بد نیستند ، این نکته قابل مشاهده است که حذف تریپ سریع ، اثر منفی معتنابهی روی شاخصهای قابلیت اطمینان دارد (حالت ۲ را با حالت ۱ مقایسه کنید) . مقدار SAIFI حدوداً ۶۰ درصد افزایش یافت . فرضیات این مثال از قبیل مجزاسازی مناسب فیدر با یک فیوز روی هر قسمت و خارج شدن کمتر از ۳ درصد از مصرف کنندگان به ازای سوختن هر فیدر کاملاً متعارف است .

بررسی آرایش های مختلف فیدر ، مستلزم تلاش مضاعفی است. اما می توان حدس زد که قابلیت اطمینان در صورت حذف تریپ سریع خرابتر خواهد شد . افزایش مقدار SAIDI بسیار آرام است . بیشترین تغییرات در تعداد عملکرد فیوزها می باشد، که آنهم با ضریب ۵ افزایش یافته است . لذا شرکت توزیع در مواقع هوای طوفانی شاهد تعداد قابل توجهی از تلفن های شاکیان خواهد بود .

اگر همچنانکه در حالت ۳ ذکر شد ، یک بازبست به خط اضافه کنیم ، شاخص قابلیت اطمینان و تعداد عملکرد فیوزها تقریباً به همان مقدار حالت مبنا بر می گردد . در واقع ، شاخص های قابلیت اطمینان بعلت مجزا سازی در خط کمی بهتر شده است ، هر چند که تعداد فیوزهای سوخته شده در قسمت اول مجزا شده بیشتر از حالت اول است . بنابراین اگر ما همچنین یک باز بست خط را بعد از بارهای حساس قرار دهیم ، حذف تریپ سریع در پست اثرات منفی چندانی روی قابلیت اطمینان بطور کل نخواهد داشت . البته در این امر فرض بر این است که مصرف کنندگان حساس تر نزدیک محل پست قرار گرفته اند . ما مشابه این سه حالت را برای فیدر دیگری که آنرا فیدر ۲ می نامیم مطالعه می کنیم . این فیدر شاید شبیه به بسیاری از فیدرهای متعارف مصرف کنندگان مسکونی شهری و روستایی در آمریکا باشد . موقعیت جزء تفضیل کمی و جامع این توپولوژی را در این مکان نمی دهد . تفاوت عمده با فیدر ۱ این است که آرایش فیدر بیشتر تصادفی و مجزا سازی آن بسیار مشکلتر است . فرض میشود که نرخ خطا مشابه فیدر۱ باشد . مقدار SAIDI , SAIFI برای سه حالت فیدر ۲ در جدول ۲-۳ نشان داده شده است . تعداد فیوزهای سوخته شده محاسبه نشده است .

جدول ۲-۳ - شاخص های قابلیت اطمینان برای فیدر ۲

حالت	SAIFI	SAIDI (h)
1	0.43	1.28
2	1.51	2.37
3	0.47	1.29

برای فیدر ۲ ،تعداد بیشتری از مصرف کنندگان ازسوختن فیوزها مشکل خواهند داشت . بنابراین ، مقدار SAIFI هنگامیکه تریپ سریع حذف شود ، جهشی بیشتر از ضریب ۳ دارا خواهد بود . این امر لزوم یک مجزا سازی مناسب فیدر ، برای داشتن حداقل اثر روی قابلیت اطمینان را مورد تأکید قرار

این امر مطمئناً موجب افزایش قابلیت اطمینان و کیفیت توان ، با کاهش تعداد مصرف کنندگـان در هر قطعی خواهد شد .

اما همواره این یک روش اقتصادی نیست . همچنین ایـن روش در مقایسـه بـا روش دوم بهبـود چندانی نسبت به کاهش نرخ قطعی نشان نمی دهد . حال روش دوم را مورد بررسی قرار می دهیم که در این روش تعداد بیشتری شاخه های سه فاز خروجی از فیدر اصلی خواهیم داشـت کـه در بیشـتر موارد از لحاظ اقتصادی هم کم هزینه است .

در اینجا دو مفهوم را در پیش رو داریم . اولی عبارت است از اینکه فیدرهای خروجی از پست دارای طول کمتری باشند و فیدررا به دو یا سه زیر فیدر تقسیم کنیم این امر موجب کاهش تعداد قطعی ها به نصف و یا دو سوم در مقایسه با مصرف کنندگان یک فیدر طویل خواهد شد . یک باز بست سه فاز در هر شاخه نصب میشود . شکل ۲۶-۳ این صول ر نشان می دهد .

شکل۲۶-۳ - تغییرآرایش فیدر، بازیرفیدرهای موازی برای کاهش متوسط تعداد قطعیهای مشترکین

پیشنهاد دوم ، همچنانکه در شکل ۲۷-۳ نشان داده شده است عبارت است از اینکه اول یک فیدر اصلی با ضریب اطمینان بالا ساخته شود که فاصله معتنابهی را در منطقه ، سرویس دهد . عملاً تعـداد بسیار کمی از مشترکین مستقیماً از این فیدر تغذیـه مـی شـوند . در عـوض مشـترکین از طریـق شاخه های سه فاز خروجی از فیدر اصلی تغذیه می شوند . البتـه در ایـن آرایـش هیچگونـه تریـپ سریعی درپست وجود ندارد بنابراین فیدر اصلی تاآنجا که امکان دارد مصون از قطعی ها خواهد بود . تلاش های مخصوصی باید صورت پذیرد تا این فیدر از خطای اتصال کوتاه در امان بماند .

اصولاً فیدر اصلی بصورت انشعابی از باس پست خواهد بود که از لحاظ طراحی مجاز است خطاهای بیشتری نسبت به باس تحمل نماید . فیدر های شاخه ، مشابه فیدرهای مجزائی خواهند بود که هریک ، قسمتی از منطقه را سرویس می دهد .

شکل ۲۷-۳ - طراحی یک فیدر با زیرفیدرهای سه فاز متعدد و ضریب اطمینان بالا

هر یک از این ایده ها برای اینکه برای یک شرکت توزیع عملاً مناسب باشد به پارامترهای متعددی از قبیل موقعیت جغرافیائی ، چگونگی بار ، توزیع بار وتجهیزات نصب شده فعلی بستگی دارد .

۸-۶-۳ - تریپ کردن تک فاز

بیشتر بریکر ها و باز بست های سه فاز سیستم توزیع دارای عملکرد همزمان سه فاز می باشند . یکی از رهیافت هائی که موجب کاهش موجه شدن مصرف کنندگان با قطعی های موقتی می شود تریپ کردن فاز معیوب است . این امر موجب کاهش دو سوم بیشتر خطاها خواهد شد ولی مشکل اصلی در این مورد امکان صدمه دیدن بارهای سه فاز می باشد که در اثرکارکرد یک یا دوفازی آنها در مدت معین پیش می آید . بنابراین عموماً استفاده از بازبست های تک فاز برای شاخه های سه فاز که بارهای سه فاز متعددی دارد نامطلوب شناخته شده است . البته این راه فقط موقعی موثر است که تنها بارهای تک فاز موجود باشند .

۹-۶-۳ - فیوزهای محدود کننده جریان

فیوزهای محدود کننده جریان اغلب در تجهیزات الکترونیکی که دارای جریان خطای بسیار بالا می باشند مورد استفاده قرار می گیرند . چون این فیوز ها در مقایسه با فیوزهای سوختنی بسیار گران قیمت هستند ، کاربرد آنها محدود به جائی می شود که جریان خطا از ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ آمپر تجاوز کند . شکل ۲۸ -۳ مثالی از فیوزهای محدودکننده جریان متعارف مورد استفاده در شرکتهای توزیع را نشان میدهد . طراحی‌های مختلفی برای آنها وجود دارد ولی آرایش اصلی آنها بصورت

شکل ۲۸-۳ - فیوزهای محدود کننده جریان متعارف مورد استفاده در شرکت های توزیع

یک نوار نازک یا سیمی که دور یک فریم پیچیده شده و در یک محفظه شنی قرار گرفته است می باشد . نوار در کلیه نقاط همزمان ذوب می شود و با کمک گیری از شن سریعاً افت ولتاژی باز سازی می شود که مخالف عبور جریان خواهد شد . جریان در مدت ۰/۲۵ سیکل مجبور به صفر شدن می گردد .

فیوزهای محدود کننده جریان در رابطه با مسئله کیفیت توان دارای اثرات مفیدی است که کمبود ولتاژ ناشی از خطا را بسرعت بر طرف می سازد . شکل ۲۹-۳ شکل موج ولتاژ و جریان متعارف یک فیوز محدود کننده جریان را در مدت عملکرد رفع خطای تک فاز به زمین نشان می دهد .

شکل ۲۹-۳ - عملکرد متعارف یک فیوز محدود کننده جریان

۱۰-۶-۳ - ندیدن هارمونیک های سوم جریان

بعلت استفاده روز افزون ازکامپیوترها و سایر بارهای الکترونیکی در سیستم ، سطح جریانهای هارمونیک سوم افزایش یافته است . جریان ته مانده (حاصل از مجموع جریانهای سه فاز) در بسیاری از فیدرها شامل هارمونیک سوم است که مقدار آن بیشتر از جریان مولفه اصلی است جریانهای هارمونیک سوم مستقیماً در نقطه خنثی با هم جمع می شوند بنابراین هارمونیک سوم ۲۰ تا ۲۵ درصد جریان فاز می باشد که اغلب هم اندازه و یا بیشتر از جریان مولفه اصلی در سیم خنثی می باشد .

چون جریان هارمونیک سوم اصولاً دارای ماهیت توالی صفر است ، روی رله گذاری خطای زمین اثر نامطلوبی دارد . شواهد متعدد در دست است که نشان می دهد رله ی خطای زمین جریان هارمونیک سوم عمل کرده است بدون اینکه خطائی رخ داده باشد .

POWEREN.IR
PowerEn.ir

حداقل یکی از وقایعی که شناسائی شده است مرتبط با کلید زنی خازنی است که در این حالت جریان هارمونیک سوم بعلت رزوناس تقویت شده است . البته موارد دیگری هم هست که هنوز شناسائی نشده است که انتظار می رود در آینده مشکل آفرینی این مسئله بیشتر شود . ساده ترین راه حل این مشکل ، تا آنجا که امکان دارد، بالا بردن سطح تنظیم خطای زمین می باشد که متأسفانه حساسیت تشخیص خطا را کاهش می دهد و با اینکار هدف رله گذاری خطای زمین زیر سوال می رود . تجربه شده است که اگر هارمونیک سوم را بتوان از طریق فیلتر حذف کرد امکان افزایش حساسیت رله زمین وجود خواهد داشت . جریان هارمونیک سوم اصولاً جزو مشخصه های جریان بار است نه جریان خطا . هنگامیکه خطائی رخ می دهد جریانی که توسط رله ها مشاهده می شود عمدتاً سینوسی است لذا لزومی ندارد که رله ها جریان هارمونیک سوم را تشخیص دهند.

۷-۳ - منابع

POWEREN.IR

3.7 References

1. J. Lamoree, J. C. Smith, P. Vinett, T. Duffy, and M. Klein, "The Impact of Voltage Sags on Industrial Plant Loads," in *Proceedings of the First International Conference on Power Quality* (*PQA '91*), Paris.
2. P. Vinett, R. Temple, J. Lamoree, C. De Winkel, and E. Kostecki, "Application of a Superconducting Magnetic Energy Storage Device to Improve Facility Power Quality," in *Proceedings of the Second International Conference on Power Quality: End-use Applications and Perspectives* (*PQA '92*), Atlanta, September 28–30, 1992.

POWEREN.IR

3 G. Beam, E. G Dolack, C. J. Melhorn, V. Misiewicz, and M. Samotyj, "Power Quality Case Studies—Voltage Sags: The Impact on the Utility and Industrial Customers," in *Proceedings of the Third International Conference on Power Quality* (*PQA '93*), San Diego, November 1993.
4 J. Lamoree, D. Mueller, P. Vinett, and W. Jones, "Voltage Sag Analysis Case Studies," in *Proceedings of the 1993 IEEE I&CPS Conference,* St. Petersburg, Fla.
5 M. F. McGranaghan, D. R. Mueller, and M. J. Samotyj, "Voltage Sags in Industrial Systems," *IEEE Transactions on Industry Applications,* vol. 29, no. 2, March/April 1993.
6. Le Tang, J. Lamoree, M. McGranaghan, and H. Mehta, "Distribution System Voltage Sags: Interaction with Motor and Drive Loads," in *Proceedings of the IEEE Transmission and Distribution Conference,* Chicago, April 10–15, 1994, pp. 1–6.
7. EPRI RP 3098-1, *An Assessment of Distribution Power Quality,* Electric Power Research Institute, Palo Alto, Calif.
8. J. Burke, *Power Distribution Engineering: Fundamentals and Applications,* Marcel Dekker, New York, 1994.
9. C. M . Warren, "The Effect of Reducing Momentary Outages on Distribution Reliability Indices," *IEEE Transactions on Power Delivery,* July 1993, pp. 1610–1617.
10 R. C. Dugan, L. A. Ray, D. D. Sabin, et al., "Impact of Fast Tripping of Utility Breakers on Industrial Load Interruptions," in *Conference Record of the 1994 IEEE/IAS Annual Meeting,* Denver, October 1994, vol. III, pp. 2326–2333.
11 T. Roughan and P. Freeman, "Power Quality and the Electric Utility· Reducing the Impact of Feeder Faults on Customers," in *Proceedings of the Second International Conference on Power Quality: End-use Applications and Perspectives* (*PQA '92*), Atlanta, September 28–30, 1992.
12 J. Lamoree, Le Tang, C. De Winkel, and P. Vinett, "Description of a Micro-SMES System for Protection of Critical Customer Facilities," *IEEE Transactions on Power Delivery*, April 1994, pp. 984–991.
13. R. A. Stansberry, "Protecting Distribution Circuits: Overhead Shield Wire Versus Lightning Surge Arresters," *Transmission & Distribution,* April 1991, pp. 56*ff.*

POWEREN.IR

POWEREN.IR

فصل چهارم

اضافه ولتاژ های گذرا

۱-۴ - منابع اضافه ولتاژهای گذرا

دومنبع اصلی اضافه ولتاژهای گذرا درمؤسسات برق عبارتنداز:
کلیدزنی خازن وصاعقه که منابع اضافه ولتاژهای گذرا برای وسایل مصرف کننده نهایی می باشند . بعضی از وسایل الکترونیک قدرت در هنگام کلیدزنی اضافه ولتاژهای گذرا ی قابل ملاحظه‌ای تولید می کنند . همانطورکه در فصل ۲ توضیح داده شد ، اضافه ولتاژهای گذرا میتوانند با فرکانس بالا (کلیدزنی بارو صاعقه) ، بافرکانس متوسط (تحت تانسیون قراردادن خازنها) یا فرکانس پایین ایجاد شوند

۱-۱-۴ - کلید زنی خازن

کلیدزنی خازن یکی ازمعمولترین حوادث کلیدزنی در مؤسسات برق می باشد . خازنها برای تولید قدرت ر کتیو(و ر) جهت تصحیح ضریب قدرت بکار می روند . تا تلفات‌راکاهش داده وولتاژ سیستم ر تقویت کنند . خازنها وسایلی بسیار اقتصادی و عموماً بی دردسر برای تأمین مقاصد فوق الذکر هستند . البته باکمک ماشینهای دوار و جبران کننده های وا ر الکترونیکی نیزمی توان به این اهداف رسید ولی این ادوات بسیارگرانترند و هزینه نگهداری بالایی نیز در بر دارند . به همین جهت ، خازنها درسیستمهای قدرت بسیار متداولند.

عیب استفاده ازخازنها اینستکه آنها در هنگام کلیدزنی ، اندوکتانس سیستم قدرت را تحت تأثیرقرارداده و درسیستم حالتهای گذرای نوسانی ایجاد می کنند . بعضی ازخازنها درتمام مدت

زیربار واقع میشوند (یک دسته ثابت) درحالیکه در بیشتر موارد مطابق سطوح بار راکتیو ، خازنها زیربار قرار میگیرند. برای تعیین زمان کلیدزنی خازنها از عوامل کنترلی مختلفی مانند زمان ،درجه حرارت ، ولتاژ ، جریان و قدرت راکتیو استفاده می شود . معمولاً برای کنترلها ازترکیب دو یا بیشتر این عوامل مثلاً ترجیحاً درجه حرارت و ولتاژ استفاده می شود.

یکی از معمولترین مشکلات کیفیت قدرت مربوط به علائم اضافه ولتاژهای کلیدزنی خازن است که تقریباً درهر روز در یک زمان ظاهر میشود . در فیدرهای توزیع با بارهای صنعتی ، خازنها با یک افزایش باردر شروع کار روزانه ، به کمک ساعت وارد مدار میشوند . ازجمله مشکلات ، قطع و وصل های کنترلرهای ساعت (ASD) و عملکرد نادرست سایر تجهیزات کنترل بار الکترونیکی میباشندکه گاهی حتی با یک چشمک غیرقابل توجه که تاثیری بر روی تجهیزات دیگر ندارد ، بوجود می آیند.

شکل ۱-۴ دیاگرام تک خطی وضعیت کلید زنی خازنی یک فیدر موسسهٔ نمونه را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۴ - دیاگرام تک خطی عملکرد کلید زنی خازن

بابسته شدن کلید ، ولتاژ گذرای مشابه آنچه که درشکل ۲-۴ دیده می شود ممکن است در طرف بالای خازن مشاهده شود. همانطورکه این شکل نشان می دهد اتصالات کلیدخازن درنزدیکی ولتاژ پیک سیستم بسته میشوندکه برای بسیاری از کلیدها امری متداول است . ولتاژدر سراسر خازن در این لحظه صفر است.

ازآنجائیکه ولتاژ نمی تواند تغییر آنی داشته باشد ، ولتاژ سیستم درمحل خازن بـــه آرامـی بـه‌صفر میرسد وهمانطورکه خازن شروع به شارژ شدن به طرف ولتاژ سیستم می کند ولتـــاژ بـالا مـی رود . همانند خازنهای نمونه درسیستمهای قدرت اندوکتیو ، ولتاژ خـازن از ولتـاژ نـامی بیشـتر میشـود و درفرکانس‌طبیعی سیستم منعکس (نوسانی) می شود . اگر نقطه مشاهده در بالا باشد ، بدلیل امپدانس بین نقطه مشاهده و خازن وصل شده ، تغییر اولیه در ولتاژکاملاً به صفر نخواهد رسید.

شکل ۲-۴ - حالت گذرای کلید زنی خازن یک مؤسسه برقی نمونه با ۱۳۴ درصد ولتاژ نامی

بسته به میزان خفه کنندگی سیستم ، افزایش اضافه ولتاژ گذرا ، بین ۱ و ۲ پریونیت ایجاد می‌شود . درحالت نشان داده شده درشکل ، اضافه ولتاژ گذرا حدود ۱/۳۴ پریونیت اســت . اضافـه ولتاژهـای گذرای کلیدزنی خازنها عموماً در محدودهٔ ۱/۳ تا ۱/۴ پریونیت هستند ولـــی در محـدوده حداکـثر نظری و عملی نیز مشاهده شده‌اند .

ضـفه ولتاژنشان داده شده در اسیلوگرام به داخل سیستم قدرت محلی منتشر می شود و عمومـــاً از میان ترانسفورماتورهای توزیع با مقداری حدوداً معادل نسبت تبدیل‌ترانسفورماتور به داخل وسایل بار مشترک میرود . اگرخازنها در سیستم ثانویه موجود باشند واگرفرکانسهای طبیعی سیستم هـــا بطـور مناسب دریک ردیف قرارگرفته باشند (به بخش بعد توجه کنید) ولتاژ ممکن اســت واقعـاً بـزرگ شود . علیرغم این مسئله‌که ولتاژهای گذرای تا ۲ پریونیت عموماً به عـــایق سیســتم صدمـه ای وارد نمیکنند ، وقوع چنین اضافه ولتاژهایی غالباً سبب عمل نادرست ادوات تبدیـل قـدرت الکـترونیک

میشود. کنترل کننده‌ها ممکن است ولتاژ بالا را بـــه عنـوان نشـانه‌ای از یـک موقعیـت خطرنـاک محتمل‌الوقوع تعبیرکنند و سپس برای ایمنی ، بار را قطع کنند . ولتاژ گذرا همچنین ممکن است بـا روشن شدن تریستورها تداخل کند.

کلیدزنی بانکهای (دسته های) ستاره زمین شده در سیستم زمین‌محلی به سبب موج ضربه‌ای که همراه با زیر بار قرارگرفتن (خازنها) ایجاد می شود ، ممکن است بـاعث تولیـد اضافـه ولتاژهـای گذرای غیرعادی گردد . شکل ۳-۴ جریان فاز در رویدادکلید زنی خازن که دربالا توضیح داده شده را نشـان می دهد . جریان‌گذرای عبوری در پیکهای فیدر حدود ۴ برابرجریان بار نامی است.

شکل ۳-۴ - جریان فیدر مربوط به رویداد کلیدزنی خازن

۲-۱-۴ - بزرگی ولتاژ گذرای کلیدزنی خازن

یک تأثیر بالقوه در افزودن خازنهای تصحیح کننده ضریـب قـدرت در محـل مشـترک امکـان افزایش ولتاژهای گذرای کلیدزنی خازن است که درتجهیزات نهائی در موقع سوئیچینگ دسته هـای خازنی ظاهر می شوند . معمولاً یک اضافه ولتاژ کم وجود داردکه عموماً ۱/۳ تا ۱/۴ پریونیت ولتاژ نرمال است و همانطور که قبلاً گفته شد بیشتر از۲ پریونیت نیست . اضافه ولتاژهای گذرا میتواننـد در بـاس مصـرف کننـده نهـایی بـرای بعضـی خازنهـای ولتـاژ فشـار ضعیـف و تعـدادی از ترانسفورماتورهای کاهنده، بزرگ شوند. مدارمربوط به این پدیده درشکل ۴-۴ نشان داده شده است .

تحت این شرایط اضافه ولتاژهای گذرا درطرف مصرف کننده نهایی بدون پیامدهای آسیب رسانی بالقوه برای کلیه تجهیزات مشترک،می توانند به ۳ تا ۴ پریونیت روی باس فشار ضعیف برسند.

بزرگ شدن حالتهای گذرای کلیدزنی خازن درمحل مصرف کننده نهایی درمحدودهٔ وسیعی از اندازه های ترانسفورماتورها وخازن‌ها اتفاق می‌افتد . بدبراین تغییر ابعاد خازنهای تصحیح ضریب قدرت مشترک یا ترانسفورماتور کاهنده معمولاً یک راه عملی نیست . کنترل اضافه ولتاژ گذرا در خازن شبکه گاهی اوقات با استفاده از بریکرهای سنکرون یا کلید با مقاومتهای از قبل تعبیه شده امکان پذیراست جزئیات این مطالب دربخش ۴-۱ بحث می شود.

درمحدودهٔ مشترکین ، برقگیرهای با انرژی بالا می‌توانند برای محدودکردن دامنه ولتاژ گذرا در باس مشترک بکار روند . سطوح انرژی که با اضافه ولتاژهای گذرای بزرگ شده همراهند معمولاً در محدودهٔ ۱ کیلوژول میباشند . شکل ۵-۴ انرژی برقگیرمورد نظر برای یک محدوده از اندازه های خازن فشار ضعیف را نشان می‌دهد. برقگیرهای جدیدتر وریستورهای اکسید فلز (MOV= metal oxide varistor) با انرژی بالا ، برای کاربردهای فشارضعیف می توانند از ۲ تا ۴ کیلوژول را تحمل کنند .

Switching frequency $f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$

Natural frequency of customer resonant circuit $f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$

Voltage magnification $\Leftrightarrow f_1 \approx f_2$

شکل ۴-۴ - بزرگ شدن ولتاژ کلید زنی دسته های خازنی

شکل ۵-۴ - انرژی ایجاد شده در برقگیر توسط حالتهای گذرای

باید توجه داشت که فقط تا سطح حفاظتی برقگیر می توانیم اضافه ولتاژ را محدود کنیم . این سطح بعنوان نمونه ۱/۸ برابر ولتاژ نرمال پیک (۱/۸ پریونیت) است .این سطح برای حفاظت تجهیزات الکترونیک حساس که فقط قابلیت تحمل ۱/۷۵ پریونیت را دارد ممکن است کافی نباشد (ولتاژ پیک معکوس ۱۲۰۰ ولت "PIV" در بسیاری از یکسوکننده های کنترل شده سیلیکونی مورد استفاده در محیطهای صنعتی می باشد) . چون این مشخصات توسط خواص فیزیکی مواد اکسید فلزی محدود می‌شوند ، ممکن است قادرنباشیم مشخصه های حفاظتی برقگیرها را اصلاح کنیم . بنابراین برای هماهنگی‌مناسب باید ظرفیت تحمل تجهیزات حساس بکار برده شده را درمواردی که این حالتهای گذرا واقع می شوند با دقت ارزیابی نمود . از دیگر موارد محدودکننده بزرگ شدن حالت گذرا ، تجهیز بانکهای‌تصحیح ضریب قدرت مصرف کننده نهایی به فیلترهای هارمونیک می باشد . قراردادن یک اندوکتانس بطورسری با بانک تصحیح ضریب قدرت ، اضافه ولتاژ گذرا در باس‌مشترک را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می دهد . این راه حل ، تصحیح جابجایی ضریب قدرت ،کنترل سطوح اعوجاج هارمونیک در وسایل ، و محدود کردن بزرگی اضافه ولتاژهای‌گذرای‌کلیدزنی خازن را فرا هم میکند.

در موارد زیادی ، فقط تعدادکمی از تجهیزات بار مثل موتورهای‌گردان با سرعت قابل تنظیم ، بطور معکوس توسط حالتهای گذرا تحت تأثیر قرار میگیرند . قراردادن راکتورهای خط بصورت سری با موتورهای گردان بسیار اقتصادی تر از محدودکردن بزرگی اضافه ولتاژهای گذرای فرکانس بالا است . یک رآکتور ۳ درصد عموماً مؤثر است . درحالیکه داشتن یک امپدانس کوچک برای جریان فرکانس قدرت لازم است ، امپدانس خیلی بزرگتری را برای حالت گذرا در

نظر می گیرند . انواع زیادی ازموتورهای گردان ، خواه یک ترانسفورماتور ایزوله باشد و یا یک راکتانس باس dc ، بطور ذاتی این حفاظت را دارند.

۳-۱-۴ - صاعقه

صاعقه یک منبع نیرومند اضافه ولتاژهای گذرای ضربه ای است . شرح پدیده های فیزیکی درکتابهای مرجع مورد بحث قرار گرفته است [۳-۱] ، که ما در اینجا شرح مجدد نمی دهیم ، بلکه در این مورد بحث خواهیم کردکه چگونه صاعقه سبب اضافه ولتاژ های گذرا ئی میشود که روی سیستمهای قدرت ظاهرمی گردند.

شکل ۶-۴ مناطق محل اصابت صاعقه و جریان هدایت امواج در سیستم قدرت که به بار منتهی میشود را نشان می دهد.

آشکارترین مسیرهدایت ، ضربه مستقیم به یک سیم فاز خواه روی اولیه، یا روی ثانویه میباشد . این حادثه می تواند اضافه ولتاژهای بزرگی را تولید کند ، ولی بعضی از تحلیل گران می‌پرسند که آیا این معمولترین راه برای ورود امواج صاعقه به بار و زیان رساندن به آنهاست ؟

شکل ۶-۴ - مناطق محل اصابت صاعقه و هدایت ضربه های امواج به طرف تجهیزات بار

ولتاژهای گذرای مشابه می توانند توسط جریانهای صاعقه درطول مسیرهای سیم زمین ایجاد شوند . توجه شودکه مسیرهای بیشماری برای جریانهای صاعقه جهت ورود به سیستم زمین میتوانند

وجود داشته باشد . معمولترین این مسیرها توسط خطوط نقطه چین درشکل ۶-۴ نشان داده شده است ، که شامل زمین اولیه ، زمین ثانویه واسکلت فلزی تجهیزات بار می‌باشد . همچنین توجه شود که ضرباتی که به فازاولیه وارد می شود ازطریق برقگیرهای روی ترانسفورماتورتوزیع به مدارهای زمین هدایت میشوند . بنابراین ، ضربه های صاعقه ، بیش‌ازحد تصور می توانند در بارها مشاهده شوند.

بخاطر بسپارید که زمینها هرگز هادی های کاملی بخصوص برای ضربه ها نیستند . درحالیکه بیشترموج جریان ممکن است واقعاً در نزدیکترین اتصال زمین مستهلک شود ، در عین حال جریانهای موج اصلی ممکن است در چند میکرو ثانیه از ضربه در هادیهای زمین مرتبط بهم دیگر وارد شوند

یک برخورد مستقیم به فازعموماً سبب جرقه خط (تخلیه الکتریکی غیرعادی خط) درنزدیکی‌نقطه اصابت می شود . این عمل نه فقط یک ولتاژ گذرای ضربه‌ای تولید می کند ، بلکه سبب ایجاد یک خطا همراه با کمبود ولتاژ و قطعی های برق می شود . موج صاعقه می تواند چندین کیلومتر در طول خطوط مورد استفاده هدایت شده و سپس جرقه های زیادی را دربدنهٔ تیرها و برجهایی که ازآنها می گذرد تولید نماید . اگربرقگیر بطورمناسب نصب شودمی‌توان‌ازضربه روی سیم فازجلوگیری کرد. اگر خط در منبع ضربه جرقه بزند . دنباله ضربه عموماً قطع می‌شود . بسته به تاثیر زمین ها درطول مسیر جریان موج ، مقداری ازجریان ممکن ست بداخل لوازم بار راه یابد . برقگیرهای نزدیک محلهای اصابت صاعقه بدلیل وظیفه مشکلی که بعهده دارند معمولاً از بین می روند،(اغلب ضربه های صاعقه درواقع برخورد ضربه های زیاد دریک رشته آتش سریع است)

درواقع صاعقه نباید حتماً به یک هادی اصابت کند تاضربه هایی رابه سیستم قدرت تزریق کند . بلکه صاعقه ممکن است بسادگی به نزدیک خط برخورد کند وبا ایجاد میدان الکتریکی ضربه ای را القاکند . همچنین صاعقه ممکن است بسادگی به زمینی که درنزدیکی تأسیساتی قرار دارد ، برخورد کند و سبب شود که مرجع زمین محلی به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش یابد . این امر جریانها را وامی دارد تا درطول هادیهای زمین شده بداخل زمین اطراف جاری شوند ، و احتمالاً از نزدیکی تجهیزات بارحساس عبورکنند .

محققان زیادی دراین زمینه فرض می کنند که امواج صاعقه همانگونه که در شکل ۷-۴ نشان داده شده ازطریق ظرفیت خازنی بین سیم‌پیچی ترانسفورماتور سرویس سیستم مورد استفاده وارد

بارها می شود . این امر به این مفهوم است که ضربه صاعقه بسیار سریع است بطوریکه اندوکتانس ترانسفورماتور مانع ازعبور اولین قسمت موج توسط نسبت تبدیل می شود . درعوض ، ظرفیت بین سیم پیچی ، یک مسیر آماده برای موج فرکانس بالا ارائه می دهد . این موضوع اساس یک ولتاژ روی ترمینالهای ثانویه راکه خیلی بیشتر از نسبت تبدیل است بوجود می آورد .

درجه ای که درآن کوپلاژ خازن اتفاق می‌افتد بستگی زیادی به طراحی ترانسفورماتور دارد. بدلیل تقاطع مسیر سیم بندیها در تمام ترانسفورماتورها ، هادی های ولتاژ زیاد از روی هادی های ولتاژ کم رد میشوند . ظرفیت سیم پیچ به زمین ممکن است بزرگتر ازظرفیت سیم پیچ به سیم پیچ باشد و بیشتر امواج ممکن است عملاً از سیم پیچ ثانویه بگذرند و به زمین متصل شوند ، در هر حال ، بدلیل شارژ سریع خازنی بین سیم پیچی ها هم درحالت ضربه منفرد و هم هنگام وجود قطاری از ضربه ها ، حالتهای گذرای ناشی از آن بسیارکوتاه است . درچنین موجی ، برقگیرهای روی ثانویه مشکلی با انرژی ندارند ولی نرخهای افزایش می تواند بالا باشد . بنابراین طول هدایت درموفقیت یک برقگیر درنگهداری ضربه خارج از تجهیزات بار، بسیار مهم است .

وقتیکه یک ضربه به اولیه سیستم توزیع وجود داشته باشد ، مکرراً ، ضربه‌ای طولانی ترکه در بعضی اوقات نوسانی نیز هست ، درثانویه مشاهده می شود . احتمالاً این امر به خاطر کوپلاژ خازنی

شکل ۷-۴ - کوپلاژ ضربه ها از طریق ظرفیت بین سیم پیچی ترانسفورماتورها

از طریق ترانسفورماتور سرویس نبوده ، بلکه بیشتربه سبب هدایت اطراف ترانسفورماتور از طریق سیستمهای زمین می باشد که درشکل ۸-۴ نشان داده شده است . توجه به این مسئلهٔ مهم است که اگر سیستم بار به زمین بهتری اتصال یابد ، بیشتر جریان جرقه در مسیرحرکت خود به زمین ازطریق هادیهای زمین تجهیزات بار جاری می شود.

شکل ۸-۴ - ضربه های صاعقه که از طریق ترانسفورماتورها به اتصالات زمین وارد می شوند

مهمترین مسائل کیفیت قدرت در رابطه با جریانهای ضربه صاعقه که وارد زمین میشوند عبارتنداز:

۱- بالارفتن پتانسیل زمین در محل نسبت به سایر زمینها تا حدود چندین کیلوولت.

تجهیزات الکترونیکی حساس که بین دو مرجع زمین متصل می‌شوند ، همانند کامپیوتری که از طریق مودم به سیستم تلفن متصل شده . وقتی در معرض ولتاژهای جرقه صاعقه قرار می گیرند می‌توانند دچار خطا گردند .

۲- جریانهای صاعقه در حالیکه از طریق کابلها در مسیرشان از زمین بهتری عبور می کنند می‌توانند ولتاژهای بالایی را به هادیهای فاز القا کنند .

مشکلات مربوط به مسئله جرقه طرف فشارضعیف مزبور در این فصل بعداً توضیح داده می‌شوند.

با تحقیقات اخیر ، ایده های موجود درمورد صاعقه تغییر میکنند [۸] . صاعقه بیش‌از آنچه که سابقاً تصور می شد سبب تخلیه های الکتریکی روی خطوط عمومی مؤسسات برق می شود. همچنین شواهد زیادی نشان میدهد که موجهای جلوئی جریان ضربه خیلی سریعتر از مقداری است که سابقاً تصور می شد و بعلاوه ضربات چندگانهٔ دیگر ، استثنائی نبوده و بنظر می رسد که عمومیت دارد . مدت بعضی از ضربه ها ممکن است طولانی تر از مقداری باشد که در تحقیقات قبلی گزارش شده است . این یافته ها می‌توانند ناتوانیهای برقگیرها راکه تصور میشده خاصیت خازنی کافی برای عبور ضربه های صاعقه بزرگ دارند را توضیح دهند .

۲-۴ - اصول حفاظت اضافه ولتاژ

اصول اساسی حفاظت اضافه ولتاژ تجهیزات بار عبارتند از:

۱- محدود سازی ولتاژ درعایق حساس .

۲- انحراف موج جریان و دور کردن آن از بار .

۳- مسدود کردن موج جریان از وارد شدن به بار.

۴- پیوستگی مراجع زمین بیکدیگر در تجهیزات .

۵- کاهش یا جلوگیری موج جریان ازجاری شدن بین زمینها .

۶- ایجاد یک فیلتر پائین گذر (LP) با استفاده ازقوانین محدودسازی و مسدود سازی

این اصول درشکل ۹-۴ نشان داده شده اند.

شکل ۹-۴ - نمایش اصول حفاظت

عامل اصلی در برقگیرها وخفه کننده های جرقهٔ ولتاژهای گذرا (TVSS) محدودسازی ولتاژی است که می تواند بین دونقطه درمدارظاهر شود . این موضوع مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد . یکی از تصورات غلط درمورد و ریستورها و ادوات مشابه این است که آنها بطریقی قادرند موج راجذب کنند و یا مستقل از بقیه سیستم آن را به زمین برگردانند . اگر یک مسیر مناسب برای جریان موج وجود داشته باشد که در آن جاری شود استفاده از برقگیر می تواند مفید باشد ، ولی مهمترین کاربرد برقگیر این است که آن را مستقیماً قبل از عایق حساسی که باید حفاظت شود قرار دهیم بطوریکه ولتاژی که توسط عایق دیده میشود . به یک مقدار مطمئن محدود گردد .

جریانهای موج مانند جریان قدرت باید از قوانین کیرشهف پیروی کنند . آنها باید دریک مدارکامل جاری شوند ، واز هر هادی که میگذرند سبب افت ولتاژ می شوند.

یکی از نقاطی که در آن برقگیرها باخفه کننده‌ی جرقه متصل میشوند مرجع زمین محلی است . بخاطر بسپارید که ممکن است زمین محلی در موقع عبور امواج گذرا در ولتاژ صفر نباشد.

خفه کننده های جرقه باید تاحد ممکن در نزدیکی عایق بحرانی با حداقل طول هادی (کمترین مقاومت) روی همه ترمینالها قرار گیرند . درحالیکه معمولاً برقگیررا درتابلوهای اصلی و فرعی نصب می کنند ، برقگیرها در نقطه ای بکارمی روند که خط سرویس وارد تجهیزات بار می شود و معمولاً بیشترین تاثیررا درحفاظت آن بارویژه دارند . در بعضی موقع ، بهترین محل نصب برقگیر درواقع داخل ادوات بار است . برای مثال درمحدودهٔ سیستم توزیع ، در جائیکه حفاظت کننده های زیادی روی هرخط منشعب از تابلوهای اصلی و فرعی ، تعبیه شده است .

درشکل ۱۰۹ اولین برقگیر، ازخط به رابط زمین در مدخل سرویس وصل می‌شود . این امر افزایش بیش از حد ولتاژ VI خط مربوط به ولتاژ زمین در ترمینال محدود میکند . با عمل محدودسازی ولتاژ ، یک مسیر امپدانس کم برای موج جریان بوجود می شود که بطرف سیم زمین می رود . توجه شود که سیم زمین و اتصال زمین خود ، دارای امپدانس مهمی است . بنابراین به دلیل افت ولتاژ در امپدانس زمین ، پتانسیل سیستم قدرت در ارتباط بازمین دور دست افزایش مییابد . برای مقادیرمعمولی جریانهای موج و امپدانسهای زمین این پتانسیل می تواند به چندین کیلوولت برسد .

در این حالت می توان امیدوار بود که بخش عمده انرژی موج ازطریق اولین برقگیر مستقیماً به داخل زمین تخلیه شود . برقگیر در واقع یک منحرف کننده موج خواهد بود . این موضوع ، عامل مهم دیگری در ارتباط با کاربردهای برقگیر می باشد . چون عمل محدود سازی ولتاژ برقگیر، توسط مسیری با امپدانس کم در طرف مسیر محدودی که باید حفاظت شود انجام می گیرد ، عده‌ای ترجیح می‌دهند که برقگیر را منحرف کننده موج بنامند . بهر حال برقگیر در صورتی فقط میتواند یک منحرف کننده باشد که یک مسیر مناسب برای جریانی که باید بسوی آن ، منحرف شود ، وجود داشته باشد . این موضوع همواره دست یافتنی نیست و در بعضی مواقع موج به سوی باربحرانی دیگری که مورد نظر ما نیست منحرف می شود.

درشکل ۱۰۹ ، یک مسیردیگر برای جریان موج وجود دارد که درآن جاری شود : کابل‌سیگنال که باخطوط نقطه چین نشان داده شده و به زمین مطمئن متصل می شود ، اگر به وسیله دیگری که در

جای دیگر به زمین وصل می شود ، متصل شود ، بخشی ازجریان موج به هـادی زمیـن امـن جـاری می شود . در نتیجه ولتاژهای خطا درامتداد بار می توانند تحت تأثیر واقع شوند . اولین برقگیر کـه در مدخل ورودی سرویس قرار دارد ازنظر الکتریکی آنقدر دور است که نمیتواند حفاظت مناسبی برای بار فراهم کند ، بنابراین دوباره برقگیر دیگری هم درنزدیک بار برای حفاظت مستقیم عایقی ، بکار میرود . این برقگیر بصورت خط ارتباطی به نول نشان داده شده و فقط ولتاژهای گذرای نوع نرمـال را محافظت می نماید . این شکل اصول را بدون پیچیده کردن دیاگرام تشریح میکند ولی به عنـوان حداقل کاری که برای حفاظت بار میتوان انجام داد تلقی می شود . خفه کننده‌های مـوج روی همـه خطها به زمین ، همه خطها به نول و نول به زمین خاصیت خفه‌کنندگی دارند.

درحالیکه جریانهای موج صاعقه مرجع زمین را در دور جستجو مـی کننـد ، بسـیاری از اضافـه ولتاژهای گذرای تولید شده توسط کلیدزنی از نوع نرمال خواهند بود و در جستجوی زمین نیسـتند . درحالتهایی‌که جریانهای موج به داخل مدارهای بار دیگر منحرف می شوند . برقگیرها بـاید درهـر باری درطول مسیر بکار روند تا حفاظت مطمئن را تضمین کنند .

بایدتوجه شود که کابل سیگنال قبل ازورود به تابلو ، به مرجع زمین محلی (در محل بـار) مربـوط گردد . ممکن است به نظر برسد که حلقه زمین نامطلوبی به این ترتیب تولید می شود . بهر حال این کار لازم است تا حفاظت مناسبی برای بار و مدارهای سیگنال ولتاژ پـایین فراهـم گـردد . در غـیر اینصورت پتانسیل عناصر قدرت در رابطه با مرجع مدار سیگنال تا چندین‌کیلوولت میتوانـد افزایـش یابد . بسیاری از بارها دارای چندین کابل قدرت و سیگنال متصل بخود هستند . همچنین ممکن است باری در محیطی وجود داشته باشدکه به باردیگری نزدیک باشد و اپراتورهـا یـا تجهـیزات حسـاس مداوماً درتماس با هردو بارباشند . این امر احتمال اینکه ضربه صاعقه ، پتانسـیل یـک " زمیـن " را بیشتر از بقیه بالا ببرد افزایش می دهد و میتواند سبب جرقه عایق بین دو مرجع زمیـن شـود و یـا صدمات فیزیکی به اپراتورها وارد کند . بنابراین همه هادیهای مرجع زمیـن (زمینهـای مطمئـن ، شیلدهای کابل ، تابلوها و غیره) باید در تجهیزات باربهم مربوط شوند . جلوگیری از بالارفتن مرجع زمین محلی در اثر جرقه وصاعقه که امری غیرممکن است اصل نیست ، بلکه اصل ایـن اسـت کـه مراجع رابه یکدیگر وصل کنیم تا اینکه پتانسیل همه مراجع کابل سگینال و قدرت در مجاور هم بـا یکدیگر همزمان بالا بروند .

این پدیده یک دلیل متداول برای عیوب ادوات الکترونیکی است . ایـن حـالت درگـیرنده هـای تلویزیون متصل به کابل ،کامپیوترهای متصل به مودم ها ،کامپیوترهای با محیطهـای گسـترده کـه ازمنابع مختلف تغذیه می شوند و در تجهیزات کارخانه هائی که با ماشینهای بصورت شبکه بـه هـم پیوسته ، کار می کنند اتفاق می افتد .

ازآنجائیکه چند فوت (واحد اندازه گیری) هادی ، اختلاف قابل توجهی را در فرکانسـهای مـوج صاعقه ایجاد میکنند ، گاهی لازم است که یک صفحه مرجع زمین مخصوص با امپدانس کم را برای تجهیزات الکترونیکی حساس مثل کامپیوترهای بزرگ (mainframe) که فضاهای وسیعی را اشغال می کنند ایجاد کنیم [۴].

مؤثرترین راه برای دفع جریانهای موج فرکانس بالا ، مثل آنهایی که منشأ شان ضربـات صاعقـه وکلیدزنی خازن است ، کوشش برای مسدود کردن جریان موج است .ازآنجائیکه جریانهای‌فرکانس قدرت باید ازمیان خفه کننده های موج باکمترین امپدانس اضافی بگذرند ، سـاختن فیلترهـایی کـه قادرباشند بین امواج فرکانس پایین وجریانهای فرکانس قدرت جداسازی انجام دهند ، بسـیار سـخت وگران است.

عمل مسدود کردن به آسانی می تواند برای اضافه ولتاژ های گذاری فرکانس بـالا بـا قـرار دادن یک اندوکتور، یا سیم پیچ بصورت سری با بار انجام شود . ولتاژ بـالای مـوج در اندوکتـور پـایین می‌آید . باید دقت شودکه ولتاژ در دو سر اندکتور تا چه حد می‌تواند بالا برود ، چون احتمـال دارد اندوکتور نیز همانند بارها عایقش را از دست بدهد . در هر صورت ، یک سیم پیچ خط بـه تنهـایی خود وسیله مؤثری برای مسدودکردن اضافه ولتاژهـای گذرایـی مثـل ضربـه‌های متنـاوب خـط از موتورهای گردان باسرعت قابل تنظیم میباشد.

عامل مسدودسازی با عامل محدودسازی ولتاژ با هم ترکیب شده و یک فیلتر پایین گذر را تشکیل می دهدکه در آن یک وسیله محدودکننده موازی روی هر دو طرف سیم پیـچ سـری وجـود دارد . شکل ۹-۴ نشان میدهد وقتی که برقگیرها روی هردو انتهای خط تغذیه کننـده بـار وجـود دارنـد چنین مداری بطور طبیعی تشکیل می گردد. خط امکان مسدود سازی را بـه نسـبت طولـی کـه دارد فراهم میکند . چنین مداری مشخصات حفاظتی اضافه ولتاژ مفیدی را دارا می باشد. اندوکتـانس بـه ضربه های موج سریع بالا رونده بداخل اولین برقگیر ، نیرو وارد می کند . سـپس دومیـن برقگـیر

به سادگی می بایستی ضربه‌های باانرژی کم راکه بوجود می آیند از بین ببرد . این مدارها همچنین عمدتاً طوری ساخته شده‌اند که دارای خروجی های لازم برای حفاظت کامپیوترها می‌باشند.

چون جریان موج از دو گذر یا بیش از دو گذر به تناسب اتصالات به زمین می رسد ، درصد زیادی از مشکلات حفاظت موج را ایجاد می کند . این امر یک مشکل ویژهٔ حفاظت برقگیر است زیرا جریانهای صاعقه زمین را می طلبند و اساساً به نسبت امپدانسهای مسیرهای زمین تقسیم میشوند . جریان موج حتی نباید وارد هادیهای قدرت ، یا فاز، بشوند تا ایجاد مشکل بنمایند . یک افت ولتاژ قابل توجه درطول هادیهای زمین وجود دارد که مکرراً در امتداد عایق بحرانی ظاهر می‌شود. زمینهای مورد بحث ما ممکن است تماماً درتجهیزات بار باشند و یا بعضی از زمینها ممکن است در سیستم شبکه های توزیع مورد استفاده ، قرار داشته باشند.

بطور ایده آل باید فقط یک مسیر زمین برای صاعقه درتجهیزات وجود داشته باشد ولی بسیاری از تجهیزات چندین مسیر دارند . برای مثال ممکن است یک زمین سیستم درمدخل ورودی سرویس یا ترانسفورماتور پست موجود باشد و زمین دوم دریک چاه آب باشد که حقیقتاً زمین بهتری را ایجاد می کند . بنابراین ، وقتیکه صاعقه ضربه می زند ،توده جریان موج تمایل دارد که بسوی چاه جاری شود.که می‌تواند سبب ولتاژ بسیار زیادی در عایق پمپ شود. چنین حالتی می تواند حتی وقتی که سیستم الکتریکی عمداً به دومین زمین وصل باشد اتفاق افتد. با ضربه صاعقه ممکن است پتانسیلها آنقدر بزرگ شوندکه عایق سیستم قدرت در بعضی جاها جرقه بزند.

مقدار جریان زمین را می توان با ازدیاد اتصال زمین در ورودی سرویس و نزدیک به شبکهٔ توزیع کاهش داد . به این ترتیب آسیب دیدگی تجهیزات درارتباط با صاعقه کم می شود ولی تماماً حذف نخواهد شد . معذالک بعضی از ساختارها که درمعرض صاعقه شدید و امواج جریان مخرب قرار می گیرند جریان صاعقه را به سیستم زمین شبکهٔ توزیع برگشت میدهند . جهت جریان درمشکلاتی که ایجاد می کنند تأثیری ندارد و درهر جهتی که جاری شوند مشکلات مشابه تولید می کنند. مجدداً همان قانون بکار می رود : زمینها را درساختار سیستم گسترش دهید تامقدارجریانی که ممکن است مسیر زمین دیگری را جستجو کند می نیمم شود .

وقتی که ممانعت ازجاری شدن جریان ها بین دو زمین غیرعملی باشد ، هردو پایانه هرکابل حامل سیگنال یا قدرت باید با ادوات محدود کننده ولتاژ محافظت شود تا حفاظت مطمئنی‌تضمین شود.

دراین‌شرایط مدارهای سیستمهای مؤسسات برق و یا مصرف کننده نهایی شبیه جائیکه یک تابلو قرار دارد باید کنترل شود .

۳-۴ - ادوات حفاظت ازاضافه ولتاژ

برقگیرها و خفه کننده ها (TVSS) ادواتی برای حفاظت تجهیزات از اضافه ولتاژها با محدودکردن ولتاژ ماکزیمم میباشند . لغات برقگیر و خفه کننده گاهی به جای هم استفاده می شوند .کلمهٔ برقگیر (Arrester)بیشتر به وسیله منصوبه در ابتدای خط اطلاق می شود درحالیکه خفه کننده عموماً وسیله مشابهی است که در تجهیزات وسط خط بکارمی رود . بعضی اوقات یک خفه کننده عناصر محدودسازی با دامنه بیشتری نسبت به یک برقگیر داردکه عمدتاً ازبلوکهای وریستور اکسید فلز (MOV)تشکیل شده است . وسیله ای که برقگیر نامیده می شود ممکن است ظرفیت تحمل انرژی بیشتری داشته باشد.

عناصر تشکیل دهنده این تجهیزات با دو عملکرد ، بنامهای شاخک جرقه زن (Crowbar) و گیره مقاومت غیر خطی (Clamping) دسته بندی می شوند.

جرقه زن ها (Crowbar) بطور نرمال دستگاههای بازی هستند که اضافه ولتاژهای گذرا را به زمین هدایت میکنند . وقتیکه دستگاه اتصال یابد ، بعلت اتصال کوتاه درخط یکباره ولتاژ خط پایین می آید تا به نزدیکی صفرمی رسد . این ادوات دارای فضایی هستند که با هوا یا یک گاز مخصوص پر میشود . و وقتیکه یک اضافه ولتاژ گذرای بحدکافی بزرگ اتفاق می افتد این فاصله هوایی جرقه میزند. وقتیکه فاصله هوایی جرقه می زند ، جریان فرکانس قدرت یا جریان بعدی به جاری شدن درفاصله هوایی ادامه می دهد تاجریان بعدی صفر شود . بنابراین ، این وسایل این زیان را دارند که ولتاژ فرکانس قدرت تا صفریا تایک مقدارخیلی کوچک در حد ۱/۲ سیکل پایین می افتد .که سبب می شود بعضی بارها بدون آنکه نیاز باشد ازخط خارج شوند.

گیره ها (Clamping) برای مدارهای ac عموماً مقاومتهای غیرخطی (Varistors) هستند که‌با روی داد اضافه ولتاژ ابتدا مقادیرخیلی‌کمی از جریان را هدایت می کنند . سپس آنها شروع به هدایت بیشتر کرده وامپدانس آنها بسرعت با افزایش ولتاژ کم میشود . این ادوات بطورمؤثرمقادیر افزایش جریان و انرژی را هدایت می کنند تا افزایش ولتاژ موج محدود شود. آنها یک مزیت بر ادوات نوع فاصله هوائی دارند به این ترتیب که وقتی آنها شروع به هدایت میکنند، ولتاژ به پایین تر

از سطح عادی کاهش نمی یابد . از دیودهـــای زنـــردر عمـــل اســـتفاده می‌شـــود . مشـــخصات نمونـــه برقگیرهای وریستورهای اکسید فلز (MOV) برای سیستمهای بار در شکل ۱۰-۴ و ۱۱-۴ نشان داده شده است.

برقگیرهای MOV دورنج مهم دارند ، اولین رنج ماکزیمم ولتاژ عمل پیوسته (Mcov) است که باید بیشتر از ولتاژ خط باشد و اغلب حداقل ۱۲۵٪ ولتاژ نامی سیستم است . دومین رنـــج ، رنـــج اتـــلاف نرژی است در واحد ژول (Movs) که در رنج وسیعی از انرژی های مختلـــف در دســـترس اســـت . شکل ۱۱-۴ ظرفیت تحمل انرژی در ولتاژهای اعمالی .vs را در یک نمونه نشان میدهد.

شکل ۱۰ - ۴ - منحنی بالاترین حد ولتاژ - جریان

شکل ۱۱-۴ - منحنی ظرفیت انرژی - ولتاژ

برای اینکه فرکانس بالا و اضافه ولتاژگذرا را هنگام عبور ازیک طرف به طرف دیگر کاهش دهند ازترانسفورماتورهای ایزوله (شکل ۱۲-۴) استفاده می کنند . معذالک ، بعضی مدهای عمومی و نرمال نویز میتوانند عبور کنند .

شکل ۱۲-۴ - ترانسفورماتور ایزوله

یک محافظ الکترواستاتیک همانطورکه درشکل (۱۳-۴) نشان داده شده است ،درحذف مد عمومی نویز مؤثر است .معذالک هنوز هم تعدادی از مدهای طبیعی نویز به دلیل کوپلاژ خازنی و مغناطیسی می‌توانند به بار راه یابند . بنابراین از رسیدن نویز فرکانس بالا واضافه ولتاژ گذرا به بار جلوگیری میشود و از رسیدن هر نویز تولید شده بر و ضفه ولتاژ های گذرا به بقیه سیستم جلوگیری می شود. ضربه‌های متناوب ولتاژ مربوط به‌کلیدزنی الکترونیک قدرت یک مثال از این مسئله است که میتواند توسط یک ترانسفورماتور ایزوله به طرف بار محدود شود .کلیدزنی‌خازنی و اضافه ولتاژهای‌گذرای صاعقه در سیستم مورد استفاده ضعیف می شوند ، و بدین ترتیب ازقطع برق بیمورد موتورهای گردان با سرعت قابل تنظیم و سایرتجهیزات جلوگیری می شود.

شکل ۱۳-۴ - ترانسفورماتور ایزوله با محافظ الکتروستاتیک

کاربرد دیگر ترانسفورماتورهای ایزوله این است که به استفاده کننده اجازه می دهند تا مرجع زمین جدیدی تعریف کند . این ارتباط جدید نول به زمین ، ولتاژهای نول به زمین را در تجهیزات حساس محدود می کند.

فیلترهای پایین گذر ، از قانون مدارهای پی مطابق شکل ۹-۴ استفاده میکنند تا به حفاظت بهتری برای اضافه ولتاژهای گذرای فرکانس بالا دست یابند. برای استفاده عمومی در مدارهای الکتریکی ، فیلترهای پایین گذر ازترکیب اندوکتورها وخازنهای موازی تشکیل می شوند . این ترکیب LC مسیر امپدانسی کمی به زمین ، برای‌فرکانسهای نوسانی انتخابی فراهم می کند. درحفاظت موج ، تجهیزات اندازه گیری ولتاژ بصورت موازی به خازنها وصل می شوند و در بعضی از طرحها هیچ خازنی وجود ندارد.

درشکل ۱۴-۴ یک محافظ هیبرید عمومی نشان داده شده است که از ترکیب دوخفه کننده موج ویک فیلتر پایین گذر استفاده شده است تا امکان حداکثر حفاظت فراهم شود . در این شکل از محافظ با فاصله هوائی قبل از انتها استفاده شده تا اضافه ولتاژهای گذرای با انرژی زیاد را حفاظت کند .فیلتر پایین گذر انتقال اضافه ولتاژهای گذرای فرکانس بالا را محدود می کند. اندوکتور کمک می کند تا اضافه ولتاژهای گذرای فرکانس بالا مسدود شوند وآنها را به داخل اولین خفه کننده وارد میکند . خازن نرخ افزایش را محدود میکند ، درحالیکه مقاومت غیرخطی (MOV) دامنه ولتاژ را درتجهیزات حفاظت شده قطع می نماید.

شکل ۱۴-۴ - محافظ ولتاژ گذرای هیبرید

تغییرات دیگر در این طرح این است که مقاومت های غیر خطی (MOV) را روی هر دو طرف فیلترها بکار می گیرند و میتوان خازنها را همچنان در ابتدا و انتها نگهداشت .

شکل ۱۵-۴ - تنظیم کنندهٔ قدرت با امپدانس کم

تنظیم کننده های فشار ضعیف (LIPCS) ، عمدتاً جهت استفاده در کلیدهای قطع و وصل منابع تغذیه و ادوات الکترونیکی بکار می‌روند. این تنظیم کننده ها با ترانسفورماتورهای ایزوله که در آنها مقدار امپدانس بسیارکم است ، فرق دارند و در قسمتی از طرحشان دارای فیلتری می باشند (شکل ۱۵-۴) . فیلتردر قسمت خروجی قرار دارد و عمل حفاظت در مقابل اغتشاشات مد نرمال ومد عمومی با فرکانسهای بالا در سمت منبع را انجام می‌دهد (برای مثال نویز و ضربه) . باید توجه کرد که اتصال نول به زمین جدید به دلیل وجود ترانسفورماتورهای ایزوله درطرف بار میتواند انجام شود . در هر صورت ولتاژهای گذرا با فرکانسهای پایین تا متوسط (کلیدزنی خازن) می تواند سبب بروز مشکلاتی برای این تنظیم کننده (LIPCS) شود و اضافه ولتاژ گذر درآن می تواند توسط خازن فیلتر خروجی بزرگ شود.

۴-۴ - حالتهای گذرای کلیدزنی خازن در شبکهٔ توزیع

دراین بخش چگونگی ارتباط شبکهٔ توزیع با مسائل مربوط به اضافه ولتاژهای گذرای کلیدزنی خازن توضیح داده می شود .

۱-۴-۴ - زمانهای کلیدزنی

اضافه ولتاژهای گذرای کلیدزنی‌خازن بسیارمتداول هستند و معمولاصدمه ای وارد نمیکنند . معذلک ممکن است بهمین علت بعضی بارهای حساس صنعتی در زمان کلیدزنی ناموفق باشند. برای مثال ممکن است با توجه به اینکه باردریک زمان مشخص در هر روز بالا می رود مؤسسه‌ای تصمیم بگیردکه خازنها را همزمان با افزایش بار وارد مدارکند. حالتهای مختلفی وجود داردکه این پدیده با شروع کار هر شیفت همزمان شده وبلافاصله بعدازشروع فرایند باعث قطع چند موتورگردان با سرعت

قابل تنظیم گردد. یک راه حل ساده و ارزان این است که به کاربرهای نهایی که تحت تأثیر قرار می گیرند توجه کنیم و بررسی نمائیم آیا زمان قابل قبول گذر وجوددارد. برای مثال ممکن است قادرباشیم خازن رادرچند ثانیه قبل ازشروع شیفت وقبل ازاینکه بارواقعاً بالا رودوارد مدارکنیم . ممکن است نیازی به سوئیچینگ بعدی خازن نباشد ، و در این صورت احتمالاً به چیزی صدمه وارد نخواهدشد . اگراین راه حل نتواند بکاررود راه حل های گرانتر دیگر را باید بکار برد.

۲-۴-۴ - مقاومتهای ازپیش تعبیه شده

مقاومتهای از پیش تعبیه شده می توانند اضافه ولتاژهای گذرای کلید زنی خازن را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش دهند . معمولا اولین پیک ولتاژ گذرا بیشترین صدمه را وارد می کند.
با قراردادن مقاومت در مدار عقیده براین است که ، اولین پیک به میزان قابل ملاحظه ای مستهلک میشود.

شکل ۱۶ -۴ یک نمونه ازوارد مدارشدن خازن بامقاومتهای ازپیش تعبیه شده رابرای کاهش اضافه ولتاژهای گذرا نشان می دهد. عمل ازپیش تعبیه کردن مقاومت ، بوسیله کنتاکت قابل حرکت که برروی اتصالات مقاومتی می لغزد وقبل ازکیدزنی خازن به اتصالات اصلی وصل می گردد انجام می‌شود . زمان ازپیش تعبیه کردن تقریبا ۲۵٪ سیکل درفرکانس ۶۰ هزترمی باشد .

تأثیر مقاومتها به اندازه خازن و جریان اتصال کوتاه قابل دستیابی درمحل ، بستگی‌دارد . جدول ۱-۴ ماکزیمم اضافه ولتاژهای گذرای مورد انتظار درهنگام تحت تانسیون قراردادن و شرایط مختلف با مقاومتهای ازپیش تعبیه شده وهم چنین بدون آن را ، نشان می دهد . مقادیرجدول ، عددهای مورد انتظارماست، مقادیرمتوسط، بطورنمونه ۱/۳ تا ۱/۴ پریونیت برای بدون مقاومتها و ۱/۱ تا ۱/۲ پریونیت برای با مقاومتها هستند.

کلیدهای با راکتورهای ازپیش تعبیه شده نیز به همین منظورتوسعه یافته اند .اندوکتور در محدود کردن مقادیر فرکانسهای گذرای بالاترمفید است . در بعضی از طراحی ها ، راکتورها عمداً با تلفات زیاد انتخاب می شوند تا حالتهای گذرای تحت تانسیون قراردادن رابسرعت مستهلک نمایند.

شکل ۱۶-۴ - کلید خازن با مقاومتهای از پیش تعبیه شده

جدول ۱-۴ - اضافه ولتاژهای گذرای ماکزیمم مربوط به کلید زنی خازنی با یا بدون مقاومت

Size (kvar)	Available short circuit (kA)	Without resistor (per unit)	With 6.4-Ω resistor (per unit)
900	4	1.95	1.55
900	9	1.97	1.45
900	14	1.98	1.39
1200	4	1.94	1.50
1200	9	1.97	1.40
1200	14	1.98	1.34
1800	4	1.92	1.42
1800	9	1.96	1.33
1800	14	1.97	1.28

Courtesy of Cooper Power Systems.

۳-۴-۴- وصل همزمان

راه حل دیگر برای کاهش حالتهای گذرادر کلید زنی خازن ، استفاده ازیک بریکر وصل کننده‌همزمان است .وصل همزمان‌ازطریق همزمان کردن اتصال کنتاکت ها ازحالتهای گذرا جلوگیری می کند بطوریکه ولتاژ سیستم باولتاژ خازن درلحظه ای که کنتاکتها وصل می شوند بسیاربهم نزدیک می شوند . همچنین ازتغییر پله ای درولتاژ که‌با وارد مدار شدن خازن ها، بطورطبیعی‌اتفاق‌می‌افتدوسبب می‌شود که مدارنوسان کند جلوگیری می کند.

شکل ۱۷-۴ یک مثال ازیک دیژنکتور که به این منظور طراحی شده است را نشان می دهد .

این قطع کننده بطورنرمال‌درسیستم انتقال یا توزیع بکارمی‌رود (کلاسهای۷۲ ، ۱۴۵ کیلوولت) و یک بریکر SF6 سه فازمی باشد که ازیک مکانیزم عمل با طراحی خاص متشکل از سه میله گردان قابل کنترل مستقل استفاده می کند . وقادر است با ولتاژ صفر . در یک میلی ثانیه بسته شود. عوامل

شکل ۱۷-۴ - دیژنکتور قطع کننده همزمان

مختلف مثل درجه حرارت محیط بیرون ، ولتاژ کنترل ، انـرژی ذخـیره شـده وزمـان را ازآخریـن عملکرد برای جبران الگورتیم ها در پیش بینی زمان کنترل بکار میگیرند. در عملکرد واقعـی قطـع کننده ها بمنظورتنظیم زمان بندی جهت عملیات آینده ، نمونه گـیری انجـام می‌شـود تـا تغیـیرات درمشخصات مکانیکی را جبران کنند.

شکل ۱۸-۴ کلید دیگری که به این منظورساخته شده است را ، نشان می‌دهد.که‌یک کلیـد خـلاء است و در بانکهای خازنی توزیع درکلاسهای ۱۵تا۲۳۰کیلوولت استفاده می شود . شامل سـه قطـب مستقل با مکانیزمهای عمل مجزا می‌باشد زمان برای بستن همزمان با یک ولتاژ که ازمقدار زیـاد بـه صفر می رسد محاسبه می شود. وموفقیت آن‌به‌عملکرد درست کلید خلاءبستگی‌دارد کـه بطورعـادی در ۰/۲۵ میلی ثانیه با ولتاژ صفربسته می شود .کلید جریان های هجومی خازن را با یـک فرمـان در دامنه و ولتاژگذرای حدود ۱/۱ پریونیت ، کاهش می دهد.

شکل ۱۸-۴ - کلید خازن سنکرون ۶۹ کیلوولت

۴-۴-۴- محل خازن

در فیدرتوزیع ، بانکهای خازن می تواند به یک مشترک حساس ویامحلی کـه اضافـه ولتاژهـای گذرا تمایل به بزرگتر شدن دارند بسیار نزدیک شود .

اغلب می‌توان خازن را به طرف پائین مدار یا شاخه دیگری از مدارحرکت داد ومشکل را حل کرد. استراتژی این است که با مقاومت بیشتر درمدار هم استهلاک بیشتری ایجاد کنیم وهم‌امپدانس بیشتری بین خازن ومشترک حساس بدست آوریم.

موفقیت این استراتژی به تعدادی از عوامل بستگی دارد . البته اگر خازن در یک بار بزرگ قرارداده شودکه قدرت راکتیورا برای‌آن بار بخصوص فراهم کند ، حرکت دادن بانک ممکن است یک هدف نباشد . در این صورت باید روش کلیدزنی ملایم و یا کلیدزنی در زمانهای غیر بحرانی باید مورد مطالعه قرارگیرد.

۵-۴ - حفاظت تاسیسات ازصاعقه

بسیاری از مسائل کیفیت توان ریشه در صاعقه دارد . نه فقط پیمانسهی ولتاژ بالامی توانند به تجهیزات بارصدمه وارد کنند بلکه خطای موقتی که از اصابت صاعقه به خط حادث می شود نیز می‌تواند سبب کمبودها ، و قطع برق شود.

در اینجا چند استراتژی برای کاهش صدمات صاعقه شرح داده‌می شود.

۱-۵-۴ - سیم محافظ

یکی از استراتژیهای در دسترس مؤسسات برق برای خطوطی که بویژه نسبت به ضربات صاعقه حساس هستند ، ایجاد سیم زمین (سیم گارد) می باشدکه بیشتر ضربه های صاعقه را قبل از اصابت آنها به سیمهای فازمی گیرد . این استراتژی می تواند مؤثر باشد ، لیکن لزوماً از جرقه های خط ، بدلیل احتمال برگشت جرقه ، جلوگیری نخواهدکرد.

ستفاده ازسیم زمین برای خطوط در مؤسسات برق در سطوح ولتاژ انتقال و در پستها امری متداول است . درخطوط توزیع ، بدلیل هزینه مربوط به قراردادن سیم نول زمین شده در بالای سیمهای فاز و فایده‌کمتر آن در سطوح پایین ترجرقه ، استفاده ازآن عمومیت ندارد.

درسیستم توزیع سیم نول زمین شده ، معمولاً برای سهولت در اتصال ، وسایل خط مانند ترنسفورماتورها و خازنها سیم نول درزیرهادیهای فاز بصورت معلق کشیده می شوند . عامل دیگر این است که برای نصب سیم زمین در بالا، پایه های بلندتری مورد نیاز میباشند . بنابراین سیم زمین

هزینه قابل ملاحظه‌ای را ایجاد می کند که برای شبکه های فشارمتوسط منطقی نیست این کاربرد بسادگی افزودن یک سیم و زمین کردن آن در فاصله هر چند تیر نمی‌باشد.

وقتیکه صاعقه به سیم‌زمین اصابت می کند ، ولتاژ در بالای پایه هنوز بسیار زیاد است و می‌تواند سبب برگشت جرقه‌ها به خط شود . بنابراین دریک خطای آنی برای می‌نیمم کردن این امکان باید ، مسیرسیم زمین درپایه ها به دقت انتخاب شود تا حریم کافی با هادیهای فاز داشته باشد.

همچنین مقاومت سیم زمین شده نقش مهمی رادردامنه ولتاژ ایفا می کند وباید تاحدممکن پایین نگهداشته شود. این مسئله وقتی آشکارمی شود که به یک بخش مشخص ازفیدرمکرراً ضربه وارد شود. ممکن است منطقی باشد که این بخش ازخط رابایک سیم زمین اضافی تقویت کنیم تا تعداد خطاهای گذرا کاهش یافته وکیفیت توان در سطح بالاتری نگهداری شود . شکل ۱۹-۴ این مفهوم را نشان میدهد.

شکل ۱۹-۴ - محافظت قسمتی از یک فیدر توزیع برای کاهش اثر خطاهای القائی صاعقه

نصب سیم زمین درچند فاصله نزدیک به پست معمولاً یک کار متداول است . پستها عموماً با سیم زمین محافظت می‌شوند. و این کمک می کند تا از خطاهای جریان زیاد نزدیک به پست که می تواند به ترانسفورماتورها و قطع کننده‌های پست آسیب برساندجلوگیری کند.

بخش‌دیگری ازفیدرها ، ممکن است درنوک تیزحمله باشد ، بحدی که بطورغیرعادی درمعرض صاعقه قرارگیرد. تعبیه سیم زمین درآن ناحیه ممکن است‌یک راه حل مؤثر کاهش خطاهای القایی صاعقه باشد .

طول پایه های موجوددرایـــن بخـش هـای آسـیب پذیـر بـاید بلندترانتخـاب شودتاسـیم زمیـن رابتوان‌برروی آنها تعبیه نمود.برقگیرهای خط می توانند یک وسیله مؤثر واقتصـــادی بـرای کـاربرد بیشتر در این زمینه باشند.

۲-۵-۴ - برقگیرهای خط

راه حل دیگربرای خطوطی که مکرراً به آنها ضربـه وارد مـی شـود بکـاربردن برقگیرهـا بطـور پریودیک درطول سیم فازاست . معمولاً در خطوط هوائی ابتدا در مقـره هـای پایـه هـا جرقـه زده می شود . بنابراین با جلوگیری از زدن جرقه درمقره بطورعمده نرخ قطع برق وبیشبود ولتاژ، کـاهش می یابد . استانبری [۵] اعتقاد داردکه این امرازتعبیه سیم زمین اقتصادی تراست.

همانطورکه درشکل ۲۰-۴ نشان داده شده ، برقگیر مقداری از جریان ضربه را در هنگام عبـــور از خط را جذب می کند . مقداری که هر برقگیر به تنهایی جذب می کند بستگی به مقاومت سیم زمین

شکل ۲۰-۴ - برقگیرها مقداری از جریان اصابت صاعقه را هنگام عبور از خط جذب می کنند

دارد. ایده این است که برقگیرها بقدرکافی نزدیک نصب شوند تا ازاضافه شدن ســطح ضربـه‌اصلی ولتاژ (BIL) درعایقهای خط در پایه های محافظت نشده دروسط جلوگیری کنند . بـرای ایـن کـار معمولاً لازم است که درهردو یا سه پایه یک برقگیر قرار دهیم . درموقعیتـی کـه یـک فیـدر بـار حساس بزرگی راتغذیه می کند ، یا اینکه یک فیدر بامقاومت زمین زیاد وجود داشته باشد ، ممکـن است لازم باشد که در هر پایه یک برقگیر قرار دهیم . یک مطالعه گـذرا در مـورد آرایـش هـای مختلف ، آنچه که موردنیاز است را روشن می سازد .

در حال حاضر برقگیرهای کافی روی خطوط زیادی درنواحی با جمعیت متمرکز قرارداده شده است تا شرایط مطلوب بدست آید . ازآنجائیکه برقگیرها روی همه ترانسفورمرهای توزیع در اغلب نقاط آمریکای شمالی بکارمی روند ، یک برقگیر روی هردویا سه پایه معمولاً حفاظت کافی برای خط را فراهم می کند . شکل ۲۱-۴ یک نمونه از برقگیر در این کاربرد را نشان می‌دهد.

شکل ۲۱-۴ - نمونه برقگیر
شبکهٔ توزیع

۳-۵-۴ - ضربه های طرف فشارضعیف

بعضی از مشکلات مشترکین و مؤسسات برق با ضربه های صاعقه بستگی نزدیکی دارند . بسیاری از مهندسین ، ضربه طرف فشارضعیف را یکی ازمهمترین مشکلات می دانند . این اصطلاح ضربه طرف فشار ضعیف توسط طراحان ترانسفورماتورتوزیع رایج شد ، چون این پدیده در ترانسفورماتور موقعی که یک موج جریان ناگهان به داخل ترمینالهای سمت فشارضعیف آن تزریق می شود ظاهر میگردد به عنوان یک قاعده عمومی مؤسسات برق ، برقگیرهای طرف ثانویه را درسطح ولتاژپایین بکارنمی برند. ازدیدگاه مشترک اینطور بنظر میرسد که ضربه فوق ، ضربه‌ای است که از طرف شرکت های برق وارد می شود و اصطلاحاً « ضربه ثانویه » نامیده می شود .

در واقع هر دو مسئله دو جهت اثرات همان پدیدهٔ موج می باشند . جریان صاعقه چه از طرف مؤسسات برق و چه از طرف مشترکین در طول کابل نول سرویس جاری می شود . شکل۲۲-۴ یک سناریوی محتمل را نشان می دهد. صاعقه به خط اولیه ضربه می زند وجریان از طریق هدایت ، از برقگیر اولیه به زمین پایه تخلیه می‌شود. این هدایت همچنین از بوشینگ X2 ترانسفورماتور در بالای پایه عبور میکند . بنابراین مقداری از جریان بسوی زمین بار جاری خواهد شد . مقدار جریان جاری شده به داخل زمین بار به اندازه مقاومت زمین پایه مربوط به زمین بار بستگی دارد . عناصر اندوکتیو می توانند نقش مهمی‌را در تقسیم جریان پیشانی موج ایفا کنند . ولی مقاومتهای زمین اساساً تقسیم جریان کامل ضربه را دیکته می کنند .

جریانی ازطریق کابلهای ثانویه جاری می شود سبب افت ولتاژ در هادی خنثی می‌شود که فقط قسمتی ازآن توسط اثرات القای متقابل با هادیهای فاز جبران می شود . بنابراین ولتاژ شبکه ای وجود داردکه جریان را واداربه عبور ازطریق سیم پیچهای ثانویه ترانسفورماتور به داخل بار می کند ، همانطورکه در شکل با نقطه چین نشان داده شده است .

شکل ۲۲-۴ - برقگیر اولیه جریان تخلیه را بین سیستم زمین پایه و بار تقسیم میکند

اگر مسیرکاملی وجود نداشته باشد مقدار معتنابهی جریان موج پراکنده خواهد شد و همانطورکه از ثانویه ترانسفورماتورمی گذرد ، یک موج ولتاژ به داخل اولیه القاء می شود که بعضی اوقات سبب یک شکست لایه به لایه درنزدیکی انتهای‌سیم زمین می شود. برای فواصل کوتاه زدن جرقه **عمومیت** دارد ، البته همیشه به ثانویه صدمه وارد نمی شود ، زیرا خاصیت عایقی فواصل به اندازه

مترمعمولاً ۶ تا ۸ کیلوولت یا بیش از آن می باشد . مقدار ولتاژ القاء شده درکابل بـه نـرخ افزایـش جریان و همچنین به پارامترهای دیگری مثل اصابت صاعقه بستگی دارد.

مهمترین مسائل مربوط به کیفیت توان در این موارد عبارتند از:

- ضربه ورودی به بار می تواند سبب شکست یا عمل نادرست تجهیزات بار شود.
- ترانسفورماتورتوزیع دچارخطا شده و باعث قطع برق بیشتر می گردد.
- ترانسفورماتور دچار خطا ممکن است باعث ایجاد اضافه ولتاژهای دائمی در بار شود ، زیرا قسمتی از سیم پیچهای اولیه اتصال کوتاه شده و در نتیجه نسبت تبدیـل ترانسـفورماتورکاهش مـی یـابد . خطاها معمولا درثانیه ها رخ می‌دهند ، ولی اینطور بنظر میرسدکه ساعتها طول می کشند.

علت این مسئله مقدار جریان موجی است که از طریق کابل سرویس ثانویه مـی گـذرد . بخـاطر داشته باشید که همان اثر بدون توجه به جهت جریان اتفاق می افتد .آنچه که ضروری است اینستکه جریان به مدار زمین جاری شود و قسمت باقیمانده جریان از طریق سیم زمین دیگر تخلیه شود.

بنابراین ضربه های صاعقه هم برای سیستم مؤسسات برق و هـم وسـایل اسـتفاده کننـده نهـایی می تواند همان علائم مشابه را ایجاد نماید . حفاظت ترانسفورماتور بیشتر یک بحـث درتـأمین بـرق مشترکین مسکونی است ولی‌حالتهای گذرای ثانویه درسیستمهای صنعتی هم ممکن است نمایان شود.

حفاظت ترانسفورماتور:

دو روش عمومی برای موسسات برق درحفاظت ترانسفورماتور وجود دارد.

۱- استفاده ازترانسفورماتور با سیم پیچهای ثانویه بهم بافته.

۲- بکار بردن برقگیر در ترمینالها .

روش اول مربوط به طراحی مشخصات ترانسفورماتور است و بـرای ترانسـفورماتورهای سـاخته شده دفعتاً قابل تغییر نیست. اگرطراحی ترانسفورمریک طراحی بهم بافته نباشد، تنهاراه حل بکاربردن برقگیرها در سمت ولتاژ پایین اسـت . توجـه شـود کـه برقگـیر هـا در مدخـل سـرویس بـار از ترانسفورماتور حفاظت نخواهند کرد ، البته اگر واقعاً یک مسیرجریان موج وجود داشته باشد ، سبب فشار اضافی روی ترانسفورماتور می شود. در حالیکه ترانسفورماتورهای بهـم بافتـه نـرخ خطـای کمتری در نواحی مستعد صاعقه نسبت به ترانسفورماتورهای غیر بهم بافته دارند ، ولی شواهد اخـیر

نشان می دهند که برقگیرهای ولتاژ پایین موفقیت بهتری درجلوگیری از خطاها دارند . شکل ۲۳ -۴ یک نمونه از ترانسفورماتور توزیع بالای پایه راکه بخوبی حفاظت شده نشان می دهد.

شکل ۲۳-۴ - حفاظت ترانسفورماتور توزیع در مقابل صاعقه با برقگیر اولیه وثانویه

برقگبر اولیه با طولهای هدایت کوتاه مستقیماً روی مخزن قرارمی گیرد . از آنجائیکه امواج صاعقه در پیشانی شیب تندتری نسبت به آنچه که گذشتگان معتقد بودند دارند برای حفاظت خوب ، لوازم بیشتری را میطلبند . یک سیم فیوز مخصوص درفیوزکات اوت لازم است تا از صدمه فیوز در تخلیه جریان صاعقه جلوگیری کند . حفاظت ترانسفورماتور با یک برقگیر ثانویه قوی کامل می شود .

شکل ۲۳ - ۴ برقگیرثانویه قوی ، که مناسب برای نصب خارجی روی ترانسفورماتورها باشد را نشان میدهد. برقگیرهای نصب شده داخلی نیز دردسترس هستند . یک برقگیر بارنج ۴۰ کیلوآمپر جریان تخلیه پیشنهاد می شود . ولتاژ تخلیه دراین کار چندان بحرانی نیست ، ولی بطور نمونه ۳ تا ۵ کیلوولت است . عموماً فر ض می شود که ثانویه های ترانسفورماتور با BIL ۲۰ تا ۳۰ کیلوولت هستند. برقگیرهای نوع فاصله ای نیز برای این کارمورداستفاده قرارمیگیرند ولی سبب ضعیف شدن ولتاژ می شوند درحالی که برقگیرهای نوع مقاومت غیر خطی (MOV) دارای این اشکال نیستند.

تاثیربر روی مدارهای بار:

شکل ۲۴-۴ یک شکل موج ولتاژ اندازه گیری شده در محل خروجی الکتریکی در یک آزمایشگاه سرهم شده درسرویس خانگی را نشان میدهد. برای یک اصابت کوچک نمونه‌به خط اولیه

(۲/۶ کیلوآمپر) ولتاژها در خروجی تقریباً به ۱۵ کیلوولت می رسند . در واقع ضربه های جریان بالاتر سبب جرقه های تصادفی به مدارتحت آزمایش می شوند که اندازه گیریها را مشکل‌می سازد.

شکل ۲۴-۴ - ولتاژ ظاهر شده در خروجی طرف فشار ضعیف در اثر موج

این تجربه گزارش شده نشان دهنده ظرفیت این امواج است که سبب مشکلات اضافه ولتاژ می‌شود. یک موج نوسانی با فرکانس بسیار زیاد روی قسمت اصلی موج طرف فشار ضعیف سوار می شود. نوسان به طولهای کابل بسیار حساس است و یک مقدارکوچک از بار مقاومتی مثل یک لامپ برق ، سهم بزرگی در مستهلک کردن دارد . موج نوسانی بسته به اینکه موج در چه جائی وارد شود ، فرق می کند ، درصورتیکه موج در طرف فشار ضعیف وارد شود شکل موج بیشتر به شکل موج جریان عبوری از کابل سرویس بستگی دارد.

نکتهٔ جالب اینکه امواج دوار (ringing) بسیارسریع هستند بطوریکه حتی اگر ولتاژ دو برابر مقدار نامی جرقه (spark over) شود توسط فواصل درحد مترگرفته می شود.

درآزمایشات ، خروجیها و لامپها در برابر این نوع از موج می توانند برای حدودیک میکروثانیه قبل از اینکه جرقه بزنند مقاومت کنند . بنابراین امکان داردکه بعضی از اضافه ولتاژهای بالا در سراسر سیستم منتشر شوند . شکل موج در این تجربه ولتاژ مدار باز قابل دستیابی را نشان می دهد. درعمل ، یک جرقه درهرجایی از مدار بعد از مدت کوتاهی می تواند اتفاق افتد . برقگیرهای

غیر خطی ، در مقابل یک موج دوار فرکانس بالا بدلیل اندوکتانس طول هدایت کاملاً مؤثر نیستند. ولی برای بخش فرکانس پایین تر این گذراها که انرژی بیشتری دارند ، خیلی مؤثرند . برقگیرها هم در مدخل و هم در خروجی بارهای حساس باید نصب شوند . بدون برقگیرهای ورودی که بخش اعظم انرژی را می گیرند ، برقگیرهای خروجی درمعرض شکست هستند . و این دقیقاً در مورد وریستورهای اکسید فلزی (MOV) تکی که با روش خط-زمین متصل می شوند درست است . با وجود برقگیرهای ورودی سرویس درمحل ، صدمه محافظهای خروجی و محافظهای تکی بکار برده شده بسیار نادر است مگر اینکه محل اصابت صاعقه به آنها نزدیکتر از ورودی سرویس باشد .

به برقگیرهای ورودی سرویس برای حفاظت کل تجهیزات نمی توان تکیه کرد .آنها در از بین بردن توده انرژی موج نقش مفیدی را ایفامی کنند ، ولی برای بارهای دور دست نمی توانند ولتاژ را بقدرکافی فرونشانند . برقگیرهای ترانسفورماتور اگرچه فقط ۱۵ متر دورتر باشند ، نمی توانند جای برقگیر ورودی سرویس را بگیرند ، این برقگیر در واقع برای موج جریان طرف فشار ضعیف (low - side) بطور سری با بارمی باشد. راهنمای اصلی برای حفاظت برقگیر این است که یک برقگیر را مستقیماً در محل ساختارعایقی که باید حفاظت شود قرار دهیم . این در مورد حفاظت بارهایی مثل پمپهایی که در اعماق چاههای آب قرار میگیرند بسیار سخت است . بیشترین حفاظت با یک برقگیر که مستقیماً در موتور تعبیه شده فراهم میشود تا اینکه در سطح بتواند کنترل کند.

بعضی حالات ممکن است پیش بیاید که نتوان در رابطه با ولتاژ ضربه ای که در خروجی بوجود می‌آید ، اقدامی نمود مانند اختلاف ولتاژی که بین دو مبدأ سیم زمین بوجود می‌آید . خطای بسیاری ازگیرنده های تلویزیون از این مقوله است . اتصال درست سیمهای زمین نیز مانند حفاظت برقگیرها مورد نیاز است.

سطح حفاظتی برقگیرهای ورودی سرویس برای ضربه های صاعقه بطور نمونه حدود ۲کیلوولت است . قابلیت حمل جریان ضربه صاعقه باید شبیه به برقگیر ثانویه ترانسفورماتور یا حدود ۴۰ کیلوآمپر باشد . یادآوری می شود که برای اضافه ولتاژهای فرکانس پایین ، برقگیر با پایین ترین ولتاژ تخلیه برای گرفتن شدت عمل مناسب است . برقگیرهای نوع غیر خطی بدون اینکه سبب مشکلات اضافی کیفیت توان مثل قطع یا تضعیف شوند اضافه ولتاژها را نگه می دارند.

۴-۵-۴ - حفاظت کابل

منشأ بسیاری از قطع برق ها که در حال گسترش هم میباشد خطاهای ناشی از کابل ها است . اولین کابلهای توزیع که در امریکا از آنها استفاده شده است اکنون به پایان عمرشان رسیده‌اند . با ازدیاد عمر کابل عایق آنها ضعیف تر می شود و اضافه ولتاژ گذرای متوسطی می تواند سبب شکست آنها شود . بسیاری از کاربران روشهای ادامه عمر کابل را در حفاظت با برقگیر یافته اند.

جایگزینی کابلها باکابلهای جدید هزینه زیادی در بردارد بطوریکه اغلب بهتر است حتی اگر سالهای کمی از عمر کابل باقی مانده باشد سیستم را با برقگیر حفاظت نمائیم.

بنا به کلاس ولتاژ کابل ممکن است یک برقگیر روی پایه یایک برقگیر روی ترانسفورماتور نصب شود . (به شکل ۲۵-۴ نگاه کنید)

شکل ۲۵-۴ - کاربرد برقگیر نمونه در کابل زیر زمینی

برای فراهم کردن حفاظت اضافی ، کاربران ممکن است تعدادی از موارد زیررا انتخاب کنند.

- نصب یک برقگیرروی ترانسفورماتور ، اگر یکی وجود نداشته باشد.
- افزودن برقگیر سوم روی ترانسفورماتور یکی مانده به آخرnext-to-last
- افزودن برقگیر درهر ترانسفورماتور.
- افزودن برقگیرهای ولتاژ با تخلیه کم مخصوص.
- تزریق یک مایع عایق بهبود دهنده به داخل کابل.
- بکاربردن یک برقگیر طرح اسکات روی اولیه (بخش ۵-۵-۴ راببنید)

طبق نظریه هاپکینسون [۹] ، طول عمر کابل ، تابعی اکسپانسیل ازتعداد ضربه های با دامنه مشخصی است که دریافت می کند.

زیان وارده به یک کابل بارابطه زیرنشان داده می شود.

$$D = NV^c$$

که در آن

D ثابت ، نمایانگرصدمه به کابل

N تعداد ایمپالسها

V دامنه ایمپالسها

c ثابت تجربی ازرنج ۱۰ تا ۱۵

بنابراین ، هرعاملی که دامنه ایمپالسها را فقط کمی کاهش دهد ، می تواند طول عمرکابل را به مقدار زیادی افزایش دهد.

برقگیر نقطه باز (open - point) :

موجهای ولتاژ وقتیکه به یک نقطه باز برخورد کنند ، دامنه شان دو برابرمی شود . بنابراین پیک ولتاژی که روی یک کابل ظاهرمی شود، حدود دو برابر ولتاژ تخلیه برقگیر riser - pole است.

در کابلهای جدید ، فاصله کافی وجود دارد که بدون برقگیرهای نقطه باز به بعضی ازکلاسهای ولتاژ برسیم. چون برقگیرهای روی ترانسفورماتور در ۳۵ کیلوولت متداول هستند ، بطورکلی در ولتاژ پایین‌تر استفاده نمی شوند.

هرگاه تعداد شکستهای کابل به علت طوفان به مقدار قابل توجهی افزایش یابد ، اولین انتخاب افزودن یک برقگیر در نقطه باز می باشد (درصورتیکه قبلاً وجود نداشته باشد).

یکی مانده به آخرین ترانسفورماتور:

برقگیرهای نقطه باز خطاهای کابل در طی طوفانهای صاعقه را کاملاً حذف نمی‌کنند. با یک برقگیر نقطه باز بزرگترین فشار اضافه ولتاژ عموماً در نزدیکی آخرین ترانسفورمر یافت میشود . شکل ۲۶-۴ این حادثه را نشان می دهد. قبل از اینکه برقگیر نقطه باز ، شروع به هدایت کند ، مانند یک مدار باز موج ورودی را منعکس می کند . بنابراین موجی حدود نصف ولتاژ تخلیه خیز-پایه (riser_pole) به عقب برمی گردد. اگر موج جلویی دارای سراشیبی تندی باشد و برقگیر اندوکتانس را به کمک انعکاس مختصری ،هدایت کند ، موج حدود نصف ولتاژ تخلیه ، می تواند حتی خیلی بزرگتر شود.

این حالت دریک پالس خیلی کوتاه سوار بر نوک موج ولتاژ همانطورکه به سوی خیز-پایه (riser-pole) می رود به سرعت از هم پاشیده می شود . معذالک در ترانسفورماتورهای با چند صد

تغذیه از یک نقطه باز ، میتواند همچنان فشار اضافی قابل توجهی وجود داشته باشد . بنابراین ما اغلب شکستهای ترانسفورماتور و کابل را در این محل می بینیم.

شکل ۲۶-۴ - ولتاژهای ضربه در طول کابل با یک برقگیر نقطهٔ بار

این مشکل رامی توان به آسانی بایک برقگیر اضافی درمحلی نزدیک به آخرین ترانسفورماتورحل کرد.درواقع ، این برقگیر دوم ، همچنانکه حفاظت کافی برای بقیه سیستم کابل فراهم می کند، عملاً ضربه رامحو می کند. بنابراین ، عده ای معتقدند که بهترین شکل حفاظت کابل (UD) ، استفاده ازسه برقگیر می باشد یک برقگیر قابل نصب روی پایه ، یک برقگیر قابل نصب روی ترانسفورماتور و یک برقگیر در نزدیکی نقطه باز . این انتخاب تقریباً به خوبی داشتن برقگیرها درهمه ترانسفورماتورها است و هزینه اش بخصوص از بازسازی کابل خیلی کمتر است.

برقگیرهای روغنی (under - oil) :

سازندگان ترانسفورماتورها می توانند برای حفاظت سیستمهای کابل(UD) برقگیرهای روغنی با ولتاژ اولیه در داخل کیوسک ترانسفورماتور ، تعبیه کنند . با این عمل حفاظت خوبی از سیستم کابل (UD) با داشتن برقگیرهای توزیع شده در طول کابل فراهم می شود . البته این حفاظت بایک افزایش هزینه همراه است که باید اقتصادی بودن آن درکاربرد محاسبه شود.

برقگیرهای زانوئی

معرفی برقگیرهای زانوئی برای اتصالات ترانسفورماتورها با سیستمهای کابل (UD) ، از نظر اقتصادی حفاظت را مانند طرحهای قبل برآورده نمیکند . در گذشته نصب برقگیر روی سیستمهای

کابل(UD) ، با تکنولوژی برقگیر هوائی بوده و هزینهٔ زیادی داشته است . این موضوع یکی از دلایل عدم استفاده گسترده برقگیرهای قابل نصب روی ترانسفورماتور بوده است.

راه حل دیگر برقگیرهای روغنی (under oil) بودند واین راه حل هم خیلی گران بود زیرا نیازمند تعویض ترانسفورماتور کیوسکی برای استفاده از برقگیر نقطه باز بود . در حال حاضر، برقگیر یک قسمت جدائی ناپذیر از سخت افزار سیستم توزیع است که نصب آن تقریباً در هرنقطه ای از سیستم عملی است و انتخاب خوبی برای بسیاری از برنامه های بازسازی می‌باشد.

برقگیرهای با تخلیه پایین تر

بعضی از تکنولوژیهای جدید تر برقگیرها بخصوص برای حفاظت از کابل (UD) ، توسعه یافته‌اند. هدف این بود که در شرایط موج صاعقه ، درحالیکه همچنان قابلیت ایستادگی در برابر شرایط عادی سیستم را فراهم می کنیم ، به میزان قابل توجهی به ولتاژ تخلیه پایین تری دست یابیم . یک تکنولوژی قابل ترویج درحال حاضربرقگیر غیر خطی (MOV) بافاصله هوائی (شکافدار) می‌باشد.

درسال ۱۹۷۰ ، مسئولان جایگزین کردن برقگیرهای "سیلیکن کار باید شکافدار" را با برقگیرهای غیرخطی(MOV) بدون فاصله هوائی شروع کردند. فاصله های هوائی منشاء بسیاری از مشکلات همراه با ساختمان برقگیر بود و بسیاری مایل بودند که ازآ ن رهایی یابند. سیلیکن کار باید به سوراخهایی نیاز دارد که ازجاری شدن جریانها در ولتاژهای کارمعمولی جلوگیری کند . تکنولوژی وریستورهای اکسید فلزی(MOV) درحالیکه ولتاژهای تخلیه مشابه وعمل مطمئن تری را فراهم می کند می تواند در مقابل ولتاژهای سیستمهای معمولی مقاومت کند . با ترکیب فواصل هوائی و تکنولوژی مقاومت غیر خطی (MOV) می تواند بهبودی از ۲۰ تا ۳۰ درصد در محدوده حفاظتی ایجاد شود . فواصل هوائی در طی بهره‌برداری حالت پایدار در ولتاژ سهیم می شوند و از فرارحرارتی در نقطه کار مقاومت غیر خطی جلوگیری می کنند.

با پیروی ازمنطق فرمولی هاپکینسون که در بالا توضیح داده شده ، با بکاربردن این نوع برقگیر در سیم کابلی (UD) می توان انتظار داشت که بهبود قابل توجهی درحیات تکنولوژی برقگیر بدست آید.

تزریق مایع:

تکنولوژی نسبتاً جدیدی است که درآن مایع تجدید کننده به محفظه کابل تزریق می شود. این مایع چاهای خالی راکه به سبب پیری عایق ایجاد شده‌اند پرمی کند و طول عمر بیشتری به کابل

می دهد . یک خلاء در انتهای گیرنده ایجادشده و با فشار روی انتهای تزریق اعمال می شود . اگرهیچ مانعی برای انسداد جریان وجود نداشته باشد ، مایع به آهستگی درکابل نفوذ می کند.

۵-۵-۴ - طرح برقگیر اسکات

عقیده استفاده از یک طرح برقگیر نوع اسکات برای حفاظت کابل UD به سالها پیش برمی‌گردد . معذالک این عقیده به علت داشتن هزینه اولیه زیاد خیلی کم بکار برده شده است . مفهوم این طرح قرار دادن برقگیرها در هرکابل برای کاهش انرژی صاعقه وارد شونده به کابل می باشد . شکل ۲۷-۴ طرح اصلی را نشان می دهد.

جریان موج صاعقه ورودی از یک ضربه درضمن حرکت به طرف پایین ابتدا با یک برقگیر نوع اسکات مواجه می شود و درآن محل بخش بزرگی از جریان به داخل زمین تخلیه می‌گردد. یک بخش کوچکتر به طرف برقگیرقابل نصب روی پایه پیشروی می کند که ولتاژ تخلیه کوچکتری را سبب می شود و این ولتاژ است که روی کابل اثرمی گذارد . برای بالا بردن حفاظت ، اولین فاصله درهریک از دو طرف پایه می تواند دارای سیم زمین شود تا ازضربه های مستقیم به خط جلوگیری کند.

شکل ۲۷-۴ - طرح برقگیر اسکات

اخیراً علاقه به استفاده از این طرح مجدداً ایجاد شده است [۱۲] و شواهد تجربی وجود دارد که طرح اسکات به جلوگیری ازشکستهای نقطه بازکابل وترانسفورماتورها کمک می کنند. هزینه تعویض ترانسفورماتور خیلی بیشتر از هزینه افزودن برقگیرهای اسکات است.

شبیه سازی ها پیشنهاد می کنند درحالیکه ولتاژ نامی تخلیه برقگیر ممکن است فقط چند درصدکاهش یابد ، بزرگترین فایدهٔ طرح اسکات می تواند این باشد که نرخ افزایش ولتاژ موج ورودی به کابل راکاهش می دهد.

این امواج تیز پیشانی از نقطه باز منعکس می شوند و مکرراً خطاها را به اولین یا دومین ترانسفوماتور کیوسکی از انتها می رسانند . برحسب طول هادی ، برقگیرها درمقابل چنین ضربه هایی همیشه موثر نیستند . طرح اسکات عملاً این ضربه را ازکابل حذف می کند . بسیاری از فیدرهای توزیع درنواحی با جمعیت متمرکز دارای طرح اسکات می‌باشند . تعداد زیادی از ترانسفورماتورها با برقگیرهائی که قبلاً روی هر دو طرف پایه نصب بوده‌اند وجود داشته‌اند.

۶-۴ - مشکلات حالتهای گذرای کلیدزنی بار

دراین بخش درباره بعضی از اضافه ولتاژهای گذرا مربوط به کلیدزنی بارتوضیح داده می‌شود.

۱-۶-۴ - قطع بیمورد موتورهای تنظیم سرعت

اکثر موتورهای تنظیم سرعت نوعاً از طرح منبع ولتاژ معکوس کننده (I S V) با یک خازن در حلقه DC استفاده می کنند . کنترلها به اضافه ولتاژهای DC حساسند و ممکن است موتورها را در یک سطح ولتاژ به اندازه ۱۱۷٪ قطع کنند . از آنجائیکه ولتاژ های گذرا ی مربوط به کلیدزنی خازن نوعاً از ۱۳۰٪ تجاوز می کند ، احتمال قطع بیمورد موتور بسیار زیاد است . یک سری از شکل موجهای نمونه برای این حادثه در شکل ۲۸-۴ نشان داده شده است.

مؤثرترین روش برای حذف قطع بیمورد موتورهای کوچک ، جداکردن آنها از سیستم قدرت توسط سیم پیچهای AC خط است .یک سری اندوکتانس اضافی سیم پیچ ، دامنهٔ ولتاژ گذرای ورودی ورودی موتورهای تنظیم سرعت را کاهش می دهد . تعیین دقیق اندازه سیم پیچ در یک کاربرد ویژه (براساس اندازه خازن وترانسفورماتور بکاربرده شده) نیازمند شبیه سازی وضعیت گذرا

باجزئیات قابل قبول می باشد. یک سیم پیچ سری با اندازه ۳٪ بر اساس قدرت کیلوولت آمپرموتـــور معمولاً کافی است .

شکل ۲۸-۴ - اثر کلید زنی خازن روی ASD ، ولتاژ DC وجریان AC

۲-۶-۴ - حالتهای گذرای ناشی ازکلید زنی بار

خارج کردن مدارهای اندوکتیو باکلید های فاصله هوایی ، مثل رله ها وکنتاکتورها ، می توانند انفجارهای ضربه‌های فرکانس بالا تولید کند . شکل ۲۹-۴ یک مثال را نشان می دهد.

شکل ۲۹-۴ - ولتاژهای گذرای سریع ایجاد شده ناشی از خارج شدن یک بار اندوکتیو

استاندارد ANSI /IEEE یک ضربه ۱۵ میلی ثانیه ای ر تعریف کرد که مرکب از ایمپالسهائی با افزایش زمان ۵ نانوثانیه وطول دوره آن ۵۰ نانوثانیه بوده است . در این نوع اضافه ولتاژهای گذرا انرژی بسیارکمی مربوط به طول دوره‌کوتاه آنها وجوددارد ، ولی آنها می توانند با عملکرد بارهای الکترونیک فصل مشترک داشته باشند .

این فعالیت حالتهای گذرای سریع الکتریکی (E F T) ، ضربه هائی بیش ازیک کیلوولت تولید می‌کنند که به موتورهای چرخشی مثل تهویه ها وآسانسورها مربوط است .جوشکاری باقوس و راه اندازی موتورها حالتهای‌گذرای بالائی به اندازه ۳ کیلوولت می توانند بوجود آورند.

طول زمان هر ایمپالس درمقایسه بازمان حرکت در سیمکشی ساختمان کوتاه است . بنابراین انتشار این ایمپالسها از طریق‌سیمکشی ها با تئوری حرکت امواج قابل تجزیه وتحلیل است.

ضربه ها همانطوریکه از طریق یک ساختمان منتشر می شوند بسرعت مستهلک می‌شوند . بنابراین در بیشتر مواقع ، تنها حفاظت مورد نیاز جدایی الکتریکی است . جداسازی فیزیکی بخاطر نرخ بالای افزایش ضربه مورد نیازاست زیرا به این اضافه ولتاژهای گذرا اجازه می دهد که به تجهیزات‌حساس نزدیک شوند ، برای تجهیزات فوق العاده حساس مانندیک اطاق کامپیوترجدا شدن از یک بار مغشوش و حذف (EFT) حالتهای گذرای سریع الکتریکی ممکن است ضروری باشد.

فیلترهای فرکانس بالا و ترانسفورماتورهای ایزوله می توانند برای حفاظت درمقابل هدایت EFT در روی کابلهای قدرت مورد استفاده قرار گیرند. همچنین برای ممانعت از کوپلاژ تجهیزات وخطوط داده‌ها ، سیم زمین نیز مورد نیاز است.

۳-۶-۴ - بارگذاری ترانسفورماتور

بارگذاری یک ترانسفورماتورجریانهای هجومی را ایجاد می کند که در یک تناوب تا یک ثانیه‌ای دارای مولفه های غنی هارمونیک می باشند . اگر سیستم یک رزونانس موازی در نزدیکی یکی از فرکانسهای جریان تزریق شده قرار داشته باشد ، یک شرط اضافه ولتاژ دینامیکی برقرار می شود که می‌تواند سبب شکست برقگیرها شده و مشکلاتی برای تجهیزات حساس ایجاد کند.

یک شکل موج اضافه ولتاژ دینامیکی توسط یک تشدید هارمونیک سوم درمدار در شکل ۳۰-۴ نشان داده شده است . بطور مشابه این مشکل با ترانسفورمرهای بزرگ که همزمان با بانکهای خازنی تصحیح ضریب قدرت بزرگ در مؤسسات صنعتی بزرگ بارگذاری می شوند بروز می کند . مشکل اضافه ولتاژ دینامیکی بسادگی می تواند با بارگذاری غیرهمزمان خازن و ترانسفورماتور حذف شود.

شکل ۳۰ - ۴ - اضافه ولتاژهای دینامیک در طی بار گذاری ترانسفورماتور

۷-۴ - ابزارکامپیوتری برای تحلیل حالتهای گذرا

گسترده ترین استفاده از برنامه کامپیوتری درتجزیه وتحلیل حالتهای گذرای سیستمهای قدرت ، برنامه اضافه ولتاژهای گذرای الکترومغناطیسی است که عموماً بعنوان EMTP شناخته می شود. این برنامه در اصل بوسیله هرمان. و دومل . در مؤسسه قدرت بونویل (BPA) در اواخر ۱۹۶۰ [۱۳] ایجاد شده و بطورمستمر تا بحال اصلاح شده است . یک گروه متشکل از مؤسسه تحقیقات قدرت الکتریکی (EPRI) وگروه هماهنگی توسعه(DOG) بطور مداوم برنامه را تقویت کرده وتوسعه می دهند . یک نسخه دیگر برنامه اضافه ولتاژهای گذرای متناوب (ATP) است که درکامپیوترهای شخصی (PC) نیز قابل استفاده است . این برنامه از طریق گروه Can/Am EMTP قابل دستیابی است که توسط و.اسکات.مایر. (W.Scolt Meyer) شخصی که نقش رهبری در پیشرفت ونگهداری برنامه را برای سالهای زیاد داشته است سازمان یافته است.

یک ابزارتحلیلی تجارتی دیگر برنامه PSCADTM/EMTDCTM است که توسط موسسه تحقیقاتی Mahitoba HVDC توسعه یافته است. این برنامه یک صفحه مشترک گرافیکی پیچیده کاربررا طراحی کرده که به کاربراجازه می‌دهد تا مدار را ترسیم نموده و رفتارآن را مادامی که حل مسئله درحال جریان است مشاهده نماید.

برنامه های کامپیوتری زیادی وجوددارند که برای تحلیل مدارهای الکترونیکی توسعه یافته اند و می توانند برای آنالیز سیستمهای قدرت انتخاب شوند. یک نمونهٔ شناخته شده از این برنامه‌ها SPICE و Derivative و مشتقات آن است . ولی معمولاً تأثیر این برنامه ها در مسائل سیستمهای قدرت نسبت به برنامه هایی که خاص سیستمهای قدرت طراحی شده‌اند کمتراست.

۸-۴ - منابع

4.8 References

1. *Electrical Transmission and Distribution Reference Book,* 4th ed., Westinghouse Electric Corporation, East Pittsburgh, Pa., 1964.
2. *Electrical Distribution-System Protection,* 3d ed., Cooper Power Systems, Franksville, Wis., 1990.
3. K. Berger, R. B. Anderson, and H. Kroninger, "Parameters of Lightning Flashes," *Electra,* no. 41, July 1975, pp. 23–27.
4. R. Morrison and W. H. Lewis, *Grounding and Shielding in Facilities,* John Wiley & Sons, 1990.
5. R. A. Stansberry, "Protecting Distribution Circuits: Overhead Shield Wire Versus Lightning Surge Arresters," *Transmission & Distribution,* April 1991, pp. 56*ff.*
6. IEEE Transformers Committee, "Secondary (Low-Side) Surges in Distribution Transformers," in *Proceedings of the 1991 IEEE PES Transmission and Distribution Conference,* Dallas, September 1991, pp. 998–1008.
7. C. W. Plummer et al., "Reduction in Distribution Transformer Failure Rates and Nuisance Outages Using Improved Lightning Protection Concepts," in *Proceedings of the 1994 IEEE PES Transmission and Distribution Conference,* Chicago, April 1994, pp. 411–416.
8. P. Barker, R. Mancao, D. Kvaltine, and D. Parrish, "Characteristics of Lightning Surges Measured at Metal Oxide Distribution Arresters," *IEEE Transactions on Power Delivery,* October 1993, pp. 301–310.
9. R. H. Hopkinson, "Better Surge Protection Extends URD Cable Life," in *Proceedings of the 1984 IEEE/PES T&D Conference and Exposition,* Kansas City, Mo.
10. G. L. Goedde, R. C. Dugan, and L. D. Rowe, "Full Scale Lightning Surge Tests of Distribution Transformers and Secondary Systems," in *Proceedings of the 1991 IEEE PES Transmission and Distribution Conference,* Dallas, September 1991, pp. 691–697.
11. S. S. Kershaw, Jr., "Surge Protection for High Voltage Underground Distribution Circuits," in *Conference Record of the IEEE Conference on Underground Distribution,* Detroit, September 1971, pp. 370–384.
12. M. B. Marz, T. E. Royster, and C. M. Wahlgren, "A Utility's Approach to the Application of Scout Arresters for Overvoltage Protection of Underground Distribution Circuits," in *1994 IEEE Transmission and Distribution Conference Record,* Chicago, April 1994, pp. 417–425.
13. H. W. Dommel, "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single and Multiphase Networks," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems,* vol. PAS-88, April 1969, pp. 388–399.
14. L. W. Nagel, "SPICE2: A Computer Program to Simulate Semiconductor Circuits," Ph.D. thesis, University of California, Berkeley, Electronics Research Laboratory, No. ERL-M520, May 1975.
15. IEEE Standard C62.41-1991, *IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits*, Piscataway, N.J., 1991.

فصل پنجم

هارمونیکها

در اکثر شرکت‌های برق امریکا فرض قابل قبول این است که شکل موج ولتاژ سینوسی تولیدشده در نیروگاههای برق خیلی خوب و منظم می‌باشد. در حالیکه ولتاژ در خطوط انتقال عملاً دارای درصدی اغتشاش می‌باشد. بهرحال هر چه بطرف بار نزدیکتر می‌شویم اغتشاش افزایش می یابد . در برخی از بارها جریان بندرت شبیه به سینوس کامل می‌باشد و مبدلهای‌الکترونیک قدرت جریان را به شکل موج‌های دلخواه تبدیل می کنند. تعداد اغتشاش‌هایی که‌بصورت تصادفی باشد خیلی کم است و اکثر اغتشاشات بصورت تناوبی یاهارمونیکی هستند.یعنی اینکه سیکل به سیکل شبیه به هم هستند و تغییر در آنها خیلی کم می‌باشد. این وضع باعث استفاده گسترده از عبارت هارمونیک برای تشریح اغتشاش در شکل موج شده است .چنانکه خواهیم دید این عبارت می‌بایست با دقت بررسی شود تا معنی آن مشخص شود و ما در این بخش تلاش خواهیم کرد تا بخشی از مفاهیم گنگ هارمونیکها را روشن کنیم .

هنگامی که در اواخر سال ۱۹۷۰ برای اولین‌بار مبدلهای الکترونیک قدرت رایج شد ، بسیاری‌از مهندسین برق درباره اینکه سیستم قدرت توانائی اصلاح اغتشاش هارمونیکی را داشته باشدنگران بودند. پیش‌گوئی‌های هولناکی در مورد سرنوشت سیستم‌های قدرت در صورت توسعه مبدلهای الکترونیک قدرت بعمل آمد. هر چند برخی از نگرانی‌ها بیش از حد بود ولی دایره تجزیه و تحلیل کیفیت برق مدیون این مهندسین است زیرا نگرانی آنها در مورد این شکل جدید هارمونیکها نقطه شروعی برای تحقیق و موجب آگاهی بیشتر درباره موضوع کیفیت برق شد.

به نظر بعضی‌ها اغتشاش هارمونیکی هنوز هم مشکل مهمی در کیفیت برق می‌باشد. درک اینکه چگونه مهندسی که با مسئله دشوار هارمونیکها روبرو می‌شود می‌تواند این عقیده را ابراز کند مشکل نیست. مسائل هارمونیکی مخالف بسیاری از قوانین متعارف طراحی و کارسیستم های قدرت می‌باشند که تنها فرکانس اصلی مورد نظر آنهاست. بنابراین مهندس برق با پدیده‌ای ناآشنا روبرومی‌شود که نیاز به ابزار ناآشنا برای تجزیه و تحلیل و همچنین تجهیزات ناآشنا برای حل آن دارد. اگر چه مسائل هارمونیکی پیچیده است ولی تعداد آنها زیاد نیست . تنها درصد کمی ازفیدرهای توزیع برق در امریکا هستند که مسائل هارمونیکی حادی دارند که نیازمند دقت زیادی هستند . برعکس ، قطع و وصل ولتاژ در فیدرها موضوع فراگیرتری است و عامل مهمی در کاهش کیفیت برق می‌باشد. بخش انتهائی (مصرف) بیش از شبکه توزیع از مشکل هارمونیکها رنج می‌برد. مصرف کننده های صنعتی بامحرکهای با سرعت قابل تنظیم ، کوره‌های قوس الکتریکی ،کوره‌های القائی و مانند اینها در مقابل مشکلاتی که از اغتشاش هارمونیکی بوجود می آیند حساس‌تر هستند.

اغتشاش هارمونیکی یک پدیده جدید در سیستم قدرت نیست بررسی تاریخی اغتشاش درسیستم‌های قدرت جریان متناوب فراز و نشیب‌هایی داشته است. بابررسی آمار سالهای ۱۹۳۰و ۱۹۴۰ ، مقالات زیادی در رابطه با این موضوع بدست خواهد آمد. ترانسفورماتورها منابع اولیه اغتشاش بوده‌اند و نیز اعوجاج القائی که در سیستم‌های تلفنی با سیم باز اتفاق می‌افتاد مشکل‌دیرینه‌ای است . اولین لامپ‌های قوس الکتریکی مدرن که به بازار عرضه شدند منشأ اغتشاشاتی مشابه نوعی که در مبدلهای الکترونیک قدرت موجود است بوده‌اند.

خوشبختانه در طول سالیان متوجه شدیم که اگر ابعاد سیستم طوری طراحی شود که ازعهده مصرف بار برآید ، احتمال اینکه هارمونیک باعث مشکل در سیستم قدرت شود کم است ، هر چند ممکن است باعث اختلال در سیستم ارتباطات شوند. غالباً مشکلات سیستم قدرت‌زمانی اتفاق می‌افتد که خازن در سیستم در فرکانس هارمونیکی بحرانی باعث تشدید شده و موجب افزایش بیش از حد طبیعی اغتشاش می‌شود. هنگامی که این مشکلات در سیستم قدرت پدید آید ، بدترین حالت در سیستم برق صنعتی اتفاق می‌افتد زیرا درجه رزونانس دراین سیستم‌ها بسیار بالاست.

۱-۵ - اغتشاش هارمونیکی

اغتشاش هارمونیکی توسط دستگاههای غیرخطی موجود در سیستم قدرت بوجود می آید.دستگاه غیر خطی دستگاهی است که جریانش متناسب با ولتاژ اعمال شده به آن نیست.

شکل ۱-۵ - اغتشاش جریان بوجود آمده توسط مقاومت غیرخطی

در شکل ۱-۵ این مفهوم توسط اثر یک ولتاژ سینوسی که به دو سر مقاومت ساده غیرخطی‌اعمال گردیده شرح داده شده است . در این شکل تغییرات ولتاژ و جریان توسط منحنی‌های آن نشان داده شده است. گرچه ولتاژ اعمال شده کاملاً سینوسی است ولی جریان دارای اغتشاش می‌باشد. درصد کمی افزایش ولتاژ ممکن است باعث افزایش جریان حتی بمیزان ۲ برابر شده و شکل موج آن نیز تغییر پیدا کند . این نمونه‌ای از یک منبع اغتشاش هارمونیکی در سیستم قدرت می‌باشد.

هرشکل موج مغشوش شده دارای تناوب رامی‌توان بصورت مجموعه‌ای ازسینوس‌ها بیان نمود ، که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. بدین معنی که هر شکل موجی که از یک سیکل به سیکل دیگر هم شکل و برابر باشد، می‌تواند توسط مجموعه‌ای از شکل‌موج‌های سینوسی نشان داده شود. فرکانس هر یک از این موجهای سینوسی عددی صحیح ومضربی از فرکانس موج اصلی می‌باشد . این موجها هارمونیکهای فرکانس اصلی نامیده‌می‌شوند و این فرایند مبحثی مهم و شناخته شده یعنی سری فوریه می‌باشد.

از مزیت‌های مهم استفاده از سری فوریه در نشان دادن شکل موج غیرسینوسی (مغشوش) امکان پیدا کردن جواب سیستم با ورودی سینوسی بسیار ساده است که مشابه تجزیه وتحلیل‌های متعارف حالت پایدار می‌باشد. بعبارتی سیستم را هر بار توسط یکی از

هارمونیکهاتحریک و تجزیه و تحلیل نموده و سپس جوابهای مربوط به هارمونیکهای مختلف را با هم‌ترکیب می‌کنند تا سری فوریه جدیدی تشکیل شود ، تا در صورت نیاز از این سری فوریه شکل‌موج خروجی محاسبه شود. غالباً فقط دامنه هارمونیکها مورد نیاز می‌باشد.

شکل ۲-۵ - نمایش سری فوریه مربوط به شکل موج دارای اغتشاش

در شکل موج‌هایی که نیم سیکل مثبت و منفی هم شکل و برابر دارند در سری فوریه آن‌هافقط هارمونیکهای فرد وجود دارد . این موضوع باعث سهولت بیشتر در مطالعات سیستم‌قدرت می‌شود زیرا در اکثر وسایل برقی که تولید هارمونیک می‌کنند موج مثبت و منفی هم شکل و برابر هستند.

در حقیقت وجود هارمونیکهای زوج اغلب نشانه اشتباهی است که امکان دارد مربوط به خطا در تجهیزات مصرف کننده (بار) باشد و یا اینکه مربوط به وسایل و تجهیزات اندازه‌گیری‌است . در مطلب فوق استثناء قابل توجهی وجود دارد که مربوط به یکسو کننده‌های نیم موج وهمچنین کوره‌های قوس الکتریکی است که ایجاد جرقه در آنها بصورت تصادفی می‌باشد.

معمولاً برای تجزیه و تحلیل ، هارمونیکهای با درجه بالا (بالاتر از بیست و پنجمین تاپنجاهمین هارمونیک ، بسته به سیستم) قابل صرف نظر کردن می‌باشند. اگرچه این هارمونیکهاممکن است باعث خسارت در وسایل الکترونیکی با قدرت کم شوند ، ولی آنها

هیچگونه خطری برای سیستم قدرت ندارند. جمع‌آوری داده‌های دقیق و کامل برای مدل کردن سیستم‌های‌قدرت در این فرکانس‌ها کار مشکلی می‌باشد.

اگر همانطوریکه متعارف است سیستم قدرت را به عناصر سری و موازی تقسیم کنیم. اکثرقریب به اتفاق غیرخطی بودن سیستم مربوط به عناصر موازی یعنی بارها می‌باشد. امپدانس‌سری در سیستمی که وظیفه آن ارسال قدرت است (یعنی امپدانس اتصال کوتاه مابین منبع و بار) بصورت قابل ملاحظه‌ای خطی می‌باشد. همچنین در ترانسفورماتورها منبع هارمونیکها مربوط به شاخه موازی (امپدانس مغناطیس کننده) در مدل T می‌باشد و امپدانس نشتی خطی است . بنابراین منابع اصلی اغتشاش هارمونیکی مصرف کننده‌ها هستند . البته این بدین معنی نیست که همه مصرف کننده‌هایی که اغتشاش هارمونیکی را می‌بینند خودشان منابع‌هارمونیک زا هستند ، بلکه عموماً اغتشاش هرمونیکی توسط برخی بارها و یا ترکیب بارها بوجودمی‌آید.

۲-۵ - ولتاژ ناشی از اغتشاش جریان

غالباً کلمه هارمونیک بدون‌هیچگونه بررسی کیفی بکار میرود.برای مثال معمولاً شنیده می‌شود که محرکهای دارای قابلیت تنظیم سرعت و یا کوره‌های القایی بعلت وجود هارمونیک خوب کار نمی‌کنند. منظور چیست ؟ منظور می‌تواند یکی از سه حالت زیر باشد :

۱- ولتاژهای هارمونیکی برای کنترل و تعیین مناسب زوایای آتش بسیار بزرگ هستند (ولتاژ بمقدار زیاد تحت تأثیر اغتشاشات قرار گرفته است).

۲- جریانهای هارمونیکی برای ظرفیت برخی از وسایل در سیستم منابع قدرت بسیار زیادمی‌باشد بطوریکه ترانسفورماتور و ماشین می‌بایست در قدرت کمتر از قدرت نامی کار کنند.

۳- ولتاژهای هارمونیکی بسیار زیاد می‌باشد زیرا جریانهای هارمونیکی تولید شده توسط دستگاه با توجه به شرایط عملکرد سیستم بسیار زیاد می‌باشد.

با توجه به عناوین پیشنهادی فوق، علت و معلول‌های مختلفی برای ولتاژها و جریانها و همچنین روابط بین آن‌ها وجود دارد. بنابراین عبارت هارمونیک به تنهایی نامفهوم است و نمی توان با آن بصورت قطعی مسئله‌ای را بررسی نمود.بارهای غیر خطی منابع جریانهای

هارمونیکی در مدارهای موازی هستند که باعث تزریق‌جریانهای هارمونیکی به سیستم می‌شوند تقریباً برای اکثر تجزیه و تحلیل‌ها بحساب آوردن‌بارهایی که تولید هارمونیک می‌نماید بصورت ساده به منابع جریان کافی می‌باشد .

البته استثناهایی وجود دارد که بعداً به آن اشاره خواهد شد. همانطوریکه در شکل ۳-۵ نشان داده شده است ، اغتشاش در ولتاژ در نتیجه عبور جریانهای‌اغتشاشی از امپدانس‌های سری و خطی مربوط به سیستم‌های برق‌رسانی می‌باشد. گرچه دراینجا فرض بر آن است که شین منبع فقط شامل ولتاژ با فرکانس اصلی باشد ، عبور جریانهای هارمونیکی از امپدانس سیستم باعث افت ولتاژ برای هر هارمونیک خواهد شد. این باعث ظهور هارمونیکهای ولتاژ در دو سر بار می‌شود. مقدار اغتشاش ولتاژ بستگی به امپدانس و جریان‌دارد. فرض می‌شود که اغتشاش شین بار به مقدار قابل قبول محدود شود (یعنی کمتر از ۵٪) ،مقدار جریان هارمونیکی که بوسیله بار تولید می‌شود تقریباً برای هر مقدار بار ثابت می‌ماند.

از آنجایی که هارمونیکهای جریان بار نهایتاً باعث اغتشاش ولتاژ می‌شوند . بیان این مطلب‌مهم است که بار هیچگونه کنترلی روی اغتشاش ولتاژ ندارد.

شکل ۳-۵ - اغتشاش ولتاژ در نتیجهٔ عبور جریانهای هارمونیکی از امپدانس سیستم

با بار یکسان در دو محل مختلف در سیستم قدرت مقادیر ولتاژ اغتشاش یافته متفاوتی بوجودمی‌آید. شناخت این حقیقت اساس تقسیم مسئولیت‌ها برای کنترل هارمونیک می‌باشد وهمچنانکه در استاندارد ۱۹۹۲ - ۵۱۹ IEEE آمده است:

۱- کنترل روی جریان هارمونیکی تزریق شده در سیستم در مصرف کننده انجام می‌گیرد.

۲- فرض بر این است که تزریق جریان هارمونیکی در داخل محدوده قابل قبولی صورت‌پذیرفته باشد، کنترل روی اغتشاش ولتاژ توسط کنترل روی امپدانس سیستم انجام می‌شود ، که اغلب امپدانس سیستم مربوط به توزیع می‌باشد.

در تعریف پدیده‌های هارمونیکی باید دقت شود که تفاوت فاحشی بین علت‌ها و معلول‌های ولتاژها و جریانهای هارمونیکی وجود دارد . عبارت هارمونیک برحسب کیفیت آن باید ستفاده‌شود، آنطوریکه توسط عموم مردم در صنعت برق استفاده می‌شود . اکثر اوقات که عبارت هارمونیک به تنهایی استفاده می‌شود مربوط به دستگاههای بار می‌باشد و منظور گوینده‌جریانهای هارمونیکی است و اگر مربوط به سیستم توزیع باشد معمولا منظور ولتاژ است . برای حصول اطمینان لازم است حتماً سؤال شود.

۳-۵ - هارمونیکهای گذرا

اعوجاج هارمونیکی تعداد زیادی از اغتشاشات برقی گذرا می‌باشد. اندازه‌گیری یک واقعه‌ممکن است شکل موج مغشوش شده را نشان دهد که دارای مؤلفه‌های فرکانس بالا باشد. اگرچه اغتشاش گذرا شامل اجزاء با فرکانس بالا است ، اما حالت گذرا و هارمونیکهاپدیده‌های متفاوتی هستند که جداگانه تجزیه و تحلیل می‌شوند. شکل موج‌های حالت گذرا دارای فرکانس‌های بالا ، فقط در مدت کوتاه بعد از تغییرات ناگهانی در سیستم قدرت مشاهده می‌شود . این فرکانس‌ها ضرورتاً هارمونیک نیستند و آنها به فرکانس طبیعی سیستم که در زمان قطع و وصل بوجود می‌آید بستگی دارند . این فرکانس‌ها به فرکانس اصلی سیستم ربطی ندارند.

هارمونیکها بنابه تعریف در حالت پایدار اتفاق می‌افتند و فرکانس آن‌ها مضرب صحیح ازفرکانس اصلی می‌باشد. در اغتشاشی که در شکل موج بوجود می‌آید ، هارمونیک بصورت ممتد ویا حداقل برای چندین ثانیه وجود دارد. حالت گذرا عموماً بعد از چند ثانیه از بین می‌رود. حالت‌گذرا وابسته به تغییراتی که در سیستم رخ می دهد مثلا قطع و وصل بانک خازنی می‌باشد. هارمونیکها وابسته به‌کار ممتد بار می‌باشند.

از مواردی که تفکیک آنها نامشخص است راه‌اندازی ترانسفورماتورها می‌باشد که یک پدیده گذرا است و اغتشاش شکل موج قابل ملاحظه‌ای برای چند ثانیه بوجود می‌آید و از عوامل تحریک تشدید سیستم شناخته شده است .

۵-۴ - مجموع اغتشاش هارمونیکی و مقدار مؤثر

چندین نوع اندازه‌گیری معمولی برای نشان دادن حجم و اندازه هارمونیک یک شکل موج توسط یک عدد وجود دارد. یکی از معمولی‌ترین آن‌ها مجموع اغتشاش هارمونیکی (THD) می‌باشد ، که می‌توان آنرا برای ولتاژ یا جریان بدست آورد.

$$\mathrm{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \qquad (۵-۱)$$

که M_h مقدار مؤثر مؤلفه هارمونیک hام از کمیت M می‌باشد . THD مقدار مؤثر مؤلفه‌های هارمونیکی یک موج مغشوش شده است و نشانگر مقدار انرژی گرمایی هارمونیکها نسبت به‌مقدار اصلی است.

مقدار مؤثر مجموع یک موج ، مجموع مؤلفه‌ها بتنهایی نیست . بلکه مجذور مجموع مربع آن‌ها می‌باشد. رابطه THD با مقدار مؤثر شکل موج بقرار زیر است :

$$= \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} M_h^2} \ \mathrm{rms} = M_1\sqrt{1+THD^2} \qquad (۵-۲)$$

THD کمیت مناسبی برای خیلی از کاربردها می‌باشد ، ولی محدودیت آن باید مشخص‌شود. این ایدهٔ خوبی برای مشخص کردن حرارت اضافی ناشی از ولتاژ مغشوش شده دو سر یک بار مقاومتی می باشد ، در این صورت می‌تواند نشان دهنده تلفات اضافی باشد که‌توسط جریان از هادی می‌گذرد . در هر صورت نمی‌توان شدت ولتاژ دوسر یک خازن رانشان داد زیرا این ولتاژ مربوط به مقدار پیک ولتاژ است نه به مقدار حرارت آن.

ولتاژهای هارمونیکی تقریباً مربوط به مقادیر اصلی شکل موج در زمان نمونه‌برداری‌می‌باشند. از آنجا که ولتاژ فقط چند درصدی تغییر می‌کند ، ولتاژ THD تقریباً همیشه عدد معنی‌داری

خواهد بود. این حالت برای جریان وجود ندارد. یک جریان کوچک ممکن است دارای THD بزرگی باشد اما تهدید مهمی برای سیستم نخواهد بود. از آنجایی که بیشتر وسایل ثبت و اندازه‌گیری THD را براساس نمونه‌برداری حاضر گزارش می‌کنند ، استفاده کننده ممکن است به اشتباه جریان را خطرناک قلمداد کند. بعضی تحلیل‌گرها برای اجتناب از این مشکل THD را به فرکانس اصلی و جریان پیک تا به فرکانس اصلی نمونه خاص ارجاع می‌دهند . به این اغتشاش، اغتشاش مصرف کل یا به کلام ساده TDD گفته می‌شود و بعنوان اساس برای راهنمایی در استاندارد ۱۹۹۲ - ۵۱۹ IEEE بکار برده می‌شود.

۵-۵ - قدرت و ضریب قدرت

اغتشاش هارمونیکی محاسبات قدرت و ضریب قدرت را با مشکل مواجه ساخته ، زیرا خیلی‌از محاسبات ساده شده مهندسی برق که در تجزیه و تحلیل فرکانس قدرت بکار برده می‌شودمورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

سه کمیت استاندارد مربوط به قدرت وجود دارد :

- قدرت ظاهری S ، حاصل ضرب ولتاژ و جریان مؤثر
- قدرت واقعی P ، مقدار متوسط قدرت دریافت شده
- قدرت غیرواقعی Q , قسمتی از قدرت ظاهری که با قدرت واقعی همفاز نبوده و با آن ۹۰ درجه اختلاف دارد.

در فرکانس اصلی ، روابط متعارف موجود بقرار زیر است:

$$P = S \cos \theta \qquad (۵-۳)$$

$$Q = S \sin \theta \qquad (۵-۴)$$

-که θ زاویه فازی مابین ولتاژ و جریان می‌باشد.

-ضریب $\cos \theta$ معمولا ضریب قدرت نامیده می‌شود . بهرحال تعریف صحیح ضریب قدرت (PF) بقرار زیر است:

$$PF = \frac{P}{S} \qquad (۵-۵)$$

S و P مبهم نیستند حتی اگر ولتاژ و جریان مغشوش شده باشند ، در حالی که مفهوم واضح ومشخصی از زاویه فازی که برای حالت فرکانس چند تائی بکار می‌رود وجود ندارد:

$$S = V_{rms131} I_{rms} \qquad (۵-۶)$$

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T V(t)i(t)dt \qquad (۵-۷)$$

اگر ولتاژ V بصورت کامل مربوط به فرکانس اصلی باشد P ، توسط فرم زیر مشخص می‌شود.

$$p = \frac{V_1 I_1}{2}\cos\theta_1 = V_{1rms} I_{1rms}\cos\theta_1 \qquad (۵-۸)$$

که نشان می‌دهد متوسط قدرت واقعی فقط تابعی از کمیت فرکانس اصلی است. از آنجائیکه عموماً در سیستم‌های قدرت اغتشاش در ولتاژ کم است (کمتر از ۵٪) ، این تقریب بدون در نظرگرفتن اینکه چگونه جریان مغشوش شده است خوب است.

به عبارت دیگر قدرت‌های ظاهری و غیرواقعی زیاد تحت تأثیر اغتشاش قرار می‌گیرد. قدرت ظاهری (S) اندازه بالقوه دو سر بار براساس ظرفیت حرارتی سیستم می‌باشد . قدرت ظاهری متناسب با مقدار مؤثر جریان مغشوش شده است و محاسبات آن صریح می‌باشد ، اگر چه کمی پیچیده‌تر از حالت سینوسی می‌باشد. همچنین توسط تعداد زیادی آمپرمتر چنگکی می‌توان مستقیماً مقدار صحیح جریان مؤثر 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 . اگر به خاطر این حقیقت که بسیاری از کنتورهای توزیع اندازه‌گیری Q و محاسبه صورت حساب مصرف از طریق قدرت که توسط Q محاسبه می‌شود ، نبود ممکن بود که نقطه قابل بحث باشد . مهمتر از همه تعیین Pو S می‌باشد . P تعیین می‌کند چقدر انرژی مصرف شده در صورتی که S ظرفیت مورد نیاز سیستم قدرت را برای انتقال P تعیین می‌کند. در حقیقت Q به تنهایی خیلی مفید نیست.

موقعی که اغتشاش وجود دارد قدرت غیرواقعی ویژگی جالب دیگری دارد. در حقیقت‌دیگر مناسب نیست آنرا قدرت غیرواقعی بنامیم . مفهوم وار (Var) عبوری از سیستم قدرت در فکر اکثر مهندسین قدرت کاملا جا افتاده است. چیزی که ممکن است اغلب ندانند ، این است که این مفهوم فقط برای حالت پایدار سینوسی اعتبار دارد. موقعی که اغتشاش وجود دارد ، مابقی کمیت جزءS بعد از احتساب P از اصل بقا تبعیت نمی‌کند. این بدین مفهوم است که مجموع‌این کمیت در هر گره صفر نمی‌شود.

این بدین معنی نیست که قدرت واقعی P و یا جریان از اصل بقا تبعیت نمی‌کنند ، زیرا اصل بقای انرژی و قانون جریان کیرشهف برای هر نوع موجی صادق است. مؤلفه‌های قدرت غیر واقعی از قانون مجموع مربعات تبعیت می‌کنند. این باعث شده برخی از تحلیل‌گران پیشنهاد دهند Q جزئی از قدرت غیرواقعی می‌باشد که از قانون بقا تبعیت می‌کند و مابقی را کمیت جدیدی که از قانون اصل بقا تبعیت نمی‌کند معرفی کرده‌اند. این کمیت D قدرت اغتشاش و بصورت ساده ولت آمپر اغتشاشی نام‌گذاری شده است. واحد آن ولت آمپر می‌باشد ، ولی مناسب نیست که به این کمیت قدرت گفته شود بخاطر اینکه مانند قدرت در داخل سیستم جریان ندارد . بدین ترتیب از مجموع قدرت غیرواقعی متعارف مربوط به تمامی ولتاژها وجریانهای فرکانس‌های مختلف تشکیل شده ، که تولید قدرت متوسط نمی‌کنند. رابطه D و Q و P و S بقرار زیر می‌باشد :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \qquad (۵-۹)$$

$$Q = \sum_k V_k I_k \sin\theta_k \qquad (۵-۱۰)$$

بنابراین D بعد از بدست آوردن Q ، P ، S توسط فرمول زیر تعیین می‌شود:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \qquad (۵-۱۱)$$

بعضی‌ها ترجیح می‌دهند که از بردار سه بعدی برای نشان دادن روابط مؤلفه‌ها ، همچنانکه در شکل ۴-۵ نشان داده شده است استفاده کنند P و Q اجزاء متعارف در S برای حالت سینوسی هستند، در صورتی که D جزئی از قدرت ظاهری است که توسط هارمونیکها ایجاد می‌شود.

مؤلفه فرکانس اصلی قدرت غیرواقعی (Q1) و برای بدست آوردن اندازه خازنها که جهت‌اصلاح ضریب قدرت بکار می‌روند مفید می‌باشد. خازنها فقط می‌توانند برای اصلاح Q1باشند.عبارت ضریب قدرت جابجایی برای تشریح ضریب قدرت استفاده می‌شود و تنها در آن مؤلفه فرکانس اصلی بکار می‌رود .

شکل ۴-۵ - رابطه مؤلفه‌های قدرت ظاهری

در حال حاضر تجهیزات ثبت کننده کیفیت توان این کمیت را همانند ضریب قدرت صحیح ثبت می‌کنند ، که همان کمیت ضریب قدرت قبلی می‌باشد [معادله (۵-۵)] . تعداد زیادی از وسایل مانند منابع قدرت کلید زنی (Switch _ mode) و یا PWM[1] که برای تنظیم سرعت موتورهابکارمیروندارای ضریب جابجایی‌تقریباًیک میباشند،در صورتیکه ضریب قدرت صحیح آنها بین ۰/۵ تا ۰/۶ 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. ضریب قدرت صحیح نشان دهنده این‌است که شبکه برق‌رسانی با چه اندازه‌ای در سیستم ساخته شود تا جوابگوی بار باشد . در این مثال ، بکار بردن ضریب قدرت جابجایی تنها برداشت غلطی را که همه چیز خوب است می‌دهد.

تعداد زیادی از وسایل اندازه‌گیری دیمماند فقط Q را ثبت می‌کنند. خوشبختانه در اکثرحالت‌ها جریان در نقطه اندازه‌گیری به اندازه جریانهای بار مغشوش نیست و خطا کوچک است(که خطا بنفع مشتری است). استثنائی از قبیل ایستگاههای پمپ وجود دارد که محرک PWM، تنها بار وسایل اندازه‌گیری می‌باشد. انتظار می‌رود دستگاههای اندازه‌گیری انرژی ، دقت کافی در موقعی که ولتاژ دارای اغتشاش کم است را داشته باشد تا اینکه دستگاههای اندازه‌گیری دارای خطای زیاد باشند.

مطلب آخر اینکه اغتشاش باعث مؤلفه‌های جریان اضافی که از سیستم عبور می‌کند می‌شودکه حاصل آن انرژی خالص نخواهد شد ، بلکه باعث تلفات در عناصر سیستم قدرت که‌جریان از آنها عبور می‌کند خواهد شد. در این صورت ضروری است که سیستم کمی بیشتر ازظرفیت انتقال قدرت بار ساخته شود .

۶-۵ - هارمونیکهای مضرب سه

هارمونیکهای مضرب سه ضرائب فردهارمونیک سه هستند (... ، ۲۱ ، ۱۵ ، ۹ ، ۳ = h) آنها ویژگی خاصی دارند زیرا اغلب برای هارمونیکهای مضرب ۳ اختلاف قابل ملاحظه‌ای‌نسبت به دیگر هارمونیکها وجود دارد. مضرب سه‌ها موضوع مهمی برای سیستم‌های ستاره‌زمین شده که از سیم نول جریان عبور می‌کند هستند.

[1] Pulse_ Width Modulated

دو مشکل عمده وجود دارد یکی عبور جریان بار بیش از حد از نول و دیگری اعوجاج تلفنی. چیزی که اغلب در ارتباط با وسایل شنیده می‌شود بد کار کردن آنهاست زیرا ولتاژهای فازبه نول توسط افت ولتاژ با هارمونیکهای مضرب سه که در سیستم نول بوجود می‌آید بطور بدی مغشوش می‌شود.

شکل ۵-۵ - جریانهای زیاد نول در مدارهائی که بار تک فاز غیرخطی دارند

برای آن سیستمی که بارهای تک فاز کاملا متعادلی وجود دارد که در شکل ۵-۵ نشان داده‌شده است ، فرض بر این است که مؤلفه‌های هارمونیک اصلی و سوم وجود دارند. با جمع جریانهادرگره N ، جزء جریان اصلی در نول صفر خواهد شد ، ولی جزء های هارمونیک مضرب‌سه ، سه برابر جریانهای هارمونیک مضرب سه فاز می‌باشد ، زیرا فاز و زمان آنها بطور طبیعی‌روی هم قرار می گیرند.

سربندی سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور که دارای بارهای غیرخطی تکفاز می‌باشد ، نقش مهمی‌در عبور جریانهای هارمونیک مضرب سه دارد. در شکل ۶-۵ دو حالت نشان داده شده است. درترانسفورماتور ستاره مثلث (شکل بالایی) ، جریانهای هارمونیکی مضرب ۳ نشان داده شده‌است که در حال ورود به قسمت ستاره هستند. از آنجایی که آنها هم‌فاز هستند ، در نقطه خنثی با هم جمع می‌شوند . سیم‌پیچ مثلث طوری تعادل در آمپر دور را بوجود می‌آورد که جریانها از این‌سیم‌پیچ عبور کنند ولی در داخل مثلث می‌مانند و در جریان خط قسمت مثلث ایجاد نمی‌شوند . موقعی که جریانها در تعادل باشند ، رفتار جریانهای هارمونیکی مضرب سه دقیقاً مثل جریانهای با ترادف صفر می‌باشد . این نوع اتصال ترانسفورماتور ، معمولی‌ترین

نوعی است که در ترانسفورماتورهای توزیع بکار می‌رود و سیم‌پیچ مثلث به قسمت انتقال وصل می‌شود .

شکل ۶-۵ - حرکت جریان هارمونیکی مضرب ۳ در ترانسفورماتورهای سه فاز

استفاده ترانسفورماتورهایی که دو سیم‌پیچ آن ستاره می‌باشد و نقطه خنثی آن به زمین وصل‌شده است باعث عبور هارمونیک مضرب سه‌های متعادل شده از سیستم ولتاژ ضعیف به ولتاژزیاد بدون هیچگونه افزایشی می‌شود . آنها در اولیه و ثانویه درنسبت مساوی وجود دارند . بارهای زیادی در امریکا از این روش استفاده می کنند .

برخی از نمونه‌های مهمی که مربوط به تجزیه و تحیل کیفیت قدرت هستند عبارتند از:

۱- ترانسفورماتورها، بویژه اتصالات نقطه خنثی . موقعی که در طرف ستاره بارهای تک فاز که‌دارای هارمونیک سوم بمقدار زیاد هستند در مقابل افزایش حرارت بسیار حساس می‌باشند .

۲- اندازه‌گیری جریان درقسمت مثلث یک ترانسفورماتورمضرب سه‌ها رانشان نمی‌دهد ، بنابراین ایده درستی از حرارتی که ترانسفورماتور تحت تأثیر آنها قرار گرفته است وجود ندارد.

۳- با اتصال ترانسفورماتور ایزولاسیون مناسب ، عبور جریانهای هارمونیکی مضرب سه قطع خواهند شد.

از بین بردن اتصال نقطه خنثی در یک یا دو طرف سیم‌پیچی‌های ستاره باعث مسدود نمودن‌عبور جریان هارمونیکی مضرب سه خواهد شد. محلی برای تعادل آمپر دور وجود

ندارد.همینطور سیم‌پیچ مثلث عبور آن جریـــان را در خـط مسـدود می‌کنـد. تذکـر ایـن کـه ترانسفورماتورهای‌با هسته سه ستونی اگر دارای سیم‌پیچ مثلث سومی " فانتم " باشند نیز همینطور عمل می‌کنند . بنابراین یک ترانسفورماتور ستاره به ستاره با اتصال فقط یـک نقطـه خنثـی بـه زمین قادر به هدایت هارمونیکهای مضرب سه می‌باشد .

این قواعد برای جریان هارمونیکی مضرب سه در ترانسفورماتورها فقط در شرایط بار متعـادل بکار برده می‌شود. موقعی که فازها متعادل نباشـند ، جریانهـای هـارمونیکی مضـرب سـه‌هایی که‌انتظار آنها نمی‌رود نمایان خواهند شد. روش نرمال برای هارمونیکهای مضـرب سـه تـرادف صفرمی‌باشد. در خلال بارهای نامتعادل ، هارمونیکهای مضرب سه هم ممکن است دارای اجـزاء ترادفهای مثبت و منفی باشند. یک حالت قابل توجه ، کوره‌هـای جرقـه‌ای سـه فـاز می‌باشـد. اگرچه‌توسط اتصال مثلث - مثلث تغذیه میشوند ، معذالک هارمونیکهای سوم در دامنه بسیار زیاد در جریان خط موقعی که کوره در حالت نامتعادلی عمل میکند بوجود میآیند. اما تا اندازه‌ای که سیستم عمدتاً متعادل می‌باشد ، مضرب سه‌ها در سیکلی که شرح داده شد عمل می‌کنند.

۷-۵ - منابع برق تک فاز

بارهای مبدل‌های الکترونیک قدرت که دارای قابلیت تولید جریانهای هـارمونیکی می‌باشـند مهمترین نوع تشکیل دهنده بارهای غیرخطی در سیستم قدرت می‌باشند. در دهه گذشته‌پیشرفت تکنولوژی نیمه هادیها باعث تحول عظیم در الکترونیک قدرت شده است ، و نشانه‌های زیـادی وجود دارد که به همین روال ادامه پیدا می‌کند . نیمه هادیهـا در تجهـیزاتی شـامل موتورهـای دارای قابلیت کنترل سرعت ،منابع الکترونیک قدرت ،محرکهای dc ، شارژ باطری ،راه‌اندازی و متعادل کننده‌های الکترونیکی‌وتعداد زیادی‌ازکاربردهای یکسوکننده هاو اینورترها بکار میروند.

بیشترین هارمونیکهـا در سـاختمان‌های تجـاری مربـوط بـه تجهـیزات الکـترونیکی منـابع قدرت‌تکفاز می‌باشد ، که اغتشاش زیادی در سیم‌ها تولید می‌کنند. برای جریان برق dc مـورد استفاده‌الکترونیک قدرت و میکروپرسسورهای مربوط به تجهیزات در اداره‌هـا معمـولا از پـل یکسوکننده تک فاز استفاده می‌شود. بارهایی که دارای منابع تغذیه الکترونیک قـدرت هسـتند بصورت فراوانی‌با افزایش استفاده از کامپیوترهای شخصی در بخش تجـاری در حـال افزایـش هستند.

منابع تغذیهٔیک فاز دو نوع معمول و متداول دارند . در نوع قدیمی در قسمت ac روش‌هـــای کنترل قرار دارد ، مانند ترانسفورماتوری که ولتاژهـــا را بـــه سـطحی کـــه بـــرای خطـــوط dc نیازهست کاهش می‌دهد . اندوکتانس ترانسفورماتور سهم عمده‌ای در صاف کردن شکل مـــوج جریان‌ورودی دارد که باعث کاهش مقدار هارمونیک می شود.

شکل ۷-۵ - منبع تغذیه کلیدزنی

هرگز در تکنولوژی منبع تغذیه کلیدزنی (شکل ۷-۵) از روش مبدلهای dc / dc بـــرای بدست‌آوردن یک خروجی dc صاف با تجهـــیزات کوچـــک و وزن کـــم ســـتفاده نمی‌شـــود. ورودی پل‌دیودی‌مستقیماً به برق ac وصل می‌شود و ترانسفورماتور حذف می‌شود. حـــاصل آن یک ولتاژ منظم در دو سر خازن می‌باشد. این برق dc توسط کلید قطع و وصل ، دوبـــاره بیـــک برق ac با فرکانس زیاد تبدیل می‌شود. در حال حاضر در کامپیوترهای شـــخصی ، چاپگرهـــا ، دستگاههای کپی و اکثر تجهیزات الکترونیکی تک فاز حدوداً از منبع تغذیه کلیدزنی اســـتفاده می‌شود. مزایای اصلی شامل ســـبکی در وزن ، انـــدازه کـــم ، رانـــدمان خـــوب و عـــدم نیـــاز بـــه ترانسفورماتور می‌باشد. تحمل آنها درمقابل تغییرات ورودی زیاد می‌باشد.

از آنجایی که اندوکتانس قســـمت ac بـــزرگ نمی‌باشـــد ، جریـــان ورودی بـــه منبـــع دارای پالس‌های کوتاه بوده بطوریکه خازن C1 در هر نیم سیکل شارژ می‌شود. شکل ۸-۵ شکل موج و طیف جریان برای یک مدار کامل را نشان میدهد که دارای تجهـــیزات الکـــترونیکی متنوعـــی می‌باشد و از روش منبع قدرت کلیدزنی استفاده شده است.

ویژگی برجسته منابع قدرت تغذیه کلیدزنی مقدار بالای هارمونیک ســـوم در جریـــان اســـت . ازآنجایی که اجزاء هارمونیک سوم در نقطه خنثـــای یـــک سیســـتم ســـه فـــاز جمـــع می‌شـــوند ، افزایش‌استفاده از منابع SMPS[1] باعث افزایش بار هادیهـــای نقطـــه خنثـــی می‌شـــوند ، بویـــژه در

[1] Switch _ mode power supplies

ساختمانهای قدیمی که سیم نول زیر استاندارد استفاده شده باشد. توجه داشتن به گرمای ترانسفورماتور درزمانی که بار شامل مقدار زیادی SMPS می‌باشد اهمیت دارد.

همچنین استفاده از SMPS در راه‌انداز و متعادل کننده الکترونیکی در سیستم‌های روشنایی فلورسنت شروع شده است. ولتاژ خروجی قابل کنترل با فرکانس بالا که توسط مبدلهای ترانزیستوری امکان پذیر می‌باشد باعث افزایش راندمان لامپ فلورسنت بوده و همانند کم سوکننده‌ها اجازه کنترل پیشرفته‌تر را می‌دهد. جریان هارمونیکی که توسط راه‌انداز و متعادل کننده الکترونیکی تزریق می‌شود شبیه به منابع قدرت استفاده شده در کامپیوتر و یا تجهیزات الکترونیکی می‌باشد. هارمونیک زیاد که توسط لامپ فلورسنت تولید می‌شود خیلی مهم است زیرا روشنایی عملا ۴۰٪ تا ۶۰٪ بار تجاری می‌باشد.

Fundamental amps: 58.5 A rms
Fundamental freq: 60.0 Hz

HARM	PCT	PHASE	HARM	PCT	PHASE
FUND	100.0%	-37°	2nd	0.2%	65°
3rd	65.7%	-97°	4th	0.4%	-72°
5th	37.7%	-166°	6th	0.4%	-154°
7th	12.7%	113°	8th	0.3%	112°
9th	4.4%	-46°	10th		
11th	5.3%	-158°	12th	0.1%	142°
13th	2.5%	92°	14th	0.1%	65°
15th	1.9%	-51°	16th		
17th	1.8%	-151°	18th		
19th	1.1%	84°	20th		
21st	0.6%	-41°	22nd		
23rd	0.8%	-148°	24th		
25th	0.4%	64°	26th		
27th	0.2%	-25°	28th		
29th	0.2%	-122°	30th		
31st	0.2%	102°	32nd		
33rd	0.2%	56°	34th		

شکل ۸-۵ - طیف جریان و هارمونیک SMPS

بعضی از سازنده‌ها سعی در طراحی لامپی نموده‌اند تا شکل موج آن کمتر آلوده به هارمونیک باشد.

۸-۵ - مبدلهای قدرت سه فاز

فرق عمدهٔ مبدلهای سه فاز با تک فاز در این است که آنها جریانهای هامونیکی مضرب سه‌تولید نمی‌کنند. این مزیت بزرگی است زیرا هارمونیکهای مضرب سه مهمترین جزء هارمونیکهاهستند. بهرحال همانطوریکه در شکل ۹-۵ نشان داده شده است آن‌ها می‌توانند یک منبع مهم هارمونیکی باشند . این یک نمونه در مبدلهای منبع جریان (ASD) می‌باشد.

طیف هارمونیکی داده شده در شکل ۹-۵ مربوط به جریان ورودی یک موتور dc می‌باشد. محرکهای اینورتر منبع ولتاژ (مانند محرکهای PWM) دارای مقدار اغتشاش بیشتری هستند . عموماً ورودی به محرک PWM همانند منبع قدرت کلیدزنی درکامپیوتر طراحی شده است . یکسو کننده مستقیماً از یک شین ac تغذیه می کند و خروجی آن به یک خازن در شین dc

شکل ۹-۵ - جریان وطیف هارمونیک در مبدل های منبع جریان ASD

شکل ۱۰-۵ - جریان و طیف هارمونیک در بنورتر منبع ولتاژ ASD

وصل می‌شود. با وجود یک اندوکتانس خیلی کم خازن در مدت کوتاهی شارژ می‌شود ، که باعث ایجاد یک اغتشاش شبیه به گوش خرگوش در شکل موج جریان ac می‌شود.از آنجایی که منابع کلیدزنی برق عموماً برای بارهای خیلی کوچک هستند ، در حال حاضر محرکهای PWMبرای بارهای تا HP ۵۰۰ بکار برده می‌شوند. این یک عامل قابل توضیح‌است که مهندسین برق نسبت به آن حساس باشند.

۱-۸-۵ - محرک های dc

یکسو سازها تنها مرحله مورد نیاز برای محرکهای dc است . مزیت آنها کنترل نسبتاً ساده‌شان می‌باشد. در مقایسه با سیستم‌های محرک ac ، دارای رنج سرعت گسترده و گشتاورزیاد راه‌اندازی می‌باشند. قیمت اولیه و همچنین هزینه نگهداری موتورهای dc زیاد است ، این درحالی است که قیمت وسایل الکترونیکی سال به سال کاهش پیدا می کند . بنابراین از نظر اقتصادی‌استفاده از محرکهای dc در جاهایی که نیاز به مشخصات سرعت و گشتاور موتور dc است ، محدود می‌شود.

اکثر محرکهای dc از یکسو کننده ۶ پالس که در شکل ۱۱-۵ نشان داده شده است استفاده می کنند. در محرکهای بزرگ ممکن است از یکسو کننده‌های ۱۲ پالس استفاده شود .

شکل ۱۱-۵ - مبدل جریان مستقیم (dc) ۶ پالس

این نوع یکسوکننده باعث کاهش جریان تریستورها وهمچنین کاهش هارمونیکها درجریان ساده ac خواهد شد.

بزرگترین مؤلفه های هارمونیکهای جریان یک محرک ۶ پالس ، هارمونیکهای ۵ و ۷ می‌باشند. از لحاظ پاسخگوئی به سیستم آن‌ها بیشترین مشکل را میسازند . استفاده از یکسوکننده ۱۲پالس در محرکهای dc باعث حذف حدود ۹۰٪ هارمونیکهای ۵ و ۷ خواهد شد ، که بستگی به‌تعادل سیستم دارد. عیب این محرک ۱۲ پالس این است که مبالغ پرداختی برای تجهیزات‌الکترونیکی و همچنین ترانسفورماتور بسیار گران می‌باشد .

۲-۸-۵ - محرکهای ac

در محرکهای ac ، خروجی یکسوکننده ، به یک ولتاژ ac با فرکانس قابل کنترل برای موتورتبدیل می‌شود. مبدلهای (ac - dc) به دو دسته مبدلهای منبع ولتاژ (VSI) و یا مبدلهای منبع جریان (CSI) تقسیم می‌شوند. یک مبدل منبع ولتاژ یا VSI نیاز به برق dc با ولتاژ ثابت (یعنی‌دامنه نوسان کمی) برای ورود به مرحله تبدیل dc به ac دارد. این کار توسط یک خازن یا یک فیلترLC در خط dc انجام می‌شود. مبدلهای CSI به یک جریان ثابت در مرحله تبدیل dc به ac نیاز دارند که توسط قراردادن یک اندوکتیو سری که در خط dc قرار دارد صورت می‌پذیرد .

در محرکهای ac عموماً از موتورهای القایی با روتور قفس سنجابی استفاده می‌شود. این نوع‌موتورها عموماً سخت جان ، نسبتاً ارزان و همچنین هزینه نگهداری آن‌ها خیلی کم می‌باشد. ازموتورهای سنکرون درجاهایی که کنترل سرعت دقیق مورد نیاز هست استفاده می‌شود.

یک روش فراگیر که از VSI همراه PWM استفاده می‌شود در شکل ۱۲-۵ نشان داده شده است که در این روش از مجموعه‌ای پالس‌های dc با پهنای قابل تغییر استفاده شده است. درمبدل ac - dc یا از تریستورهای SCRS یا GTO و یا اینکه از ترانزیستورهای‌قدرت استفاده می‌شود.

شکل ۱۲-۵- PWM ASD

عموماً محرک VSIPWM در رنج سرعت بسیار زیاد و حداقل تا قدرت HP ۵۰۰ از نظرراندمان انرژی جزء بهترین‌ها می‌باشد. مزیت محرکهای PWM اینستکه بر خلاف دیگرمحرکها برای کنترل سرعت موتور نیازی به تغییر ولتاژ خروجی یکسوکننده ندارد. این‌مزیت بما اجازه میدهد تا بجای تریستورها ازدیود استفاده شود و بنابراین مدارکنترل برای‌تریستورها حذف شود.

درمحرکهای با قدرت بالا از یکسوکننده‌ها مبدلهای ac - dc تریستوری استفاده می‌شود . همچنانکه در شکل ۱۳-۵ نشان داده شده است از مبدل ۶ پالس استفاده میشودو یا اینکه همانند موتورهای dc بزرگ ازمبدل ۱۲ پالس استفاده میشود.محرکهای VSI (شکل a ۱۳-۵)درزمانیکه تغییرات سریع سرعت موردنیاز باشد مورد استفاده قرار میگیرد. محرکهای CSI (شکل b ۱۳-۵) دارای مشخصه افزایش/کاهش سریع سرعت خوبی‌میباشند ولی نیاز به موتور با ضریب قدرت پیش‌فاز همانند موتورسنکرون یا موتورآسنکرون یاخازن دارند و نیاز به مدارکنترل اضافی برای جابجایی تریستورهای مبدل ac- dc نیست . درهر دو حالت محرک CSI برای موتورمشخص دارای طراحی معینی می‌باشد . درCSI تریستورها را درمقابل ولتاژهای القایی ضربه‌ای حفاظت می‌کنند که این کار باعث افزایش قیمت محرک خواهدشد.

شکل ۱۳ -۵ - ASDs بزرگ جریان متناوب

۳-۸-۵ - اثر شرایط کار

غنتشاش جریان هارمونیکی در یک محرک با سرعت قابل تنظیم ثابت نیست. شکل موج به مقدار قابل ملاحظه‌ای با مقادیر مختلف سرعت و شتاب تغییر خواهد کرد.

در شکل ۱۴-۵ دو نوع شرایط فازبری یک محرک PWM با قابلیت تنظیم سرعت وجوددارد. هنگامی که شکل موج ۴۲٪ سرعت می‌باشد، غنتشاش نسبت به سرعت نامی خیلی بیشتراست، که این موجب تزریق جریان‌های هارمونیکی با دامنه بیشتری از سوی محرک خواهد شد.نمودار میله‌ای شکل [illegible] مقدار جریان تزریق شده می‌باشد. این فاکتور محدودکننده طراحی خواهد بود نه [illegible] زیاد. مهندسین قبل از هرگونه تصمیمی برای طراحی‌می‌بایست برای فهمیدن [illegible] و اندازه‌گیری‌های مربوط به محرک دقت کافی بنمایند.

شکل ۱۴-۵ - اثر سرعت PWM ASD روی هارمونیکهای جریان

۵-۸-۴ - اثر چکهای خط ac روی هارمونیکها

قرار دادن راکتانس اضافی مابین ASD و سیستم باعث کاهش مقدار هارمونیک در جریان ac خواهد شد. این روش برای محرک PWM بسیار مؤثر می‌باشد. در شکل ۵-۱۵ نمودار غنتشش جریان درمقابل نسبت قدرت ظاهری KVA محرک به قدرت ظاهری KVA ترنسفورماتور برای دو حالت مختلف بار با و بدون چک ۳ درصدی رسم شده است. مقدار چک براساس ASD می‌باشد. شکل موج‌های مربوط به انتهای هر رنج نشان داده شده است. شکل موج بزرگتر مربوط به حالت بدون چک می‌باشد.

شکل ۵-۱۵ - اثر چکهای خط ac روی هارمونیکهای جریان مبدل ASD

اصلاح اساسی با اضافه کردن چک امکان پذیر خواهد بود که باعث کاهش THD جریان ازرنج ۹۰٪ تا ۱۰۰٪ به ۳۰ ٪ تا ۴۰٪ خواهد شد. قرار دادن اندوکتانس باعث کاهش سرعت شارژ خازن که در خط dc قرار دارد شده و همچنین محرک در مدت زمان بیشتری جریان خواهد کشید. چک باعث کاهش دامنه جریان و همچنین کاهش مقادیر هارمونیک خواهد شد. چک همچنین باعث کاهش و یا حذف سروصدای قطع و وصل خازنها می‌شود.

۵-۹ - دستگاههای جرقه‌ساز

این بخش مربوط به کوره‌های القایی میباشد. در دستگاههای جوشکاری ، لامپهای روشنایی با تخلیه الکتریکی (مانند لامپها فلورسنت ، تبخیر سدیم ، تبخیر جیوه) با راه‌انداز و متعادل کننده (ballast)مغناطیسی (بجای متعادل کننده الکترونیکی) همانطوریکه در شکل ۵-۱۶ نشان داده

شده‌است ، اساساً جرقه بر اثر ولتاژ مابین دو ترمینال می‌باشد که با راکتانسی بـــه مقـدار قـابل قبول برای‌محدود کردن جریان سری شده است.

مشخصه ولتاژ و جریان جرقه‌های الکتریکی غیرخطی می‌باشد. بعـد از بوجـود آمـدن جرقـه باافزایش جریان جرقه ، ولتاژ دو سر آن کاهش پیدا می‌کند ، افزایش این جریان فقـط توسـط امپدانس‌منبع تغذیه محدود می‌شود. این عمل بـاعث می‌شـود کـه جرقـه در قسـمتی از سـیکل بصورت‌مقاومت منفی ظاهر شود. در استفاده از لامپ فلورسنت ، امپدانس دیگری بنام امپدانـس متعادل‌کننده ضروری بنظر می‌رسد تا اینکه جرقه پایدار شده و متناسب با ظرفیت لامپ محدود شود.بنابراین این نوع روشنایی دارای یک عنصر خارجی بنام امپدانس متعادل کننـده می‌باشـد. راه‌انداز و متعادل کننده مغناطیسی عموماً بخودی خود منبـع دیگـری بـرای تولیـد هـارمونیک می‌باشد ،البته منبع اصلی اغتشاش هارمونیکی رفتار جرقه می‌باشد.

POWEREN.IR

شکل ۱۶-۵ - مدار متعادل برای دستگاههای جرقه‌ساز

بهرحال برخی از راه‌اندازهای متعادل کننده‌های الکترونیکی کـه در منـابع تغذیـه کلیدزنـی مورداستفاده قرار می‌گیرند برای اصلاح راندمان بکـار رفتـه و بـاعث دو تـا سـه برابـر شـدن هارمونیکهانسبت به حالت نرمال خواهند شد. روش‌هایی بجای لامپ‌های با راه‌انـداز و متعـادل کننده معمولی مغناطیسی جهت کاهش هارمونیک طراحی شده است.

در مورد کوره‌های الکتریکی ، امپدانس اولیه ناشی از امپدانس‌هـای کـابل و سـیم‌های رابـط می‌باشد بعلاوه امپدانس‌های سیستم قدرت و ترانسفورماتور که معمولاً جریانهـای آن‌هـا بـالاتر از ۶۰۰۰۰ آمپر می‌باشد برای نشان دادن منابع جرقه ، کوره‌های الکتریکی بتنهایی بهترین نمونـه منابع تولید هارمونیک هستند. اگر به دو سر جرقه چنگک هـای اندازه‌گـیری را وصـل نمـائیم شکل موج تقریباً ذوزنقه‌ای را مشاهده خواهیم نمود . دامنه آن شکل موج بمقدار زیادی مناسـب با طول‌جرقه می‌باشد . بهرحال امپدانس متعادل کننده یاسیم‌های ارتباطی بعنوان مسـدود کننـده هارمونیک عمل می‌کنند بطوریکه ولتاژ منبـع بمقـدار کمـی مغشـوش خواهـد شـد. بنـابراین

بارجرقه‌ای نسبتاً بصورت یک منبع تولید هـــارمونیک پـایداری خواهـد بـود. اسـتثناء موقعـی بوجودمی‌آید که سیستم در نزدیکی حالت روزنانس باشد که استفاد از مدل معادل تونن جـــواب واقعی‌تری خواهد داد.

در شکل ۱۷-۵ طیف هارمونیکی و جریان یک لامـــپ فلورســنت نشـان داده شـده اسـت. این‌لامپ دارای راه‌انداز و متعادل کننده مغناطیسی می‌باشد. هارمونیکهـائی کـه در شـکل مـوج این‌لامپ وجود دارند شـبیه بـه هارمونیکهـای کوره‌هـای الکـتریکی و دیگـر وسـایل تولیـد جرقه‌می‌باشند. وسایل تولید جرقه سه‌فاز را می‌توان طوری ترتیب داد که هارمونیکهای مضـــرب سه توسط اتصال ســـربندی‌های ترانسـفورماتور حـذف شـوند . بهرحـال همیشـه ایـن حـذف بخاطرنامتعادلی که در خلال عمل ذوب اتفاق می‌افتد وجود ندارد. در خلال زمـــانی کـه شـدت جرقـه کـم اسـت و تـأثیرپذیر اسـت حـذف هـارمونیک مضـرب ســـه بهـــتر صـــورت می‌پذیرد.ساختمانهای تجاری دارای لامپ فلورسنت را جهت کاهش مقدار جریان هـــارمونیک مضرب سه‌که از منبع خواهد گذشت می‌توان بین فازها توزیع متعادل نمـود. توجـه کنیـد کـه ترانسفورماتورهای‌سه فاز ستاره - ستاره حتی اگر سه فـاز متعـادل خـوب باشـد مـانع عبـور هارمونیکهای مضرب ۳ نخواهد شد.

Harmonic	Percent	Phase (deg)
Fund	100.0	124
2	0.2	136
3	19.9	-144
5	7.4	62
7	3.2	-39
9	2.4	-171
11	1.8	111
13	0.8	17
15	0.4	-93
17	0.1	-164
19	0.2	-99
21	0.1	160

شکل ۱۷-۵ -طیف هارمونیکی و جریان یک لامپ فلورسنت

۵-۱۰ - دستگاههای با قابلیت اشباع

این بخش شامل تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورها و دیگر وسایل الکترومغناطیسی که دارای‌هستهٔ آهنی هستند از قبیل موتورها می‌باشد.هارمونیکها در نتیجه مشخصات غیرخطی مغناطیسی آهن بوجود می‌آیند (شکل ۵-۱۸ .)

POWEREN.IR

شکل ۵-۱۸ - مشخصه مغناطیسی ترانسفورماتور

ترانسفورماتورها طوری طراحی شده‌اند که در حالت عادی زیر نقطه خمیدگی و زیر منحنی‌اشباع مغناطیسی کار کنند. چگالی فوران مغناطیسی یک ترانسفورماتور براساس یک رابطه بهینه پیچیده‌ای از قیمت آهن ، تلفات بی‌باری ، سروصدا و خیلی عوامل دیگر تعیین می‌شود . شرکت‌های توزیع برق ، فروشندگان ترانسفورماتور را بخاطر تلفات بی‌باری و بارداری جریمه‌می‌کنند و فروشندگان ترانسفورماتور سعی می‌کنند که مشخصه‌های ترانسفورماتور را طوری‌انتخاب کنند که دارای کمترین قیمت باشد. عموماً جریمه بالا بخاطر تلفات بارداری و یاسروصدا بوده که باعث استفاده بیشتر آهن در هسته شده و همچنین قسمت اشباع در منحنی‌افزایش یافته و باعث کاهش جریانهای هارمونیکی می‌شود.

اگرچه جریان تحریک ترانسفورماتور دارای هارمونیک بالائی در ولتاژ نرمال است (شکل ۵-۱۹) ، ولی عملاً این جریان کمتر از یک درصد جریان در بار نامی می‌باشد. ترانسفورماتورها مانند مبدلهای الکترونیک قدرت و وسایل جرقه‌ساز که جریان هارمونیکی آنها ۲۰٪ یا بیشتر از جریان نامی می‌باشند ، نیستند .

بهر صورت اثر آن‌ها قابل توجه می‌باشد ، بویژه در سیستم توزیع ، که صدها ترانسفورماتوروجود دارد. بدیهی است که افزایش قابل توجه‌ای در جریانهای هارمونیکی مضرب سه در خلال‌صبح زود موقعی که بار کم است و ولتاژ زیاد هست وجود دارد.

جریانهای تحریک ترانسفورماتورها خیلی خوب قابل شناسایی هستند ، زیرا بار زیادی برای‌مبهم شدن قضیه وجود ندارد و با افزایش ولتاژ جریان افزایش می‌یابد. اغتشاش هارمونیکی ولتاژ که از افزایش تحریک ترانسفورماتور بوجود می‌آید عموماً تحت شرایط بار کم واضح بنظر می‌رسد.

شکل ۱۹-۵ - جریان و طیف هارمونیکی مغناطیسی ترانسفورماتور

بعضی از ترانسفورماتورها را بصورت عمدی در ناحیه اشباع مغناطیسی بکار می‌گیرند. یک مثال از این نوع : ترانسفورماتورهای سه‌تایی که برای تولید فرکانس ۱۸۰ هرتز در کوره‌های القایی مستفده می‌شوند.

موتورها هم در زمان فوق تحریک ، اغتشاش در جریان بوجود می‌آورند ، گرچه این اغتشاشات عموماً کم می‌باشد. بهرحال برخی موتورهای زیر یک اسب بخار یک فاز که دارای شکل موج تقریباًمثلثی شکل هستند دارای مقدار قابل ملاحظه‌ای هارمونیک سوم می‌باشند.

شکل موج نشان داده شده در شکل ۱۹-۵ مربوط به یک ترانسفورماتور یک فاز یا سه فازی که سیم‌پیچ ستاره آن زمین شده می‌باشد . عملاً جریان دارای مقدار زیادی هارمونیک سوم است . اتصال مثلث و اتصال ستاره بدون سیم زمین از عبور هارمونیک جریان ترادف صفرجلوگیری نموده در نتیجه هارمونیک جریان مضرب سه ایجاد خواهد شد. بنابراین جریان خط دارای این نوع هارمونیکها نخواهد بود ، مگر اینکه نامتعادلی بار در جاهایی وجود داشته باشد.

۱۱-۵ - اثرات اغتشاشات هارمونیکی

۱-۱۱-۵ - اثر روی خازنها

ANSI/IEEE استاندارد ۱۹۸۰/۱۸ مقادیر خازنها را که بصورت دائم مورد استفاده قرارمی گیرند مشخص می کند.

* ۱۳۵٪ قدرت غیرواقعی (Kvar) که روی خازن نوشته شده است.
* ۱۱۰٪ ولتاژ مؤثر نامی (که شامل هارمونیکها بوده و شامل حالت گذرا نمی‌باشد)
* ۱۸۰٪ جریان مؤثر نامی (که شامل جریان اصلی و جریان هارمونیکی می‌باشد)
* ۱۲۰ ٪ ولتاژ پیک (شامل هارمونیکها می‌باشد)

جدول ۱-۵ خلاصه از محاسبات کامپیوتری یک خازن می‌باشد این جدول طوری طراحی‌شده که به محاسبات خازنهای مختلف با توجه به استانداردها کمک می‌نماید. جریان اصلی بار نامی برای بانک خازنی Kvar ۱۲۰۰ توسط رابطه زیر مشخص می‌شود.

$$Ic = \frac{k\,\mathrm{var}_{3\phi}}{\sqrt{3}\times kV_{\phi\phi}} = \frac{1200}{\sqrt{3}\times 13.8} = 50.2 \qquad (۵-۱۲)$$

اساساً خازن دارای دو هارمونیک می‌باشد : هارمونیکهای پنجم و هفتم . اغتشاش ولتاژدارای ۴٪ هارمونیک پنجم و ۳٪ هارمونیک هفتم است . این باعث ۲۰٪ هارمونیک پنجم و ۲۱٪ هارمونیک هفتم در جریان می‌شود. حاصل در این حالت زیر حد استاندارد بوده همچنانکه‌در تابلو پایین جدول ۱-۵ نشان داده شده است .

جدول ۱-۵ - محاسبه خازن

Recommended practice for establishing capacitor capabilities when supplied by nonsinusoidal voltages (IEEE Standard 18-1980)

Capacitor bank data:

Bank rating:	1,200	kvar
Voltage rating:	13,800	V (LL)
Operating voltage:	13,800	V (LL)
Supplied compensation:	1,200	kvar
Fundamental current rating:	50.2	A
Fundamental frequency:	60	Hz
Capacitive reactance:	158,700	Ω

Harmonic distribution of bus voltage:

Harmonic no.	Frequency (Hz)	Volt. mag., V_h (% of fund.)	Volt. mag., V_h (V)	Line current, I_h (% of fund.)
1	60	100.00	7967.4	100.00
3	180	0.00	0.0	0.00
5	300	4.00	318.7	20.00
7	420	3.00	239.0	21.00
11	660	0.00	0.0	0.00
13	780	0.00	0.0	0.00
17	1020	0.00	0.0	0.00
19	1140	0.00	0.0	0.00
21	1260	0.00	0.0	0.00
23	1380	0.00	0.0	0.00
25	1500	0.00	0.0	0.00

Volt distortion (THD):	5.00 %
rms capacitor voltage:	7977.39 V
Capacitor current distortion:	29.00 %
rms capacitor current:	52.27 A

Capacitor bank limits:

	Calculated (%)	Limit (%)	Exceeds limit
Peak voltage	107.0	120	No
rms voltage	100.1	110	No
rms current	104.1	180	No
kvar	104.3	135	No

۲-۱۱-۵ - اثر هارمونیکها روی ترانسفورماتور

ترانسفورماتورها طوری طراحی می‌شوند که قدرت مورد نیاز را با کمترین تلفات در فرکانس اصلی تأمین نمایند. اغتشاش هارمونیکی جریان بهمان اندازه اغتشاش هارمونیکی ولتاژ باعث گرمای اضافه زیادی در ترانسفورماتور خواهد شد. برای اینکه ترانسفورماتور بتواند فرکانس‌های زیاد را تحمل کند، در طراحی روش‌های مختلفی بکار می‌برند. برای نمونه، بجای هادیهای یکپارچه از هادیهای چند رشته‌ای که در داخل آن مسیرهای خنک کنندگی بیشتری قراردارد استفاده می‌شود. بعنوان یک قاعده کلی، در ترانسفورماتوری که اغتشاش هارمونیکی بیش از ۵٪ می‌باشد کاهش هارمونیک در این ترانسفورماتور مطرح است.

موقعی که جریان بار شامل هارمونیک باشد سه عامل وجود دارد که باعث افزایش حرارت ترانسفورماتور است.

۱- **جریان مؤثر.** اگر ترانسفورماتور فقط به اندازه KVA بار باشد، جریانهای هارمونیکی ممکن است باعث افزایش جریان مؤثری بیشتر از مقدار ظرفیت آن شود. افزایش مقدار کل جریان مؤثر باعث افزایش تلفات در هادیها خواهد شد.

۲- **تلفات جریان سرگردان.** این جریانها در ترانسفورماتور توسط فوران مغناطیسی القا شده بوجود می‌آید. این جریانهای القایی از سیم‌پیچی‌ها عبور مینمایند. از هسته عبور کرده، همچنین از دیگرهادیهای بدنه متناسب با میدان مغناطیسی در طرف آنها عبور می‌کنند و باعث حرارت بیشتری خواهند شد. این جزء از تلفات ترانسفورماتور با مربع فرکانس جریان که سبب جریانهای گردشی شده افزایش می‌یابد. بنابراین، این یک جزء مهمی از تلفات ترانسفورماتور برای گرمای هارمونیکی می‌باشد.

۳- **تلفات هسته.** افزایش درتلفات هسته با وجود هارمونیکها بستگی به اثر هارمونیکها روی ولتاژ بکار برده شده و طراحی هسته ترانسفورماتور دارد. ممکن است افزایش اغتشاش ولتاژی باعث افزایش جریانهای سرگردان در ورقه‌های هسته شود. اثر خالص آن بستگی به ضخامت و جنس ورقه‌ها دارد. عموماً افزایش در تلفات ناشی از هارمونیکها به اندازه دو عامل قبل نیست.

راهنما برای کاهش اثر هارمونیکها در ترانسفورماتورها بصورت جزئیات در استاندارد C ANSI / IEEE ۵۷ ۱۱۰ وجود دارد .جدول ۲-۵ روش ساده ای را تشریح می کند . ضریب Kکه در کیفیت توان برای کاهش ظرفیت ترانسفورماتور استفاده می‌شود ، در شکل ۲-۵ آورده شده است.

جدول ۲-۵ - مثال ساده شده استاندارد ارزیابی ترانسفورماتور و ضریب محاسبهK

Site: Example Plant

Example Transformer

Harmonic distribution of transformer load current:

Harmonic	Current (%)	Frequency (Hz)	Current (pu)	I^2	$I^2 \times h^2$
1	100.000	60	1.000	1.000	1.000
3	1.600	180	0.016	0.000	0.002
5	26.100	300	0.261	0.068	1.703
7	5.000	420	0.050	0.003	0.123
9	0.230	540	0.003	0.000	0.001
11	8.900	660	0.089	0.008	0.958
13	3.100	780	0.031	0.001	0.162
15	0.200	900	0.002	0.000	0.001
17	4.800	1020	0.048	0.002	0.666
19	2.600	1140	0.026	0.001	0.244
21	0.100	1260	0.001	0.000	0.000
23	3.300	1380	0.033	0.001	0.576
25	2.100	1500	0.021	0.000	0.276
			Totals:	1.084	5.712
				K factor:	5.3
			Standard derating (ANSI/IEEE C57.110-1986):		0.87 pu

Assumed eddy-current loss factor (P_{EC-R}) = 8%

تجزیه و تحلیلی که در جدول نشان داده شده است بشرح زیر خلاصه می‌شود. تلفات بار، P_{LL} را می‌توان بصورت دو جزء تلفات I^2R و تلفات جریان سرگردان P_{EC} در نظر گرفت.

$$P_{LL} = I^2R + P_{EC} \qquad (W) \qquad (۵-۱۳)$$

تلفات I^2R متناسب با مقدار مؤثر جریان می‌باشد. بهرحال جریان سرگردان متناسب با مربع‌جریان و فرکانس بوده و توسط رابطه زیر معین می‌شود.

جدول ۳-۵- مقادیر عملی P_{EC-R}

Type	MVA	Voltage	$\%P_{EC\text{-}R}$
Dry	≤ 1		3–8
	≥ 1.5	5 kV HV	12–20
	≤ 1.5	15 kV HV	9–15
Oil-filled	≤ 2.5	480 V LV	1
	2.5 to 5	480 V LV	1–5
	>5	480 V LV	9–15

SOURCE: D. E. Rice, "Adjustable-Speed Drive and Power Rectifier Harmonics: Their Effects on Power System Components," in *Proceedings of the IEEE PCIC Conference*, No. PCIC-84-52.

ولی ترانسفورماتور در بار نرمال گرمای اضافی دارد . این ترانسفورماتور در آزمایشات کارخانه تایید شده است ولی زیر بار مشکل دارد . در صورتی که مشکلات خنک کنندگی مکانیکی بوجود نیاید چند امکان برای هادیها وجود دارد که تحت تأثیر فورانهای مغناطیسی هارمونیکی قرار می گیرند. سه مورد از آنها بقرار زیر است.

۱- فورانهای ترادف صفر از هسته فرار می کنند ، در هسته‌های ۳ بازویی (ترانسفورماتورهایی که موارد استفاده زیادی در ایستگاههای توزیع دارند). در شکل ۲۰-۵ این موضوع شرح داده‌شده است.

شکل ۲۰-۵ - فوران ترادف صفر در هسته ترانسفورماتور سه ستونه

هارمونیکهای ۳ و ۹ و ۱۵ و غیره ترجیحاً فورانهای ترادف صفر هستند. بنابراین ، اگر اتصال سیم‌پیچی‌های ترانسفورماتور طوری باشند که جریان ترادف صفر عبور کند ، این فوران‌های هارمونیکی باعث حرارت اضافی در تانک ، گیره‌های هسته و غیره خواهند بود در آزمایشات سه فاز متعادل و یا آزمایشات تک فاز نمیتوان به این موضوع رسید. ۸٪ جریان خط که در فوق به آن اشاره گردید منشاء (معادل) جریان هارمونیک سوم در سیم نول در حد ۲۴ درصد جریان فازی خواهد بود. این جریان می‌تواند سبب افزایش چشمگیری در شار نشتی در تانک ، روغن وفضاهای خالی گردد. از آثار (تبعات) این مقوله یکی رنگهای حبابگونه روی جداره تانک ودیگری شواهد گرمای شدید روی قسمت انتهایی مقره عبوری (بوشینگ) می‌باشد.

۲- شیفت dc در جریان نیز می‌تواند سبب فرار شار از مسیر هسته و بعبارتی افزایش شارنشتی گردد. بعنوان مثال در طی نیم سیکل مثبت هسته اندکی اشباع می‌گردد در حالیکه در نیم‌سیکل منفی بحالت عادی (غیراشباع) باقی می‌ماند. در تعدادی از مبدلهای قدرت الکترونیکی شکل موجهای جریان تولیدی بطور اتفاقی و یا با توجه به طراحی دستگاه نامتقارن می‌باشند. این‌پدیده می‌تواند سبب مقداری شیفت dc در سمت ثانویه (بار) ترانسفورماتور گردد که البته درسمت شبکه قابل اندازه‌گیری نیست. لازم به ذکر است که مقدار کمی شیفت dc می‌تواند منشأمشکلات زیاد ترانسفورماتورها گردد.

۳- یک سازه نگه‌دارنده (قفل و بست) ، انتهای فلزی مقره عبور یا دیگر قطعات هادی که در معرض (نزدیکی) میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد . این قطعات ممکن است از نظر اندازه کوچک باشند بگونه‌ای که تلفات جانبی(Stray loss)در آنها تحت فرکانس پایه قابل ملاحظه نباشد . درعین حال تحت تأثیر شارهای هارمونیکی به یک نقطه داغ در داخل ترانسفورماتور تبدیل‌می‌گردند .

۳-۱۱-۵ - اثر هارمونیک روی موتورها

موتورها بمقدار قابل ملاحظه‌ای توسط هارمونیکها اثرپذیر خواهند بود. اغتشاش‌هارمونیکی ولتاژ در ترمینالهای موتورها به فوران هارمونیکی در داخل موتور تفسیر خواهد شد.فورانهای هارمونیکی اثر مهمی روی گشتاور موتور ندارد ، اما موتور در فرکانسی متفاوت بافرکانس سنکرون رتور گردش می‌کند ، که اساساً تولید جریانهای با فرکانس بالا در رتور می‌شود.اثر

آن روی موتورها شبیه به اثر جریان ترادف صفر در فرکانس اصلی است : فوران اضافی باعث تلفات بیشتری می‌شود . کاهش راندمان ، همراه با حرارت ، لرزش ، سروصدا ، دلیل اغتشاش هارمونیکی می‌باشد.

در فرکانس‌های هارمونیکی ، موتورها را معمولاً توسط راکتانس رتور که به دو سر خط وصل شده است نشان می‌دهند . مؤلفه‌های هارمونیکی ولتاژ درجه پایین و دامنه آنها بیشتر می‌باشد و همچنین امپدانس ظاهری موتور کمتر است ، این موضوع برای موتورها خیلی مهم است.

اگر اغتشاش ولتاژ درحد استاندارد ۱۹۹۲ - ۵۱۹ یعنی THD ۵٪ و ۳٪ برای هرهارمونیک بتنهایی باشد نیاز به کاهش ظرفیت موتور نیست . مشکل افزایش حرارت موقعی بوجود می‌آید که اغتشاش ولتاژ به ۸ ٪ تا ۱۰٪ و حتی بیشتر برسد. این چنین اغتشاشی برای افزایش عمر موتورباید تصحیح شود .

موتورها بصورت موازی با امپدانس سیستم قدرت با توجه به عبور جریان هارمونیکی ظاهرمی‌شوند و عموماً تشدید سیستم را توسط کاهش حاصل اندوکتانس افزایش می‌دهند . آیا این‌برای سیستم ضرری دارد یا خیر بستگی به موقعیت تشدید سیستم قبل از موتور دارد. موتورممکن است باعث از بین رفتن بعضی هارمونیکها بشود که بستگی به نسبت $\frac{X}{R}$ مدار روتور دارد . سیستمهای با تعداد موتورهای کوچک ، که نسبت $\frac{X}{R}$ آنها کم هست ، هم ممکن است برای کمک درکاهش هارمونیکهای تشدید شوند. بهرحال این در موتورهای بزرگ اتفاق نمی‌افتد.

۱۲-۵ - مشخصه‌های پاسخ سیستم

در سیستم‌های قدرت ، جواب سیستم به همان اندازه منابع هارمونیکی مهم است. در حقیقت ، سیستم‌های قدرت نسبت به جریانهای تزریق شده توسط هارمونیکهای بار کاملاً قابل‌تحمل هستند مگر اینکه عمل عکس توسط امپدانس سیستم بوجود بیاید . مشخص کردن منابع‌فقط نیمی از راه تجزیه و تحلیل هارمونیکی می‌باشد. جواب سیستم قدرت در هر فرکانس‌هارمونیکی اثر صحیح بار غیر خطی را روی اغتشاش ولتاژ هارمونیکی معین می کند.

۱-۱۲-۵ - امپدانس سیستم

در فرکانس اصلی ، سیستم‌های قدرت ابتدا اندوکتیو هستند ، و امپدانس معادل را بعضی‌وقتها بصورت ساده راکتانس مدار اتصال کوتاه می‌نامند. اثرات خازنی اغلب در سیستم‌های‌توزیع و سیستم‌های برق صنعتی قابل صرفنظر کردن می‌باشند و یکی از کمیت‌هایی که عموماً در تجزیه و تحلیل هارمونیکی سیستم‌های قدرت استفاده می‌شود امپدانس اتصال کوتاه مربوط به نقطه‌ای از شبکه می‌باشد که خازن در آنها قرار داده شده است. و اگر مستقیماً قابل دسترسی نباشد می‌توان آن را از نتایج مطالعه مدار اتصال کوتاه محاسبه کرد و مگاولت آمپر اتصال کوتاه یاجریان اتصال کوتاه را بشرح زیر بدست آورد.

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

$$= \frac{kV^2}{MVA_{SC}} = \frac{I_{SC}}{\sqrt{3}kV} \qquad (۵-۱۸)$$

که Z_{SC} امپدانس مدار اتصال کوتاه ، R_{SC} مقاومت مدار اتصال کوتاه ، X_{SC} راکتانس مدار اتصال کوتاه ،KV ولتاژ خط به کیلو ولت ، MVA_{SC} مگاولت آمپر اتصال کوتاه سه فاز به و I_{SC} جریان اتصال کوتاه به A آمپر.

Zsc کمیت فازوری است ، که شامل مقاومت و راکتانس می‌باشد. بهرحال ، اگر داده‌های مدار اتصال کوتاه شامل اطلاعات فازی نباشد،معمولاً فرض می شود که بصورت خالص راکتیو می‌باشد .

این تقریب قابل قبولی برای سیستم‌های برق صنعتی در شین‌ها نزدیک به برق اصلی وهمچنین اکثر سیستم‌های توزیع می‌باشد. موقعی که این حالت وجود نداشته باشد. سعی‌می‌شود که مقدار مقاومت واقعی معین شود زیرا موقعی که خازنها قابل ملاحظه هستند نتایج تحت تأثیر قرار می گیرند.

قسمت راکتانس امپدانس با فرکانس بصورت خطی تغییر می کند . یک خطای معمولی که توسط مبتدیان در تجزیه و تحلیل هارمونیکی اتفاق می‌افتد این است که تنظیم راکتانس برای فرکانس فراموش می شود . راکتانس هارمونیک h_{th} از راکتانس امپدانس اصلی X_1 توسط رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$X_h = hX_1 \qquad (۵-۱۹)$$

در اکثر سیستم‌های قدرت ، عموماً فرض می‌شود که تغییرات مقاومت در مطالعه اثر هارمونیکهای کمتر از ۹ مقدار قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشد. تغییرات مقاومت برای خطوط وکابلهای تقریباً برابر با مجذور فرکانس می‌باشد که در فرکانس‌های بالا اثر پوستی مقدار قابل‌ملاحظه‌ای خواهد بود. بخاطر تلفات جریان سرگردان ، مقاومت ظاهری ترانسفورماتورهای بزرگ متناسب با فرکانس است . همچنانکه بعداً متوجه خواهید شد ، این اثر مفیدی در از بین بردن تشدید دارد. در ترانسفورماتورهای کوچک کمتر از ۱۰۰ KAV، مقاومت سیم‌پیچی نسبت به دیگر امپدانس‌ها بیشتر است که باعث از بین رفتن اثرات جریان سرگردان شده ومقاومت ظاهری تا فرکانس ۵۰۰ Hz تغییرات کمی دارد. البته ، این ترانسفورماتورهای کوچک ممکن است دارای نسبت $\frac{X}{R}$ از ۱ تا ۲ در فرکانس اصلی باشند . در صورتی که درترانسفورماتورهای بزرگ عملاً بین ۲۰ تا ۳۰ می‌باشد. بنابراین اگر شینی که مورد مطالعه قرارمی‌گیرد بیشتر تحت تأثیر امپدانس ترانسفورماتور باشد تا امپدانس خط ، برای مدل کردن امپدانس سیستم باید دقت بیشتری لحاظ شود. بطور کلی حذف مقاومت حدس بالایی اغتشاش هارمونیکی را افزایش می‌دهد . در ولتاژهای توزیع ، مانند سیستم‌های برق صنعتی ، اغلب راکتانس معادل سیستم عملاً امپدانس ترانسفورماتور می‌باشد . امپدانس ترانسفورماتور تقریب مناسبی برای X_{sc} می‌باشد.

$$X_{SC} \approx X_{TX} \qquad (۵-۲۰)$$

عموماً حداقل ۹۰٪ امپدانس و شاید بیشتر امپدانس ترانسفورماتور می‌باشد. این برای ارزیابی کردن اینکه آیا مشکل تشدید هارمونیکی وجود دارد و یا خیر می‌باشد . امپدانس ترانسفورماتوربه اهم از درصد امپدانس Z_{tx} که روی جلد نوشته شده است از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$X_{tx} = (\frac{kV_{\phi\phi}^2}{MVA_{30}}) \times Z_{tx}(\%) \qquad (۵-۲۱)$$

فرض بر این است که در امپدانس نسبت راکتانس به مقاومت اهمی خیلی زیاد است . برای مثال ، در یک ترانسفورماتور KVA ۱۵۰۰ ، ۶ درصدی ، امپدانس معادل در قسمت V ۴۸۰ بقرار زیر است .

$$X_{tx} = (\frac{kV_{\phi\phi}^2}{MVA_{30}}) \times Z_{tx}(\%) = (\frac{0.480^2}{1.5}) \times 0.06 = 0.0092\Omega \qquad \textbf{(۵-۲۲)}$$

نمودار امپدانس نسبت به فرکانس برای یک سیستم اندوکتیو (خازن نصب نشده) مطابق شکل ۲۱-۵ می‌باشد .رفتار سیستم‌های قدرت واقعی اینقدر خوب نیست. در این مدل ساده از خازن صرف نظرشده، که نمی‌توان روی آن تجزیه و تحلیل هارمونیکی را انجام داد.

158 Chapter Five

شکل ۲۱-۵ - امپدانس نسبت به فرکانس برای یک سیستم اندوکتیو

۲-۱۲-۵ - .امپدانس خازنی

خازنهای موازی که یا در نزدیک مصرف کننده و یا در سیستم توزیع برای تصحیح ضریب‌قدرت قرار دارند ، بطور قابل ملاحظه‌ای امپدانس سیستم را با تغییرات فرکانس تغییر می‌دهند.خازنها تولید هارمونیک نمی‌کنند ، بلکه بعضی وقتها اغتشاش هارمونیکی مجزایی بخاطر وجودآن به اینها نسبت داده می‌شود. از آنجا که مقاومت القایی متناسب با فرکانس افزایش می‌یابد ، مقاومت خازنی Xc متناسب با فرکانس کاهش پیدا می‌کند.

$$X_c = \frac{1}{2\pi FC} \qquad \textbf{(۵-۲۳)}$$

که C ظرفیت خازن به فاراد می‌باشد. کمیت C بندرت برای خازنهای قدرت دردسترس می‌باشد ، بلکه به Kvar یا Mvar در ولتاژ معین داده شده وجود دارد . معادل راکتانس‌خازنی برای فاز به نول در فرکانس اصلی برای بانک خازنی توسط رابطه زیر مشخص می‌شود.

$$X_c = \frac{KV^2}{M\,\mathrm{var}} = \frac{KV^2(1000)}{K\,\mathrm{var}} \qquad (۵-۲۴)$$

برای بانکهای خازنی سه‌فاز ، ولتاژ خط (فاز به فاز) و مقدار نامی قدرت راکتیو بکار برده‌می‌شود. برای مثال ، برای یک خازن سه فاز Kvar ۱۲۰۰ ، KV ۱۳/۸،راکتانس ترادف مثبت به‌اهم بدست می آید:

$$X_c = \frac{KV^2}{M\,\mathrm{var}} = \frac{13/8^2}{1/2} = 158/7\Omega \qquad (۵-۲۵)$$

۳-۱۲-۵ -تشدید موازی

تمامی مدارهایی که شامل خازن و اندوکتانس می‌باشند دارای یک یا چند فرکانس طبیعی‌می‌باشند. موقعی که یکی از این فرکانس‌ها با فرکانسی که درسیستم قدرت بوجود آمده ، منطبق می‌شود تشدید شکل می گیرد ، که در آن فرکانس ولتاژها و جریان‌ها بمقدار زیادی بوجود خواهد آمد . ریشهٔ اکثر مشکلات در رابطه با اغتشاش سیستم‌های قدرت ناشی از این موضوع می‌باشد. در فرکانس هارمونیکی ، از سیمای کلی منابع هارمونیکی ، خازنهای موازی بصورت موازی با اندوکتانس سیستم ظاهر می‌شوند همانطوریکه در مدار معادل شکل a ۲۲-۵ و b۲۲-۵ نشان داده شده است. در فرکانس‌های بجز فرکانس اصلی نیروگاهها بصورت اتصال کوتاه ظاهرمی‌شوند فرض شده که فقط منبع ولتاژ اصلی وجود دارد ، که عموماً فرض قابل قبولی است .

در فرکانسی که X_L و کل راکتانس سیستم مساوی باشند ، امپدانس ظاهری مجموعه موازی اندوکتانس و خازن همچنانکه بصورت منبع جریانهای هارمونیکی دیده شده است خیلی بزرگ هستند و این در شرایط تشدید موازی در عمل وجود دارد . اثر تغییرات اندازه ظرفیت خازن روی امپدانس توسط منبع هارمونیکی در شکل c ۲۲-۵ نشان داده شده است که با حالت بدون خازن مقایسه شده است.

بدیهی است که اگر یکی از قله‌ها با جریان هارمونیکی تولید شده توسط بار منطبق شود ، افت ولتاژ دو سر امپدانس ظاهری بیشتر از موقعی خواهد بود که خازن نباشد . در فرکانس تشدید

برای یک مجموعه اندوکتانس - خازن مشخص را توسط فرمولهای مختلفی می‌توان بدست آورد که بسته به داده‌های موجود دارد . معادله ساده فرکانس تشدید بشرح زیر است:

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (۵-۲۶)$$

شکل ۲۲-۵ - اثر اندازه ظرفیت خازن روی فرکانس تشدید موازی

تجزیه و تحلیل گرهای سیستم قدرت عملاً مقدار L و C را نمی‌توانند بسادگی بدست آورند بلکه ترجیح می‌دهند که روابط دیگری را بکار برند. معمولاً هارمونیک تشدید hr را براساس امپدانس‌های فرکانس اصلی و مقادیر کافی از طریق زیر بدست می‌آورند:

$$h_r = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} = \sqrt{\frac{MVA_{sc}}{M\,\mathrm{var}_{cap}}} = \sqrt{\frac{kVA_{tx} \times 100}{k\,\mathrm{var} \times Z_{tx}(\%)}} \qquad (۵-۲۷)$$

که

h_r = هارمونیک تشدید

X_c = راکتان خازنی

X_{SC} = راکتانس مدار اتصال کوتاه سیستم

MVA_{SC} = MVA اتصال کوتاه سیستم

$M\,\mathrm{var}_{rcap}$ = Mvar نامی بانک خازنی

KVA_{tx} = KVA نامی ترانسفورماتور کاهنده

Z_{tx} = امپدانس ترانسفورماتور کاهنده

$k\,\mathrm{var}_{cap}$ = Kvarنامی بانک خازنی

برای مثال ، برای یک شین بار صنعتی جایی کـه امپدانـس ترانسـفورماتور زیـاد هسـت ، هارمونیک تشدید برای یک ترانسفور ماتور KVA ۱۵۰۰ ، ۶٪ و بانک خازن Kvar تقریباً برابر است با:

$$h_r \approx \sqrt{\frac{kVA_{tx} \times 100}{k\,\mathrm{var}_{cap} \times Z_{tx}(\%)}} = \sqrt{\frac{1500 \times 100}{500 \times 6}} \qquad (۵-۲۸)$$

۴-۱۲-۵ - اثرات بارهای مقاومتی

مشخص می‌شود که هارمونیک تشدید در ولتاژ یک منبع هارمونیکی عاملی بـرای نگرانـی و خبردادن نیست. اغلب در یک سیستم برای از بین بردن هارمونیک کافی است که از جریانها و ولتاژهای‌حادثه‌ساز توسط مقاومت جلوگیری کنند. شکل ۲۳-۵ مشخصه امپدانس مـدار تشـدید موازی‌است که برای مقادیر مختلف بار مقاومتی که بـا خـازن مـوازی شـده اسـت می‌باشـد . بطوریکه مقدار بار مقاومتی به کمی ۱۰ درصد به مقدار قابل ملاحظه‌ای روی امپدانس پیک اثـر میگذارد . دراین‌صورت ، اگر طول خط قابل ملاحظه‌ای بین خطوط و کابل‌های مابین شین خازن و نزدیکترین ترانسفورماتورباشد ، تشدید بیشتر میشود . خطوط و کابلها بمقدار قابل ملاحظـه‌ای مقاومت به مدار معادل اضافه می کنند.

بخـاطر مقـاومت بارهـا و خـط بنـدرت مشـکلات هـارمونیکی حـاد از ناحیـهٔ خازنهـا در فیدرهای‌سیستم توزیع وجود دارد. این را نمی‌گوئیم که هیچ گونه مشکلی از ناحیهٔ تشدید وجود ندارد ،بلکه این نوع مشکلات هیچ گونه خرابی فیزیکی برای تجهیزات سیـستم قدرت به بـار

شکل ۲۳-۵ - اثر مقاومت بارها در تشدید موازی

نمی‌آورند.پرزحمت ترین شرایط تشدید موقعی اتفاق می‌افتد که خازنها در شین‌های تولید یا توزیع یاتجهیزات صنعتی نصب شده باشند . در این حالات ، راکتانس ترانسفورماتور حاکم بر راکتانس سیستم است و دارای نسبت X/R زیاد می‌باشد ، مقاومت نسبی کم و پیک امپدانس تشدید موازی‌خیلی تیز و زیاد می‌باشد. این یک حالت معمولی خرابی خازن ، خرابی ترانسفورماتور یاتجهیزات بار می‌باشد .

در صورتی که مهندسین توزیع نخواهند با مطالعه تشدید مبادرت به قراردادن بانکهای فیدرنمایند ، مطالعه روی استفاده خازنهای صنعتی و توزیع باید انجام بگیرد. مهندسین توزیع این رامی‌گویند که برای ۲۰ درصد دستگاههای صنعتی هیچگونه مطالعه صورت نمی‌گیرد و این‌مهمترین عامل قطع و یا خرابی در نتیجه تشدید ، می‌باشد.در حقیقت ، انتخاب مقدار خازن از جدول سازنده برای تصحیح ضریب قدرت با توجه به داده‌های بدست آمده ماهانه باعث می‌شود که سیستم حدود هارمونیک پنجم تنظیم شود.

این هارمونیک یکی از بدترین هارمونیکها است که باید سیستم برای آن تنظیم شود زیرا این هارمونیک بزرگترین مقدار را در سیستم‌های سه فاز دارد. این که بارهای اهمی هارمونیکها را از بین می‌برد مفهوم غلطی‌می‌باشد ، هر نوع باری حتی اگر اثر کمی هم روی جریانهای هارمونیکی داشته باشد باعث‌اغتشاش ولتاژی خواهد شد. اکثر جریانها به منبع تولید برق برمی‌گردند . بهرحال ، مناسب است که بگوئیم بارهای مقاومتی تشدید را از بین می‌برند ، که باعث کاهش عمده اغتشاشات‌هارمونیکی می‌شوند .

موتورها اصولاً القایی هستند و مقدار کمی باعث از بین بردن هارمونیک می‌شوند.درحقیقت آنها ممکن است باعث افزایش اغتشاش بوسیله جابجایی فرکانس تشدید نزدیک به‌هارمونیک مؤثر شوند . موتورهای کمتر از یک اسب بخار ممکن است باعث خفه‌کردن هارمونیک به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای شوند زیرا نسبت ظاهری X/R آنها کمتر از موتورهای بزرگ می‌باشد.

۱۳-۵ - اصول کار کنترل هارمونیکها

این بخش برخی از اصول اساسی برای کنترل هارمونیکها را تشریح می‌کند.

اساساً هارمونیک مشکل ساز خواهد بود اگر:

۱- منبع جریانانهای هارمونیکی بسیار زیاد باشد .

۲- مسیری که جریانها از آن عبور می کند خیلی طولانی باشد (بصورت الکتریکی) ، که باعث اغتشاش زیاد ولتاژ و یا اغتشاشات تلفنی شود.

۳- پاسخ سیستم باعث تشدید یک یا چند هارمونیک شود.

زمانی که مشکلی اتفاق می‌افتد ، راههای ساده‌ای که برای کنترل هارمونیک وجود داردعبارتند از:

۱- کاهش دادن جریانهای هارمونیکی که توسط بار تولید شده‌اند

۲- اضافه کردن فیلتر که باعث جلوگیری از ورود جریان‌های هارمونیکی به سیستم شده و یا باعث تولید جریانهای هارمونیکی بصورت منطقه‌ای (محلی) شوند.

۳- تغییر دادن جواب فرکانس سیستم توسط فیلترها ، اندوکتورها و یا خازنها.

۱-۱۳-۵ -کاهش جریان های هارمونیکی در بارها

در کاهش قابل ملاحظه هارمونیک مربوط به تجهیزات در بار کار زیادی نمی‌شود انجام دادمگر اینکه آنها بد کار کنند . هنگامی که یک ترانسفورماتوری فوق تحریک شده باشد توسط کاهش ولتاژ به حالت نرمال برگردانیده می‌شود . دستگاههای جرقه‌ساز و اکثر مبدلهای الکتریکی درمشخصه طراحی شان کار میکنند.

محرکهای PWM شین‌های خازن‌دار مستقیماً از خط برقدار می کنند و این کار بدون امپدانس انجام می‌گیرد که یکی از استثناهای این موضوع می‌باشد . اضافه کردن رآکتور بصورت‌سری بمقدار قابل ملاحظه‌ای هارمونیکها را کاهش می‌دهد وبه همان اندازه برای حفاظت درحالت گذرا سودمند می‌باشد.

توسط اتصالات و سربندی ترانسفورماتورها در سیستم سه فاز می‌توان هارمونیک را کاهش‌داد. با جابجایی نیمی از یک مبدل قدرت ۶ پالس در یک بار به اندازه ۳۰ درجه تقریباً مزیت بارهای۱۲ پالس را پیدا خواهد کرد و بصورت قابل ملاحظه‌ای هارمونیکهای پنجم و هفتم را کاهش می‌دهد . اتصال مثلث ترانسفورماتور باعث جلوگیری از عبور هارمونیکهای ترادف صفر (عملاً مضرب سه‌ها) از جریان خط خواهد شد. ترانسفورماتورهای زیگزاک و اتصال زمین باعث جلوگیری هارمونیکهای مضرب سه از جریان خط می‌شوند.

جرائمی که برای سازندگان و لوازم برقی با مشخصهٔنامطلوب هارمونیکی اعمال‌می‌شود راهی طولانی برای جلوگیری از مشکلاتی است که هارمونیکها بوجود می‌آورند . این‌موضوع بخصوص برای بارهایی مانند لامپ‌های روشنایی با راندمان بالا بسیار مهم است.

۲-۱۳-۵ - فیلترگذاری

قرار دادن فیلتر موازی نزدیک به منبع اغتشاش باعث اتصال کوتاه کردن جریانهای هارمونیکی می‌شود. این کار باعث می‌شود که این نوع جریانها به منبع نرسد. این متداول‌ترین نوع فیلترگذاری است زیرا هم از نظر اقتصادی مقرون بصرفه بوده و هم باعث صاف کردن ولتاژ بار می‌شودهمچنین باعث حذف جریان هارمونیکی می‌شود.

نوع دیگر فیلتر سری است که باعث مسدود کردن جریانهای هارمونیکی می‌شود. این یک مدار تنظیم کننده موازی است که امپدانس بالایی برای جریان هارمونیکی بوجود می‌آورد. این نوع فیلترکم استفاده میشود زیرا نصب آن مشکل است و باعث مغشوش کردن ولتاژ بارمی‌شود . یکی از کاربردهای متداول آن در سیم خنثی خازن ستاره است برای اینکه از عبور جریانهای مضرب سه‌جلوگیری شود در صورتی که فرکانس اصلی بخوبی عبور می‌کند . فیلترهای فعال بصورت‌الکترونیکی کارکرده و باعث تزریق هارمونیک جریان به بار غیرخطی میشود .

۳-۱۳-۵ - اصلاح پاسخ فرکانسی سیستم

روش‌های اصلاح ضرر پاسخ سیستم به هارمونیکها عبارتند از :

۱- قرار دادن فیلتر موازی . این عنصر موازی نه تنها باعث حذف هارمونیکهای جریان‌می‌شود ، بلکه اغلب پاسخ سیستم را برای اینکه بهتر شود بکلی تغییر می‌دهد.

۲- قرار دادن یک راکتور برای از کار انداختن تشدید سیستم. تشدیدهای سنگین عموماً بین اندوکتانس سیستم و خازن موازی که برای تصحیح ضریب قدرت قرار داده شده است بوجودمی‌آیند. رآکتور را مابین خازن و سیستم قرار می‌دهند . یک روش ساده قرار دادن یک راکتورسری با خازن می باشد که فیلتری را بوجود بیاورد تا خازن تشدید نشود.

۳- تغییراندازه خازن.این روش اغلب ارزانترین راه حل برای شرکت برق و مشتری‌های‌صنعتی می‌باشد.

۴ - تغییر محل خازن به نقطه‌ای از سیستم که امپدانس اتصال کوتاه متفاوت یا تلفات بیشتری داشته‌باشد. این روشی برای شرکت برق می‌باشد که اگر بانکهای خازنی باعث اغتشاشات تلفنی‌می‌شود آنها را به مکانهای دیگرانتقال بدهند که باعث حل این مشکل خواهد شد. این روش برای‌مصرف کننده‌های صنعتی مناسب نیست چون نمی‌توانند خازن را خیلی جابجا کنند تا تغییرات عمده‌ای بوجود آید.

۵- حذف خازن ، بطور ساده قبول تلفات بالا ، ولتاژ کم ، جریمه ضریب قدرت . اگر بصورت‌فنی قابل قبول باشد این روش اقتصادی‌ترین انتخاب می‌باشد.

۴-۱۳-۵ - در فیدرهای توزیع

نسبت X/R فیدرهای توزیع عموماً کم می‌باشد. بنابراین تقویت هارمونیکها توسط تشدیدبانکهای فیدر معمولاً ملایم می‌باشد. بهرحال ، زمانی که بانکهای خازنی دارای انرژی قابل‌توجه باشد ، می‌تواند باعث بد کار کردن تجهیزات شود. مهندسین توزیع معمولاً بدون درنظرگرفتن هارمونیک بانکهای خازن فیدر را هر جایی که می‌خواهند قرار می‌دهند.

اکثر مشکلات هارمونیکی در نتیجه قرار دادن بانکهای خازن فیدر و هارمونیک مضرب سه در سیم خنثای فیدر می‌باشد. برای تغییر عبور جریانهای هارمونیکی ترادف صفر ، باید در اتصالات نقطه خنثای ستارهٔ بانکهای تغذیه تغییراتی بوجود آورد.

بعضی وقتها قراردادن یک راکتور در سیم خنثی برای تنظیم کردن تشدید به هارمونیک ترادف صفر دارای مزیت می‌باشد. اکثر وقتها ، مشکلات هارمونیکی در فیدرهای توزیع بخاطر بارهای کم بوجود می‌آیند. افزایش‌در ولتاژ باعث هارمونیکهای بیشتر در ترانسفورماتور می‌شود. بارهای کمی برای از بین بردن‌تشدید وجود دارد. در این حالت اغلب با خارج کردن خازن از مدار مشکل حل می‌شود.

برای جریانهای هارمونیکی در منابع تولید زیاد هارمونیک نیاز به فیلترگذاری در فیدر توزیع‌می‌باشد ، ایده کلی توزیع بودن چند فیلتر در فیدرهاست کاهش مسیر جریانهای هارمونیکی ،باعث کاهش اغتشاشات تلفنی و همچنین کاهش افت ولتاژ هارمونیکی در خطوط می‌شود . اینکار دوره نگهداشتن اغتشاش ولتاژ از فیدرها را به حداقل می‌رساند. با قراردادن فیلتر درفیدرهای ابتدا و انتهایی و با در نظر گرفتن اغتشاش ولتاژ ، امکان اینکه سطح اغتشاش ولتاژ درجاهای دیگر هم از حد مجاز بیشتر شود بعید است.

مطالعات هـارمونیکی را می‌بایسـت در مـورد بانکهـای خـازنی قـرار داده شـده در سیسـتم توزیع‌انجام داد. چیزی که می‌شود محاسبه نمود تلفات سیستم برای از بین بردن تشدید در ایـن نقطه ازسیستم است . قرار دادن فیلتر در ایستگاه توزیع برق مشـکل را ضرورتـاً در فیـدر حـل نخواهدکرد مگر اینکه مشکل براساس تشدید بانک خازنی ایستگاه توزیع بررسی شود.

۵-۱۳-۵ - در تجهیزات مصرف کننده‌ها

ابتدا مشخص کنید که آیا ظرفیت خازن مورد استفاده نسبت به آنچه در قبـل گفتـه شـده مناسب است . بعضی وقتها مقدار زیادی خازن با بار به سیستم وصل می‌شود که کنـترل مقـدار آنها مشکل ساز است . بهرحال با خازنهائی کـه در مـدار قـرار می‌گـیرند و همچنیـن کنـترل کننده‌های ضریب قدرت ، باید ترتیبی اتخاذ شود تا یک طرح کلی کنترلی داشته باشیم کـه کمترین خطر را داشته باشد.

قرار دادن فیلتر در قسمت مصرف کننده‌ها از نظر عملی و اقتصادی بهتر از آنهایی ست کـه در سیستم توزیع قرار می‌گیرند ، حد و میزان نصب فیلتر بسادگی بدست می آیـد . و تجهـیزات فیلتر در بازار فراوان می‌باشد .

مصرف کننده‌های صنعتی هم راههایی را می‌بایست جستجو کنند تا به سـربندی‌های مختلـف ترانسفورماتور بـاعث کـاهش هـارمونیک بشـود . در مصـرف داری از ترانسـفورماتورهای زیکزاک ودیگر وسایل برای حذف هارمونیکهای مضرب ۳ از خطوط سه فاز استفاده می‌شـود. مطالعات روی سیستمهای صنعتی که در آنها خازن نصب شده است می‌بایسـت انجـام بگـیرد . سیستمها بسیار کوتاه هستند و تلفات در صورت وجود تشدید نمی‌توانـد آنهـا را از بیـن بـبرد برخی‌واحدها از این قضیه مستثنی هستند زیرا خازنها نزدیـک بارهـا نصـب شـده‌اند و بمقـدار کافی‌مقاومت در خط وجود دارد تا از مشکل جلوگیری شود. همچنین ، برخی بارهـا در از بیـن بردن‌تشدید بسیار مؤثر هستند . بهرحال روی این موضوع نباید حساب کرد تا اینکه مطالعه لازم برای‌آن انجام شود . اگر برای اولین بار خازن‌ها نصب می‌شوند ، دقت شود موقعی که خازنها در کارخانه‌ها نزدیک به موتور و مراکز کنترل موتور نصب شوند مشکلات تشدید کمـتر خواهـد بود. البته برای کاهش تلفات در کل سیستم قرار گرفتن خازن بطور ساده در شـین اصلـی نـیز توجیه اقتصادی دارد .

۱۴-۵ - مشخص کردن محل هارمونیکها

در فیدرهای توزیع که بصورت شعاعی هستند و همچنین سیستم‌های قدرت مربوط به‌کارخانه‌ها جریانهای هارمونیکی از بارهایی که تولیدشان کرده‌اند عبور کرده و بسمت منابع تولیدبرق حرکت می‌کنند . این در شکل ۲۴-۵ شرح داده شده است. از نظر جریانهای هارمونیکی امپدانس سیستم قدرت کمترین امپدانس می‌باشد. بنابراین مجموعه این جریانها از منبع عبورخواهد کرد. شما می‌توانید این گرایش عمومی را کشف کنید تا محل منابع هارمونیکی را درسیستم مشخص کنید. استفاده از اندازه‌گیری و ثبت به ما قابلیت گزارش مقدار هارمونیک جریان‌را می‌دهد ، که بصورت ساده با اندازه‌گیری هارمونیک در هر شاخه انجام می‌پذیرد ، که از ابتدای‌هر مدار شروع می کنیم ، و هارمونیکها را تا منبع آنها دنبال می کنیم .

انجام تصحیح ضریب قدرت می‌تواند الگو را حداقل برای یک هارمونیک تغییر بدهد. برای‌مثال ، اضافه نمودن خازن به مدار قبلی که در شکل ۲۵-۵ نشان داده شده است ، ممکن است باعث کشیدن مقدار زیادی جریان هارمونیکی از قسمتی از مدار باشد. اگر از روش بالا استفاده‌می‌کنید ، ممکن است وسوسه شوید که بجای منبع واقعی خازنها مسیر دیگری که به بانک خازن ختم می‌شود انتخاب کنید.

بنابراین ضروری است که همه خازنها را بصورت موقت قطع نمائیم تا محل واقعی منابع‌هارمونیکها مشخص شود.

معمولا خیلی ساده است که بین جریانهای هارمونیکی فرق گذاشته شود که این کار در نتیجه‌منابع واقعی از جریانهای هارمونیکی می‌باشد و منحصراً وابسته به تشدیدی است که بانکهای‌خازن در آن مشارکت دارند. جریانهای تشدید دارای یک هارمونیک حاکم است که سوار بر قله شکل موج سینوسی فرکانس اصلی می‌باشد . اگر مشکل‌های مربوط به شکل موج منابع‌هارمونیکی که در وین این بخش نشان داده شده را مطالعه نمائیم ، هیچ منبعی وجود ندارد که تنها یک هارمونیک علاوه بر فرکانس اصلی وجود داشته باشد. بعضی وقتها شکل موج بصورت دلخواه است که وابسته به پدیده اغتشاش می‌باشد ، ولی آنها دارای چندین هارمونیک بامقادیر قابل ملاحظه‌ای هستند. یک هارمونیک بزرگ تقریباً مربوط به تشدید می‌باشد .

این عامل می‌تواند تعیین کننده این موضوع باشد که مشکلات تشدید هارمونیکی در یک سیستم احتمالاً با خازنها بوجود آمده است. بطور ساده جریان در خازنها اندازه‌گیری می‌شود.

اگردر داخل این جریان مقدار زیادی از یک هارمونیک در مقایسه با فرکانس اصلی وجوددارد ، احتمالاً خازن موجود در سیستم قدرت در ایجاد تشدید مشارکت داشته است. در تأسیساتی که انتظار مشکل هارمونیکی می‌رود ، همیشه بایستی ابتدا جریانهای خازن امتحان شود .

۵-۱۵ - وسایل فیلتر کردن اغتشاشات هارمونیکی

دو دسته کلی فیلترگذاری وجود دارد:

۱- فیلترهای غیرفعال

۲- فیلترهای فعال

نقاط برجسته هر دسته را بصورت مجزا شرح می‌دهیم.

۵-۱۵-۱ - فیلترهای غیرفعال

فیلترهای غیرفعال از عناصر اندوکتانس ، خازن و مقاومت ساخته می‌شود. آنها از نظر قیمت‌نسبت به دیگر وسایل حذف هارمونیک ارزانتر هستند . ولی عیب آنها اثر متقابل پتانسیلی با سیستم می‌باشد . آنها جریانهای هارمونیکی را یا اتصال کوتاه می‌کنند و یا مسدود می‌کنند .

عبور جریان بین قسمتهای سیستم با میزان کردن عناصر بطوریکه حالت تشدید را برای فرکانس مورد نظر بوجود بیاورند انجام می‌پذیرد . شکل ۲۵-۵ انواع مختلف ترکیب فیلترهای معمول رانشان می‌دهد.متداول‌ترین نوع فیلتر غیرفعال فیلتر شکافی میزان شده‌تکی (Single tuned notch) است . این اقتصادی‌ترین نوع می‌باشد و عموماً کفایت می‌کند. یک مثال از ترکیب یک فیلتر معمولی ۴۸۰ ولت در شکل ۲۷-۵ شرح داده شده است . فیلتر شکافی بصورت سری میزان شده است تا امپدانس کمی را در جریان هارمونیکی معین داشته باشد . این فیلتر بصورت موازی در سیستم قدرت وصل شده است . بنابراین ، جریانهای هارمونیکی از مسیر اصلی‌شان در خط به‌فیلتر منحرف می‌شوند. فیلترهای شکافی علاوه بر از بین بردن هارمونیک باعث تصحیح قدرت می‌شود .

یک بانک خازنی با ولتاژ پایین که بصورت مثلث وصل شده است و توسط اضافه‌کردن یک اندوکتانس بصورت سری به یک فیلتر تبدیل شده در شکل نشان داده شده است.در این حالت ، هارمونیکهای شکافی h_{notch} مربوط به راکتانس فرکانس اصلی می‌باشد که:

$$h_{notch} \quad \sqrt{\frac{X_c}{3 \times 4}} \qquad (۵-۲۹)$$

شکل ۲۶ - ۵ - ترکیب معمولی فیلتر غیرفعال

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

شکل ۲۷ - ۵ - بوجود آوردن یک فیلتر شکافی هارمونیک پنجم و اثر آن روی پاسخ سیستم

دقت شود در این حالت ترجیح داده می‌شود که X_c مقدار راکتانس یک ساق مثلث باشد تا اینکه راکتانس معادل فاز به نقطه خنثی باشد . اگر ما ولتاژ فاز به فاز و مقدار Kvar سه فاز را برای محاسبه X_c بکار می‌بریم ، همانطوریکه قبلاً گفته شد نباید آنرا تقسیم به ۳ کنیم .یکی از مهمترین اثرات جانبی قراردادن فیلتر این است که باعث ایجاد یک نقطه تشدید موازی‌تیز در فرکانسی زیر فرکانس شکافی خواهد شد (شکل.c ۲۷-۵) این فرکانس تشدید می‌بایست همواره با اطمینان از هارمونیک مهم دور نگاه داشته شود.فیلترها معمولا کمی کمتر از

هارمونیکی که باید حذف شود میزان می‌شوند تا ضریب اطمینانی باشد برای حالتی که تغییرات در پارامترهای سیستم بوجود می‌آید. اگر فیلترها دقیقاً برای حذف آن هارمونیک میزان شوند ، اثر حرارت در خازن یا اندوکتور یا خرابی ممکن است باعث افزایش فرکانس تشدید موازی شود و آنرا به هارمونیک مهم نزدیکتر کند . این بدتر از حالت بدون‌فیلتر می‌باشد زیرا فرکانس تشدید خیلی تیز می‌باشد .

بدین علت ، شروع فیلترها در سیستم باید برای رفع مشکلات هارمونیکهای با درجه پایین‌باشد . برای مثال ، برای قراردادن یک فیلتر هفتمین هارمونیک معمولا نیازمند به نصب فیلترهارمونیک پنجم می‌باشد. فرکانس تشدید مدار موازی جدید که مربوط به فیلتر هفتمین هارمونیک میباشد خیلی نزدیک به فیلتر پنجمین هارمونیک می‌باشد که بطور کلی مضر میباشد.

ترکیب فیلتر شکل a ۲۷-۵ اجازه جریانهای ترادف صفر را نمی‌دهد زیرا خازن بصورت مثلث وصل شده است. این باعث کم اثر شدن فیلترهای هارمونیکی مضرب ۳ می‌شود . موقعی که کنترل جریانهای هارمونیکی مضرب ۳ ترادف صفر ضروری بنظر می‌رسد راههای دیگری باید بکار برد ، زیرا خازنهای ۴۸۰ ولت همیشه بشکل مثلث وجود دارند. برعکس خازنها در سیستم‌توزیع معمولاً به شکل ستاره هستند . این حق انتخاب تعیین مسیر هارمونیکهای مضرب ۳ ترادف صفر را بطور ساده با تغییر اتصال سیم خنثی بما می‌دهد . قرار دادن یک راکتور در سیم خنثای خازن راه متعارفی است برای اینکه بانک خازنی فقط هارمونیکهای ترادف صفر را حذف کند . این روش اغلب برای حذف اغتشاشات تلفنی مستفده می‌شود. یک راکتور چند سر از سیم‌پیچ در مسیر سیم خنثی قرار می‌گیرد و طوری تنظیم می‌شود تا اغتشاشات تلفنی را به حداقل برساند ، که تنظیم آن بسته به این است که کدام هارمونیک مشکل‌ساز می‌باشد.

فیلتر غیرفعال همیشه در روی شین قرار می‌گیرد. جایی که انتظار می‌رود X_L ثابت باشد ، فرکانس تشدید موازی با امپدانس سیستم تغییر می‌کند. برای مثال ، فرکانس تشدید موازی برای سیستمی که برقدار هست ولی بدون بار کار می‌کند ، احتمالا خیلی کمتر از موقعی است که به تجهیزات مصرف کننده وصل میشود. بنابراین فیلترها اغلب برای سیستمی که بدون بار است حذف میشوند. همچنین ، فیلترها میبایست با توجه به ظرفیت شین طراحی شوند. برای آزمایش ، اندازه‌ظرفیت تحمل جریان خازن را فقط براساس باری که تولید هارمونیک می‌کند بحساب

می‌آورند. بهرحال مقدار کمی اغتشاش ولتاژ در شین بسیار قوی ممکن است وظیفه سنگینی بر فیلتر تحمیل کند.

۲-۱۵-۵ - فیلترهای فعال

فیلترهای فعال نسبتاً وسیله جدیدی برای حذف هارمونیکها می‌باشند. کارآنها براساس الکترونیک قدرت مدرن می‌باشد و از فیلترهای غیرفعال گرانتر هستند. بهرحال مزیت برجسته آنها این است که آنها تشدید با سیستم بوجود نمی‌آورند . در شرایط سخت بکار می‌روند جایی‌که فیلترهای غیرفعال نمی‌توانند موفقیت آمیز باشند زیرا در آنجا تشدید موازی بوجود می‌آید.آنها می‌توانند در یک زمان خطاب به بیش از یک فرکانس باشند و همچنین با مشکلات دیگر کیفیت قدرت مثل تغییرات ناگهانی برق مقابله کنند . آنها بویژه برای بارهای اغتشاشی بزرگ که از نقطه نسبتاً ضعیفی روی سیستم قدرت تغذیه می‌شوند مناسب هستند.

ایده اصلی جایگزین کردن آن قسمت از جریان موج سینوسی مربوط به بار غیرخطی است که‌کم شده است. شکل ۲۸-۵ این مفهوم را شرح می‌دهد . یک دستگاه کنترل الکترونیکی ولتاژ یاجریان خط را اندازه‌گیری و ثبت می‌کند ، و سیستم الکترونیک قدرت را وصل می‌کند تا جریان یا ولتاژ بار را دنبال کرده و آنرا بشکل سینوسی در بیاورد. همچنانکه نشان داده شده است ، دو راه‌اساسی وجود دارد : یکی استفاده از اندوکتور برای ذخیره کردن جریان ، که می‌بایست به سیستم‌در لحظه معین تزریق شود و راه دیگر استفاده از خازن می‌باشد. بنابراین ، هنگامی که جریان بار به‌اندازه‌ای که توسط بار غیرخطی مشخص شده مغشوش می‌شود ، جریان دیده شده توسط سیستم خیلی نزدیکتر به شکل سینوسی بنظر می‌رسد. فیلترهای فعال عملاً بهمان اندازه‌ای که برای هارمونیکها استفاده می‌شوند برای تصحیح ضریب قدرت استفاده می‌شوند.

۱۶-۵ - روش مطالعه هارمونیک

روش ایده‌آل برای مطالعه هارمونیکهای سیستم قدرت به شرح زیر است:

۱- هدف از مطالعه مشخص شود ، که برای ردیابی تحقیق مهم است. برای مثال ، هدف ممکن است این باشد که علت ایجاد مشکل و حل آن مشخص شود. هدف دیگر این است که آیا توسعه تجهیزات جدید مانند محرکهای قابل کنترل سرعت و خازنها باعث مشکل شده‌اند.

۲- نمونهٔ کامپیوتری اندازه‌گیری شده براساس بهترین اطلاعات موجود تهیه شود. اندازه‌گیریها وقت‌گیر و به تجهیزات گران نیاز دارند ، و همچنین سوار کردن دستگاهها ممکن است باعث خاموش شدن سیستم شود. عموماً از نظر اقتصادی مقرون بصرفه می‌باشد که قبل از نصب تجهیزات ، از در مکان مناسب آنها ایده خوبی داشته باشید .

۳- شرایط ایجاد هارمونیک ، مشخصه منابع هارمونیک و اغتشاش شین سیستم رااندازه‌گیری کنید.

۴- مدل کامپیوتری را توسط اندازه‌گیری تنظیم نمائید.

۵- شرایط مدار یا مشکل بوجود آمده جدید را برای همه حالات مطالعه کنید.

۶- راه حل را بوجود آورید (فیلتر و غیره) و اثر متقابل معکوس سیستم رابررسی کنید. حساسیت نتایج را برای متغیرهای مهم امتحان کنید.

۷- بعد از انجام راه‌حل ، اندازه‌گیری و ثبت را انجام دهید تا از کار صحیح سیستم اطمینان‌حاصل نمائید.

در این روش فرض شده است که از تجزیه و تحلیل کامپیوتری آگاه بوده ، همچنین از تجهیزات اندازه‌گیری اطلاع دارید . مسلماً همیشه امکان انجام هر کدام از این مراحل در یک حد ایده‌آل وجود ندارد. بیشتر مراحلی که حذف می‌شود یکی یا دو مرحله اندازه‌گیری هستند که بخاطر وقت زیاد ، گرانی‌مسافرت مهندسین و هزینه تجهیزات حذف می‌شوند . یک تحلیل تجربی می‌تواند مسئله را بدون اندازه‌گیری حل نماید . ولی تأکید می‌شود که اندازه‌گیری‌های اولیه در حد امکان انجام شود زیرا ممکن است بخاطر عدم دقت در تجزیه و تحلیل بعداً مشکلات زیادی اتفاق بیفتد

۱۷-۵ - .مولفه‌های متقارن

مهندسین قدرت مدت مدیدی است که برای درک رفتار سیستم سه فاز از مؤلفه‌های متقارن استفاده می‌کنند. سیستم سه‌فاز به سه سیستم تک فاز تبدیل می‌شود تا تحلیل آنها بسادگی‌صورت پذیرد. روش مولفه‌های متقارن را می‌توان برای تحلیل پاسخ سیستم به جریانهای‌هارمونیکی مورد استفاده قرار داد به این شرط که دقت‌های لازم در بکارگیری این روش وفرضیات اساسی آن مد نظر باشد. این روش هرگونه نامتعادلی مجموعه جریانهای فازها (یا ولتاژها) را به سه

مجموعه متعادل انتقال می‌دهد. مولفه‌های توالی مثبت شامل سه سینوس با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه از یکدیگر با توالی چرخش فازهای A-B-C سینوسهای مؤلفه منفی هم مانند مؤلفه مثبت دارای جابجائی ۱۲۰ درجه هستند با این تفاوت که توالی چرخش بصورت A-B-C است. سینوسی‌های مولفه صفر همگی باهم همفاز هستند و در یک جهت قرار دارند.

در سیستم‌های کاملا متعادل:

* هارمونیکهای مرتبه ... و ۱۳ و ۷ و ۱ = h همگی بصورت مولفه‌های توالی مثبت هستند.
* هارمونیکهای مرتبه ... و ۱۷ و ۱۱ و ۵ = h همگی بصورت مولفه‌های توالی منفی هستند.
* هارمونیکهای مرتبه سوم ... و ۱۵ و ۹ و ۳ = h کاملا بصورت مولفه صفر هستند.

در حالتیکه سیستم بصورت متعادل است، عبارت " مؤلفه سوم " و " توالی صفر " باهم مترادف هستند بشرط اینکه سیستم متعادل باشد. درغیر ینصورت هریک از هارمونیکها ممکن‌است در هر یک از این توالی‌ها شرکت جویند.

پاسخ سیستم به هارمونیکهای توالی مثبت کاملا مشخص ست. همانطور که سیستم را درحالت عادی برای مؤلفه‌های توالی مثبت بررسی می‌کنیم می‌توان اینگونه مؤلفه‌های هارمونیکی‌را هم بررسی کرد. خوشبختانه قاعده‌ای برای بارهای صنعتی سه فاز وجود دارد که بصورت زیرخلاصه میشود:

"هنگامیکه در شبکه ترانسفورماتورهای با اتصال مثلث بصورت سری بهم متصل شوند، برای تحلیل سیستم فقط لازم است که از مدار متوالی مثبت برای نمایش سیستم استفاده شود. هارمونیکهای مؤلفه صفر در این شبکه وجود ندارد."

شکل ۲۹-۵ نوع و نحوه کاربرد مدلهای مختلف در این رابطه را نشان میدهد. هر دو توالی‌مثبت و منفی عموماً دارای پاسخ مشابه به هارمونیکها هستند. لذا برای تحلیل هر دو می‌توان ازیک مدل استفاده نمود.

روش مؤلفه‌های متقارن برای سیستم‌های توزیع چهار سیمه که دارای بارهای تکفاز متعددی است مزیت خود را از دست می‌دهد چون هر دو مدل توالی مثبت و توالی صفر بایستی در نظرگرفته شوند. عموماً برای تحلیل اینگونه مسائل محاسبات دستی عملی نیست و از برنامه‌های کامپیوتری برای تحلیل سه‌فاز سیستم استفاده می‌شود.

شکل ۲۹ - ۵- اثر اتصالات ترانسفورماتور در مدل سازی شبکه برای تحلیل هارمونیکی

۱۸-۵ - مدل کردن منابع هارمونیکی

بیشتر تحلیل‌های هارمونیکی از روش‌های حل مدار خطی در حالت مانا استفاده می کنند. منابع هارمونیکی که عناصر غیرخطی هستند، عموماً بصورت منابع تزریقی به مدل شبکه خطی‌در نظر گرفته می‌شوند. برای بیشتر مطالعات هارمونیکی، مناسب است که حالت منابع هارمونیکی بصورت منابع ساده‌ای از جریانهای هارمونیکی در نظر گرفته شوند. این یک امر عادی برای تجهیزات سیستم قدرت برای موقعی است که عوجج ولتاژ در باس تغذیه عموماً کمتر از ۵ درصد باشد. این مطلب در شکل ۳۰-۵ که در آن یک مبدل قدرت توسط یک منبع جریان در مدار معادل جایگزین شده نشان داده شده است.

شکل ۳۰ - ۵ - نمایش یک بار غیرخطی توسط یک منبع جریان هارمونیکی برای تحلیل مدار

مقدیر جریان تزریقی بایستی توسط اندازه‌گیری تعیین شود. در صورت عدم دسترسی به‌چنین مقادیری ، رسم براین است که مؤلفه‌های هارمونیکی متناسب با شماره هارمونیکها فرض‌شوند. به این معنی که جریان هارمونیک پنجم برابر یک پنجم و یا ۲۰ درصد مقدار مؤلفه اصلی فرض می‌شود و بهمین ترتیب برای بقیه هارمونیکها.

جدول ۴-۵ : درصد نمونه عملی اغتشاش هارمونیکی مربوط به منابع تولید هارمونیک متداول ، هارمونیکهای فرد از ۱ تا ۱۳

Harmonic	6-pulse ASD	PWM drive	Arc lighting	SMPS
1	100	100	100	100
3			20*	70
5	18	90	7	40
7	12	80	3	15
9			2.4*	7
11	6	75	1.8	5
13	4	70	0.8	3

ASD, adjustable-speed drive; PWM, pulse-width modulated; SMPS, switch-mode power supply.
*For single-phase or unbalanced three-phase modeling; otherwise, assume triplen is zero.

این مطلب از بسط سری فوریه برای یک موج مربعی استنتاج شده است که البته برای‌روش‌های PWM که شکل موج تقریباً دارای مؤلفه‌های هارمونیکی زیادتری هست چندان قابل اجرا نیست . جدول ۴-۵ نمونه‌ای از مقادیر فرض شده برای تحلیل تجهیزات را نشان می‌دهد. هنگامی که سیستم در نزدیکی تشدید قرار دارد ، یک مدل منبع جریان می‌تواند با دقت بسیارمناسب برای تخمین اعوجاع ولتاژ مورد استفاده قرار گیرد . در این مدل سعی می‌شود که جریان ثابتی به یک امپدانس زیاد تزریق گردد که یک نمایش معتبری از واقعیت نیست . غیب این روش غیرمنطقی بنظر می‌رسد چون مسئله مهم این است که بدانیم سیستم در حالت تشدید نمی‌تواند عمکرد موفقی داشته باشد . هنگامیکه تشدید توسط فیلترها از بین رفت مدل جواب واقعگرایانه‌تری را خواهد داد. برای مواردی که جواب دقیقتری در حالت تشدید مورد نیز باشد از مدلهای مطلوب‌تری بایداستفاده نمود. برای بسیاری از تجهیزات سیستم قدرت ، یک مدار معادل تونن یا نورتن کفایت‌می‌کند (شکل ۳۱-۵) ، امپدانس اضافی پاسخ یک مدار تشدید موازی را بهبود می‌بخشد.

شکل ۳۱-۵- جابجایی مدل ساده منبع جریان مدار معادل تونن یا نورتن برای بهتر مدل نمودن منابع تشدید.

یک معادل تونن برای بسیاری از بارهای غیرخطی طبق روش متعارف بدست می‌آید. بعنوان مثال ، یک کوره قوسی بخوبی با یک موج مربعی ولتاژ که دامنه پیک آن تقریباً ۵۰ درصد دامنه ولتاژ شبکه ac است مدل می‌شود. مولفه سری امپدانس همان امپدانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور کوره و بارهاست . متأسفانه تعیین امپدانسهای معادل برای بسیاری از بارهای غیرخطی دشوار است. در این موارد شبیه‌سازی جزئیات بارهای مولد هارمونیکها از ضروریات است. این کار توسط برنامه‌های کامپیوتری برای حل مدار در حوزه زمان صورت میپذیرد.

۱۹-۵ - طراحی فیلتر هارمونیک

طراحی فیلتر هارمونیک در طی یک مثال تشریح خواهد شد. یک فیلتر شکاف ساده تنظیم‌شده برای ۴۸۰ ولت در شکل ۳۲-۵ نشان داده شده است که برای حذف هارمونیک پنجم طراحی شده است. فیلتر کمی کمتر از فرکانس هارمونیکی مورد نظر تنظیم می‌شود. این کار اجازه تلرانسی را به مؤلفه‌های فیلتر خواهد داد تا از اتصال کوتاه مستقیم جریان هارمونیکی پرهیز شود. این امر همچنین موجب کاهش امکان بروز پدیده خطرناک تشدید خواهد شد. روش عمومی بکارگیری فیلترها بشرح زیر می‌باشد:

- اعمال یک فیلتر موازی تنظیم شده و سپس طراحی آن برای پایین‌ترین فرکانس تولید شده.
- تعیین سطح اعوجاج ولتاژ در باس ولتاژ پائین.
- تغییر عناصر فیلتر براساس تلرانس‌های مشخص شده و بررسی تأثیرگذاری فیلترها.
- بررسی مشخصه پاسخ فرکانسی برای تأئید اینکه تشدید موازی جدیدی نزدیک فرکانس هارمونیکی ایجاد نشود.
- در صورت لزوم ، بررسی نیاز به فیلترهای متعدد از قبیل پنجم و هفتم یا سوم ، پنجم و هفتم.

شکل ۳۲ - ۵ - مثالی برای آرایش یک فیلتر هارمونیک در ولتاژ پایین

جدول ۵-۵ نتایج عملیات طراحی فیلتررانشان میدهد. روش مورداستفاده بشرح زیرداده میشود.

جدول ۵-۵ مثال طراحی فیلتر هارمونیک

Low Voltage Filter Calculations: **Example Filter Design Spreadsheet**

SYSTEM INFORMATION:

Filter Specification:	5	th	Power System Frequency:	60	Hz
Capacitor Bank Rating:	500	kvar	Capacitor Rating:	480	Volts
Rated Bank Current:	601	Amps		60	Hz
Nominal Bus Voltage:	480	Volts	Derated Capacitor:	500	kvar
Capacitor Current (actual):	601.4	Amps	Total Harmonic Load:	500	kVA
Filter Tuning Harmonic:	4.7	th	Filter Tuning Frequency:	282	Hz
Cap Impedance (wye equivalent):	0.4608	W	Cap Value (wye equivalent):	5756.5	uF
Reactor Impedance:	0.0209	W	Reactor Rating:	0.0553	mH
Filter Full Load Current (actual):	629.9	Amps	Supplied Compensation:	524	kvar
Filter Full Load Current (rated):	629.9	Amps			
Transformer Nameplate:	1500	kVA	Utility Side Vh:	1.00	% THD
(Rating and Impedance)	6.00	%	*(Utility Harmonic Voltage Source)*		
Load Harmonic Current:	30.00	% Fund	Load Harmonic Current:	180.4	Amps
Utility Harmonic Current:	47.7	Amps	Max Total Harm. Current:	228.1	Amps

CAPACITOR DUTY CALCULATIONS:

Filter RMS Current:	669.9	Amps	Fundamental Cap Voltage:	502.8	Volts
Harmonic Cap Voltage:	36.4	Volts	Maximum Peak Voltage:	539.2	Volts
RMS Capacitor Voltage:	504.1	Volts	Maximum Peak Current:	858.0	Amps

CAPACITOR LIMITS: (IEEE Std 18-1980)

	Limit		Actual
Peak Voltage:	120%		112%
Current:	180%		111%
KVAr:	135%		117%
RMS Voltage:	110%		105%

FILTER CONFIGURATION:

480Volt Bus

XI = 0.0209 W

500 kVAr @
480 Volts

FILTER REACTOR DESIGN SPECIFICATIONS:

Reactor Impedance:	0.0209	W	Reactor Rating:	0.0553	mH
Fundamental Current:	629.9	Amps	Harmonic Current:	228.1	Amps

مقدار جبران سازی مولفه فرکانس اصلی توسط خازن از روش زیر بدست می‌آید.

$$k\,\mathrm{var}_{actual} = k\,\mathrm{var}_{rated}\left(\frac{kV_{actual}}{kV_{rated}}\right)^2 \qquad (۵-۳۰)$$

در این حالت ، مقادیر واقعی و نامی ولتاژها با هم برابر است لذا مقدار واقعی kvar خازن‌همان مقدار نامی 500 kvar می‌باشد . جریان مولفه اصلی بانک خازنی برابر است با :

$$I_{FL_{cap}} = \frac{k\,\mathrm{var}_{actual}}{\sqrt{3}kV_{actual}} = \frac{500}{\sqrt{3}\times 0.480} = 601.4A \qquad (۵-۳۱)$$

امپدانس تک فاز معادل بانک خازنی برابر است با:

$$X_{C_Y} = \frac{kV^2_{rated}}{M\,\mathrm{var}_{rated}} = \frac{0.480^2}{9.5} = 0.4608\Omega \qquad (۵-۳۲)$$

امپدانس راکتور فیلتر بصورت زیر بدست می‌آید.

$$X_R = \frac{X_C}{n^2} = \frac{0.4608\Omega}{4.7^2} = 0.2086\Omega \qquad (۵-۳۳)$$

استفاده از راکتور ، فیلتر ، جریان مولفه اصلی را به مقدار زیر افزایش می‌دهد.

$$I_{FL_{filter}} = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}(X_c + X_R)} = \frac{0.480}{\sqrt{3}(-0.4608 + 0.0209)} = 629.9A \qquad (۵-۳۴)$$

بخاطر جذب جریان مولفه اصلی بیشتر از خازن . مقدار kvar جبران سازی اعمال شده بیشتراز مقدار نامی خازن بوده و از روش زیر بدست می‌آید.

$$k\,\mathrm{var}_{supplied} = \sqrt{3}\times V_{bus}\times I_{FL_{filter}} = \sqrt{3}\times 480\times 629.9 = 524k\,\mathrm{var} \qquad (۵-۳۵)$$

مقدار نامی خازن بایستی با مقدار استاندارد موجود در بازار که در انتهای جدول ۵-۵ آمده‌است مورد مقایسه قرار گیرد. مشخصه‌های راکتور فیلتر بایستی شامل هر دو مشخصه مقادیرجریان هارمونیکی و مولفه اصلی باشد. جریان هارمونیکی بایستی براساس فرضیات معقول‌مقادیر اعوجاج ناشی از سایر منابع هم محاسبه شود. در این مورد فرض شده است اعوجاج ولتاژسمت توزیع حدوداً ۱ درصد است. مشخصه تنظیم شده فیلتر توسط ضریب کیفیت Q

توصیف شده است . Q معیاری است از تیزی تنظیم فیلتر و برای فیلتر سری مقاومتی بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$Q = \frac{nX_L}{R} \qquad (۵-۳۶)$$

که در آن:

R = عنصر مقاومتی سری فیلتر

n = هارمونیک مورد حذف

X_L = راکتانس راکتور فیلتر در فرکانس اصلی

POWEREN.IR

معمولاً مقدار R فقط شامل مقدار مقاومت سیم‌بندیهای اندوکتور است. در نتیجه مقدارQ بالا بوده و عمل فیلتر بسیار تیز (sharp) خواهد بود. این امر برای عملکرد متعارف تک فیلترها رضایت بخش است و موجب عملکرد اقتصادی فیلتر خواهد شد. ولی گاهی اوقات مطلوب این است که تلفات کوچکی را به سیستم اعمال کنیم تا به میرا شدن پاسخ سیستم کمک شود. معمولاً یک مقاومت بصورت موازی به راکتور اضافه می‌شود تا بعنوان یک فیلتر بالاگذر عمل کند . در این حالت مقدار Q بصورت عکس رابطه (۳۶-۵) تعریف می‌شود ، لذا مقادیر بزرگ بیانگر تنظیم دقیق است . فیلترهای بالاگذر عموماً برای هارمونیکهای ۱۱ و ۱۳ و بالاتر استفاده می‌شود . معمولاً عملکرد چنین فیلترهائی در هارمونیکهای پنجم و هفتم بعلت مقدار تلفات و اندازه مقاومت مقرون به صرفه نیستند.

راکتورهای مورد استفاده برای کاربرد در فیلترهای بزرگ عموماً از هسته‌های هوائی ساخته شده‌اند که موجب داشتن مشخصه خطی در رابطه با فرکانس و جریان هستند. در راکتورهای‌فیلترهای کوچک و فیلترهائی که برای فضاهای کوچک ساخته می‌شوند از هسته‌های آهنی استفاده می‌شود ، یک تلرانس ۵ ± درصد برای کاربردهای صنعتی برای طراحی راکتور قابل قبول‌است . مقدار نسبت $\frac{X}{R}$ در ۶۰ هرتز معمولاً بین ۵۰ و ۱۵۰ است. یک مقاومت سری ممکن است برای نسبت‌های کمتر از این مقادیر برای افزایش میرائی مورد استفاده قرار گیرد . راکتورها بایستی طوری طراحی شوند تا در مقابل جریان اتصال کوتاه بین خازن و راکتور ، مقاومت لازم رادارا باشند . مقدار Q برای طراحی آرایش فیلتر بالاگذر ممکن است بطور متعارف ۱ یا ۲ باشد تااینکه پاسخ ملایمی نسبت به فرکانسهای بالای فرکانس

تنظیم شده داشته باشد. فیلترهای مورد کاربرد در بیشتر سیستم‌های قدرت بالا ، سه فاز از قبیل سیستمهای واراستاتیک اغلب شامل هارمونیکهای پنجم و هفتم می‌باشد چون این هارمونیکها بزرگترین‌مؤلفه را در پل‌های شش پالسی دارند

۲۰-۵ - تداخل در ارتباطات مخابراتی

جریانهای هارمونیکی در سیستم‌های توزیع یا در سوی مصرف کننده می‌تواند موجب تداخل‌در مدارات مخابراتی شوند . ولتاژهای القائی در هادیهای موازی با جریانهای هارمونیکی مشابه‌اغلب در پهنای باند ارتباطات صوتی قرار می‌گیرند . هارمونیکهای بین ۵۴۰ Hz و ۱۲۰۰ هرتز عملاً مخرب اند . ولتاژ القاء شده در هر آمپر از جریان با نسبت فرکانس افزایش می‌یابد . هارمونیکهای سوم بخصوص در سیستم‌های چهار سیم مشکل آفرین هستند چون آنها در کلیه‌فازها با هم همفازند و در نتیجه مستقیماً در سیم خنثی جمع شده و تأثیر زیادی روی مدارمخابراتی خواهند داشت. جریانهای هارمونیکی در سیستم‌قدرت‌بوسیله‌ی‌مخابراتی‌توسط القاء ویاهدایت مستقیم کوپل‌می‌شوند. شکل ۳۳-۵ این کوپل شدن از نوع یک خط هوائی توزیع را توسط القاء نشان می‌دهد .

شکل ۳۳ - ۵ - کوپل شدن القائی جریان باقیمانده سیستم قدرت با مدار تلفن

این یک مشکل اساسی برای زمانی بود که از سیم‌های باز مخابراتی تلفن استفاده می‌شد . هم‌اکنون با استفاده از شیلد محافظ و بهم تابیدن سیم های تلفن ، این مورد از کوپل شدن چندان اهمیتی ندارد . ولتاژ اندوکتیو در هر هادی برابر بوده بنابراین برآیند ولتاژ القاء شده در حلقه دو هادی‌صفر میگردد. اگر جریانها در شیلد محافظ هادیهای تلفن القاء شودکوپل شدن اندوکتیوهمچنان میتواند بعنوان مشکل باقی بماند. جریان القاء شده درشیلد موجب افت ولتاژ IR

(شکل ۳۴-۵) شده که‌در اثر آن اختلاف پتانسیل در زمین مرجع در انتهای کابل تلفن بوجود می آید .

شکل ۳۴ - ۵- افت ولتاژ IR در شیلد محافظ که موجب اختلاف پتانسیل در زمین مرجع انتهای کابل می گردد

جریانهای شیلد ممکن است در اثر هدایت مستقیم بوجود آید . همچنانکه در شکل ۳۵-۵ نشان داده شده است ، شیلد بصورت موازی با مسیر زمین سیستم قدرت قرار دارد. اگر شرایط زمین محلی بصورتی باشد که نسبتاً مقدار زیادی از جریان در شیلد عبور کند ، افت ولتاژ زیادی‌بعلت IR موجب اختلاف پتانسیل در زمین‌های مرجع در انتهای کابل تلفن خواهد شد.

شکل ۳۵ - ۵- کوپل شدن هدایتی از طریق مسیر زمین مشترک

۲۱-۵ - ابزارهای کامپیوتری برای تحلیل هارمونیکها

بحث‌های قبلی برای آمادگی ذهنی شناسائی انواع عملیاتی که بایستی برای تحلیل‌هارمونیکهای سیستم قدرت اتخاذ شود مطرح شد. این امر بسیار واضح است که حتی برای‌ساده‌ترین مدارها برنامه‌های کامپیوتری مناسب مورد نیاز است. مشخصه‌های چنین برنامه‌هائی‌در اینجا توصیف می‌شود. اولاً این نکته قابل ذکر است که اغلب سیستم‌های صنایع کوچک بصورت مدارساده‌ای ظاهر می‌شوند که برای محاسبات دستی مناسب‌اند (شکل ۳۶-۵.)

این مورد را می‌توان بصورت مدار تک باس بدون هیچ خازن در نظر گرفت. دو مورد ساده زیررا می‌توان انجام داد:

۱- بدست آوردن فرکانس تشدید. اگر فرکانس تشدید در نزدیکی هارمونیکهای خطرناک باشند بایستی در طراحی خازن و یا طراحی فیلتر تجدید نظر شود.

۲- بدست آوردن مقدار تخمینی اعوجاج ولتاژ ناشی از جریان I_h .ولتاژ V_h از رابطه زیر:

$$V_h = \left(\frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\omega RC}\right) I_h \qquad h = 2,3,\ldots \qquad \textbf{(۵-۳۷)}$$

$$\omega = 2\pi f_1 h$$

براین اساس که فرکانس تشدید در نزدیکی هارمونیکهای مهم نباشد و اعوجاج ولتاژ کم باشداین محاسبات احتمالاً با موفقیت همراه است . متأسفانه نمی‌توان کلیه موارد عملی را با این‌حالت خاص ساده نمایش داد . در حقیقت با اضافه کردن یک باس دیگر با خازن به مدار ساده شکل ۳۶-۵ مسئله را حتی برای تحلیل گران با تجربه هم مشکل می‌کند . ولی یک برنامه کامپیوتری‌این مسئله را در حد چند میلی ثانیه می‌تواند حل نماید.

شکل ۳۶ - ۵ - مدار ساده‌ای که ممکن است دستی تحلیل شود

برای استفاده از برنامه‌های کامپیوتری موجود ، یک تحلیل‌گر بایستی آرایش مدار ، بارها و منابع را مشخص کند . اطلاعاتی که باید جمع‌آوری شود عبارتند از:

* امپدانسهای خط و ترانسفورماتورها
* اتصالات ترانسفورماتورها

* مقادیر خازن و مکان قرار گرفتن آن
* طیف هارمونیکی بارهای غیرخطی
* ولتاژهای منبع قدرت

۱-۲۱-۵ - قابلیت‌های برنامه‌های تحلیل هارمونیکی

برنامه‌های کامپیوتری قابل قبول برای تحلیل هارمونیکی سیستم‌های قدرت بایستی‌مشخصه‌های زیر را دارا باشند:

۱- قابلیت بررسی شبکه‌های بزرگ حداقل با چند صد گره.

۲- قابلیت بررسی مدلهای چند فازه یا ساختار اختیاری . عملاً مدارهای فیدرهای سیستم‌توزیع با در نظر گرفتن مدلهای متعادل توالی مثبت ، جوابهای دقیقی خواهند داشت .

۳- قابلیت مدل‌سازی سیستم با مدلهای توالی مثبت . هنگامیکه هیچگونه مؤلفه توالی صفرهارمونیکی وجود نداشته باشد لازم نیست که از مدل کامل سه فاز استفاده شود.

۴- قابلیت اسکن کردن فرکانسی در فاصله‌های فرکانسی کوچک (یعنی ۱۰ هرتز) تا در صورت لزوم مشخصه پاسخ فرکانسی سیستم برای شناسائی تشدیدها بدست آید.

۵- قابلیت اجرای حل همزمان منابع هارمونیکی زیاد برای تخمین اعوجاج واقعی جریان و ولتاژ.

۶- مدل‌های از پیش ساخته شده منابع هارمونیکی.

۷- قابلیت مدل‌کردن هارمونیکها بصورت منابع ولتاژ و یا منابع جریان.

۸- قابلیت تنظیم اتوماتیک زوایای فاز منابع براساس زوایای فاز مولفه فرکانس اصلی.

۹- قابلیت مدل سازی هرگونه ترانسفورماتور با اتصالات متفاوت

۱۰- قابلت نمایش نتایج بصورت معنی‌دار و ساده برای استفاده کنندگان .

۲۲-۵ - منابع

References

Xia and G. T. Heydt, "Harmonic Power Flow Studies: Part I—
rmulation and Solution," *IEEE Transactions on Power Apparatus and*
stems, June 1982, pp. 1257–1265.
M. Frank, "Origin, Development and Design of K-Factor
nsformers," in *Conference Record*, 1994 IEEE Industry Applications
iety Annual Meeting, Denver, October 1994, pp. 2273–2274.
C Dugan, "Simulation of Arc Furnace Power Systems," *IEEE*
nsactions on Industry Applications, November/December 1980, pp.
–818.
F. McGranaghan and E. W. Gunther, "Design of a PC-Based Harmonic
nulation Program," in *Proceedings of the Second International*
nference on Harmonics in Power Systems, Winnipeg, Manitoba,
ober 1986.
F. McGranaghan, J. H. Shaw, and R. E. Owen, "Measuring Voltage
l Current Harmonics on Distribution Systems, *IEEE Transactions on*
ver Apparatus and Systems, Vol. 101, No. 7, July 1981.
F. McGranaghan, R. C. Dugan, and W. L. Sponsler, "Digital
ulation of Distribution System Frequency Response Characteristics,"
E Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 101, No. 3,
rch 1981.
M. Grady, "Harmonic Power Flow Studies," Ph.D. thesis, Purdue
versity, May 1983.

Bibliography

aterial presented in this chapter is based on the follow-
blications:

R. C., McGranaghan, M. F., Rizy, D. T., and Stovall, J. P, *Electric*
System Harmonics Design Guide, ORNL/Sub/81-95011/3, Oak Ridge
nal Laboratory, U.S. Department of Energy, September 1987.
R. V., Gunther, E. W., and Adapa, R., "A Comparison of Solution
iques for the Calculation of Harmonic Distortion due to Adjustable
DC Drives," in *Fourth International Conference on Harmonic Systems*,
pest, Hungary, October 1990.
T. E., McGranaghan, M. F., and Samotyj, M., "Solving Harmonic
ems in Industrial Plants and Harmonic Mitigation Techniques for
table-Speed Drives, in *Proceedings of Electrotech 92*, Montreal,

andard C57.110-1986, *IEEE Recommended Practice for Establishing*
former Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents
rmed 1992), Piscataway, N.J., 1986.
tandard 18-1992, *IEEE Standard for Shunt Power Capacitors*,
away, N.J., 1992.
andard 519-1992, *IEEE Recommended Practice and Requirements for*
onic Control in Electric Power Systems, Piscataway, N.J., 1992.

McGranaghan, M. F., and Mueller, D. R., "Designing Harmonic Filters for Adjustable-Speed Drives to Comply with New IEEE-519 Harmonic Limits," in *Proceedings of the IEEE/IAS Annual Conference* (*Petroleum and Chemical Industry Technical Conference*), 1993.

McGranaghan, M. F., Grebe, T. E., and Samotyj, M. "Solving Harmonic Problems in Industrial Plants—Case Studies," in *Proceedings of the First International Conference on Power Quality* (*PQA '91*), Paris, 1991.

Schwabe, R. J., Melhorn, C. J., and Samotyj, M., "Effect of High Efficiency Lighting on Power Quality in Public Buildings," in *Proceedings of the Third International Conference on Power Quality* (*PQA '93*), San Diego.

Zavadil, R., McGranaghan, M. F., Hensley, G., and Johnson, K., "Analysis of Harmonic Distortion Levels in Commercial Buildings," in *Proceedings of the First International Conference on Power Quality* (*PQA '91*), Paris 1991.

فصل ششم

تغییرات بلند مدت ولتاژ

شرکت های برق همواره تلاش می کنند که ولتاژ اعمالی به مصرف کننده را تحت ولتاژ نامی با تغییرات مجاز ۵ ± درصد تأمین نمایند . در حالت های اضطراری ، برای مدت زمان کوتاه ، استاندارد ANSI شماره C84.1 مجاز می دارد که ولتاژ تحویلی در محدوده ۶ + درصد و ۱۳- درصد ولتاژ نامی تغییرنماید . در این فصل مسائل اصلی تنظیم ولتاژ و وسایلی که برای تصحیح آن بکار می رود شناسایی میشوند .

۱-۶ - اصول تنظیم ولتاژ

علت ریشه ای بیشتر مسائل تنظیم ولتاژ وجود امپدانس بیش از اندازه در سیستم قدرت می باشد که مانع تغذیه مناسب بار می گردد (شکل ۱ -۶) . لذا تحت بارهای سنگین ولتاژ کاهش چشمگیری را نشان می دهد . و برعکس هنگامیکه برای غلبه بر کاهش ولتاژ مقدار ولتاژ منبع تقویت گردد در موقع بی باری مواجه با پدیده اضافه ولتاژ خواهیم شد . راههای بهبود این مسئله معمولاً شامل جبران سازی امپدانس Z یا جبران سازی کاهش ولتاژ ناشی از I (R+jX) می باشد .

موارد متعدد تنظیم ولتاژ عبارتند از :

۱- اضافه کردن تنظیم کننده ولتاژ که ولتاژ V_1 را تقویت کند .

۲- اضافه کردن خازن موازی برای کاهش جریان I و انتقال دادن مؤلفه جریان بسمت هم فاز شدن بیشتر با ولتاژ .

۳- اضافه کردن خازن سری جهت خنثی نمودن افت ولتاژ ناشی از امپدانس اندوکتیو (IX)

۴- تعویض مقاطع هادی با اندازه های بزرگتر برای کاهش امپدانس Z.

۵- تعویض ترانسفورماتور تحت سرویس با نوع بزرگتر آن برای کاهش امپدانس Z.

۶- اضافه کردن جبرانساز وار استاتیک (SVC) که کاربردش مشابه خازن است با این تفاوت که بسیار سریع عمل می کند .

شکل ۱-۶ - افت ولتاژ دو سرامپدانس سیستم . عامل اصلی مشکل تنظیم ولتاژ می باشد

۲-۶ - تجهیزات تنظیم ولتاژ

در شبکه های توزیع و سیستم های قدرت صنایع . وسایل متعددی برای تنظیم ولتاژ وجود دارد . این تجهیزات به سه دسته اساسی زیر تقسیم می شوند :

۱- ترانسفورماتورهای با تپ چنجر

۲- دستگاههای ایزوله یا تنظیم کننده های ولتاژ مجزا

۳- تجهیزات جبرانساز امپدانس از قبیل خازنها

ترانسفورماتورهای تپ چنجر با عملکرد مکانیکی و بصورت الکترونیکی وجود دارند . در بیشتر طراحی ها ترانسفورماتور تپ چنجر بصورت اتوترانسفورماتور است ولی در مواردی ترانسفورماتورهای دو سیم پیچه و سه سیم پیچه با تپ چنجر هم وجود دارد . تجهیزات مکانیکی برای تغییرات آهسته بارها بکار می روند در حالیکه نوع الکترونیکی آن به تغییرات ولتاژ پاسخ بسیار سریع می دهد .

دستگاههای ایزوله شامل سیستمهای با منابع تغذیه بدون قطع(UPS) ، ترانسفورماتورهای فروررزونانس ، مجموعه های M-G و مشابه آنها هستند . این دستگاهها اصولاً بار را از منبع قدرت جدا می سازند . لذا طرف بار می تواند بصورت مجزا تحت تنظیم ولتاژ قرار گیرد و صرف نظر از تغییرات ولتاژ ورودی ، ولتاژ نسبتاً ثابتی را به مصرف کننده تحویل دهد . مسائل مبتلا به این تجهیزات وجود تلفات زیاد در آنها و تولید هارمونیک در شبکه قدرت می باشد . خازنهای موازی به تثبیت ولتاژ توسط کاهش جریان خط کمک می کنند . همچنین ، با جبران سازی بیش از حد میتوان سطح ولتاژ را هم افزایش داد . برای تثبیت بیشتر ولتاژ،خازن میتواند همگام با بار سوئیچ شود . اگر هدف فقط تثبیت ولتاژ در سطح بالاتر برای اجتناب از کاهش ولتاژ باشد می توان فقط از خازنهای ثابت (نه سوئیچ شونده) استفاده کرد .

خازنهای سری بندرت استفاده می شوند . بسیاری از مصرف کنندگان از نصب آن بخاطر مراقبتهای زیادی که لازم دارد دوری می جویند . ولی در صورت نصب صحیح کار کرد آنها بسیار رضایت بخش است .

خازنهای سری برای جبران سازی بیشتر اندوکتاس منتهی به بار بکار می رود . اگر سیستم کاملاً اندوکتیو باشد ، جبران سازی خازن سری موجب کاهش قابل ملاحظه ای در امپدانس خواهد شد . اگر سیستم کاملاً اندوکتیو نباشد بلکه قسمت اعظم امپدانس را مقاومت تشکیل دهد ، استفاده از خازن سری چندان مفید نخواهد بود . این حالت در بسیاری از کارخانه هائی که توسط کابل های طویل ، ترانسفورماتور را به بارها وصل می کنند وجود دارد .

روش دیگر برای از بین بردن اثر بارهائی که تولید فیلکر می کنند ، استفاده از جبران ساز(SVC) میباشد.این دستگاه میتواند برای تثبیت ولتاژبا کنترل توان راکتیودر مدت چند سیکل وارد مدار شود. این قبیل دستگاهها درکوره های قوسی وسایرجاهائی که دارای بارهای تصادفی هستند بکارمی رود .

۱-۲-۶ - تنظیم کننده های پله ای ولتاژ توزیع

تنظیم کننده های تپ چنچر متعارف توزیع می توانند از ۱۰- تا ۱۰+ درصد ولتاژ ورودی را در ۳۲ پله ۰/۵۸ درصد تنظیم کنند . ترانسفورماتورهای پست توزیع عموماً دارای تپ چنچرهای سه فاز زیر بار (LTC) می باشند ، در حالیکه رگولاتورهای نصب شده خروجی فیدر معمولاً تک فاز هستند .

تنظیم کننده های خط ممکن است بصورت بانک های دو تائی یا سه تائی نصب شـوند ، اسـتفاده از بانک های دلتای باز روی فیدرهای سه فاز با بارهای کم و متوسط بخاطر مسـائل اقتصـادی چنـدان غیر معقول نیست ، شکل ۲ -۶ طرح واره یک تنظیم پله ای ولتاژ توزیع را نشان می دهد .
تنظیم کننده های ولتاژ توزیع نسبتاً کند عمل می کنند . زمان تاخیر برای موقعیکه ولتاژ از محـدوده خارج میشود حداقل ۱۵ ثانیه است که بطور متعارف ۳۰ یا ۴۰ ثانیه است .

شکل ۲-۶ - طرحواره یک تنظیم کننده پله ای ولتاژ برای خطوط توزیع

بنابراین برای جاهائی که ولتاژ امکان تغییر در محدوده سیکل و یا ثانیه را دارد بکار گیری آنهـا چندان مناسب نیست . عملکرد اصلی آنها ، تقویت ولتاژ فیدر های طویل است . محـدوده تغییـرات ولتاژ در مبنای ۱۲۰ ولت بین ۱/۵ تا ۳ ولت می باشد .

۲-۲-۶- ترانسفورماتور های فرورزونانس

درطرف مصرف کننده،ترانسفورماتورهای فرورزونانس نه تنها برای حفاظت دستگاههادر برابـر کمبود ولتاژ مفیدند بلکه می توانند بعنوان تنظیم کننده ولتاژ،خیلی خوب ($\pm 1\%$ درخروجی) عمل کنند . شکل ۳ -۶ مشخصه ورودی - خروجی حالت مانای یـک ترانسـفورماتور فرورزونـانس ۱۲۰ ولت آمپری را بابار ۱۵ ولت آمپر نشان می دهد .

وقتیکه ولتاژ ورودی به مقدار ۳۰ ولت کاهش می یابد ، ولتاژ خروجی ثابت باقی می ماند . اگـر ولتاژ ورودی بیشتر کاهش یابد ، ولتاژ خروجی شروع به فروپاشی می کند . ولی باید در نظر داشت که این نوع ترانسفورماتورها دارای تلفات زیادی هستند و بازدهی آنها بسیار کم است .

شکل ۳-۶ - مشخصه های حالت ماندگار ترانسفورماتور فرورزونانس

۳-۲-۶ - رگولاتور با تپ سوئیچ شونده الکترونیکی

تنظیم کننده با تپ الکترونیکی (شکل ۴ -۶) هم می تواند بعنوان تنظیم کننده ولتاژ بکار رود . بازدهی آنها بمراتب بیشتر از ترانسفورماتورهای فرورزونانس است . این نوع تنظیم کننده ها بعلـت بکار گیری کلیدهای SCR یا تریستوری، دارای سرعت پاسخ بسیار سریع می باشند و مـی تواننـد در کمتر از نیم سیکل عمل کنند .

شکل ۴-۶ - تنظیم کننده با تپ الکترونیکی

۶-۲-۴ - جمع کننده های مغناطیسی

جمع کننده های مغناطیسی اگر چه برای کمبود های ولتاژ کوتاه مدت بکار می روند ولی می توانند برای تنظیم ولتاژ حالت مانا هم بکار گرفته شوند . یکی از کارخانجات سازندهٔ آن بیان می دارد که برای ولتاژ ورودی ۴۰ درصد ، ولتاژ خروجی در محدوده ۵ درصد در بار کامل ثابت خواهد ماند .

۶-۲-۵- سیستم های تغذیه (UPS) روی خط

سیستمهای منبع تغذیه (UPS)روی خط که برای حفاظت دربرابر کمبودهای ولتاژوقطعی های کوتاه بکارمی روند هم می توانند بعنوان تنظیم کننده ولتاژ عمل کنند . این یک راه حل مناسب برای بارهای کوچک از قبیل کامپیوتر یا بار های کنترلرهای الکترونیکی در محیط صنایع می باشد .

۶-۲-۶ - مجموعه های موتور ژنراتور

مجموعه های موتور ژنراتور (شکل ۵ -۶) هم می توانند بعنوان تنظیم کننده ولتاژ بکار روند آنها بکلی بار را از سیستم قدرت الکتریکی ایزوله می کنند . تنظیم ولتاژ توسط کنترل کردن ژنراتور حاصل می شود . مجموعه موتور ژنراتور می تواند در عرض چند ثانیه ولتاژ را به سطح مطلوب تغییر دهد که البته برای بعضی از بارها این مدت زمان بسیار کند خواهد بود .

شکل۵ -۶ - مجموعه موتور ژنراتور

۷-۲-۶ - جبران کننده های استاتیک وار (SVC)

جبران کننده های استاتیک وار را می توان درشبکه های توزیع و یا در سیستم های صنایع بکار برد و آنها با پاسخ سریع به تغییرات توان راکتیو سیستم یا مصرف کننده وظیفه تنظیم ولتاژ را بخوبی انجام میدهند . این عمل می تواند روی امپدانس شبکه تأثیر گذاشته و بر مبنای سیکل به سیکل ولتاژ را افزایش و یا کاهش دهد .

در کاربرد های عمومی معمولاً دو نوع پایه SVC وجود دارد . همچنانکه در شکل ۶-۶ نشان داده شده است . نوعی که از راکتور کنترل شده توسط تریستور (TCR) استفاده می کند احتمالاً بیشترین مصرف را دارد . در این آرایش یک بانک خازنی ثابت برای تهیه توان راکتیو پیش فاز و یک اندوکتانس کنترل شده با تریستور که با کنترل زاویه آتش آن اثر خازن کمی یا کاملاً خنثی می شود تشکیل شده است خازنها طوری آرایش داده می شوند تا هارمونیک های ناشی از عملکرد تریستور را فیلتر کنند .

THYRISTOR-SWITCHED REACTOR

THYRISTOR-SWITCHED CAPACITOR

شکل ۶-۶ - آرایش متعارف جبران کننده های استاتیک وار (SVC)

نوع دیگرخازن با کلید تریستوری طوری عمل میکند تا سریعاً احتیاجات بار را بر آورده سازد . مشکلات استفاده از این نوع بیشتر از راکتور-تریستور است ولی با اینحال به اندازه کافی از آنها استفاده می شود . خازنها بطور کامل به مدار وارد یا خارج می شوند لذا جریانهای هارمونیکی در این مورد وجود ندارد .

۳-۶ - کاربرد تنظیم کننده ولتاژ توزیع

شکل۷ -۶ یک نمونه رگولاتورولتاژمتعارف۳۲ پله ای که درشبکه های‌توزیع آمریکا استفاده میشود را نشان میدهد.این دستگاه تک فاز ساخته میشود و بطور تکی روی یک پایه (تیر) قرار میگیرد و نصب سه تائی آنها روی یک سکو بین دو تیر انجام میگردد . اتصال آنها بصورت ستاره زمین شده یا مثلث باز می باشد . سیستم کنترل آنها بطور جداگانه برای هر فاز در کنار دستگاه قرار میگیرد . مطالب زیادی در رابطه با کاربرد رگولاتورها وجود دارد . در این قسمت هدف مافقط بررسی ازلحاظ کیفیت توان است ، وبرای کاربرد جبران سازی افت خط و رگولاتور سری می باشد .

شکل ۷-۶ - رگولاتور ولتاژمتعارف ۳۲ پله

۱-۳-۶ - جبران ساز افت خط

رگولاتورها یکی ازوسایل بسیار مفید درشرایط کاهش ولتاژ روی فیدرهای توزیع برای هنگامیکه بار بیش از حد ظرفیت فیدر در زمان پیک باشد می باشند .

از آنجائیکه تعیین صحیح تنظیم برای جبران سازی افت ولتاژ مستلزم زمان زیادی است لذا ، تنظیمات X,R اغلب روی صفر تنظیم می شود و نقطه تنظیم رگولاتور ولتاژ در نزدیکی حداکثر مجاز (۱۲۵ یا ۱۲۶ ولت برای مبنای ۱۲۰ ولت) انتخاب می شود . در نتیجه ولتاژ فیدر در بیشتر مواقع نزدیک حداکثر مجاز آن قرار دارد چون بار نقطه پیک ، فقط درصد کوچکی از ساعات را در سال تشکیل می دهد . این امر در بیشتر مواقع رضایت بخش است مگر در موارد زیر :

۱- ترانسفورماتورها در نقطه بالای منحنی اشباع کار می کنند که موجب تولید هارمونیک های بیشتر جریان (و تلفات) و تاثیر روی اعوجاج هارمونیکی روی فیدر می شوند که در حالت کم باری موجب اشکال خواهد شد .

۲- سوختن زود هنگام لامپهای رشته ای مصرف کنندگان

هدف از جبران سازی افت ولتاژ عبارت است از تعیین مشخصه ولتاژ به طوری که در شرایط پیک بار ولتاژ تقویت شده ای را داشته باشیم با این شرط که در حالت بی باری ولتاژ در نزدیکی ولتاژ نامی باشد . این مطلب در شکل ۸-۶ تشریح شده است .

شکل ۸-۶ - اثر جبران ساز افت خط روی پروفیل ولتاژ

برای ساده کردن بحث فرض شده است که هیچگونه LTC در پست قرار ندارد و تنها رگولاتور مطرح همان رگولاتور فیدر در پست باشد . در قسمت a ، هیچگونه جبران سازی بکار نرفته است و تنظیم ولتاژ روی ۵ درصد بالا قرار دارد.

در قسمت b ، تنظیم ولتاژ ۱۰۰٪ می باشد و جبران ساز افت خط در فاصله دورتری نسبت به فیدر قرار دارد. در بار پیک ولتاژ رگولاتور به ۱/۵ درصد می رسد که برای تثبیت ولتاژ انتهای فیدر درسطح ولتاژ مناسب لازم است . ولی در بار کم پروفیل ولتاژ فیدر در نزدیکی ۱۰۰ ٪ ولتاژ قرار دارد .

تلاشهای متعددی برای تعیین تنظیم های جبران ساز افت ولتاژ صورت می پذیرد. کارخانجات سازنده با استفاده از برنامه های کامپیوتری به محاسبه این تنظیم ها می پردازند مشروط به اینکه نسبت تبدیل های PT , CT معلوم باشند . البته کارخانجات سازنده ، همچنین کتابهای راهنمائی ارائه می کنند تا با استفاده از فرمولهای ساده بطور تخمینی بتوان تنظیم ها را حدس زد . تنظیم های جبران ساز افت خط برای قسمتهای مقاومتی و رکتیو جبران سازها با X,R نامیده می شوند در حالیکه واحدها بجای اهم بصورت ولت بر مبنای ۱۲۰ ولت داده می شوند .

برای تبدیل مقدار واقعی خط از اهم به تنظیم های X,R رابطه اصلی بصورت زیر است :

(نسبت PT / نامی CT) = اهم (R+jX) = تنظیم (R+jX)

که CT جریان نامی خط و PT نسبت ولتاژ نامی فاز تقسیم بر ۱۲۰ ولت مشخص می شوند .

این مقادیر X , R برای رگولاتورهای متصل شده بصورت ستاره مستقیماً استفاده می شوند . برای اتصال مثلث رگولاتورها ، این مقادیر بایستی توسط مقادیر $1 < -30^{\circ}$ برای اتصال مثلث پیش فاز و $1 < +30^{\circ}$ برای اتصال مثلث پس فاز ضرب شوند .

بعضی از شرکتهای توزیع تنظیم های استاندارد متوسطی را تهیه کرده اند و از آن استفاده میکنند . بعضی ها X,R را بر اساس تجربه تنظیم می کنند به این صورت که شخصی را در نقطه کم ولتاژ فیدر قرار می دهند در حالیکه دیگری مقدار X , R را تنظیم می کند . بطور ایده آل این کار بایستی در زمان پیک بار صورت پذیرد . البته این عمل زمان بر و احتیاج به باز بینی های مجدد دارد .

۲-۳-۶ - رگولاتورهای سری

در مناطق کم جمعیت این امر جا افتاده است که برای خطوط بسیار طولانی که بار را تغذیه می کنند از دو عدد و یا تعداد بیشتری از بانک های رگولاتور بصورت سری استفاده کنند . این عملکرد محتاج ملاحظات مخصوصی است تا مشکلاتی برای کیفیت توان پیش نیاورد .

یکی از ملاحظات مهم در هماهنگ کردن رگولاتورهای سری عبارت است از تنظیم مناسب تأخیر اولیه . نزدیکترین رگولاتور به پست بایستی روی حداقل زمان تأخیر(معمولاً ۱۵ یا ۳۰ ثانیه) تنظیم شود . رگولاتورهای دورتر باید بر اساس زمان تأخیر بیش از ۱۵ ثانیه تنظیم شوند این عمل موجب حداقل کردن تغییرات تپ رگولاتور های ته خط و حداقل کردن تغییرات ولتاژ و افزایش عمر کنتاکت ها خواهد شد . شاید بزرگترین مسئله کیفیت توان در این موقعیت همان عدم پذیرش بار (load rejection) باشد در هنگام از دست دادن ناگهانی بار که می تواند بعد از یک خطا رخ دهد و موجب افزایش بیش از حد ولتاژ بعلت تقویت ولتاژ توسط رگولاتورگردد (شکل ۹ -۶) ، اضافه ولتاژ ۲۰ درصد و یا بیشتر امکان وقوع دارد .

شکل ۹-۶ - اضافه ولتاژ ناشی از عدم پذیرش بار در صورت داشتن رگولاتور های سری

اشباع ترانسفورماتور و باقیمانده مصرف کنندگان به پایین آمدن ولتاژ کمک می کند اما این عمل از محدوده مجاز تجاوز می کند . برای کاهش صدمه به مصرف کنندگان ، رگولاتورها مجهزبه یک برگردان سریع " هستند که زمان تأخیری عادی را بای پس کرده و ولتاژ را با سرعت تمام پـــائین می آورند . این عمل معمولاً ۲ تا ۴ ثانیه در هر تغییر تپ طول می کشد .

۶-۴ - بکار گیری خازنها برای تنظیم ولتاژ

برای تنظیم ولتاژ در سیستم قدرت از خازنها بصورت موازی و یا سری استفاده می شود .

۶-۴-۱ - خازنهای موازی

همچنانکه در شکل ۶-۱۰A نشان داده شده است ، حضورخازن موازی در انتهـــای فیـدر موجـب تغییرات تدریجی درطول فیدرمیگردد . بصورت ایده آل ، درصد افزایش ولتاژ درخازن عبارتست از :

$$\% \Delta V = ۱۰۰ . (V \text{ بدون خازن} - V \text{ با خازن}) / V \text{ باخازن}$$

که این مقدار در بی باری صفر و در بار کامل ، مقدار حداکثر را خواهد داشت . ولی با خازنهـــای موازی ، در صد افزایش ولتاژ ازمقدار مصرف بار، مستقل است . لذا بعضـــی اوقـات بـا بکـارگیری کلید زنی اتوماتیک مقدار رگولاتور مطلوب برای بارهای سنگین ایجاد می شود ولی مشـــکل اضافـه ولتاژ در بارهای کم همچنان پابرجاست . این عمل ممکن است موجب اضافـــه ولتاژهـای گـذرا در تجهیزات مصرف کنندگان گردد .

شکل ۱۰ - ۶ - تقویت ولتاژ فیدر بعلت بکارگیری A) خازنهای موازی B) خازنهای سری

بکارگیری خازنهای موازی همچنین ممکن است مشکلات هارمونیکی متعددی را ایجاد کنند .

۶-۴-۲ - خازنهای سری

بر خلاف خازن موازی ، یک خازن سری موجب افزایس ولتاژ در انتهای فیدر می گردد بـــا ایـن تفاوت که این افزایش رابطه مستقیم با جریان بار دارد .

بنابراین خازن های سری درازای تغییرات بار لزومی به سوئیچ شدن ندارند . علاوه بر این خازنهای سری دارای کیلو ولت و کیلو وار نامی کمتری در مقایسه با خازنهای موازی برای عملکـــرد مشـابه می باشند . ولی خازنهای سری معایب متعددی هم دارند ، اولاً ، آنها توانائی تولید توان راکتیو بـــرای بارهای فیدر را ندارند و اثر چندان مؤثری هم روی کاهش تلفات سیستم ندارند . خازنهای سری تنها می توانند درصورت افت شدید ولتاژ فیدر ، ظرفیت اضافه ای را برای سیستم آماده کنند . در مقابل ، خازنهای موازی در موقعی که ظرفیت سیستم توسط جریان فیدر محدود شد موثر واقع می شوند .

ثانیاً ، خازنهای سری نمی توانند جریان خطا را تحمل کنند و موجب اضافه ولتاژ شدیدی می شوند که بایستی با بای پس کردن خازن با استفاده از یک کلید اتومـــاتیک از آن ممـــانعت بعمـل آورد . یک برقگیر هم بایستی به دو سر خازن نصب گردد تا هنگامیکه کلید بسته نشـــده اســت جریـان را منحرف کند .

مسائل دیگری هم در این رابطه وجود دارد که بایستی قبل از اعمال خازن سری مدنظر باشد اینهـــا شامل پدیده تشدید و یا پدیده هانتینگ در موتورهای سنکرون و القـائی و پدیـده فرورزونـانس بـا ترانسفورماتورها می شود . بخاطر این مسائل ، کاربردخازن ســری در سیســتم هــای توزیـع بســیار محدود شده ست .

۶-۵ - کاربرد خازن در سوی مصرف کننده

خازنهای تصحیح ضریب قدرت عموماً بخاطر منافع اقتصادی کاربرد دارند اما علاوه بر این از نظـر کیفیت توان هم میتوانند مورد بررسی قرار گیرند . دلایلی که یـک مصـرف کننـده را تشـویق بـه استفاده از خازن تصحیح قدرت میکند عبارتند از :

- کاهش هزینه مصرفی

- کاهش تلفات I^2R و در نتیجه ، کاهش حرارت در خطوط و ترانسفورماتورها
- بهبود سطح ولتاژ مصرف کننده ، افزایش تولید و بازدهی بهره برداری
- کاهش جریان خطوط و ترانسفورماتور ها ، که موجب دادن سرویس به بارهای اضافی بدون ساختن مدارهای جدید می شود .

در اثر اضافه کردن خازن ، امکان بروز مشکلات کیفیت توان وجود دارد ، عمومی ترین آن مسائل هارمونیکی است . با اینکه خازنهای تصحیح ضریب قدرت منبع تولید هارمونیک ها نیستند ، ولی می توانند با تأثیر متقابل روی سیستم ، اثر هارمونیک های موجود در سیستم را تشدید کنند . البته گذراهای ناشی از کلید زنی خازنی هم وجود دارد .

۱-۵-۶ - مکان یابی خازنهای تصحیح قدرت

نصب خازن تصحیح ضریب قدرت موجب کاهش توان راکتیو سیستم می شود. لذا برای گرفتن بهترین نتیجه بایستی تا آنجاکه امکان دارد تصحیح ضریب قدرت در نزدیکی محل بار صورت گیرد. اما اینکار بخاطر تأثیر متقابل هارمونیک ها و خازنها ممکن است بهترین راه حل مهندسی نباشد .

اغلب خازن ها با موتور القائی بزرگ نصب می شوند این امر امکان می دهد که خازن و موتور بعنوان یک واحد سوئیچ شوند . تأسیسات بزرگ با سیستم توزیع گسترده ، اغلب خازنها را در باس ولتاژ اولیه نصب میکنند (C_1 در شکل ۱۱-۶) . ولی در موارد بسیاری تصحیح ضریب قدرت و تصحیح اعوجاج هارمونیکی توسط خازنهای واحدی صورت می پذیرد . مکان فیلتر های هارمونیکی بزرگ روی باس توزیع (C_2) موجب جبران سازی و ایجاد مسیری با امپدانس کم برای عبور جریان هارمونیکی می شود که مانع جضور جریانهای هارمونیکی در شبکه توزیع می گردد .

از معایب نصب خازنها در باس توزیع این است که این عمل موجب هیچگونه کاهش جریان و تلفات خطوط درون تاسیسات نمی گردد . کاهش تلفات و جریان موقعی بدست می آید که خازنها در کل تاسیسات توزیع شود . بعضی از صنایع ، خازنها را در مرکز کنترل موتورها نصب می کنند که بیشتر اوقات از قرار دادن خازن روی هر موتور اقتصادی تر است .

شکل ۱۱-۶ - مکان تصحیح کننده ضریب توان

۲-۵-۶ - افزایش ولتاژ

افزایش ولتاژ ناشی از نصب خازنها روی یک مدار اندوکتیو از نظر کیفیت توان یک شمشیر دو لبه است . اگر ولتاژ پائین باشد ، آنگاه خازنها موجب افزایش و برگردندن ولتاژ به مقدار مجاز می شوند ولی موقعی که بارها قطع گردد و خازنهای شارژ شده رها شوند ، ولتاژ شدیداً افزایش یافته و موجب بروز اضافه ولتاژ پایدار مدار می گردد .

فزایش ولتاژ ناشی از نصب خازنها تقریباً برابر است با

$$\%\Delta V = \frac{K\,\mathrm{var}_{cap} \times Z_{tx}(\%)}{KVA_{tx}}$$

که $\%\Delta V$ = درصد افزایش ولتاژ

$K\mathrm{var}_{cap}$ = قدرت نامی بانک خازنی

KVA_{tx} = قدرت نامی ترانسفورماتور کاهنده

Z_{tx} = امپدانس ترانسفورماتور کاهنده ، ٪

در این فرمول فرض بر این است که امپدانس ترانسفورماتور در بر گیرنده کلیه امپدانسهای شبکه تا نقطه نصب خازن می باشد .

همانطور که در بالا ذکر شد ، یکی از مسائلی که در کیفیت توان مطرح است اضافه ولتاژ ناشی از باقی ماندن خازن شارژ شده بعد از قطع بار می باشد . مشکلات ایجاد شده توسط این امر عبارت از صدای هوم از ترانسفورماتور و در بعضی از حالات ایجاد حرارت بالا ، ناشی از فوق تحریک شدن هسته می باشد . مشکل دیگر سوختن تعداد زیادی از لامپهای رشته ای می باشد . بنابراین باید فرمولی برای بررسی اینکه کجاها می توان خازن را شارژ شده رها کرد یا نه بدست آورد .

۳-۵-۶ - کاهش تلفات سیستم قدرت

از آنجائیکه تلفات ، با عکس مجذور ضریب قدرت (PF^2) رابطه دارد . کاهش تلفات سیستم قدرت را می توان از رابطه زیر تقریب زد .

$$\%\ \text{Power loss} \propto 100\,(PF_{original} / Pf_{corrected})^2$$

$$\%\text{Loss reduction} = 100\,[\,1 - (PF_{original} / Pf_{corrected})^2]$$

که در این رابطه %Loss reduction = درصد کاهش در تلفات

$PF_{original}$ = ضریب قدرت اولیه (pu)

$PF_{corrected}$ = ضریب قدرت تصحیح شده (pu)

این فرمول اصولاً به یک خازن واحد روی یک خط تغذیه شعاعی عمل می شود .

باید این مطلب را بخاطر داشت که این فرمول ، درصد کاهش ممکن ، نسبت به تلفات حاضر تا قبل از خازنها می باشد . در اینجا هیچگونه کاهش تلفاتی در خطوط و ترانسفورماتورهای بین بار و خازن وجود نخواهد داشت.

۴-۵-۶ - کاهش جریان خط

درصد کاهش جریان خط را می توان بصورت زیر تقریب زد

$$\%\Delta I = 100\,[\,1 - (\cos\theta_{before} \ \cos\theta_{after})]$$

که %ΔI = درصد کاهش جریان

θ_{before} = زاویه ضریب قدرت قبل از تصحیح

θ_{after} = زاویه ضریب قدرت بعد از تصحیح

۵-۵-۶ - ضریب قدرت جابجایی[1] بر حسب ضریب قدرت واقعی[2]

مفهوم سنتی تصحیح ضریب قدرت بر مبنای این فرض استوار است که بارهای سیستم دارای مشخصه های خطی ولتاژ - جریان هستند و اینکه از اعوجاج هارمونیک می توان چشم پوشی کرد . با این فرضیات ، ضریب قدرت برابر است با ضریب قدرت جابجائی(DPF) . مقدار DPF را با استفاده از روش سنتی مثلث ضریب قدرت (شکل ۱۲ -۶) که بصورت زیر هم نوشته می شود می توان محاسبه کرد .

$$DPF = KW / KVA = \cos \theta$$

که KW ، KVA مقادیر مولفه فرکانس اصلی می باشد .

شکل ۱۲-۶ - مثلث ضریب قدرت جابجائی

اعوجاج هارمونیکی در ولتاژ و جریان ناشی از بارهای غیر خطی در سیستم ، روش محاسبه ضریب قدرت را تغییر می دهد . ضریب قدرت واقعی (TPF) بصورت نسبت توان حقیقی به مجموع ولت آمپر در مدار تعریف میشود .

$$TPF = KW / KVA = P / V_{rms} \times I_{rms}$$

همانند قبل ، ضریب قدرت بصورت نسبت KW به KVA تعریف می شود ، اما در این حالت مقدار KVA شامل ولت آمپرهای اعوجاج هارمونیکی هم می باشد . کل KVA توسط ضرب مقدار rms واقعی ولتاژ در مقدار rms واقعی جریان بدست می آید .

---

[1] DPF (Displacement Power Factor)

[2] TPF (True Power Factor)

۶-۵-۶ - انتخاب مقدار خازنها

مقدار نامی kvar لازم برای خازن تصحیح ضریب قدرت از رابطه زیر بدست می آید .

$$kvar = KW\,(\tan\phi_{orig} - \tan\phi_{new})$$

$$= \sqrt{\frac{1}{PF_{orig}^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{PF_{new}^2} - 1}$$

که kvar = جبران سازی لازم به kvar

ϕ_{orig} = زاویه فاز ضریب قدرت اولیه

ϕ_{new} = زاویه قدرت مطلوب

PF_{orig} = ضریب قدرت اولیه

PF_{new} = ضریب قدرت مطلوب

جدول ۱-۶ PF_{new} معادله بالا را در یک جدول خلاصه می کند .

بعد از انتخاب مقدار تخمینی خازن ، برای کیفیت توان موارد زیر بایستی بررسی شوند .

۱- محاسبه افزایش ولتاژ بی بار برای اطمینان اینکه در حالت بی باری ولتاژ از ۱۱۰ درصد تجاوز نکند . در غیر اینصورت مقدار خازن بایستی کاهش یابد تا مقدار اضافه ولتاژ مجاز بدست آید .

۲- محاسبه اثر متقابل خازنها روی هارمونیک ها

در صورت مشاهده مسئله ساز بودن خازن برای هارمونیک ها عملیات زیر باید صورت گیرد

۱- تغییر در مقدار خازنها در صورت امکان و اجتناب از کلید زنی ترکیبی . این کم هزینه ترین راه حل میباشد.

۲- تبدیل بعضی از خازنها بصورت یک یا دو فیلتر که معمولاً روی باس اصلی قرار می گیرد .

۳- بکار گیری یک کنترل آداپتیو برای مانیتورینگ اعوجاج هارمونیکی و کلید زنی خازنها برای اجتناب از تشدید .

جدول ۱-۶ - فاکتور KW برای محاسبهٔ kvar مورد نیاز

TABLE 6.1 kW Multiplier to Determine kvar Requirement

Original PF	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
0.50	0.982	1.034	1.086	1.139	1.192	1.248	1.306	1.369	1.440	1.529	1.732
0.52	0.893	0.945	0.997	1.049	1.103	1.158	1.217	1.280	1.351	1.440	1.643
0.54	0.809	0.861	0.913	0.965	1.019	1.074	1.133	1.196	1.267	1.356	1.559
0.56	0.729	0.781	0.834	0.886	0.940	0.995	1.053	1.116	1.188	1.276	1.479
0.58	0.655	0.707	0.759	0.811	0.865	0.902	0.979	1.042	1.113	1.201	1.405
0.60	0.583	0.635	0.687	0.740	0.794	0.849	0.907	0.970	1.042	1.130	1.333
0.62	0.515	0.567	0.620	0.672	0.726	0.781	0.839	0.903	0.974	1.062	1.265
0.64	0.451	0.503	0.555	0.607	0.661	0.716	0.775	0.838	0.909	0.998	1.201
0.66	0.388	0.440	0.492	0.545	0.599	0.654	0.712	0.775	0.847	0.935	1.138
0.68	0.328	0.380	0.432	0.485	0.539	0.594	0.652	0.715	0.787	0.875	1.078
0.70	0.270	0.322	0.374	0.427	0.480	0.536	0.594	0.657	0.729	0.817	1.020
0.72	0.214	0.266	0.318	0.370	0.424	0.480	0.538	0.601	0.672	0.761	0.964
0.74	0.159	0.211	0.263	0.316	0.369	0.425	0.483	0.546	0.617	0.706	0.909
0.76	0.105	0.157	0.209	0.262	0.315	0.371	0.429	0.492	0.563	0.652	0.855
0.78	0.052	0.104	0.156	0.209	0.263	0.318	0.376	0.439	0.511	0.599	0.802
0.80	0.000	0.052	0.104	0.157	0.210	0.266	0.324	0.387	0.458	0.547	0.750
0.82		0.000	0.052	0.105	0.158	0.214	0.272	0.335	0.406	0.495	0.698
0.84			0.000	0.053	0.106	0.162	0.220	0.283	0.354	0.443	0.646
0.86				0.000	0.054	0.109	0.167	0.230	0.302	0.390	0.593
0.88					0.000	0.055	0.114	0.177	0.248	0.337	0.540
0.90						0.000	0.058	0.121	0.193	0.281	0.484
0.92							0.000	0.063	0.134	0.223	0.426
0.94								0.000	0.071	0.160	0.363
0.96									0.000	0.089	0.292
0.98										0.000	0.203
1.00											0.000

۶-۶ - منابع

1. L. Morgan and S. Ihara, "Distribution Feeder Modification to Service Both Sensitive Loads and Large Drives," in *1991 IEEE PES Transmission and Distribution Conference Record*, Dallas, September 1991, pp. 686–690.

فصل هفتم

سیم اتصال زمین و زمین کردن

تعداد زیادی از اشکالات کیفیت برق در وسایل مصرف کننده ها بخاطرمسائل سیم اتصال زمین و زمین کردن میباشد. در کنفرانس های کیفیت برق ، حدود ۸۰ ٪ از مشکلات مطرح شده ، مربوط به سیم های اتصال زمین و زمین کردن مشترکین گزارش شده است . علیرغم اینکه اطلاعات علمی و مدون دقیقی برای تأیید این درصد وجود ندارد ، اکثر مشکلات کیفیت برق بامحکم کردن اتصال شل و یا با عوض کردن هادی های فرسوده برطرف خواهد شد . بنابراین عموماً در قدم اول برای ارزیابی مشکلات کیفیت برق بررسی سیم اتصال زمین و زمین کردن ضروری است .

استاندارد NEC [1] و استانداردهای مهم دیگر حداقل استاندارد برای سیم اتصال زمین و زمین کردن رامشخص میکنند .اغلب برای دستیابی به سیستمی که ارتباط تغییرات درکیفیت برق(هارمونیکها ، حالت های گذرا ، نویز و ...) را با تجهیزات مربوطه به حداقل برساند ، می بایست فراتر از این استانداردها قدم برداشت . این بخش دربارهٔ کار روی سیم اتصال زمین و زمین کردن اطلاعات عمومی میدهد و همچنین دیدگاهی کلی از مشکلاتی که در این زمینه با آن مواجه می شویم ارائه می نماید .

[1] National E lecterical Cod

۱-۷ - تعاریف

تعاریف ، انتخاب شده از لغت نامه (استاندارد ۱۰۰ IEEE[1]) . کتاب سبز[2] (استاندارد ۱۴۲ IEEE) ومقررات ملی برق (NEC) میباشد . در کتاب سبز واستانداردمقررات ملی برق اطلاعات زیادی برای اتصال زمین مناسب وجود دارد . بهر حال این اسناد همه تعاریف مربوط به کیفیت توان را در بر ندارند .

بخشی ازکیفیت برق که شامل سیم اتصال زمین و زمین کردن می شود در می توان در مطالب مربوط به برق برای نصب (ADP) در استاندارد (FIPS 94) [3] پیدا کرد . کتاب امرالد[4] (پروژه IEEE ۱۱۰۰) ، شامل اطلاعات جدید در ارتباط با استاندارد (FIPS 94) می باشد . راهنمای سیم اتصال زمین برای کاهش نویز در مدارهای الکترونیکی در استاندارد (IEEE 518) یافت می شود . که راهنمای مربوط به نصب تجهیزات الکتریکی برای کاهش نویز در ورود به کنترل کننده ها از منابع خارجی می باشد . در مجلهٔ (EPRI) در بخش سیم اتصال زمین و زمین کردن مربوط به کنترل کیفیت (Publication Cu 2026.3.90) ، خلاصه ای مفید از نوع مسائل سیم اتصال زمین و زمین کردن با راههای حل آنها وجود دارد .

برخی تعاریف کلیدی سیم اتصال زمین و زمین کردن از این منابع در قسمت زیر آورده شده است .

ازلغت نامه (IEEE)

زمین کردن[5] یک اتصال عمدی یا تصادفی به زمین است . که توسط این اتصال مدار یا تجهیزات الکتریکی به زمین یا به یک هادی در حجم و اندازه بزرگ وصل می شوند . این اتصال برای این است که ولتاژ سیمی که به زمین و یا به هادی یا حجم بزرگ وصل شده است را در سطح ولتاژ زمین و یا هادی نگاه دارد.

---

[1] IEEE Dictoinary
[2] The Green Book
[3] Federal Information Processing Standard
[4] The Emerald Book
[5] grounding

تعاریف از کتاب سبز

سیستم زمین نشده[1] سیستم ، مدار یا دستگاهی است که به زمین مستقیماً متصل نشده باشد ، البته اتصال از طریق دستگاههای اندازه گیری یا وسایلی که امپدانس بالایی دارند مانعی ندارد .

سیستم زمین شده[2] سیستمی که حداقل یکی از هادیها و یا نقاط آن (معمولاً نقطهٔ وسطی یا نقطهٔ خنثای سیم پیچی های ترانسفورماتور یا ژنراتور) مستقیماً یا از طریق امپدانس به زمین وصل باشد.

اتصال مستقیم به زمین[3] اتصال مستقیم به زمین بدون قرار دادن امپدانس می باشد .

اتصال زمین بصورت مؤثر[4] اتصال به زمین از طریق امپدانس کمی که در تمام شرایط نسبت راکتانس ترادف صفر به ترادف مثبت($\frac{X_0}{X_1}$) مقدار مثبت و کمتر از ۳ ، و نسبت مقاومت اهمی ترادف صفر به رآکتانس ترادف مثبت ($\frac{R_0}{X_1}$) مقداری مثبت و کمتر از یک باشد .

اتصال زمین ازطریق مقاومت[5] اتصال به زمین از طریق امپدانس،که عنصر امپدانس آن مقاومت باشد.

اتصال زمین از طریق اندوکتانس[6] اتصال به زمین از طریق امپدانس ، که عنصر امپدانس آن اندوکتانس باشد .

تعاریف در NEC (به شکل ۱-۷ رجوع شود)

الکترود زمین[7] الکترود زمین حتی المقدور و ترجیحاً میبایست در نزدیکترین منطقه ای باشد که سیم اتصال زمین به سیستم متصل میگردد . الکترود زمین میبایست دارای شرایط زیر باشد :

۱- در نزدیکترین مکانی باشد که جزء مؤثری از شبکه فلزی کل شبکه در آنجا قرار داشته باشد .

۲- در نزدیکترین مکانی باشد که لوله های فلزی آب که دراتصال زمین استفاده شده اند قرار دارد .

---

[1] ungrounded system

[2] grounded system

[3] grounded solidly

[4] grounded effectively

[5] resistance grounded

[6] inductance grounded

[7] grounding electrode

۳- سایر الکترودها (بخش های ۸۱-۲۵۰ و ۸۳ - ۲۵۰) که در بندهای ۱ و ۲ وجود نداشته باشد .

زمین شده [1] اتصال به زمین و یا به حجمی از بدنهٔ برخی هادیها که بجای زمین استفاده می شوند .

سیم زمین شده [2] سیمی از سیستمی یا مداری که به زمین وصل شده باشد (سیم خنثی به هادی گفته می شود که به زمین وصل شده باشد).

سیم زمین [3] سیمی که جهت اتصال زمین تجهیزات یا مدار یک سیستم اتصال زمین به الکترود یا الکترودهای زمین وصل می شود .

سیم اتصال زمین ، تجهیزات [4] سیمی است که قسمت های فلزی بی برق تجهیزات ، کانالها ، و سایر محفظه های ارتباطی را به سیم زمین شده سیستم متصل می نماید ، و به سیم الکترود زمین در تجهیزات سرویس و یا در منبع سیمی که بصورت مجزا تغذیه می شود وصل می شود .

شکل ۱-۷ اصطلاحات بکار برده شده در تعاریف NEC

سیم الکترود زمین [5] سیمی است که الکترود زمین را به سیم زمین مداری که به زمین متصل شده در سرویس ورودی یا در منبعی که بصورت مجزا از سیستم منشعب شده است وصل میکند .

سیستم الکترود زمین [6] تعریف شده در بخش ۸۱ - ۲۵۰ استاندارد NEC که شامل :

---

[1] grounded

[2] grounded coductor

[3] grounding condactor

[4] grounding condactor , equipment

[5] grounding electrode condactor

[6] grounding electrode system

الف - لوله آب فلزی داخل زمین ب - اسکلت فلزی ساختمان ج - الکترود قرار داده شده در بتن د - حلقه فلزی در داخل زمین . موقعی که این عناصر وجود دارند ، نیاز به اتصال آنها با هم برای اینکه سیستم الکترود زمین بوجود بیاید می باشد . در جائیکه لوله فلزی آب تنها الکترود زمین موجود باشد ، آن را می بایست توسط یکی از الکترودهای مشخص شده در استاندارد بخش ۸۱-۲۵۰ یا ۸۳ - ۲۵۰ تقویت کرد .

سیم اتصال ، اصلی[1] سیمهای مابین سیم نول مدار و سیم زمین دستگاه که در سرویس ورودی قراردارد میباشد .

مدار انشعاب [2] سیم های بین مدار آخرین دستگاه حفاظتی اضافه جریان مدار و خروجی ها می باشد .

اتصال محافظ فلزی هادی [3] (تعریف اتصال) اتصال دائمی قسمت های فلزی که یک مسیر هدایت الکتریکی مداوم و ایمن را برای عبور جریان به هادی ایجاد کند .

فیدر (تغذیه کننده)[4] هادیهای شبکه بین ایستگاه و تجهیزات سرویس که بطور مجزا از سیستم منشعب شده اند و در نهایت به دستگاه اضافه جریان وصل می شوند .

خروجی [5] نقطه ای از اتصال زمین سیستم میباشدکه جریان برای تجهیزات مصرف مشترکین گرفته میشود .

جریان اضافی [6] به هر جریان اضافی که بیش از جریان نامی تجهیزات و یا ظرفیت هادیها باشد می گویند ، که ممکن است از اثر بار اضافی ، اتصال کوتاه و یا اتصال زمین باشد .

جعبه تقسیم[7] یک یا گروهی از جعبه تقسیمهایی هستندکه در فرم یک جعبه تقسیم طراحی وساخته میشوند، که شامل شین ها ، وسایل اتوماتیک جریان اضافی ، با و بدون کلید برای کنترل روشنائی ،

---

1 bounding jumper , main

2 branch circuit

3 conduit / enclusure bond

4 feeder

5 outlet

6 over current

7 panel board

۲- زمین کردن بمنظور اطمینان در عملکرد حفاظت : برگشت جریان اتصال به زمین به نقطه ای که سیم خنثای منبع برق قرار دارد یک اصل اساسی در ایمنی می باشد . استاندارد NEC و دیگر استانداردها اجازه استفاده از لوله های فلزی در داخل کانال و مناطقی که دارای شبکه های فلزی است را بعنوان مسیربرگشت به جریان می دهد . در بعضی از استانداردها لوله های فلزی در داخل کانال توسط سیم های لخت یا روپوش دار تقویت می شوند .

در صورت خرابی عایق و یا اشکالات دیگر در سیم های برق ممکن است که سیم فاز به مناطق و محدوده ای که دارای شبکه است اتصال کند که در این صورت امپدانس مسیر از نقطهٔ اتصال تا سیم خنثای منبع برق بسیار کم خواهد بود . این کار باعث قطع فوری برق توسط کلید و یا فیوزی که در مسیر قرار دارد خواهد شد .

POWEREN.IR

شکل ۲-۷ - ولتاژ تماس (بدنه) زیاد که در اثر سیم زمین نامناسب بوجود آمده است

طبق گزارش NEC 250-51 مسیر سیم زمین (مسیر از زمین تا نقطهٔ خنثای مدارها ، محل اتصال به تجهیزات ، و هادی محوطه) می بایست :

الف - دائمی و ممتد باشد

ب - دارای اطمینان کامل و ظرفیت کافی برای عبور جریان اتصال کوتاه یا اتصال به زمین باشد

ج - دارای امپدانس کمی باشد تا ولتاژ اتصال زمین محدود شده و همچنین امکان عمل وسایل حفاظت را میسر سازد

د - زمین نباید به تنهایی مسیر برگشت باشد

۳-کنترل نویز . کنترل نویز شامل همهٔ اثر گذراها می باشد . این مربوط به جایی است که زمین کردن با کیفیت برق ارتباط دارد . زمین کردن برای ایمنی جانی حداقل امکانات مورد نیاز را

برای زمین کردن میدهد . در صورتیکه کنترل نویز هم مد نظر باشد می بایست به سیستم زمین کردن علاوه بر آن حداقل ذکر شده دراستاندارد NEC موارد دیگر نیز اضافه شودتا بهبود پیدا کند .

اولین کار برای کنترل نویز بوجود آوردن سیستم هم پتانسیل در زمین است . اختلاف پتانسیل در محل های مختلف در زمین ممکن است باعث فشار روی عایق شود . در کابل های با ولتاژ کم جریان گردشی بوجود آورده و روی تجهیزات حساس به اغتشاش که از چند نقطه زمین شده اند اغتشاش بوجود می آورد . بهرحال اگر سیم های زمین تجهیزات خیلی طولانی باشند ، بویژه برای نویزهای با فرکانس بالا داشتن پتانسیل ثابت در همهٔ سیم های زمین کار خیلی مشکلی خواهد بود . هادیهای مکمل زمین ، شبکه های فلزی در زمین ، صفحه های مربوط به اندوکتانس کم که در زمین قرار داده می‌شود و غیره ، برای کیفیت توان مفید و ضروری بنظر می رسند . استفاده از اینها تنها برای موارد نیاز به ایمنی نبوده بلکه افزون بر آنها می باشد .

۳-۷ - نمونه هائی از اشکالات زمین کردن و سیم زمین

در قسمت های زیر چند نمونه از مشکلات در کیفیت برق مربوط به زمین کردن و سیم زمین نامناسب سیستم های برق تشریح شده است . آگاهی از این اشکالات در موقع بررسی مکان مورداستفاده (site survey) مفید خواهد بود زیرا با مشاهدات ساده می توان به خیلی از مشکلات پی برد . اشکالات دیگر نیاز به اندازه گیری ولتاژها ، جریان ها و امپدانس های مدار دارند .

۱-۳-۷ - مشکلات مربوط به سیم ها و اتصالات

اولین کاری که بخاطر مشکلات مربوط به سیمها و اتصالات درخلال بررسی مکان باید انجام داد ، بازرسی و بازبینی تجهیزات ورودی ، تابلوی اصلی و تابلوهای بزرگ دیگر است . اتصال بد (اتصال شل ، اتصال دارای مقاومت) باعث ایجاد حرارت ، و احتمالاً جرقه و سپس سوختن عایق خواهد شد . جدول ۷-۱ خلاصه ای از چند مشکل مربوط به سیم ها است که در بررسی مکان آشکار می شود .

جدول ۱-۷ مشکلات مربوط به سیم ها و اتصالات

مشکلات مشاهده شده	علت ممکن
بوی سوختن از تابلو ، جعبه تقسیم ، تجهیزات به مشام میرسد	عیب در سیم ، اتصال بد ، جرقه ، جریان زیاد در سیم
با دست زدن به تابلوها و جعبه تقسیم ها آنهاگرم بنظر می رسند	خرابی در کلید و یا اتصال بد
صدای جرقه (وزوز) (اثر کرونا)	جرقه
سوختگی در عایق	جریان زیاد در سیم ، سیم خراب یا اتصال بد
نبودن ولتاژ	قطع برق توسط کلید ، اتصال بد و یا سیم خراب
قطع و وصل در ولتاژ دو سر بار	اتصال بد یا جرقه
سوختگی تابلو یا جعبه تقسیم	اتصال بد ، سیم خراب

۲-۳-۷ - از دست دادن ایمنی سیم زمین

اگر ایمنی سیم زمین از دست داده شود ، در حالت اتصال فاز به محوطه (محوطه سیم زمین) هیچکدام از کلیدها را قطع نمیکنند و باعث ایجاد ضربه و صدمه مطابق شکل ۲-۷ خواهد شد .

۳-۳-۷ - زمین کردن در چند نقطه

سیم خنثی و سیم زمین فقط در تابلوی ورودی بهم وصل می شوند ، مگر در سیستمی که بصورت مجزا تغذیه شود . سیم خنثی و سیم زمین را در همه تابلوها و تقسیم ها می بایست ازهم جدا نگه داشت . اتصالات نقطه خنثی به زمین در انتهای خط باعث مسیر موازی برای جریان باز خواهد بود بطوریکه یکی از مسیرها ، مدار زمین خواهد بود و این باعث اشتباه در عمل وسایل حفاظتی میشود . اگر چه در زمانی که خطا یا عیبی بوجود آید ، جریان بین سیم زمین و سیم خنثی تقسیم می شود ، اما میتواند از عمل دستگاههای حفاظتی جلوگیری کند (یک ایمنی جدی را باید در نظر گرفت) . این یک عیب و اشکال در استاندارد NEC می باشد .

۷-۳-۴ - تجهیزات بدون اتصال به زمین

بعضی اوقات زمینهای ایزوله شده مورد استفاده قرار میگیرند تا اینکه زمین پاک (غیرآلوده) داشته باشیم. روش مناسب برای استفاده از یک زمین غیر آلوده مطابق بخش ۵-۴-۷ می باشد. روشی که با استفاده از مقره های غیر مجاز در تجهیزات برقی داخل کانال فلزی و یا برداشتن اتصال زمین آنها مثل "زمین ایزوله شده ای که برای کامپیوتر اختصاص داده می شود[1]" خطرناک بوده، و با استفاده از این روش و استاندارد بنظر نمی رسد که مشکلات نویز حل شود.

۷-۳-۵ - میله های اضافی زمین

میله های زمین برای یک دستگاه، قسمتی از سیستم زمین می باشد. این میله ها در جایی که همهٔ الکترودهای زمین ساختمان (از قبیل اسکلت ساختمان، لوله های فلزی آب و غیره) قرار دارند بهم وصل می شوند. از میله های زمین چند تائی در تابلوی مدخل ورودی جهت کاهش مقاومت کلی زمین استفاده میکنند. از زمین های ایزوله شده برای تجهیزات حساس همچنانکه در بالا ذکر شد استفاده می شوند. بهرحال با این سیم زمین ایزوله شده، نقطهٔ مبدی جدیدی برای تجهیزات بوجود نمی آید. یکی از مهمترین مشکلات کیفیت برق در رابطه با میلهٔ زمین اضافی این است که مسیرهای اضافی برای تخلیهٔ جریانهای رعد و برق بوجود می آورند. با داشتن میلهٔ زمین در تابلوی ورودی، برخورد رعد و برق با دستگاهها باعث میشود که به سیم زمین منتقل شود و پتانسیل سیم زمین همهٔ دستگاهها بالا رود. با داشتن میله های زمین اضافی، قسمتی از جریان رعد و برق به سیمکشی ساختمانها میرود (سیم سبز زمین و یا کانال فلزی) وبه میلهٔ اضافی می رسد. این باعث بوجودآمدن ولتاژ حالت گذراروی تجهیزات وامکان ایجاد جریان بیش ازحد برای سیمها خواهد بود.

۷-۳-۶ - مسیرهای بستهٔ زمین

مسیرهای بسته ای که در اثر زمین کردن بوجود می آیند یکی از مهمترین مسائل تجهیزات ارتباطات و پردازش داده ها در بخش های صنعتی و تجاری میباشد. اگر دو دستگاهی که از مسیرهای مختلفی زمین شده اند از طریق کابل بهم ارتباط پیدا کنند، این باعث اتصال سیم زمین آنها شده که در نتیجه مسیر بسته سیم های زمین بوجود می آید. در صورت وجود مسیر بستهٔ کامل

---

[1] Isolated Dedicated Computer Ground

بین دو سیم زمین با داشتن اختلاف جزئی پتانسیل بین دو سیم زمین دستگاهها جریان گردشی بوجود می آید حتی اگر مسیر کاملاً بسته ای وجود نداشته باشد ، با شکستن عایقی که مانع بسته شدن مسیر می باشد این مسیر بسته خواهد شد چون عایقی که در ارتباطات بکار می رود بسیار ضعیف است .

جریان گردشی با دامنه خیلی کم مشکلات جدی نویز بوجود می آورد . بهترین راه حل برای رفع این مشکل استفاده از کابلهای نوری برای ارتباط دادن بین دستگاهها میباشد . که استفاده از آن از تشکیل مسیر بسته در سیم زمینها جلوگیری می کند . موقعی که این کار عملی نباشد ، هادیهای زمین کننده یک کابل تک سیمه را مجهز به هادیهای قویتر و عایق های بهتری میکنند . تجهیزات ابتدا و انتهای کابل را به برقگیر مجهز می کنند ، چون امکان دارد که این اتصال باعث ایجاد سیگنال در مدار شود .

۷-۳-۷ - سیم خنثی ناکافی

استفاده از کلیدهای کنترل کنندهٔ برق[1] و راه اندازهای الکترونیکی[2] لامپهای فلورسنت به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است (بخش ۷-۵) . وجود هارمونیک های مضرب ۳ در جریان اینگونه بارها یکی از مهمترین علل نیاز به سیم خنثی می باشد .

در یک سیستم متعادل هارمونیک های مضرب ۳ جریان مربوط به بارهای یک فاز در نقطهٔ خنثی با هم جمع می شوند و ترجیحاً در جریانهای HZ ۶۰ همدیگر را حذف می کنند ، در ساختمانهای تجاری با بارهای متفاوتی که با کلیدهای کنترل کننده کار می کنند ، عموماً دامنه جریان عبوری از نقطهٔ خنثی ۱۴۰ ٪ تا ۱۷۰ ٪ دامنهٔ فرکانس اصلی می باشد . CBEMA این مشکل را تشخیص داده و از مشکلی که در هارمونیک ها توسط کامپیوتر در شبکه بوجود آمده ، آگاهی مختصری به صنایع داده است . راه حل های ممکن برا ی جریان زیادی که از سیم خنثی می گذرد به شرح زیر است :

- در صورتیکه بارهای هر فاز یک سیستم سه فاز نامتعادل هستند برای هر فازاز یک سیم نول جداگانه استفاده نمائید .

---

[1] Switched - mode power suplies

[2] Electronic ballasts

- اگر بار فازهای یک سیستم سه فاز نامتعادل باشد و فقط از یک سیم نول مشترک استفاده شود ، سیم نول بایست دارای ظرفیتی حدود دو برابر ظرفیت سیم هر فاز باشد .
- اتصال ترانسفورماتوری که برای بارهای غیر خطی استفاده میشود می بایست بصورت مثلث (اولیه) به ستاره (ثانویه) باشد تا از نفوذ جریانهای خیلی زیاد از نول جلوگیری نماید . این ترانسفورماتورها تا حد ممکن باید نزدیک به بارهای غیر خطی قرار داده شوند (اطاق های کامپیوتر) . هر کدام از سیم های نول ثانویه ترانسفورماتورها میبایست براساس دامنهٔ جریانیکه پیش بینی میشود از آن عبورکند محاسبه شود .
- می توان فیلتر برای کنترل هارمونیک های مضرب ۳ را در هر کدام از بارها به صورت مجزا قرار دارد که این راه دیگری برای جاهائی که تجهیزات جدید نصب می شود ، میباشد زیرا تغییر سیمها پرخرج است .

۴-۷ - حل مشکلات سیم کشی و اتصال زمین

۱-۴-۷ - اتصال زمین مناسب

شکل ۳-۷ عناصر اصلی یک اتصال زمین سیستم الکتریکی را تشریح می کند . عناصر مهم یک اتصال زمین سیستم الکتریکی به شرح زیر است :

۲-۴-۷ - الکترود زمین (بشکل میله ای)

الکترود میله ای شکل اتصال الکتریکی ما بین سیستمهای برقی که میبایست زمین شود را با زمین مهیا میسازند . اولین نکته در استفاده از الکترود . مقاومت اتصال زمین می باشد . سه جزء اصلی مقاومت اتصال زمین بشرح زیر می باشند :

۱- **مقاومت الکترود .** مقاومت فیزیکی محل اتصال سیم زمین به الکترود .

۲- **مقاومت اتصال زمین ومیله .**مقاومت اتصال زمین مابین خاک و میله . این مقاومت رابطهٔ عکس با سطح جانبی میله دارد (یعنی میله با سطح جانبی بیشتر دارای مقاومت اتصال کمتری است) .

۳- **مقاومت زمین .**این مقاومت در نتیجهٔ خاصیت مقاومتی خاک در مجاورت با میله می باشد . مقاومت خاک تغییرات زیادی دارد ، که بستگی به نوع خاک و درجهٔ رطوبت خاک دارد . مقاومت میله اتصال زمین بخاطر اثری که در سطح ولتاژ حالت گذرا در موقع قطع و وصل برق

و همچنین رعد و برق دارد از اهمیت زیادی برخوردار است . جریانهای با دامنهٔ زیـــاد در موقـع رعد و برق باعث ایجاد ولتاژ در دو سر این مقاومت شده و در نتیجه ولتاژ (اتصال بدنه) همـــهٔ دستگاهها افزایش می یابد . اختلاف ولتاژ مابین سیم های بدنه و سیم زمیـــن در ولتاژسـیم بدنـه دستگاههائی که زمین شده اند ولتاژی بوجود می آورد که تماس با آنها را خطرناک می سازد .

شکل ۳-۷ - عناصر اصلی یک سیستم الکتریکی زمین شدهٔ مناسب

۳-۴-۷ - اتصالات سرویس ورودی

عناصر اولیه برای یک سیستم که بصورت مناسب زمین شده ، در سرویس ورودی می باشد . سیم نول در این نقطه به سیم زمین وصل می شود . اینجا مکانی است که سیم های بدنه به ســیم زمیـن از طریق اتصالات وصل می شوند (بجز حالتی که سیستم بصورت مجزا زمین می شود) . سیم زمین به الکترود زمین شده ساختمانها درسرویس ورودی وصل میشود . برای داشتن سیم زمین مؤثر سیمهای الکترود زمین می بایست در دو طرف خوب لحیم شوند. اندازهٔ سیم الکترود زمین بر اساس اسـتاندارد NEC (بخش ۹۴ - ۲۵۰) می باشد . در جدول ۲-۷ الکترودها بر اساس بخش مذکور از استاندارد NEC می باشند که راهنمائی برای اندازه الکترود زمین است .

از چند چیز می توان برای الکترود زمین ساختمان استفاده نمود . این نکته مهـم اسـت کـه همـهٔ الکترودهای مختلفی که در یک ساختمان استفاده می شود در سرویس ورودی بهـم وصـل شـوند . الکترودهای مجاز بشرح زیر است :

لوله فلزی آب در داخل زمین (به جدول ۹۴- ۲۵۰ NEC مربوط به نیازمندی های اتصـال الکـترود زمین به شین نول مراجعه شود)

اسکلت آهنی ساختمان (به جدول ۹۴-۲۵۰ NEC مربوط به نیازمندیهای اتصال الکترود زمین به شین نول "سیم نول" یا لولهٔ فلزی آب داخل زمین مراجعه شود)

جدول ۲-۷ الکترود زمین برای سیستم AC

اندازهٔبزرگترین سیم در تقسیم ورودی یا سطح مقطع معادل برای سیمهای موازی		اندازهٔالکترود زمین	
مس	آلومینیوم یا مس با روپوش آلومینیوم	مس	آلومینیوم یا مس با روپوش آلومینیوم
۲ یا کوچکتر	۰ تا کوچکتر	۸	۶
۱ یا ۰	۲/۰ یا ۳/۰	۶	۴
۲/۰ یا ۳/۰	۴/۰ یا ۲۵۰ MCM	۴	۲
بالای ۳/۰ - ۳۵۰ MCM	بالای ۲۵۰ - ۵۰۰ MCM	۲	۰
بالای ۳۵۰- ۶۰۰ MCM	بالای ۵۰۰ - ۹۰۰ MCM	۰	۳/۰
بالای ۶۰۰ - ۱۱۰۰MCM	بالای ۹۰۰ - ۱۷۵۰ MCM	۰ ۲	۴/۰
بالای ۱۱۰۰ MCM	بالای ۱۷۵۰ MCM	۰ ۳	۲۵۰ MCM

حلقهٔ آهنی اتصال زمین حلقهٔ اتصال زمین اضافه بر سکت آهنی ساختمان است تا ولتاژهای هم پتانسیل بهتری را برای الکترود زمین مهیا کند . این حلقه بوسیهٔ یک هادی به الکترود اصلی زمین وصل می شود .

الکترودی که توسط بتن محصور شده باشد این شبیه به حلقهٔ زمین است که به الکترود اصلی زمین وصل میشود و الکترود آن حداقل باید دری اندازهٔ #6 AWG باشد .

در تمام طول مسیر سیستم ، سیم زمین را می بایست بصورت مطمئن نگهداری کرد بطوریکه اگر با سیمهای زمین تماس حاصل شد هیچ گونه خطری نداشته باشند . در اینگونه سیم زمین مطمئن در صورت بروز اتصال فاز به زمین مسیر برگشت از طریق سیم نول که به زمین متصل شده خواهد بود . سیم زمین مطمئن می‌تواند شامل کانالهای محل عبور سیم های برق و یا کانال و سیم جدائی که در

کانال (سیم زمین یا سیم سبز) وجود دارد باشد . این سیم مطمئن زمین در داخل سرویس های ورودی وصل می شود و در تمام ساختمان هم قرار می گیرد .

۷-۴-۴ - جعبه تقسیم

جعبه تقسیم نقطه ای از یک سیستم است که از سرویس ورودی برق گرفته و به مدارهای مختلف تشعب می دهد . در جعبه تقسیم کلیدهائی وجود دارندکه سر راه فازها قرار گرفته اند و محل اتصال سیم های بدنه (نول) به سیم نول فیدرها ، و محل اتصال سیم های زمین (سیم سبز) به سیم زمین فیدرها ، سیم کانالها ، و سیم محوطه های محصور شده میباشند . ذکر این نکته مهم است که جعبه تقسیم محل اتصال سیم زمین یا نول نمی باشد . استاندارد NEC اتصال این دو را در جعبه تقسیم ممنوع کرده است زیرا جریان برگشتی بار از مسیر زمین مابین فیوز و سرویس ورودی عبور میکند . برای اینکه سیستم زمین هم پتانسیل داشته باشیم، مسیر زمین نباید شامل هیچگونه جریان باری باشد . همچنین جریانهای اتصالی باید بین سیم نول و مسیر برگشت سیم زمین تقسیم شوند . حفاظت براساس جریانی که از مسیر سیم زمین می گذرد عمل می کند .

۷-۴-۵ - سیم زمین ایزوله شده

بعضی وقتها اصلاح شکل نویز در بارهای حساس با اتصال سیم زمین ایزوله شده به آنها انجام میشود . این کار توسط یک سیم زمین که ایزوله شده است انجام می گیرد که دارای رنگ نارنجی می باشد . اگر یک پریز سیم زمین ایزوله شده در پائین تر از جعبه تقسیم تعبیه شود ، سیم زمین ایزوله شده به کانال یا محوطهٔ محصور شده در جعبه تقسیم نباید وصل شود ، فقط به سیم زمین (بدنه) فیدر وصل می شود (شکل ۴-۷) . سیم محافظ[1] زمین مطمئنی در این حالت به محوطهٔ محصور شده وصل خواهد شد . از یک سیم (هادی) جداگانه ای برای اطمینان اضافه بر سیم محافظ استفاده می شود . این روش در مقاله ۲۷۴ به استثناء مورد ۴ مربوط به پریزهای استانداردNEC ، شرح داده شده است . این شرح بعنوان روشهای اتصال زمین آورده نشده است .

برای شناسائی از رنگ نارنجی برای پریز زمین ایزوله استفاده شده است . به این پریز سیم زمین متصل به محوطهٔ محصور شده یا سیم محافظ وصل نشده است . سیم زمین ایزوله ممکن است از طریق چندین جعبه تقسیم متصل شود و بدون اینکه درهرمکانی به زمین وصل شود ، فقط به سرویس

[1] Conduit

ورودی و یا زمین های جداگانه وصل شود . در استفاده از پریز زمین ایزوله باید دقت شود تا اینکه اتصالی مابین آن و سیم زمین مطمئن بوجود نیاید . بصورت کلی ، مدارهای اختصاص یافته[1] همان کاری را انجام می دهند که پریزهای زمین ایزوله انجام می دهند .

یک حالت ویژه از کاربرد سیمهای بتن ایزوله شده ، درزمین کردن تجهیزات بیمارستانها میباشد . این روش در استاندارد NEC و در کتاب سفید (TEEE Standard 602) شرح داده شده است .

شکل ۴-۷ - آرایش اتصالات زمین بری زمین ایزوله شده

۶-۴-۷ - سیستمهائی که بصورت مجزا به زمین وصل می شوند

سیستم هائیکه بصورت مجزا وصل میشوند دری زمینی هستند که وابسته به سیستم های دیگر نمی باشند .

یک مثال متداول برای این نوع ، ترانسفورماتور مثبت به ستاره ای که به زمین وصل شده است ، میباشد (شکل ۵-۷) . نقطهٔ خنثای ستاره به سیم زمین ساختمان وصل شده (نه یک الکترود زمین شدهٔمجزا) که نقطهٔ مرجع زمینی که وابسته به بقیهٔ زمین نمیباشد را بوجود آورد . نقطهٔ مرجعی که این سیم زمین جدید به آن وصل شده است مانند یک سرویس ورودی است که نول سیستم به سیم زمین (سیم نول) وصل می شود که از طریق سیم اتصال به سیم زمین وصل شده است .

سیستم هائی که بصورت جداگانه به زمین وصل میشوند برای بارهای حساس سیم زمین مبنای محلی ، بوجود میآورند . سیم زمین مبنای محلی ، باعث کاهش قابل ملاحظهٔ نویز خواهد شد (در مقایسه با زمین سیستمی که یک ترانسفورماتور ایزوله شده بوجود می آورد تا سیستم بصورت مجزا

[1] dedicated branch circuits

تغذیه شود) . فایدهٔ دیگر آن این است که جریانهای عبوری از سیم نول در قسمت بار که با سیستم مجزا تغذیه میشوند قرار میگیرند . این باعث کاهش دامنهٔ جریان نول در کل سیستم موقعی که تعداد زیادی بارهای یک فاز غیر خطی وجود دارد میشود .

شکل ۵-۷ - آرایش یک سیم تغذیه شده بصورت مجزا

۷-۴-۷- روشهای زمین کردن برای بدست آوردن یک نقطهٔ مبنا

اکثر مواردی که برای زمین کردن در بالا تشریح شد با توجه به عمل مناسب و سالم وسایل حفاظتی می باشد . همچنین زمین کردن برای بدست آوردن یک نقطهٔ مبنائی در مدارهای کنترل یا ارتباطی بهم متصل می باشد . موارد مورد نیاز برای ایجاد این نقطهٔ مبنا اغلب فرق زیادی با یک سیم زمین مطمئن دارد . در هر صورت موارد مورد نیاز برای یک سیم زمین مطمئن در طراحی زمین کردن اولویت اول را دارد .

ویژگی یک سیم زمین مبنا این است که می بایست دارای امپدانس کم در یک رنج زیاد از فرکانس باشد . یک راه برای رسیدن به این مورد (حداقل در فرکانس کم) این است که از سیم زمین با اندازهٔ کافی استفاده شود .

استفاده از سیم محافظ برای زمین کردن با یک نقطهٔ مبنا مناسب نیست زیرا امپدانس فاز به سیم نول بسیار زیاد است . سیم زمین با اندازهٔ کم (زیر اندازهٔ واقعی) همان مشکل امپدانس زیاد را دارد . برای کاهش مشکلات کیفیت برق ، سیم زمین حداقل می بایست به اندازهٔ سیم فاز و سیم نول باشد (در بعضی از حالتها مثل بارهای یک فاز غیر خطی اندازهٔ سیم نول از سیم فاز بزرگتر است).

همچنانکه فرکانس افزایش پیدا می کند ، طول موج به اندازهٔ کافی کوتاه خواهد شدو باعث بوجود آمدن تشدید در یک سیم با طول کوتاه خواهد شد . یک قاعدهٔ خوب این است که اگر طول سیم زمین بزرگتر از $\frac{1}{20}$ طول موج سیگنال شد ، سیم زمین در آن فرکانس فعال نخواهد شد . از آنجائی که سیم زمین خیلی پیچیده تر از یک سیم معمولی است بنابراین مشخصهٔ امپدانس در مقابل فرکانس بسیار پیچیده می باشد (شکل ۶-۷) .

شکل ۶-۷ - اثر یک سیگنال شبکه مبنا روی امپدانس زمین

یکی از راههای ایجاد یک سیگنال مبنای زمین برای تجهیزات حساس که در محدودهٔ وسیعی از فرکانس (تا ۳۰ مگاهرتز)کار میکند . استفاده از یک سیگنال مبنای شبکهٔ فلزی یا شبکهٔ مبنای صفر میباشد (شکل ۷-۷) .

در این روش از یک شبکهٔ مسی مستطیلی شکل با ابعاد حدود ۲ فوت فاصله استفاده می کنند . معمولاً از این روش در اطاق هائی که وسایل پردازش اطلاعات وجود دارد استفاده می شود . حتی اگر قسمتی از هادی در فرکانس مخصوصی بحالت تشدید درآید ، مسیرهای دیگری در شبکه هست که در آنجا تشدید وجود ندارد ، این بخاطر این است که چندین مسیر برای عبورجریان وجود دارد . در صورتیکه از شبکهٔ فلزی سیگنال مبنا استفاده می شود ، هر تکه ازمحفظه (بدنه) دستگاه می بایست به سیم زمین تکی مشترک از طریق اتصال زمین وصل شود (NEC) . همچنین محفظه ها باید به نزدیکترین اتصال داخلی شبکهٔ فلزی وصل شوند تا سیگنال مبنا را با فرکانس زیاد و امپدانس کم بوجود آورند . شکل ۶-۷ اثر شبکه یا سیگنال مبنا را روی مشخصهٔ امپدانس کلی زمین درمقابل فرکانس تشریح کرده است .

شکل ۷-۷ -کاربرد شبکهٔ فلزی سیگنال مبنا

۸-۴-۷ - نکات بیشتر برای زمین کردن دستگاههای حساس

نکات عملی زیر برای نصب تجهیزاتی که در مقابل اغتشاش یا نویز بوجود آمده در نتیجه اتصال به سیستم زمین حساس هستند مناسب می باشند .

- در صورت امکان از مدارات انشعابی مجزا برای تجهیزات حساس ستفاده شود . مدارات انشعابی جداگانه باعث مجزا کردن تجهیزات برای حالت های گذرای فرکانس زیاد و نویز می شود .
- هرگز از یک مدار به تنهائی بعنوان منبع اتصال زمین تجهیزات حساس استفاده نشود (حتی اگر مقررات اجازه دهد) . جریانهای عبوری از مدار باعث اغتشاش در تجهیزات الکترونیکی و مخابراتی خواهد شد .
- اندازهٔ سیم های سبز رنگ زمین می بایست به اندازهٔ سیم های حامل جریان (سیم های فاز) باشند و در هر مدار بصورت مجزا دو سر سیم بدنه با دو سر سیم سبز رنگ زمین به هم وصل شوند .
- در صورتیکه اسکلت ساختمان فلزی موجود باشد ، از آن بعنوان زمین مبنا استفاده می شود . سکت فلزی ساختمان عموماً زمین مبنای عالی و با امپدانس کم برا ی یک ساختمان بوجود می آورد . لکترودهای اضافی زمین (مانند لوله های فلزی آب و غیره) را می توان بعنوان مکمل سکت ساختمان استفاده نمود .

- این نکات عملی اغلب در اطاق های کامپیوتر ، که پاسخ فرکانس سیستم زمین برای تجهیزات مخابرات ، بین قسمت های مختلف یک سیستم کامپیوتری مهم می باشد بکار می رود .
- چنانچه شبکهٔسیگنال مبنا در زیر یک کف کاذب قرار داده شود و یا اینکه از خود کف کاذب ، بعنوان شبکهٔ سیگنال مبنا استفاده شود . این کارها جایگزین خوبی برای سیستم زمین ایمن نمیشود ، لیکن به سیستم زمین ایمن برای کاهش نویز کمک می کند .
- قرار دادن یک صفحه حذف حالتهای گذرا در نزدیکی نقطه ای که برق دارد (که روی آن کابل برق قرار میگیرد) باعث ایجاد نویز ارتباط خازنی و مغناطیسی کنترل شده بین اسکلت فلزی ساختمان و هادیهای زمین الکتریکی می گردد .

۹-۴-۷ - جمع بندی راه حل های اتصالات و سیم زمین

سیستم زمین باید طوری طراحی شود که بتوان حداقل نکات زیر را بدست آورد :

۱- در شرایط عادی هیچگونه جریانی نمی بایست از سیم زمین عبور کند . احتمالاًجریان کمی بخاطر اتصال وسایل حفاظتی و وسایل ارتباطی بین زمین و خط عبور خواهد کرد (در حقیقت اگر جریان عبوری از سیم زمین صفر باشد احتمالاً اتصال زمین صفر می باشد) . بهر حال این جریانهای عبوری از سیم زمین نسبت به جریانهای بار جزئی هستند .

۲- مبنای هم پتانسیل زمین برای همهٔ وسایل و همهٔ مکانها در یک سیستم باید تا حد امکان هم ولتاژ باشند .

۳- برای اجتناب از خطر ولتاژهای تماس (بدنه) همهٔ تجهیزات و بدنهٔ آنها را می بایست به سیستم زمین هم پتانسیل وصل کرد .

مهمترین مشکلات ناشی از این اهداف به قرار زیر می باشند :

۱- برای هر سیستم فرعی فقط می بایست یک اتصال بین سیم زمین و سیم نول موجود باشد .در یک سیستم مجزا با استفاده از ترانسفورماتور می توان مجدداً اتصال بین سیم زمین و سیم نول را برقرار کرد .

۲- می بایستی بهم پیوستگی کافی بین دستگاههای هم پتانسیل برقرار کرد تا امپدانس کمی در محدودهٔ وسیعی از فرکانس بوجود آید .

۳- همهٔ تجهیزات و بدنهٔ دستگاهها را می بایست به زمین وصل کرد .

فصل هشتم

نظارت کیفیت توان

وارسی کیفیت توان اغلب نیازمند نظارت (مشاهده، ثبت و تست) مداوم است تا مسائل دقیقاً شناسائی ، و آنگاه راه‌حلها مورد ممیزی قرار گیرند. قبل از ورود به برنامه‌های گسترده مناسب و عملی نظارت، تشریح مفاهیمی مانند وسایل در اختیار مشترک،تجهیزات تحت تأثیر قرار گرفته ، روشهای اجرای سیمکشی و زمین کردن، و ملاحظات بهره‌برداری، اهمیت دارد . در بسیاری موارد می توان مسائل کیفیت توان را ، بدون اجرای نظارت گسترده و صرفاً ازطریق پرسش سئوالات دقیق از مشترک و انجام یک بازدید محلی مقدماتی حل نمود.

۸-۱ - بازدید محلی

بازدید محلی مقدماتی باید طوری طراحی شود که حداکثر اطلاعات ممکن را از وسایل دراختیار مشترک و مشکلات موجود کسب نماید. اطلاعات ویژه‌ای که در این مرحله می‌بایستی‌بدست آورد، شامل:

۱ - طبیعت مسائل (فقدان داده‌ها، قطع و وصل‌های آزاردهنده، قصور عملکرد اجزاء،عملکرد نادرست سیستم کنترل، و غیره)

۲ - مشخصات فنی تجهیزات حساسی که مشکلات را تجربه می‌کنند (اطلاعات طراحی‌تجهیزات یا حداقل اطلاعات دستورالعمل بهره‌برداری)

۳ - وقتی که مشکلات بروز می‌کنند .

۴ - مشکلات یا عملکردهای شناخته شده ای که همزمان رخ می‌دهند (مانند کلیدزنی خازن).

۵ - منابع موجد تغییرات کیفیت توان در میان وسایل مشترک (راه‌اندازی موتور، کلیدزنی خازن، عملکرد تجهیزات الکترونیک قدرت، تجهیزات مولد جرقه، و غیره) .

۶ - تجهیزات موجود اندازه‌گیری توان مورد استفاده.

۷ - داده‌های سیستم الکتریکی (دیاگرامهای تک خطی، اندازه‌ها و امپدانسهای ترانسفورماتورها، اطلاعات بار، اطلاعات خازن، داده‌های کابل، و غیره)

وقتی این داده‌های اساسی از طریق مذاکره با مشترک بدست آمد، یک بازدید محلی باید ترتیب داده شود تا دیاگرامهای تک خطی، داده‌های سیستم الکتریکی، عدم نقص سیم‌کشی وسیستم زمین، سطوح بار، و مشخصات اساسی کیفیت توان، مورد رسیدگی قرار گیرد. فرمهای اطلاعاتی که می‌تواند برای این بررسی مقدماتی در خصوص سیستم توزیع برق مورد استفاده قرار گیرد در شکلهای ۱-۸ تا ۴-۸ تعبیه شده‌اند.

Supply Transformer Data:

Manufacturer: _____
Connection: _____
kVA Rating: _____
Primary Voltage: _____
Secondary Voltage: _____
Taps: _____
Tap Position: _____

Test Data:

Primary Voltages:		Primary Currents:	
A-B		A	
B-C		B	
C-A		C	
A-N		Neutral	
B-N		Ground	
C-N			

Secondary Voltages:		Secondary Currents:	
A-B		A	
B-C		B	
C-A		C	
A-N		Neutral	
B-N		Ground	
C-N			

N-G Bond? _____

شکل ۱-۸ - فرم برای ثبت داده‌های تست ترانسفورماتور تغذیه

Panel Identification: _____

Location: _____

Voltages:

A-B _____
B-C _____
C-A _____
A-N _____
B-N _____
C-N _____

N-G Bond? _____

Feeder Currents:

A _____
B _____
C _____
Neutral _____
Ground _____

Feeder Wire Sizes:

Phase _____
Neutral _____
Ground _____

Comments: _____

شکل ۲-۸ - فرم برای ثبت داده‌های تست مدار فیدر (از تابلو)

Branch Circuit Identification: _____

Location: _____

Equipment/ Location	Volts Ph-Ph	Volts Ph-N	Volts N-G	Load Current	Ground Z	Neutral Z

شکل ۳-۸ - فرم برای ثبت داده‌های تست مدار انشعابی

Branch Circuit Identification: _____
Location: _____

Equipment/ Location	Volts Ph-Ph	Volts Ph-N	Volts N-G	Load Current	Ground Z	Neutral Z

شکل ۴-۸ - فرم برای ثبت داده‌های تست دربارهای منفرد

۲-۸ - نظارت دقیق کیفیت توان

علاوه بر بازدید محلی مقدماتی، برای تشخیص تغییرات کیفیت توان نظارت در زمانهای بخصوص و در طول یک دوره زمانی معین، انجام میگیرد. نیازمندیهای نظارت بستگی‌به مشکل ویژه‌ای که اتفاق می‌افتد، دارد. بعنوان مثال، مسائلی که به سبب تغییرات کوتاه‌مدت ولتاژ (sags) در حین وقوع خطاهای دور از سیستم مؤسسه بوجود می‌آیند ، ممکن است به نظارت در یک طول مدت زیاد نیاز داشته باشند، زیرا اینگونه خطاهای سیستم حتماً خیلی نادر هستند. اگرمسئله مربوط به کلید زنی خازن باشد، ممکن است در طول دورهٔ زمانی دو روزه مشخص شود.مشخص کردن مسائل مربوط به اعوجاج هارمونیکی حداقل به یک دورهٔ زمانی یک هفته ای برای‌بدست آوردن تصویری از چگونگی تغییر هارمونیکها با تغییرات بار ، نیاز دارد. قسمتهای زیرجنبه‌های مهم عمل نظارت کیفیت توان را تشریح مینماید.

POWEREN.IR

۸-۲-۱ - انتخاب مکان نظارت

بهترین کار این است که عمل نظارت تا آنجائی که ممکن است از نزدیکترین نقطه به تجهیزات حساس که تحت تأثیر تغییرات کیفیت توان قرار گرفته، شروع شود. خیلی مهم است که مانیتور(دستگاه‌نظارت) دقیقاً همان تغییراتی را ببیند که وسیله حساس می‌بیند . اگر فاصله بین مانیتور و وسیله متأثر، خیلی زیاد باشد، بویژه در مورد حالت‌گذرای فرکانس زیاد ، می‌تواند در عمل و درمانیتور شدیداً با هم اختلاف داشته باشد. مکان مهم دیگر مدخل ورودی اصلی سرویس است.حالتهای گذرا و تغییرات ولتاژ اندازه‌گیری شده در این مکان می‌تواند بوسیله تمام تجهیزات موجود در مؤسسه، مورد تجربه قرار گیرد. این نقطه همچنین بهترین علامت اغتشاشات ناشی ازسیستم مؤسسه است (اگر چه هنوز محتمل است که اغتشاشات در مدخل ورودی سرویس، ناشی‌از حوادث اتفاق افتاده در میان وسایل مشترک باشد.)

۸-۲-۲ - فرم ثبت اغتشاش

مهم است که مشترک یک فرم ثبت اغتشاش (شکل ۵-۸ بصورت یک جدول)از جزئیات مسائلی که در حین دوره اندازه‌گیری رخ می‌دهد، نگهداری کند. این امر، شناخت وابستگی بین‌اغتشاشات و حوادث کلیدزنی سیستم را با مسائل واقعی کیفیت توان تجهیزات امکان‌پذیرمیسازد .

- Date of Disturbance:
- Time of Disturbance:
- Company:
- Address:
- Contact Name:
- Phone #:
- Brief Description of Disturbance:
- Equipment Category:
- Equipment Type:
- Manufacturers:
- Equipment Limitation:
- Cost of Equipment Failure:
- Cost of Downtime:

شکل ۵-۸ - فرم نمونه برای ثبت اغتشاش

این جدول همچنین می‌بایستی هر تغییر عمده در ترکیب سیستم را که در حین دورهٔ اندازه‌گیری اجرا می‌شود (خازنهای اصلاح ضریب قدرت، ترکیبهای مدار، تجهیزات جدید، وغیره) ، نشان دهد. همچنین ممکن است اغتشاشات بسیاری ثبت شده باشد ، که هیچ تأثیرمستقیم بر روی تجهیزات مشترک نگذاشته باشد . تشخیص این اغتشاشات از حوادثی که واقعاً باعث ایجاد مشکل می‌شوند، مهم است.

۳-۲-۸ - اتصالات مانیتور اغتشاش

روش پیشنهادی اینستکه مدار توان ورودی به مانیتور غیر از مداری باشد که باید موردنظارت قرار گیرد . برخی سازندگان بر روی منبع توان ساخت خود فیلترهای ورودی ویا جرقه خفه‌کن‌هائی قرار می‌دهند تا داده‌های اغتشاش را تعدیل نمایند و باین ترتیب مانیتور را ازهمان مداری که مورد نظارت قرار می‌گیرد، بتوان تغذیه نمود.

زمین کردن مانیتور اغتشاش توان از ملاحظات مهم است. مانیتور اغتشاش باید یک اتصال‌زمین برای سیگنالی که باید مورد نظارت قرار گیرد ، و یک اتصال زمین برای منبع تغذیه دستگاه اندازه‌گیری داشته باشد. هردوتای این اتصال زمین‌ها باید به بدنه دستگاه اندازه‌گیری متصل گردند. بنا به دلایل ایمنی ، انتهای هر یک از این اتصال زمین‌ها باید حتماً به اتصال زمین سیستم (ارت) وصل شوند . بهر حال این عمل ، موقعی که مدارهای مختلفی وجود داشته باشند، توانائی بالقوه ایجاد حلقه‌های زمین (ground loop) را دارد.

ایمنی سرلوحهٔ هرکاری است. بنابراین، هر جا تردید وجود دارد که چه باید کرد، هر دواتصال زمین باید متصل شوند . اگر حلقه‌های زمین مسئله مهمی باشند ، بطوریکه احتمال داده شود که جریانهای گذرا ممکن است به دستگاههای اندازه‌گیری صدمه بزنند یا اندازه‌گیریها را بی‌اعتبار سازند، می‌توان تغذیه دستگاه اندازه‌گیری را از همان خطی که باید مورد نظارت قرار گیرد، تأمین نمود (بررسی کنید تا مطمئن شوید که هیچ سیگنال اغتشاش در منبع تغذیه بوجود نیامده باشد) . علاوه بر این ، ممکن است اتصال فقط یک زمین (سیگنالی که باید مورد نظارت قرار گیرد) و قراردادن دستگاه اندازه‌گیری بر روی یک حصیر عایق میسر باشد . اگر احتمال افزایش پتانسیل دستگاه اندازه‌گیری نسبت به سایر دستگاهها و نسبت به مرجع زمین و نیز احتمال تماس پرتوریک دستگاه

باشد ، حتماً باید روشهای ایمنی مناسب مانند استفاده از دستکش‌های عایق در حین کار، بکاربرده شود.

۸-۲-۴ - تنظیم محدودهٔ مانیتور

مانیتورهای اغتشاش طوری طراحی شده‌اند تا شرایطی را که غیر عادی هستند، آشکارسازند. بنابراین، لازم است محدودهٔ شرایطی را که می‌توانند عادی تلقی شوند، تعریف کرد.بعضی مانیتورهای اغتشاش محدوده‌های از پیش انتخاب شده دارند (defaut) که می‌توانند بعنوان شروع کار مورد استفاده قرار گیرند.

بهترین روش برای انتخاب محدوده‌ها تطبیق آنها با مشخصات دستگاههائی است که تحت‌تأثیر قرار می‌گیرند . این امر ممکن است همیشه بخاطر فقدان مشخصات یا دستورالعمل‌های کاربردی میسر نباشد. یک روش دیگر تنظیم محدوده‌ها در حد کاملاً محدود برای یک دورهٔ زمانی (جهت جمع‌آوری مقدار زیادی داده‌های اغتشاش) و سپس استفاده از این داده‌های جمع‌آوری‌شده برای انتخاب محدوده‌های مناسب جهت نظارت در دورهٔ زمانی بلندمدت‌تری می‌باشد.

۸-۲-۵ - کمیاتی که باید اندازه‌گیری شوند

وقتی اغتشاشات توان نظارت می‌شود، معمولاً کافی است تا ولتاژهای سیستم مورد نظارت قرار گیرد. این امر برای اندازه‌گیریهای هارمونیک کافی نیست. برای مشخص کردن مسائل مربوط به‌هارمونیک، لازم است که هم ولتاژها و هم جریانها اندازه‌گیری شوند. اگر مجبور باشیم که یکی راانتخاب کنیم، معمولا جریانها دارای اهمیت بیشتری هستند. جهت اندازه‌گیریهای جریان برای مشخص کردن تولید هارمونیکها از بارهای غیر خطی سیستم استفاده می‌شود. اندازه‌گیریهای‌جریان در بارهای منفرد، برای تعیین مشخصات تولید این هارمونیکها ارزشمند می‌باشند . اندازه‌گیریهای جریان بر روی مدارهای فیدر یا در مدخل ورودی سرویس یک گروه از بارها ، منبع‌تولید هارمونیکها را مشخص می‌نمایند . اندازه گیریهای جریان بر روی سیستم توزیع برای تعیین‌مشخصات گروههائی از مشترکین یا یک فیدر کامل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

اندازه‌گیریهای ولتاژ کمک می کند تا پاسخ سیستم به جریانهای هارمونیک تولید شده مشخص گردد . شرایط تشدید بوسیله اعوجاج شدید ولتاژ در فرکانس بخصوصی نشان داده‌می‌شود. برای اینکه مشخصه‌های پاسخ فرکانسی سیستم را بتوان تعیین نمود ، اندازه‌گیریهای همزمان ولتاژها و جریانها

ضروری است . برای اندازه‌گیری میزان عبور قدرت هارمونیک، از هر سه‌فاز بطور همزمان باید نمونه‌گیری انجام شود.

۸-۲-۶ - تفسیر نتایج اندازه‌گیری

برای تجزیه و تحلیل مسایل کیفیت توان با استفاده از اندازه‌گیریها ، توانائی ایجاد ارتباط بین مشخصه‌های یک اغتشاش با دلایل امکان تولید اغتشاش ضروری است. این امر نیازمند دانستن مشخصه‌هائی است که برای انواع مختلف اغتشاشات ، معمول است . شکل موجها و اطلاعات ارائه شده در این کتاب طوری طراحی شده‌اند ، تا زمینه مورد نیاز برای تغییر چند نوع کیفیت توان را فراهم آورند . هنگامی که علت یک اغتشاش فهمیده شد ، تأثیرات آن بر روی تجهیزات وراه‌حلهای ممکن می‌بایستی تعیین گردند . همیشه یک رابطه علت و معلولی مستقیم بین اغتشاش وتأثیر آن بر روی تجهیزات وجود ندارد (کاهش کیفیت در اثر طول زمان برای تجهیزات و تأثیرمتقابل با دستگاههای کنترل می‌تواند مسائلی را بوجود آورد) . این امر ارزیابی تأثیرات و پیشنهاد راه‌حلهای مناسب را مشکلتر می‌سازد.

۸-۲-۷ - یافتن منبع یک اغتشاش

قدم نخست در معرفی منبع یک اغتشاش، بر قرار کردن ارتباط بین شکل موج مغشوش بادلایل ممکنه آن ، همانگونه که در بالا شرح داده شده، می‌باشد. وقتی یک مقوله برای علت‌اغتشاش معین شد (مثل، کلیدزنی بار،کلیدزنی خازن ، شرایط خطای راه دور ، عملکرد ریکلوزر، و غیره) شناسائی آن آسان می‌شود.

دستورالعملهای عمومی زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

- تغییرات ولتاژ فرکانس زیاد به مکانهای نزدیک به منبع اغتشاش محدود خواهد بود. سیمکشی فشار ضعیف (۶۰۰ ولت و کمتر) اغلب مؤلفه‌های فرکانس زیاد را بخاطر مقاومت مدار، سریعاً تضعیف می‌کند، و لذا مؤلفه‌های این فرکانس‌ها فقط وقتی که مانیتور در نزدیکی منبع اغتشاش قرار دارد، ظاهر می‌شوند.
- قطع برقهای نزدیک به محل دستگاه نظارت (مانیتور) باعث یک تغییر خیلی سریع و ناگهانی درولتاژ می‌شوند . قطع برق‌های دور از محل دستگاه نظارت (مانیتور) بدلیل انرژی ذخیره شده در دستگاههای گردان و خازنها باعث ایجاد یک ولتاژ میراشونده، خواهند شد.

- بالاترین سطوح هارمونیک ولتاژ نزدیک خازنهائی که موجب ایجاد مسایل تشدید می‌شوند ، رخ‌خواهد داد . در اینحالات ، یک فرکانس مشخص معمولاً طیف هارمونیک ولتاژ را تحت‌الشعاع قرارخواهد داد.

۸-۳ - دستگاههای اندازه‌گیری کیفیت توان

مشکلات کیفیت توان دامنهٔ وسیعی از اغتشاشات و شرایط سیستم را در بر می‌گیرند.آنها شامل همه چیز، از اضافه ولتاژهای گذرای خیلی سریع (در قالب زمان میکروثانیه) گرفته تا قطعی‌های طولانی مدت (در قالب زمان ساعتها یا روزها) می‌شوند . مسائل کیفیت توان ، همچنین پدیده‌های حالت پایدار مانند اعوجاج هارمونیکی و پدیده‌های نوبه‌ای (متناوب) ، مانند فلیکر ولتاژرا شامل می‌شوند . تعاریف برای مقوله‌های مختلف در فصل ۲ ارائه شده است . این محدوده وسیعی که "کیفیت توان" را تشکیل می‌دهد ، تهیه یک دستورالعمل اندازه‌گیری و دستگاههای استاندارد را خیلی مشکل می‌سازد.

۸-۳-۱ - انواع دستگاههای اندازه‌گیری

اگر چه دستگاههای اندازه گیری فراوانی ساخته شده‌اند که انواع مختلف اغتشاشات را اندازه‌می گیرند، اما معمولا تعدادی از دستگاههای اندازه‌گیری مختلف بسته به پدیده‌هائی که تشخیص داده میشوند ، مورد نیاز خواهند بود . مقوله‌های اصلی دستگاههای اندازه‌گیری که ممکن است قابلیت کاربرد داشته باشند بشرح زیر می‌باشند :

- وسایل تست سیمکشی و سیستم زمین
- مولتی مترها
- اسیلوسکوپ‌ها
- تحلیل گرهای اغتشاش
- تحلیل گرهای هارمونیک یا تحلیل گرهای طیف
- تحلیل گرهای مرکب اغتشاش و هارمونیک
- دستگاه اندازه‌گیری فلیکر
- مانیتورهای انرژی

در قسمتهای بعد کاربرد و محدودیتهای ایـــن دســتگاههای اندازه‌گـیری مختلـف مـورد بحـث قرار می‌گیرد.

علاوه بر این دستگاههای اندازه‌گیری، که سیگنالهای حـالت پـایدار یـا اغتشاشـات را مسـتقیماً بر روی سیستم قدرت اندازه‌گیری می‌نمایند، سایر دستگاههای اندازه‌گـیری کـه شـرایط محیطـی‌را اندازه‌گیری می کنند و می‌توانند برای حل کیفیت توان مفید باشند، بقرار زیر هستند:

- دستگاههای اندازه‌گیری اشعه مادون قرمز که در آشکار ساختن اتصـالات شـل و گـرم شـدن زیاده ازحد هادیها بسیار با ارزش هستند . یک دستورالعمل سالیانه بازرسی سیستم در این خصـوص ، می‌تواند برای جلوگیری از مسایل کیفیت توان ناشی از جرقه‌زنی ، اتصالات بد ، و هادیهـــای زیـاده ازحد باردار ، کمک مؤثری بکند.

- مسائل نویز مربوط به تشعشع الکترومغناطیسی ممکن است نیازمند به اندازه‌گیری نیروهای میدان دراطراف تجهیزات متأثر از نویز باشند . دستگاههای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی(meter gauss) برای اندازه‌گیری شدت‌های میدان مغناطیسی و بررسیهای مهـم پیوسـتگی اندکیتـو مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیرند . دستگاههای اندازه‌گیری میدان الکتریکی می‌توانند شدت میدان‌های الکـــتریکی را جهـت بررسیهای مهم پیوستگی الکترواستاتیکی اندازه‌گیری نمایند.

- دستگاههای اندازه‌گیری الکتریسیته ساکن دستگاههای ویژه‌ای هستند که الکتریســیته سـاکن را در اطراف دستگاههای حساس اندازه می‌گیرند. دشارژ الکترواستاتیکی(ESD) می‌تواند یکـــی از علـل مهم مشکلات کیفیت توان در برخی از انواع دستگاههای الکترونیکی باشد.

صرفنظر از نوع دستگاه اندازه‌گیری مورد نیاز برای یک تست بخصوص ، عوامل مهم دیگری هم هستند که در موقع انتخاب دستگاههای اندازه‌گیری باید به آنها توجه نمود . بعضی ازعوامـل مهمـتر عبارتند از:

- تعداد کانالها (ولتاژ و یا جریان)
- مشخصات فنی حرارتی مربوط به دستگاه اندازه‌گیری
- عدم انعطاف (سختی) دستگاه اندازه‌گیری
- محدوده ولتاژ ورودی (مثلا صفر تا ۶۰۰ ولت)
- نیازمندیهای به برق
- توانائی اندازه‌گیری ولتاژهای سه فاز

- میزان عایقی ورودی (میزان عایقی بین کانالهای ورودی و از هر ورودی به زمین)
- توانائی اندازه‌گیری جریانها
- محل قرار گرفتن دستگاه اندازه‌گیری (قابل حمل ، قابل حمل در صندوق یا جعبه ، و غیره)
- سهولت استفاده (ارتباط با کاربر، توانائی ترسیم اشکال، و غیره)
- مستند بودن
- توانائی مخابراتی (مودم، ارتباط با شبکه)
- نرم‌افزار تجزیه و تحلیل

انعطاف پذیری (وسعت و جامعیت) دستگاه اندازه‌گیری نیز مهم است. هر چه تعداد وظایفی که یک دستگاه اندازه‌گیری می‌تواند انجام دهد بیشتر باشد، بهمان نسبت تعداد دستگاههای کمتری مورد نیاز خواهد بود. با توجه به این شناخت که برخی تقاطع بین مقوله‌های دستگاههای اندازه‌گیری مختلف وجود دارند ، مقوله‌های اساسی دستگاهها برای اندازه‌گیری مستقیم سیگنالهای‌قدرت در قسمتهای زیر تشریح خواهند شد.

۲-۳-۸ - دستگاههای تست سیمکشی و سیستم زمین

بیشتر مسائل کیفیت توان که توسط مشترکین گزارش شده ناشی از مشکلات سیمکشی و یاسیستم زمین بین دستگاهها است . این مسائل را با بازدید فنی سیمکشی، اتصالات، تابلوها ، و همچنین با وسایل مخصوص تست برای آشکار کردن مسایل سیمکشی و سیستم زمین می‌توان‌شناسائی نمود.

توانایی‌های مهم دستگاه تست سیمکشی و سیستم زمین به شرح زیر است :

- پیدا کردن اتصال کوتاه های سیستم زمین عایق شده و اتصالات نول به زمین
- اندازه‌گیری یا نشان دادن امپدانس زمین و امپدانس نول
- پیدا کردن سیستم‌های زمین باز، نول‌های باز، یا سیستم فاز باز
- آشکار ساختن برگشت‌های فاز به نول یا برگشت‌های نول به سیستم زمین
- دستگاههای تست سه فاز همچنین قادرند گردش فازها و ولتاژهای فاز به فاز را تست نمایند. این وسایل تست می‌توانند ساده باشند و یک تست اولیه عالی را برای یکپارچگی مدار فراهم‌نمایند. بسیاری از مسائل بدون نیاز به نظارت دقیق که اندازه‌گیری گران قیمت را طلب میکند ، می‌تواند آشکار گردد.

۳-۳-۸ - مولتی مترها

بعد از تستهای اولیه یکپارچگی مدار، ممکن است لازم باشد که رسیدگی سریعی از سطوح ولتاژ و یا جریان امکانات موجود انجام گیرد . اضافه بار مدارها ، مسائل اضافه ولتاژ ، کسر ولتاژ ، و عدم تعادلهای بین مدارها را با این روش می‌توان آشکار نمود.

سیگنالهایی که باید مورد بررسی قرار گیرند، عبارتند از:

- ولتاژهای فاز به زمین
- ولتاژهای فاز به نول
- ولتاژهای نول به زمین
- ولتاژهای فاز به فاز (در سیستم سه فازه)
- جریانهای فاز
- جریانهای نول

مهمترین عامل مورد بررسی در موقع انتخاب و استفاده از یک مولتی‌متر، روش محاسبه‌مورد استفاده در دستگاههای اندازه‌گیری است . تمام دستگاههای اندازه‌گیری معمولاً طوری کالیبره‌شده‌اند که مقدار مؤثر (rms) را برای سیگنال مورد اندازه‌گیری نشان می‌دهند. بهرحال، روشهای‌مختلف دیگری نیز برای محاسبه مقدار مؤثر بکار برده می‌شود.

سه روش کاملا متداول عبارتند از:

۱- روش پیک : بفرض اینکه سیگنال سینوسی باشد، دستگاه اندازه‌گیری پیک سیگنال رامی‌خواند و نتیجه را بر ۱/۴۱۴ (ریشه دوم عدد۲) تقسیم می‌نماید تا مقدار مؤثر (rms) رابدست آورد.

۲- روش متوسط گیری : دستگاه اندازه‌گیری مقدار میانگین یک سیگنال یکسو شده را تعیین می‌نماید. برای یک سیگنال سینوسی تمیز(سیگنالی که شامل فقط یک فرکانس باشد) ، این‌مقدار متوسط با یک عدد ثابتی به مقدار موثر (rms) وابسته‌است.

۳- مقدار مؤثر(rms) واقعی : مقدار مؤثر یا مقدار میانگین ریشه دوم (rms) یک سیگنال. معیار گرمایی است که دراثر اعمال ولتاژ بدوسر یک بار مقاومتی بوجود می آید. یک روش برای پیداکردن مقدار مؤثرواقعی اینستکه واقعاً یک آشکارسازحرارتی برای اندازه‌گیری مقدارحرارت یک گرفته شود. دستگاههای اندازه‌گیری دیجیتالی جدیدتریک محاسبه دیجیتالی از مقدار مؤثرر بمربع کردن سیگنال که بر اساس نمونه‌گیری انتخاب میشود و متوسط گیری این مربعات در طول‌یک دوره زمانی معین ،

و سپس گرفتن ریشه دوم نتیجه بدست آمده، انجام میدهند . این روشهای مختلف همگی برای یک سیگنال سینوسی تمیز نتیجه یکسان ارائه میدهند ، ولی برای سیگنالهای معوج جوابهای روشهای مختلف می‌توانند دارای تفاوت مهم و اساسی باشند. این امر خیلی مهم است زیرا بوجودآمدن سطوح اعوجاج قابل توجه ، برای جریانهای فاز به زمین در میان وسایل مشترک امری عادی است . جدول ۱-۸ این موضوع را بهتر نشان می‌دهد. هر شکل موج در جدول ۱-۸ دارای مقدارمؤثر یک پریونیت (۱۰۰ درصد) می باشد . مقادیر اندازگیری شده مربوط به هر نوع از دستگاههای اندازه‌گیری تحت شکل موجهای وابسته به خود نشان داده شده، و به مقدار مؤثر(rms) واقعی‌نرمالیزه شده است.

		Meter Type		
		True RMS	Peak Method	Average Responding
		Circuit Type		
		RMS Converter	Peak / 1.414	Sine Avg. X 1.11
Sine Wave		100 %	100 %	100 %
Square Wave		100 %	82 %	110 %
Triangle Wave		100 %	121 %	96 %
ASD Current		100 %	127 %	86 %
PC Current		100 %	184 %	60 %
Light Dimmer		100 %	113 %	84 %

جدول ۱-۸ - مقایسه قرائت دستگاههای اندازه‌گیری برای شکل موجهای مختلف

۴-۳-۸ - اسیلوسکوپها

یک اسیلوسکوپ موقعی با ارزش است که تستهای واقعی و بهنگام انجام دهد. مشاهده‌شکل موجهای ولتاژ و جریان میتواند اطلاعات زیادی راجع به آنچه که دارد اتفاق میافتد، بیان کند. اگر نتواند تجزیه و تحلیل دقیق هارمونیک رابر روی شکل موج انجام دهد. شما می‌توانید مقادیر ولتاژها و جریانها را بدست آورده ، اعوجاج آشکار را جستجو، و هر گونه تغییرات درسیگنالها را

پیدا کنید. اسیلوسکوپ‌ها از لحاظ ساخت و مدل در انواع بی‌شمار وجود دارند که می‌توانید از میان آنها نوع مورد نظر خود را انتخاب کنید. یک اسیلوسکوپ دیجیتالی با منبع ذخیره داده‌ها وسیله با ارزشی است، زیرا شکل موج می‌تواند در آن تجزیه و تحلیل شود . اسیلوسکوپ از این نوع اغلب دارای توانمندی تجزیه و تحلیل شکل موج نیز می‌باشد (محاسبات انرژی ، تجزیه‌وتحلیل طیفها) . بعلاوه، معمولاً اسیلوسکوپ دیجیتالی با امکانات مخابراتی که بتواند داده‌های شکل‌موج را در یک کامپیوتر شخصی (pc) ذخیره نماید وجود دارد ، تا امکان تجزیه و تحلیل اضافی از طریق بسته‌های نرم‌افزاری موجود در کامپیوتر فراهم آید .

پیشرفته‌ترین اسیلوسکوپها، دستگاههای اندازه‌گیری قابل حملی (دستی) هستند با توانائی‌نمایش شکل موجها و انجام چند فرایند بر روی سیگنال. اینها برای بررسیهای کیفیت توان وسیله کاملاً مفیدی هستند، زیرا به راحتی قابل حمل بوده، و می‌توانند به صورت یک ولت - اهم متر راه‌اندازی شوند ، و در عین حال اطلاعات بسیار زیادی را ارائه نمایند . اینها برای نظارتهای مقدماتی تأسیسات یک کارخانه ایده‌آل هستند . یک نوع از این وسیله در شکل ۶-۸ نشان داده‌شده است.

شکل ۶-۸ - یک دستگاه نظارت کیفیت توان دستی (قابل حمل)

این دستگاه بخصوص همچنین قادر است هارمونیکها را تجزیه و تحلیل کرده و اتصال به pc را ممکن سازد بدین ترتیب تجزیه و تحلیل بیشتر داده‌ها و وارد کردن آنها در گزارشات، آن گونه که تشریح شده فراهم میگردد.

۵-۳-۸ - تحلیل گرهای اغتشاش

تحلیل گرهای اغتشاش و مانیتورهای نشان‌دهنده اغتشاش یک دسته دستگاههای اندازه گیری‌را تشکیل می‌دهند که اختصاصاً برای اندازه‌گیریهای کیفیت توان ساخته شده‌اند . آنها نوعاً اقسام مختلف اغتشاشات سیستم ، از ولتاژهای گذرای خیلی زودگذر تا قطعی‌های بلند مدت یا ضعف ولتاژها را اندازه‌گیری می‌نمایند. می‌توان محدوده‌ها را تنظیم و دستگاه اندازه گیری را بحال‌خود گذاشت تا اغتشاشات را در یک دوره زمانی معین ثبت نماید. این اطلاعات معمولاً بر روی‌یک نوار کاغذی ثبت می‌شود، لیکن بسیاری از وسایل دیگر را نیز می‌توان به دستگاه وصل نمود مثلا اطلاعات می‌توانند همچنین بر روی یک دیسک ضبط شوند.

این وسایل اساساً در دو دسته قرار می‌گیرند:

۱- تحلیل گرهای معمولی که حوادث را با اطلاعات بخصوصی مانند مقادیر اضافه‌ولتاژها و کسر ولتاژها، مقدار و طول زمان جرقه و کمبودهای زودگذر ولتاژ(sags) ، مقدار و طول‌زمان حالتهای گذرا و غیره جمع‌آوری می‌کنند.

۲- تحلیل گرهای گرافیکی که شکل موج حقیقی را بهمراه اطلاعات تشریحی که توسط یکی از تحلیل گرهای معمولی جمع آوری می‌شود، ذخیره و ترسیم می‌کند.

اغلب تعیین مشخصات یک اغتشاش یا یک حالت گذرا از اطلاعات خلاصه‌ای که تحلیل گرهای معمولی اغتشاش فراهم می‌آورند، دشوار است. بعنوان مثال ، یک حالت گذرای‌نوسانی را نمی‌توان بطرز مؤثر با یک پیک و یک مدت زمان توضیح داد. بنابراین، داشتن تحلیل گراغتشاش گرافیکی برای ضبط شکل موج تقریباً ضروری است، تا امکان تجزیه و تحلیل دقیق مسئله کیفیت توان را فراهم آورد (شکل ۷-۸). بهر حال، یک مانیتور معمولی تحلیل گر اغتشاش ساده‌می‌تواند برای بازدید اولیه در یک محل مسئله‌دار ، بسیار مفید باشد.

شکل ۷-۸ - خروجی یک تحلیل گر گرافیکی

۶-۳-۸ - تحلیل گرهای طیف و تحلیل گرهای هارمونیک

دستگاههای اندازه گیری موجود در مقوله تحلیل گرهای اغتشاش، توانائیهای خیلی محدودی برای تجزیه و تحلیل هارمونیک دارند. بعضی از تحلیل گرهای قویتر دارای مدولهای add -on هستند که می توانند برای محاسبه سریع تبدیل فوریه (FFT) مورد استفاده قرار گرفته و هارمونیکهای رتبه پائین تر را تعیین نمایند . بهر حال، نیازمندیهای اندازه گیری هارمونیکهای مهم ، دستگاهی را طلب می کند که برای تجزیه و تحلیل طیف یا تجزیه و تحلیل هارمونیک طراحی شده باشد.

توانائیهای مهم برای اندازه گیری‌های هارمونیک مفید شامل:

- توانائیهای اندازه گیری جریان و ولتاژ بطور همزمان، بطوریکه اطلاعات جریان توان هارمونیکی عبوری را بتوان بدست آورد.
- توانائی اندازه گیری مقدار و زاویه فاز تک تک مؤلفه‌های هارمونیک (که برای محاسبات توان عبوری مورد نیاز است)
- سنکرونیزاسیون و نرخ نمونه گیری سریع برای بدست آوردن اندازه گیری دقیق مؤلفه‌های هارمونیک تا مؤلفه مرتبه سی‌وهفتم میسر گردد (این نیازمندی ترکیبی است از نرخ نمونه گیری زیاد و فاصله نمونه گیری بر مبنای ۶۰ هرتز)
- توانائی مشخص کردن طبیعت آماری سطوح اعوجاج هارمونیکی (سطوح هارمونیکها با تغییر شرایط بار و تغییر شرایط سیستم تغییر می کنند)

سه دسته اساسی دستگاههای اندازه‌گیری برای تجزیه و تحلیل هارمونیک به شرح زیرمورد بررسی قرار می‌گیرند:

۱- دستگاههای اندازه‌گیری ساده

بعضی اوقات شاید بررسی سریعی از سطوح‌هارمونیک در مکان مسئله‌دارضروری باشد . یک دستگاه اندازه‌گیری ساده و قابل حمل برای این منظور ایده‌آل است . در زمان‌نوشتن این مطالب ، تقریباً چهار دستگاه اندازه‌گیری دستی از این نوع در بازار وجود دارند . هر نوع از این دستگاه های اندازه‌گیری در طراحی و بهره‌برداری محاسن و معایب مخصوص به خود را دارند. این دستگاهها معمولاً از مدار میکروپروسسوری استفاده می‌کنند تا محاسبات ضروری برای تعیین انفرادی هارمونیکهای انفرادی تاهارمونیک پنجاهم، همچنین مقدارمؤثر (rms) ،میزان THD ومقدارضریب نفوذ تلفن (TIF) رامیسر سازند. بعضی ازاین وسایل می‌توانندقدرتهای هارمونیک (مقادیرو زوایا) را محاسبه وشکل‌موجهای ذخیره شده وداده‌های محاسبه شده را ازدستگاه برروی pc منتقل و ذخیره نمایند.

۲- تحلیل‌گرهای طیف چندمنظوره:

این دسته دستگاههای اندازه‌گیری طوری طراحی شده‌اند تا تجزیه و تحلیل طیف را بر روی شکل موجها برای کاربردهای متنوع و مختلف انجام دهند. این دستگاههای اندازه‌گیری قادرند که‌سیگنال عمومی را تجزیه و تحلیل کنند. حسن این دستگاههای اندازه‌گیری اینستکه چون آنها برای موارد وسیعتری از بازار ساده کاربردهای سیستم قدرت ساخته شده‌اند ، با قیمت منطقی ظرفیت‌های بالائی را ارائه می‌دهند. عیب این نوع دستگاههای اندازه‌گیری اینستکه چون آنها اختصاصاً برای نمونه‌گیری شکل موجهای ۶۰ هرتز طراحی نشده‌اند، لذا باید بادقت مورد استفاده قرار گیرندتا تجزیه و تحلیل دقیق هارمونیک را تضمین کنند. در این دسته انواع زیادی از دستگاههای اندازه‌گیری وجود دارند.

۳- تحلیل‌گرهای مخصوص هارمونیک سیستم قدرت

علاوه بر تحلیل‌گرهای طیف چند منظوره که در بالا تشریح شده، تعدادی دستگاههای‌اندازه‌گیری و وسایل وجود دارند که منحصراً برای تجزیه و تحلیل هارمونیک سیستم قدرت طراحی شده‌اند (شکل ۸-۸) . اینها بر اساس تبدیل سریع فوریه (FFT) با نرخهای نمونه‌گیری که منحصراً برای تعیین

مؤلفه‌های هارمونیک سیگنالهای قدرت کاربرد دارند ، طراحی شده‌اند. آنها راعمدتاً در محل نصب به حال خود گذاشته و با استفاده از توانائیهای مخابراتی آنها نظارت از دوردر مورد آنها انجام می‌شود.

PHASE A CURRENT SPECTRUM 11:49:06 AM
Fundamental amps: 103.8 A rms
Fundamental freq: 60.0 Hz

HARM	PCT	SINE PHASE	HARM	PCT	SINE PHASE
FUND	100.0%	10°	2nd	1.1%	78°
3rd	3.9%	-122°	4th	0.5%	167°
5th	82.8%	-125°	6th	1.7%	-56°
7th	77.5%	79°	8th	1.2%	131°
9th	7.6%	-80°	10th	0.7%	112°
11th	46.3%	-52°	12th	1.0%	-48°
13th	41.2%	149°	14th		
15th	5.7%	-26°	16th	0.3%	172°
17th	14.2%	19°	18th	0.4%	78°
19th	9.7%	-145°	20th	0.4%	-138°
21st	2.3%	19°	22nd	0.5%	-14°
23rd	1.5%	-148°	24th	0.5%	89°
25th	2.5%	108°	26th	0.7%	-135°
27th	0.9%	-29°	28th	0.3%	9°
29th	2.0%	-29°	30th	0.2%	55°
31st	2.0%	169°	32nd	0.3%	149°
33rd	0.5%	-19°	34th	0.4%	-61°
35th	0.3%	-147°	36th	0.1%	25°
37th	0.8%	75°	38th	0.3%	148°
39th	0.5%	-58°	40th		
41st	0.6%	-100°	42nd		
43rd	0.7%	114°	44th	0.1%	113°
45th	0.4%	-59°	46th	0.1%	-32°
47th	0.2%	165°	48th		
49th	0.4%	44°	50th	0.3%	144°
ODD	130.9%		EVEN	3.0%	
THD:	130.9%				

شکل ۸-۸ - خروجی تحلیل گر هارمونیک

۷-۳-۸ - تحلیل گرهای مرکب اغتشاش و هارمونیک

جدیدترین دستگاهای اندازه‌گیری مرکب از توانمندی‌هائی شامل توانائی نجام محدودنمونه‌گیری هارمونیک و نظارت انرژی و نیز توانائی کامل انجام نظارت اغتشاش می‌باشد . خروجی بشکل ترسیمی بوده و جمع‌آوری داده‌ها از راه دور و از طریق خطوط تلفن به ظرف بانک اطلاعاتی مرکزی میسر است. سپس تجزیه و تحلیل آماری بر روی داده‌ها قابل اجرا است. داده‌ها همچنین برای

ورودی سایر دستگاهها بمنظور استفاده در دیگر برنامه‌ها نیز در دسترس می‌باشند.نمونه‌ای از یک چنین دستگاه اندازه‌گیری در شکل ۹-۸ نشان داده شده است که قادر است اغتشاشات ، هارمونیکها، و سایر پدیده های حالت پایدار را در سیستم توزیع و مصرف کنندهٔ نهائی نشان دهد .

شکل ۹-۸ - دستگاه نظارت کیفیت توان برای اغتشاشات، هارمونیکها، وسایر پدیده‌های حالت پایدار

این دستگاه اندازه‌گیری که در تابلوی مناسبی برای نصب در فضای آزاد قرار داده می‌شود و برروی پایه‌های مؤسسه نصب می‌گردد ، طوری طراحی شده که هم برای مؤسسه و هم برای مصرف کننده نهائی کاربرد دارد. این دستگاه، بطور همزمان برولتاژها و جریانهای سه‌فاز (بعلاوه نول‌ها) نظارت می‌کند، که این امر برای تشخیص مسایل کیفیت توان از اهمیت زیادی برخوردار است. دستگاه، داده‌های خام را می‌گیرد و در منبع ذخیره داخلی خود حفظ می‌کند تا آنرا برای یک منبع راه دور انتقال دهد. تجزیه و تحلیل محلی با نرم‌افزار نیرومند انجام می‌شود تا بتوان نوع خروجی مانند آنچه که در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده را تولید نمود .

شکل بالائی یک نتیجه معمولی را برای کاهش زودگذر ولتاژ (sag) نشان می‌دهد. تغییرات مقدار مؤثر (rms) برای ۸/۰ ثانیه اول و شکل موج واقعی برای ۱۷۵ میلی ثانیه اول نشان داده شده اند .

شکل وسطی یک خطای موج معمولی را که از عمل کلیدزنی خازن گرفته شده نشان می‌دهد. شکل پائین توانائی دستگاه را برای گزارش هارمونیکهای یک موج دستخوش اعوجاج نشان می‌دهد .

شکل ۱۰-۸ خروجی تحلیل‌گر مرکب اغتشاش و هارمونیک

هم شکل موج واقعی و هم طیف هارمونیک را می‌توان بدست آورد. وسیله دیگری در شکل ۱۱-۸ نشان داده شده است.

این دستگاه یک سیستم تجزیه و تحلیل و نظارت بار است که در عین حال توانائی ضبط اغتشاشات و تجزیه و تحلیل هارمونیک را دارد. این دستگاه برای نصب دائمی در مجموعه‌های صنعتی ساخته شده و می‌تواند در سراسر کارخانه بر روی مراکز کنترل موتورها و تابلوهای فرعی استفاده شود. بدین ترتیب در حالیکه فقط همین چند سال پیش برای نظارت کیفیت توان

دستگاههای اندازه‌گیری کمی وجود داشته است ، اکنون دستگاههای اندازه‌گیری زیادی در خصوص آن ساخته شده و در بازار موجود می‌باشد.

شکل ۱۱-۸ - یک مانیتور مرکب کیفیت توان برای نصب دائمی در یک مجموعه صنعتی

۸-۳-۸ - دستگاههای اندازه‌گیری فلیکر

فلیکر ولتاژ اصطلاحی برای تغییرات کوچک ولی سریع در ولتاژ منبع تغذیه است. این‌اصطلاح از آن جهت بکار رفته که اثر این تغییرات (معمولا در محدوده ۱ تا ۳۰ هرتز) بر روی لامپ‌های الکتریکی بصورت چشمک ظاهر شده و بوسیله چشم انسان دیده می‌شود. اگر چه کوره‌های قوسی یکی از علل مهم فلیکر ولتاژ می‌باشند ، ولی سایر بارها مانند سنگ شکن‌ها وآزمایش کننده‌های لاستیک با مشخصه‌های تغییر اتفاقی، نیز می‌توانند علت اینگونه مسائل باشند.

بهنگام اندازه‌گیری فلیکر، دستگاه اندازه‌گیری می‌بایستی مقدار مؤثر ولتاژ اغتشاش ، یا پوش‌ولتاژ ۶۰ هرتز را اندازه بگیرد. این اندازه‌گیری از طریق دمدوله کردن پوش از حامل ۶۰ هرتز بدست می‌آید . محاسبه فرکانس مسلط در سیگنال فلیکر هم مهم است ، زیرا فرکانس‌های مختلف بنحو متفاوتی بوسیله چشم انسان دریافت می‌شوند .تعدادی از مؤسسات دستگاههای اندازه‌گیری فلیکر خود را ، خودشان بر اساس مدار آنالوگ ساخته‌اند ، و هم اکنون دستگاههای اندازه‌گیری فلیکرتجارتی در بازار وجود دارند. بعضی از آنها حافظهٔ اندازه‌گیری بهمراه خود دارند در حالیکه اساس برخی دیگر برPC استوار است.

۹-۳-۸ - موارد مورد نیاز مبدل ها

برای نظارت کیفیت توان روی سیستم‌های قدرت اغلب به مبدلها احتیاج است تا بتوان سطوح سیگنال ولتاژ و جریان قابل قبول را دریافت نمود. نظارت ولتاژ بر روی سیستم‌های ثانویه ، معمولاً می‌تواند با اتصالات مستقیم انجام شود ، ولی حتی این مکانها برای سیگنال جریان نیاز به ترانسفورماتورهای جریان (CTs) دارند. بسیاری از دستگاههای نظارت کیفیت توان برای ورودی ولتاژهای تا ۶۰۰ ولت مؤثر و ورودیهای جریان تا ۵ آمپر مؤثر طراحی شده‌اند . مبدلهای ولتاژ وجریان می‌بایستی طوری انتخاب شوند تا این سطوح جریان و ولتاژ را برای سیگنال فراهم نمایند . دو موضوع مهم در انتخاب مبدلها باید مورد توجه قرار گیرند:

۱- سطوح سیگنال

سطوح سیگنال می‌بایستی با مقیاس کامل در دستگاه اندازه‌گیری نشان داده شود بدون اینکه در سیگنال مورد نظر اعوجاج و یا بریدگی ایجاد نماید.

۲- پاسخ فرکانسی

پاسخ فرکانسی برای نظارت حالت‌گذرا و اعوجاج هارمونیکی که در سیگنالهای‌فرکانس بالا مهم هستند، دارای اهمیت ویژه‌ای است. این امور، و ملاحظات نصب مبدل،در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۱۰-۳-۸ - سطوح سیگنال

تعیین اندازه‌مبدلهای‌ولتاژ (VTs) و ترانسفورماتورهای‌جریان(CTs) مستلزم مطالعه‌دقیق است‌و نیازمند استفاده ازدستگاه اندازه‌گیری باثبات کامل است،بدون اینکه سیگنال اندازه‌گیری شده رابـرش نمـاید (clip)انتخاب نادرست اندازهٔدستگاه میتواندموجب ایجادخسارت به مبدل یادستگاه نظارت گردد.

دستگاههای نظـارت دیجیتـالی از مبدلهـای آنـالوگ بـه دیجیتـال (A/D) اسـتفاده می‌نمـایند. این‌مدارهای آنالوگ به دیجیتال ، سیگنال آنالوگی راکه بوسیله دستگاه از مبدلهـا دریـافت می‌شـود برای‌انجام عمل فرایند بـه سـیگنال دیجیتـال تبدیـل مـی نمـایند. بـرای بدسـت آوردن دقیقـترین نمایش‌سیگنالی که باید مشاهده شود خیلی مهم است که مدار آنالوگ به دیجیتال مورد استفاده را تـا آنجاکه امکان دارد در محدوده کامل انتخاب نماییم. سطح نویزیک مدار معمولی آنالوگ به دیجیتال درحدود ۳۳ درصد مقدار بیت محدوده کامل‌است (۵ بیت برای یک A/D ، ۱۶ بیتی).

بنابراین، بعنوان یک قاعدهٔ عمومی، سیگنالی که وارد ورودی دستگاه اندازه‌گیری می‌شود ، هرگز نباید کمتر از ۱۸ برابر مقیاس کامل آن باشد ، تا اینکه کاملا بالای سطح نویـز مـدار آنـالوگ بـه دیجیتال باشد. این امر با انتخاب مبدلهای مناسب محقق می‌شود.

مبدلهای ولتاژ :

اندازه مبدلهای ولتاژ (VTs) باید بنحوی انتخاب شود که از ورود سیگنال القائی اشـباع درمبـدل اغتشاشات مورد اندازه‌گیری جلوگیری نماید. برای حالتهای گذرا ، تحقق این امر عموماً نیـازمند آن است که نقطه زانوی منحنی اشباع مبدل حداقل ۲۰۰ درصد ولتاژ نامی سیستم باشد.

مثال : وقتی نظـارت فیـدر توزیـع ۱۲/۴۷ کیلوولـت مطـرح اسـت و ولتـاژ خـط بـه زمیـن را اندازه‌می‌گیریم، ولتاژ نامی دوسر اولیه مبدل ولتاژ ۷۲۰۰ ولت مؤثراست. یک مبدل ولتاژ بـا نسـبت تبدیل ۱ : ۶۰ ولتاژ خروجی ۱۲۰ولت مؤثر (۱۷۰ ولت پیک) را برای ورودی ۷۲۰۰ ولت مؤثر ایجاد خواهد نمود. بنابر این، اگر محدوده کامل دستگاه اندازه‌گیری ۶۰۰ ولت مؤثر باشدو دستگاه از یـک مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۶ بیتی استفاده نماید،(۱۳ +بیت‌های A/D) بـه کـار بـرده خواهـد شـد. بهتراست در محاسبات همیشه مقداری تخفیف بـرای شـرایط اضافـه ولتـاژ منظـور نمـاییم . ولتـاژ حالت‌پایدار در عمل دقیقاً بر ابر مقدار محدوده کامل دستگاه نظارت نیست . اگر یک اضافـه ولتـاژ رخ بدهد ، سیگنال بوسیله مدار مبدل A/D بریده شده ، و اندازه‌گیریها بی فـایده می‌گـردد. تخفیفـی

معادل ۱۵۰درصد اضافه ولتاژ پیشنهاد می‌شود. این امر می‌تواند با تغییر مقیاس ورودی دستگاه اندازه‌گیری و همچنین با تعیین مناسب اندازه VT انجام گیرد.

ترانسفورماتورهای جریان:

انتخاب مبدل مناسب برای جریانها مشکلتر است . جریان در هر سیستم اغلب با مقادیری‌بزرگتر از مقادیر ولتاژ تغییر می‌کند. اغلب سازندگان دستگاه کیفیت توان ترانسفورماتورهای جریان‌را بهمراه تجهیزات مربوطه تحویل می‌دهند. این ترانسفورماتورهای جریان در اندازه‌های متعدد تحویل می‌شوند تا پاسخگوی سطوح بار مختلف باشند اندازه ترانسفورماتورهای جریان معمولاً برای حداکثر جریان بار دائمی تعیین می‌شود.

میزان جریان و نسبت تبدیلهای مناسب ترانسفورماتور جریان بستگی به هدف اندازه‌گیری دارد. اگر خطا وجریانهای هجومی در مد نظر باشند، ترانسفورماتورهای جریان باید در محدوده ۲۰ تا ۳۰ برابر جریان بار عادی باشند . این امر باعث ثبات کم جریانهای بارو عدم توانائی درتشخیص دقیق هارمونیکهای جریان بار می‌گردد . اگر هارمونیکها و تعیین مشخصه‌های بار مهم‌باشند ، ترانسفورماتورهای جریان باید بنحوی انتخاب شوند که دقیقاً جریانهای بار را مشخص‌نمایند. این امر ارزیابی پاسخ باربه تغییرات ولتاژ سیستم ومحاسبات دقیق هارمونیکهای جریان بار را ممکن میسازد

مثال : یک سیگنال جریان مورد نظر به دستگاه نظارت ۱ تا ۲ آمپر مؤثر است .با فرض مقدار۱ آمپر، نسبت تبدیل بهینه ترانسفورماتور جریان برای یک جریان متوسط فیدر ۱۲۰ آمپر مؤثربرابر با ۱ : ۱۲۰ می‌باشد . داده‌های سازندگان معمولاً نسبتهای دور ترانسفورماتورها را بر اساس۵ آمپر و نه ۱ آمپر فهرست می‌کنند. تعداد دورهای اولیه برای ترانسفورماتور جریان بصورت زیرمحاسبه می‌شود:

$$CT_{pri} = \frac{I_{pri} CT_{\sec}}{I_{\sec}} = \frac{120 \times 5}{1} = 600$$

بنابراین باید یک ترانسفورماتور ۵ :۶۰۰ معرفی شود.

۱۱-۳-۸ - پاسخ فرکانسی

مشخصات پاسخ فرکانسی مبدل را می‌توان با رسم ضریب اصطلاح نسبت تبدیل(RCF)که نسبت سیگنال خروجی مورد انتظار (ورودی با مقیاس نسبت دورها اصلاح می‌شود) به سیگنال‌ورودی واقعی‌می‌باشد، بصورت تابعی از فرکانس، نشان داد.

مبدلهای ولتاژ:

پاسخ یک مبدل ولتاژ (VT) کلاس اندازه‌گیری بستگی به نوع و بار (ولت آمپرburden)آن دارد. بطور کلی بار باید دارای امپدانس خیلی زیاد باشد (شکلهای ۱۲-۸ و ۱۳-۸). در رابطه با این موضوع بطور کلی با اغلب تجهیزات نظارت موجود امروزی مشکلی وجود ندارد. دستگاههای نظارت کیفیت توان، مولتی‌مترهای دیجیتالی،اسیلوسکوپ‌ها،وسایردستگاهها همگی امپدانس‌های خیلی زیادی را به مبدل نشان می‌دهند . با بار امپدانس زیاد، پاسخ معمولاً حداقل در ۵کیلو هرتزکافی است.

بعضی پستها برای مبدلهای ولتاژ ، از ترانسفورماتورهای ولتاژ با کوپل خازنی (CCVTs) استفاده میکنند. این‌گونه مبدلهابرای نظارت عمومی کیفیت توان نباید بکار برده شوند. یک ترانسفورماتور ولتاژ پائین بطور موازی با خازن پائینی در تقسیم کننده خازنی وجود دارد . این ترکیب در یک مدارکه با ۶۰ هرتز تطابق دارد ، نتیجه می‌دهد و نمایش دقیقی از هر مؤلفه با فرکانس بالاتر را تدارک نمی‌بیند.

شکل -۱۲-۸ پاسخ فرکانسی یک ترانسفورماتور ولتاژ استاندارد با بار ۱ مگااهم

شکل ۱۳-۸ - پاسخ فرکانسی یک ترانسفورماتور ولتاژ استاندارد با بار ۱۰۰ اهمی

اندازه‌گیری مؤلفه‌های با فرکانس خیلی زیاد ، نیازمند یک تقسیم‌کننده خازنی یا تقسیم‌کننده مقاومتی خالص است. شکل ۱۴-۸ اختلاف بین یک CCVT و یک تقسیم‌کننده خازنی را نشان می‌دهد .

شکل ۱۴-۸ تقسیم‌کننده‌های ولتاژ با کوپل خازنی

تقسیم‌کننده‌های خازنی با هدف مخصوص را برای اندازه‌گیریهایی که نیازمند مشخص کردن دقیق حالتهای گذرای تا حداقل ۱ مگاهرتز هستند ، می‌توان بدست آورد.

ترانسفورماتورهای جریان

ترانسفورماتورهای جریان با کلاس استاندارد اندازه‌گیری معمولاً برای فرکانس تا ۲ کیلوهرتز کافی می‌باشند (خطای فاز ممکن است قبل از این فرکانس شروع به مهم شدن بنماید) . برای‌فرکانسهای بالاتر، ترانسفورماتورهای جریان نوع پنجره با یک نسبت دورهای بالاترمی‌بایستی بکار برده شوند.

دیگر خصیصه‌های مطلوب برای ترانسفورماتورهای جریان عبارتند از:

۱- نسبت دورهای بزرگ مثلا ۵/۲۰۰۰ ، یا بیشتر

۲- ترانسفورماتورهای نوع پنجره‌ای ترجیح دارند. ترانسفورماتورهای سیم‌پیچ در طرف اولیه (یعنی ترانسفورماتورهای جریانی که جریان سیستم در آن از یک سیم‌پیچ می‌گذرد) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، مشروط بر اینکه تعداد دورهای آن کمتر از ۵ نباشد.

۳- فلوی (شار) باقیمانده کوچک، یعنی کمتر یا مساوی ۱۰ درصد مقدار اشباع هسته

۴- سطح هسته بزرگ. هر چه فولاد بکار رفته در هسته بیشتر باشد ، پاسخ فرکانسی‌ترانسفورماتور جریان بهتر است.

۵- مقاومت سیم‌پیچ ثانویه و امپدانس نشدی تا حدی که ممکن است کوچک باشد.همانگونه کـه در شکل ۱۵-۸ نشان داده شده ، این امر هم مانند خازن گردان(stray capacitance) و امپدانـس تحریـک هسته (core-exiting impedance) به سیگنال خروجی اجازه می‌دهد تا بیشتر در بار جریان پیدا کند.

شکل -۱۵-۸ پاسخ فرکانسی یک ترانسفورماتور نوع پنجره‌ای

۱۲-۳-۸ - ملاحظات نصب

نظارت بر روی اولیه توزیع نیازمند هر دو مبدل ولتاژ و جریان می‌باشد. انتخاب ترکیب بهینـه‌این مبدلها به تعدادی عوامل به شرح زیر بستگی دارد:

- مکان نظارت (پست، هوا، زیر زمین، و غیره)
- محدودیتهای فضا
- امکان قطع مدار برای نصب مبدل
- نیازمندی برای نظارت جریان

POWEREN.IR

مبدلهای پست

معمولاً، ترانسفورماتورهای جریان، و مبدلهای ولتاژ (بجز CCVT ها) موجود پست رامی‌توان برای نظارت کیفیت توان مورد استفاده قرار داد.

محلهای خطوط هوائی مؤسسه

برای نظارت کیفیت توان در مدارهای اولیه توزیع، اغلب تمایل به استفاده از مبدلی هست که بتوان بدون بی‌برق کردن سیستم آنرا نصب نمود. اخیراً ، مبدلهائی برای نظارت هم ولتاژ و هم‌جریان ساخته شده‌اند که می‌توان آنها را بر روی خط زنده نصب نمود.

این وسایل یک مبدل ولتاژ از نوع تقسیم‌کننده مقاومتی و ترانسفورماتور جریان نوع‌پنجره‌ای را در یک محفظه واحد بهم پیوند می‌دهد. یک سیم‌پیچ با هسته شکافدار بوسیله کلمپ (گیره) به دور هادی فاز گره زده می‌شود ، تا جریان موازی خط را از طریق ترانسفورماتور جریان موجود در عایق عبور دهد. این روش اجازه می‌دهد تا وسیله بر روی کراس‌آرم بجای عایق اصلی نصب شود. با استفاده از سیم‌پیچ با هسته شکافدار، نیاز به قطع هادی فاز نبوده ، و در نتیجه ، مبدلها می‌توانند روی خط زنده نصب شوند.

تست‌های مقدماتی پاسخ فرکانسی کافی را برای این مبدلها نشان داده است . بهرحال ، آزمایش میدانی با این واحدها نشان داده است که پاسخ فرکانسی، حتی در ۶۰ هرتز، مستقل ازمقدار جریان، درجه حرارت، و طول کابل طرف ثانویه می‌باشد. این امر استفاده از این نوع وسیله را برای نظارت دقیق کیفیت توان مشکل می‌سازد. مراقبت کافی در هنگام تطبیق این مبدلها به دستگاه اندازه‌گیری باید انجام گیرد.

بطورکلی، تمام مکانهای اولیه باید با ترانسفورماتورهای جریان و مبدلهای ولتاژ کلاس‌اندازه‌گیری نظارت شوند تا نتایج دقیق در محدوده طیف فرکانسی مورد نیاز بدست آید. نصب مبدلها نیاز به قطع مدار دارد، ولی برای نصب روی پایه طراحی‌های مناسب می‌توان انجام داد تامیزان قطعی‌ها بحداقل برسد.

انتخاب دیگر برای نظارت طرفهای اولیه متضمن نظارت در طرف ثانویه یک ترانسفورماتورتوزیع بی‌بار است. این روش تا فرکانس حداقل ۳ کیلو هرتز نتایج دقیق را می‌دهد . این انتخاب بخصوص برای مدارهای زیر زمینی که مانیتور می‌تواند در طرف ثانویه ترانسفورماتور نصب شده روی سکو، نصب گردد، بسیار جالب است.

ترانسفورماتورهای جریان با اولیه سیم‌پیچ شده توسط چندین سازنده ترانسفورماتور جریان موجود هستند. منبع [۲] نتیجه می‌گیرد که هر ترانسفورماتور جریان اولیه سیم‌پیچ شده با یک دورتکی ، یا با دورهای خیلی کم ، می‌بایستی دارای پاسخ فرکانسی تا ۱۰ کیلو هرتز باشند.

محلهای مصرف کننده نهائی (ثانویه)

نیازمندیهای مبدل در محلهای ثانویه بسیار ساده‌تر هستند. اتصال مستقیم برای ولتاژ درسیستم‌های ۲۰۸/۱۲۰ ولت مؤثر یا ۴۸۰/۲۷۷ ولت مؤثر امکان‌پذیر است. این امر اجازهٔ استفادهٔ کامل ازظرفیت پاسخ فرکانسی دستگاه اندازه‌گیری را می‌دهد . جریانها را هم بوسیله ترانسفورماتورهای جریان اندازه‌گیری (مثلا در مدخل ورودی‌سرویس) و هم با ترانسفورماتورهای کلمپ‌دار (در محلهای داخل تأسیسات) می‌توان اندازه‌گیری‌نمود . ترانسفورماتورهای جریان کلمپ‌دار در محدوده وسیعی از نسبتهای تبدیل در دسترس‌هستند .محدوده فرکانسی معمولا بوسیله سازندگان چاپ می‌شود.

۱۳-۳-۸ - خلاصه‌ای از پیشنهادات مربوط به مبدلها

جدول ۲-۸ مکانهای مختلف نظارت و انواع مبدلهایی که برای نظارت در این مکانها کافی‌هستند را ، تشریح می‌نماید.

جدول ۳-۸ پدیده‌های مختلف کیفیت توان و مبدلهای متناسب با نوع مسائل کیفیت توان‌را تشریح می‌کند. جداول ۲-۸ و ۳-۸ میبایستی در ارتباط با یکدیگربکاررروند تا مبدل مناسب برای یک کاربرد مشخص را تعیین نمایند.

جدول ۲-۸ - انتخابهای مبدلهای ولتاژ و ترانسفورماتورهای جریان

Location	VT	CT
Substation	Metering VTs Special-purpose capacitive or resistive dividers Calibrated bushing taps	Metering CTs Relaying CTs
Overhead lines	Metering VTs	Metering CTs
Underground locations	Metering VTs Pad-mounted transformer Special-purpose dividers	Metering CTs
Secondary sites		
Service entrance	Direct connection	Metering CTs Clamp-on CTs
In facility	Direct connection	Clamp-on CTs

جدول ۳-۸ - نیازمندیهای مبدل ولتاژ و ترانسفورهای جریان

TABLE 8.3 VT and CT Requirements

Concern	VTs*	CTs
Voltage variations	Standard metering	Standard metering
Harmonic levels	Standard metering	Window-type
Low-frequency transients (switching)	Standard metering with high-knee-point saturation	Window-type
High-frequency transients (lighting)	Capacitive or resistive dividers	Window-type

۴-۸ - خلاصه‌ای از توانائیهای تجهیزات

شکل ۱۶-۸ توانائی‌ها تشریح شده قبلی در خصوص دستگاههای اندازه‌گیری را در ارتباط بامقوله‌های مختلف تغییرات کیفیت توان تشریح مینماید.

	Wiring Problems	Impulses & Transients	Voltage Variations	Interruptions	Harmonics	Flicker	Noise	Electrostatic Discharge
Wiring and Grounding Testers	■							
Multimeters	■		■					
Oscilloscopes		■						
Disturbance Analyzers		■	■	■			■	
Harmonic Analyzers					■			
Flicker Meters						■		
Infrared Detectors	■							
Gauss Meters							■	
Field Strength Meters							■	
Static Meters								■

شکل ۱۶-۸ - توانائی‌های تجهیزات اندازه‌گیری کیفیت توان

۵-۸ - منابع

8.5 References

1. D. A. Douglas, "Potential Transformer Accuracy at 60 Hz Voltages above and below Rating and at Frequencies above 60 Hz," presented at the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Minneapolis, July 13–18, 1980.
2. D. A. Douglas, "Current Transformer Accuracy with Asymmetric and High Frequency Fault Currents," *IEEE Transactions on Power Apparatus on Systems,* vol. PAS-100, no. 3, March 1981.

8.6 Bibliography

C. J. Cokkinides, L. E. Banta, A. P. Meliopoulos, "Transducer Performances · Power System Harmonic Measurements," in *Proceedings of the 'ernational Conference on Harmonics,* Worcester, Mass., October 1984.

"Computation of Current Transformer Transient Performance," *IEEE Transactions on Power Delivery,* vol. PWRD-3, no. 4, October 1988.

A. N. Greenwood, *Electrical Transients in Power Systems,* 2d ed., John Wiley & Sons, New York, 1991, Chap. 18.

E. L. McShane and M. E. Colbaugh, *Advance Current and Voltage Transformers for Power Distribution Systems,* EPRI Report EL-6289, 1989.

POWEREN.IR