بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شاهد

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

ساخت مولد فلش ولتاژ

استاد راهنما:

دکتر عارف درودی

نام دانشجو:

حسین فلاح خوشکار

تابستان ۹۲

	اظهار نامه دانشجو	شماره: تاریخ:

اینجانب حسین فلاح خوشکار دانشجوی کارشناسی ارشد رشته برق گرایش قدرت دانشکده فنی دانشگاه شاهد، گواهی می دهم که رساله تدوین شده حاضر با عنوان " ساخت مولد فلش ولتاژ " به راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر عارف درودی توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنان چه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان نامه حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می‌دارد در صورت بهره گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش های تحقیقاتی، رساله، پایان نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان نامه حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن پایان نامه حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان نامه حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو(دست نویس):.....

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یاوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

با تشکر از زحمات دکتر درودی به خاطر حمایت هایشان

و اساتید محترم دکتر نظرزاده و دکتر کاظمی که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل فرمودند.

چکیده

فلش‌های ولتاژ یکی از مشکلاتی هستند که مکرراً در شبکه‌های قدرت رخ داده و هزینه‌های زیادی را به سیستم تحمیل می‌کنند. اکثر تجهیزات می‌بایست در محدوده‌ی استاندارد طوری طراحی شوند که بتوانند فلش‌های ولتاژ را تحمل کنند. علاوه براین، برخی از تجهیزات می‌بایست بعد از وقوع فلش‌های ولتاژ شدید ناشی از شرایط بار بحرانی به عملکرد عادی خود ادامه دهند. این ویژگی ممکن است که در طراحی یک قطعه مد نظر قرار نگرفته باشد. لذا جبران سازهای فلش برای این منظور بکار گرفته می‌شوند. در عمل فلش‌های ولتاژ برای سیستم قدرت قابل قبول نمی‌باشند، اما برای اهداف آزمایشگاهی جهت تأیید عملکرد تجهیزات، تولید فلش‌های ولتاژ مورد نیاز می‌باشد(هم برای انجام آزمایش روی تجهیزاتی که تحت شرایط فلش ولتاژ قرار می‌گیرند و هم برای جبران‌کننده‌های توان). در این پروژه شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی مولد فلش ولتاژ سه فاز، چهار سیمه با روش مدولاسیون ولتاژ مبتنی بر شکل موج حامل مثلثی برای مبدل ولتاژ سه فاز چهار ساق ارائه شده است. روش مدولاسیون پیشنهادی مبدل چهار ساق را می‌توان با یک موج حامل با استفاده از مفهوم ساده " ولتاژ offset " پیاده‌سازی کرد. صحت عملکرد روش مدولاسیون پیشنهادی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی ارائه شده است. همچنین میکروکنترلر Xmega128A1 به منظور کنترل پالس‌های مبدل انتخاب شده است. در قسمت فیلتر، علاوه بر فیلتر LC در هر فاز، از یک سلف در مسیر نول برای کاهش ریپل جریان نول استفاده شده است. در ادامه ضرورت بکار بستن این نوع فیلتر نیز بیان شده است. نتایج بدست آمده، نشان می‌دهند که مدولاسیون پهنای پالس پیشنهادی مبتنی بر موج حامل مورد نظر، می‌تواند به راحتی و بدون ایجاد مشکلات محاسباتی سنگین پیاده‌سازی شود. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند که نمونه مورد نظر می‌تواند به عنوان مولد فلش ولتاژ در هر شرایطی بکار گرفته شود.

کلید واژه : کیفیت توان، مبدل فلش ولتاژ، pwm بردار فضایی سه بعدی، pwm اسکالر، اعوجاج هارمونیکی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ
فهرست شکل‌ها ..... ج
فهرست جدول‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- تعریف کیفیت برق ۲
۱-۲- رده‌بندی عمومی مسائل کیفیت برق ۴

فصل ۲- فلش ولتاژ ۹
۲-۱- علل ایجاد فلش ولتاژ ۱۰
۲-۲- حساسیت تجهیزات نسبت به فلش ولتاژ ۱۰
۲-۳- رده بندی و مشخصه فلش ولتاژ ۱۱
۲-۴- مولد فلش ولتاژ ۱۳
۲-۴-۱- مدل ترانسفورمری ۱۴
۲-۴-۲- مدل امپدانس سوئیچینگ ۱۴
۲-۴-۳- مدل ژنراتوری ۱۴
۲-۴-۴- مدل تقویت کننده توان ۱۴

فصل ۳- مبدل قدرت چهار ساق و مدولاسیون بردار فضایی سه بعدی ۱۵
۳-۱- مقدمه ۱۵
۳-۲- مبدل‌های قدرت سه ساق با مدولاسیون بردار فضایی ۱۵
۳-۲-۱- مبدل‌های قدرت منبع ولتاژی سه ساق ۱۵
۳-۲-۲- یادآوری از مدولاسیون پهنای پالس ۱۷
۳-۲-۳- مدولاسیون بردار فضایی دو بعدی ۲۵
۳-۳- مبدل قدرت چهار ساق با مدولاسیون بردارفضایی ۳۵
۳-۴- Pwm اسکالر ۴۳

فصل ۴- آنالیز عملکرد اینورتر چهار ساق با شبیه سازی کامپیوتری ۴۹
۴-۱- مقدمه ۴۹
۴-۲- مدل اینورتر چهار ساق بر اساس مولد فلش ولتاژ ۴۹
۴-۳- نتایج شبیه‌سازی ۵۲

فصل ۵- بررسی عملکرد آزمایشگاهی اینورتر چهار ساق بر اساس مولد فلش ولتاژ ۶۲
۵-۱- مقدمه ۶۲

۵-۲- پیاده‌سازی سیستم چهار ساق VSG ۶۲
۵-۲-۱- مدار بوت استرپ درایو گیت ۶۶
۵-۲-۲- فیلتر LC ۷۱
۵-۲-۳- سلف نول ۷۳
۵-۳- تحقیقات آزمایشگاهی ۷۶
فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۰
۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۰
۶-۲- پیشنهادات ۸۰
ضمیمه أ -شماتیک و برد چاپی مدار ۸۱
ضمیمه ب -برنامه نویسی سیگنال‌های کنترلی ۸۴
فهرست مراجع ۱۰۱
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۳
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ : نتایج یک نظر خواهی در رابطه با علل ایجاد مسائل مربوط به کیفیت برق ۳
شکل ۱-۲ : مدل های فلش‌های ولتاژ:متقارن (مدلA) و نامقارن (مدلG-B)تمام فلش‌ها عمقی برابر ۵۰٪ دارند. ۱۳
شکل ۳-۱ : مبدلهای قدرت سه فاز منبع ولتاژی ۱۶
شکل ۳-۲ : مدار سوئیچینگ ۳ پایه ۱۷
شکل ۳-۳ : دیاگرام مبدل قدرت سه پایه ۱۷
شکل ۳-۴ : مدولاسیون spwm سه فاز(a) بلوک یاگرام (b) نحوه عملکرد ۲۰
شکل ۳-۵ : بلوک دیاگرام مدولاسیون بردار فضایی ۲۳
شکل ۳-۶ : مدولاسیون سه فاز هیسترزیس (a) بلوک دیاگرام (b)نحوه عملکرد ۲۴
شکل ۳-۷ : بلوک دیاگرام مدولاسیون دلتا ۲۵
شکل ۳-۸ : اینورتر pwm منبع ولتاژی سه فاز ۲۶
شکل ۳-۹ : هشت بردار سوئیچینگ اینورتر($V0$تا $V7$) ۲۷
شکل ۳-۱۰ : مقایسه بیشترین ولتاژ خطی درsvpwm وspwm ۲۸
شکل ۳-۱۱ : رابطه قاب مرجع abc و قابdq مرجع ۲۸
شکل ۳-۱۲ : بخش ها و بردارهای فضایی پایه ۲۹
شکل ۳-۱۳ : ولتاژ بردار فضایی ومقدار آن در قاب dq ۳۰
شکل ۳-۱۴ : بردار مرجع در بخش ۳۲
شکل ۳-۱۵ : الگو سوئیچینگ در هر بخش ۳۳
شکل ۳-۱۶ : اینورتر سه فاز چهار ساق ۳۶
شکل ۳-۱۷ : شانزده حالت سوئیچینگ در اینورتر چهار ساق ۳۸
شکل ۳-۱۸ : بردارهای ولتاژ اینورتر چهار ساق در pwm بردار فضایی سه بعدی ۳۹
شکل ۳-۱۹ : منشور های مثلثی اینورتر چهار ساق در pwm بردار فضایی سه بعدی ۴۰
شکل ۳-۲۰ : چهار وجهی ها در اولین منشور مثلثی ۴۱
شکل ۳-۲۱ : الگو پالس در اولین چهار وجهی در اولین منشور مثلثی ۴۲
شکل ۳-۲۲ : روش تولید سیگنال سوئیچینگ درpwm اسکالر ۴۳
شکل ۳-۲۳ : سیگنال های مدولاسیون و حامل در اینورتر چهار ساق V^*_{fo} برابر صفر ۴۶
شکل ۳-۲۴ : سیگنال های مدولاسیون و حامل و دیاگرام سوئیچینگ در اینورتر چهار ساق ۴۷
شکل ۳-۲۵ : بلوک دیاگرام مدولاسیون اسکالر در اینورتر چهار ساق ۴۷
شکل ۴-۱ : دیاگرام مدل شبیه‌سازی اینورتر چهار ساق بر اساس مولد فلش ولتاژ ۵۰
شکل ۴-۲ : بلوک C Script و استفاده از کدهای نرم افزار PSIM ۵۱

شکل ۴-۳ : مدل بارهای استفاده شده در شبیه‌سازی ۵۲
شکل ۴-۴ : ولتاژهای خروجی متقارن VSG ۵۳
شکل ۴-۵ : فلش ولتاژ تیپ A ۵۳
شکل ۴-۶ : فلش ولتاژ لحظه‌ایی تیپ A ۵۳
شکل ۴-۷ : فلش ولتاژ تیپ B منتجه از VSG ۵۴
شکل ۴-۸ : فلش ولتاژ لحظه‌ایی تیپ B منتجه از VSG ۵۴
شکل ۴-۹ : فلش ولتاژ تیپ C منتجه از VSG ۵۵
شکل ۴-۱۰ : ولتاژ لحظه‌ایی تیپ C منتجه از VSG ۵۵
شکل ۴-۱۱ : فلش ولتاژ تیپ D منتجه از VSG ۵۵
شکل ۴-۱۲ : ولتاژ لحظه‌ایی تیپ D منتجه از VSG ۵۶
شکل ۴-۱۳ : موج‌های مرجع و مولفه صفر در حالت خروجی متقارن، (a) ،(b) ،(c) به ترتیب موجهای مرجع و (d)سیگنال مولفه صفر می‌باشند ۵۷
شکل ۴-۱۴ : موج‌های مرجع و مولفه صفر فلش ولتاژ تیپ A، (a) ،(b) ،(c) به ترتیب موجهای مرجع و (d)سیگنال مولفه صفر می‌باشند ۵۸
شکل ۴-۱۵ : موج‌های مرجع و مولفه صفر فلش ولتاژ تیپ B، (a) ،(b) ،(c) به ترتیب موجهای مرجع و (d)سیگنال مولفه صفر می‌باشند ۵۹
شکل ۴-۱۶ : موج‌های مرجع و مولفه صفر فلش ولتاژ تیپ C ، (a) ،(b) ،(c) به ترتیب موجهای مرجع و (d)سیگنال مولفه صفر می‌باشند ۶۰
شکل ۴-۱۷ : موج‌های مرجع و مولفه صفر فلش ولتاژ تیپ D، (a) ،(b) ،(c) به ترتیب موجهای مرجع و (d)سیگنال مولفه صفر می‌باشند ۶۱
شکل ۵-۱ : بلوک دیاگرام سیستم ساخته شده ۶۲
شکل ۵-۲ : مدار الکترونیک قدرت سیستمVSG ۶۳
شکل ۵-۳ : نمونه ساخته شده اینورتر چهار ساق بر اساس VSG ۶۵
شکل ۵-۴ : مدار تغذیه بوت استرپ ۶۷
شکل ۵-۵ : مدار نیم پل ۶۸
شکل ۵-۶ : شکل موجهای V_s هنگام خاموشی ۶۹
شکل ۵-۷ : مدار معادل تکفاز فیلتر پایین گذر ۷۲
شکل ۵-۸ : مشخصه فرکانسی فیلتر پایین گذر ۷۳
شکل ۵-۹ : مدار معادل فیلتر در فرکانس‌های بالا و پایین ۷۳
شکل ۵-۱۰ : تغییرات اندازه LNPV نسبت به ضریب K ۷۵
شکل ۵-۱۱ : فلش ولتاژ تیپ A فازهای a وb ۷۶
شکل ۵-۱۲ : فلش ولتاژ تیپ B، (a) فازهای a ، b (b) فازهای c، b ۷۷
شکل ۵-۱۳ : فلش ولتاژ تیپ C، (a) فازهای a ، b (b) فازهای c، b ۷۸

شکل ۵-۱۴ : فلش ولتاژ تیپ D، (a) فازهای a ، b (b) فازهای c، b ۷۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ : گروه بندی پدیده های اصلی مسبب بروز اعوجاج الکترومغناطیسی ۵
جدول ۱-۲ : گروه بندی و مشخصات پدیده های الکترومغناطیسی در شبکه قدرت ۶
جدول ۱-۲ : معادلات فلش های ولتاژ (برگرفته از [۹]) ۱۲
جدول ۳-۱ : بردارهای سوئیچینگ ، ولتاژ های فازی و ولتاژ های خط به خط خروجی ۲۷
جدول ۳-۲ : محاسبات زمان سوئیچینگ در هر بخش ۳۴
جدول ۳-۳ : حالات ممکن سوئیچ ها در اینورتر چهار ساق ۳۷
جدول ۴-۱ : پارامترهای سیستم استفاده شده در مدل شبیه‌سازی ۵۰
جدول ۴-۲ : مشخصات مدل بارهای استفاده شده در شبیه‌سازی ۵۲
جدول ۴-۳ : پارامترهای موتورسنکرون مورد استفاده به عنوان بار ۵۲
جدول ۵-۱ : پارامترهای سیستم آزمایشگاهی ۶۳
جدول ۵-۲ : مشخصات ماسفت ودرایور ۶۴
جدول ۵-۳ : مشخصات میکروکنترولر Xmega128a1 .....۶۶
جدول ۵-۴ : خلاصه روش‌های دیگر درایو گیت سوئیچ فوقانی ۷۰
جدول ۵-۵ : حالات کلیدزنی ۷۵

فصل ۱– مقدمه

امروزه توجه شرکت‌های برق و مشترکین آن‌ها به شکل روزافزونی به موضوع کیفیت انرژی الکتریکی یا کیفیت برق معطوف شده است. واژه کیفیت برق در کشورهای صنعتی و در صنعت برق کاربرد فراوانی پیدا کرده است. مبحث فوق تعداد بسیار زیادی از اعوجاج‌های موجود در شبکه برق را پوشش می‌دهد. موضوعاتی که تحت مبحث کیفیت برق قرار می‌گیرند لزوماً مفاهیم تازه‌ای نیستند، لیکن آنچه جدید است، تلاش مهندسین برای جمع‌آوری این مطالب و قرار دادن آن‌ها در الگوهای مشخص می‌باشد. به عبارت دیگر نگاهی تازه به اعوجاج‌های موجود در سیستم قدرت، به منزلهٔ مطلب جدیدی خود را نشان داده است که کنکاش در آن یکی از مهمترین موارد در مطالعهٔ این سیستم‌ها بشمار می‌آید. از سوی دیگر با توجه به وجود مشکلات زیاد ناشی از کیفیت نامطلوب برق، استفاده از روش‌های مناسب و جدید را به همراه دارد. در نتیجه برای یافتن این راه حل‌ها، لازم است درک بالایی از مسائل و مفاهیم کیفیت برق بوجود آید. این امر تنها زمانی امکان پذیر است که این مفاهیم به خوبی تعریف و مورد ارزیابی قرار گیرند.

به طور کلی می توان دلایل زیر را برای توجه روز افزون به مبحث کیفیت برق ذکر نمود. تاکید روز افزون بر بهبود راندمان کلی شبکه‌های قدرت، باعث استفاده از وسایلی از قبیل محرکه‌های موتور با قابلیت تنظیم سرعت و نیز خازن‌های موازی برای بهبود ضریب قدرت شده است. به کمک خازن‌های موازی میزان تلفات شبکه کاهش می‌یابد اما این خازن‌ها مشخصه امپدانس فرکانس شبکه را تغییر می-دهند و باعث ایجاد پدیده تشدید و در نتیجه تقویت اعوجاج بصورت گذرا و نیز افزایش اعوجاج هارمونیکی در شبکه می‌شوند. از سوی دیگر وسایل کنترل کننده سرعت موتورها، مقدار هارمونیک‌ها را در شبکه قدرت بالا برده و روی توانایی‌های سیستم تأثیر می‌گذارند. به عبارت دیگر کابرد وسایل و تجهیزات جدید از نیازهای مبرم یک سیستم قدرت مدرن (هم از دیدگاه مشترکین و هم از دیدگاه شرکت های برق) است که خود عامل بوجود آوردن مشکلات جدیدی شده است که نیاز به بررسی تأثیرات متقابل اینگونه تجهیزات بر شبکه و شبکه بر اینگونه تجهیزات را لازم می‌سازد.

- به دلیل وجود شبکه مجتمع و به هم‌پیوسته، خرابی هر المان شبکه روی دیگر تجهیزات آن شبکه اثر نامطلوبی گذاشته و تبعات بعدی افزونتری را به دنبال خواهد داشت. چون شبکه‌های قدرت، شبکه‌های وسیعی هستند که به دلایل گوناگون از جمله کیفیت نامناسب برق، احتمال بروز اعوجاج در آن‌ها وجود دارد، در نتیجه انتشار مشکلات ناشی از کیفیت نامناسب برق در یک شبکه به هم پیوسته در هر لحظه امکان خواهد داشت.

- حساسیت تجهیزات الکتریکی جدید نسبت به تغییرات کیفیت برق بیشتر شده است. بسیاری از وسایل الکتریکی جدید از کنترل کننده‌های میکروپروسسوری و المان‌های الکترونیک قدرت استفاده می-کنند و این تجهیزات به بسیاری از اعوجاج‌های موجود در شبکه قدرت حساس می باشند. حساسیت این تجهیزات الکتریکی به نوبه خود به عملکرد نامناسب تجهیزات منجر خواهد شد که با توجه به تعداد زیاد

این وسایل به خصوص در مراکز صنعتی، بیمارستانی، آزمایشگاهی و مانند آن‌ها مسائل خواستی را به دنبال خواهد داشت.

- عدم وجود دستگاه‌های حفاظتی و هشتار دهنده مربوط به پایین بودن کیفیت برق نزد مشترکین شرکت‌های برق باعث می‌شود که هم مشترکین و هم شرکت‌های برق به دلیل معلوم نبودن حد و حدود دچار سوء تفاهم گردند.

- آگاهی نسبت به مسائل کیفیت برق نزد مشترکین بالا رفته است. موضوعاتی از قبیل قطع برق، پایین بودن ولتاژ و پدیده‌های گذرای مربوط به کلید زنی روز به روز توجه مشترکین بیشتری قرار گرفته و شرکت های برق را وادار می سازد که کیفیت برق تحویلی به مشترکین رابهتر سازند. این بدان معناست که مشترکین مانند گذشته فقط به داشتن برق اکتفا نمی‌کنند بلکه برقی با کیفیت بالا مورد نظر آنها می‌باشد، به نحوی که تمامی تجهیزات مدرن بکار گرفته شده بنحو مطلوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- دلیل اصلی و نهایی توجه به کیفیت برق مسائل اقتصادی است. مسائل اقتصادی بر روی شرکت‌های برق، مشترکین و تولید کننده‌های وسایل الکتریکی تأثیر فراوانی می‌گذارند. کیفیت برق می‌تواند تأثیر اقتصادی مستقیمی روی بسیاری از مصارف مشترکین به خصوص مشترکین صنعتی داشته باشد. همانطور که گفته شد اخیراً تأکید بسیاری روی پیشرفت صنایع با استفاده از دستگاه‌های مدرن و اتوماتیک صورت می گیرد. این وسایل معمولاً تجهیزاتی هستند که به صورت الکترونیکی کنترل شده در نتیجه نسبت به کیفیت برق حساس‌تر خواهند بود. بنابراین مصرف کننده‌های صنعتی به اعوجاج‌های جزئی موجود در شبکه قدرت بیشتر حساس شده‌اند. از سوی دیگر سرمایه‌ها یا هزینه‌های زیادی در رابطه با این اعوجاج‌ها به هدر می‌رود. به عنوان مثال، قطع یک کلید در یک کارخانه صنعتی، سبب از کار افتادن یک خط تولید شده و زیان‌هایی به بار خواهد آورد، به نحوی که جبران این زیان‌ها برای کارخانه-های صنعتی به راحتی امکان پذیر نمی‌باشد.

شرکت‌های برق به دو دلیل عمده به مشکلات توجه نشان می‌دهند. از سویی با رفع مشکلات ناشی از کیفیت نامطلوب برق، میزان مشترکین آن‌ها افزایش یافته و از سوی دیگر استفاده از وسایل الکتریکی با راندمان بالا، موجب کاهش قابل توجه سرمایه‌گذاری در مراکز تولید و پست‌ها خواهد شد. نکته جالب اینکه، تجهیزاتی که برای افزایش بهره‌وری بکار می‌روند، اغلب در اثر قطع برق بیش از دستگاه‌های دیگر صدمه دیده و گاهی اوقات خود منشأ مشکلات معروف به مسائل کیفیت برق می‌گردند.

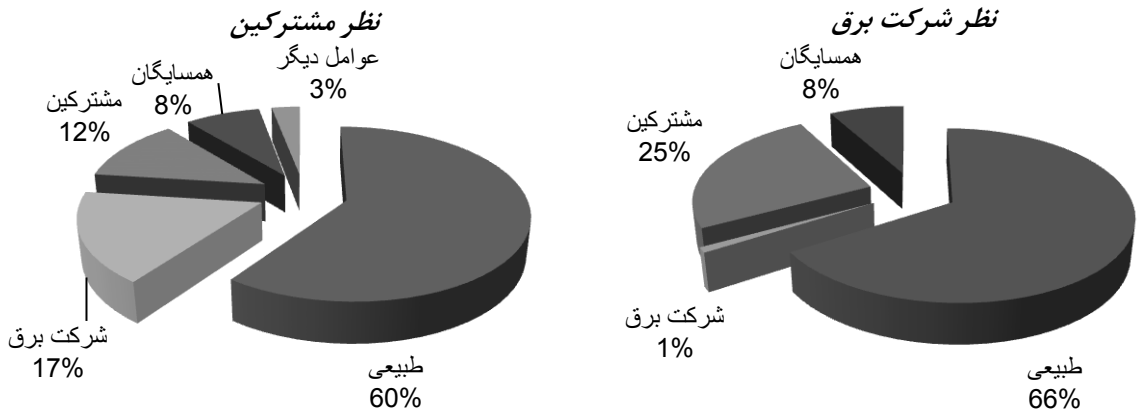
۱-۱- تعریف کیفیت برق

در مراجع مختلف تعاریف کاملاً متفاوتی برای واژه کیفیت برق وجود دارد. برای مثال شرکت‌های برق ممکن است واژه کیفیت برق را مترادف با کلمه عدم قطعی برق فرض نموده و با استفاده از آمارهای موجود نشان دهند که میزان قطعی برق بسیار کم بوده است. در عوض سازندگان وسایل الکتریکی ممکن است تعریف دیگری مانند این تعریف «مشخصاتی از شبکه قدرت که توانایی کارکرد مناسب را برای تجهیزات مهیا سازند» برای واژه کیفیت برق ارائه دهند که این تعریف می‌تواند برای تجهیزات مختلف و

سازنده‌های گوناگون بسیار متفاوت باشد. به هر حال نقطه نظر مشترکین در مسئله کیفیت برق بسیار اهمیت داشته و از اولویت اول برخوردار است. بنابراین لازم است که قبل از ورود به مباحث اصلی تعریف مشخصی از واژه کیفیت برق بدست آید. به طور کلی تعریف زیر را می توان برای واژه کیفیت برق بکار گرفت :

"هرگونه تغییر در کمیت‌های ولتاژ، جریان و فرکانس که سبب خرابی و یا علکرد نادرست تجهیزات مصرف کننده گردد."

درمورد علل ایجاد مسائل کیفیت برق نظرات متفاوتی وجود دارد. نمودارهای شکل ۱-۱ نتایج یک بررسی آماری را نشان داده که در یک کشور صنعتی انجام گرفته است و در آن پرسنل شرکت برق و مشترکین در رابطه با علل ایجاد مسائل کیفیت برق نظر خواهی شده است[۱].



شکل ۱-۱ : نتایج یک نظر خواهی در رابطه با علل ایجاد مسائل مربوط به کیفیت برق

در حالی که نظر خواهی از دیگر شرکت‌ها ممکن است به نتایج متفاوتی برسد، ولی به هرحال این نمودارها به طور آشکار یک ایده مشترک را که در کلیه نظر سنجی‌ها تکرار می‌شود بیان می‌کنند و آن این نکته است که خطوط فکری شرکت‌های برق و مشترکین آن‌ها، بسیار با یکدیگر متفاوت است. با اینکه هر دو بیش از دو سوم این وقایع را به پدیده‌های طبیعی (مانند صاعقه) نسبت می‌دهند، مشترکین بیش از پرسنل شرکت‌های برق تصور می‌کنند که علت ایجاد مسئله، عملکرد اشتباه شرکت برق است. به هر حال باید به این نکته توجه داشت که نتیجه بسیاری از حوادث موجود در شبکه‌های قدرت تنها به ایجاد مشکل برای مشترکین منجر خواهد شد و هرگز در آمارهای شرکت برق ثبت نمی‌گردد.

نمونه‌ای از این مشکلات، مسئله کلیدزنی خازن‌ها است که نزد شرکت‌های برق اتفاقی کاملاً عادی بوده ولی می‌تواند سبب ایجاد اضافه ولتاژهای گذرا شود و حتی موجب از مدار خارج شدن بعضی از تجهیزات مدرن گردد. نمونه دیگر وقوع یک اتصال کوتاه لحظه‌ای در شبکه است که باعث کاهش ولتاژ نزد مشترک شده و به عنوان مثال ممکن است قطع یک محرکه موتور با قابلیت تنظیم سرعت را به دنبال داشته باشد. اما شرکت برق هیچگونه نشانه‌ای مبنی بر مشکل روی فیدر مربوطه نخواهد داشت. مگر

اینکه قبلا یک مونیتور کیفیت برق روی آن نصب کرده باشد. عملا به دلیل هزینه بالای تجهیزات مونیتورینگ این امکان وجود ندارد که بر روی تمامی فیدرها بتوان تجهیزات لازم را قرار داد.

علاوه بر مسائل اشاره شده، مشکلات دیگری نیز ممکن است در شبکه‌های برق بوجود آید که مربوط به عملکرد نادرست سیستم‌های کنترل، سخت‌افزاری ونرم‌افزاری است، به علت وجود ولتاژهای گذرایی که بصورت مکرر بر روی سیستم بوجود می‌آید، تجهیزات الکترونیکی در طول دوره کاری خود فرسوده می-شوند و ممکن است نهایتاً با یک حادثه با دامنه نسبتاً کم از کار بیفتند. بنابراین گاهی اوقات ارتباط دادن یک خرابی یا خطا با یک علت بخصوص دشوار خواهد بود. به هر حال در شبکه‌های قدرت ممکن است حوادثی پیش آید که در نرم‌افزارهای کنترلی پیش‌بینی نشده باشد. با توجه به مطالب اشاره شده و با درنظر گرفتن توجه روز افزون مشترکین به مسئله کیفیت برق، در مقابل شرکت‌های برق مجبور به ارائه بخصوصی خواهند شد. فلسفه این برنامه‌ها به دو گونه می‌تواند باشد. یا واکنشی است یعنی شرکت برق جواب شکایات مشترکین را می دهد و یا آموزشی است که در آن شرکت برق به آموزش مشترکین پرداخته و در کنار آن سعی می‌کند خدماتی را به وجود بیاورد تا این خدمات برای یافتن روش‌هایی جهت حل مشکلات کیفیت برق به آن‌ها کمک کنند.

به هر حال مشکل است که بتوان کیفیت برق را مانند کیفیت دیگر اجناس و سرویس‌ها به صورت کمی بیان نمود. استانداردهایی برای اندازه‌گیری ولتاژ و دیگر معیارهای فنی ممکن است موجود باشد، اما باید اشاره نمود تعیین مقدار نهایی کیفیت برق با توجه به نحوه عملکرد تجهیزات مشترکین مشخص خواهد شد. به عبارت دیگر از عوامل مهمی که به کیفیت مناسب یا نامناسب برق در یک فیدر منتهی می‌شود نوع مصرف می‌باشد که باید مورد توجه خاص قرار بگیرد.

۱-۲- رده بندی عمومی مسائل کیفیت برق

استاندارد IEC، پدیده‌های مختلف الکترومغناطیسی را به صورت نشان داده شده در جدول ۱-۱ به شش گروه عمده تقسیم بندی نموده است[۲].

تلاش گروه‌های مختلف در صنعت برق در زمینه مونیتورینگ کیفیت توان الکتریکی تعدادی گروه را به استاندارد IEC، افزوده است[۳]. به عنوان مثال می‌توان از گروه تغییرات کوتاه مدت که شامل گروه-های فرورفتگی ولتاژ و قطعی‌های کوتاه مدت IEC، می‌باشد نام برد. یا گروه اعوجاج در شکل موج به عنوان گروهی معرفی می‌شود که شامل هارمونیک‌ها – هارمونیک‌های میانی - وجود مولفه dc در شبکه های جریان متناوب مربوط به استاندارد IEC و پدیدهٔ برش در استاندارد IEEE می‌گردد. در نهایت جدول ۱-۲ رده بندی کلی مسائل کیفیت برق را نشان می دهد. این جدول اطلاعات مربوط به محتوای طیفی، طول دوره زمانی و دامنه را که برای توصیف هر گروه لازم است ارائه می‌دهد. این گروه و مشخصات مربوط به آن‌ها لازم هستند تا به کمک آن‌ها بتوان نتایج اندازه گیری‌های مختلف را رده‌بندی نمود و پدیده‌های الکترومغناطیسی که باعث مسائل مرتبط با کیفیت برق می‌شوند را توضیح داد.

جدول ۱-۱ : گروه‌بندی پدیده‌های اصلی مسبب بروز اعوجاج الکترومغناطیسی

در شبکه طبق استاندارد IEC

۱- پدیده‌های هدایتی با فرکانس پایین :	۳- پدیده‌های هدایتی با فرکانس بالا :
هارمونیک‌ها	ولتاژها یا جریان‌های القایی با شکل موج پیوسته
سیگنال‌های PLC	گذراهای تک‌جهته
نوسان ولتاژ	گذراهای نوسانی
فرورفتگی ولتاژ و قطعی‌ها	۴- پدیده‌های تشعشعی فرکانس بالا :
عدم تعادل ولتاژ	میدان‌های مغناطیسی
تغییرات فرکانس قدرت	میدان‌های الکتریکی
ولتاژهای القایی با فرکانس پایین	میدان‌های الکترو مغناطیسی
وجود مولفه dc در شبکه قدرت	امواج پیوسته
۲- پدیده‌های تشعشعی فرکانس پایین :	گذراها
میدان‌های مغناطیسی	۵-پدیده تخلیه الکترواستاتیک
میدان‌های الکتریکی	۶- پالس الکترومغناطیسی ناشی از انفجارات هسته-ای

جدول ۱-۲ : گروه بندی و مشخصات پدیده‌های الکترومغناطیسی در شبکه قدرت

گروه	محتوای طیفی (مقدار نمونه)	طول دوره زمانی (مقدار نمونه)	دامنه ولتاژ (مقدار نمونه)
۱- گذرا			
۱-۱ ضربه ای			
نانو ثانیه	خیز ۵ نانو ثانیه ای	کمتر از ۵۰ نانو ثانیه	
میکرو ثانیه	خیز ۱ میکرو ثانیه ای	۵۰ نانو ثانیه – یک میلی ثانیه	
میلی ثانیه	خیز ۰,۱ میلی ثانیه ای	بیشتر از یک میلی ثانیه	
۱-۲ نوسانی			
فرکانس پایین	کوچکتر از ۵ کیلو هرتز	۰,۳- ۵۰ میکرو ثانیه	تا ۴ پریونیت
فرکانس متوسط	۵۰۰- ۵ کیلو هرتز	۲۰ میکرو ثانیه	تا ۸ پریونیت
فرکانس بالا	۰,۵- ۵ مگا هرتز	۵ میکرو ثانیه	تا ۴ پریونیت
۲- تغییرات بلند مدت			
۲-۱ قطع با دوام		بیشتر از یک دقیقه	صفر پریونیت
۲-۲ کاهش ولتاژ		بیشتر از یک دقیقه	۰,۹ پریونیت
۲-۳ اضافه ولتاژ		بیشتر از یک دقیقه	۱,۰۵ پریونیت
۳- تغییرات کوتاه مدت			

۳-۱ آنی			
قطعی		۳۰-۰,۵ سیکل	کوچکتر از ۰,۱ پریونیت
فلش		۳۰-۰,۵ سیکل	۰,۹- ۰,۱ پریونیت
برآمدگی		۳۰-۰,۵ سیکل	۱,۸ – ۱,۱ پریونیت
۳-۲ لحظه ای			
قطعی		۳۰ سیکل – ۳ ثانیه	کوچکتر از ۰,۱ پریونیت
فلش		۳۰ سیکل – ۳ ثانیه	۰,۹- ۰,۱ پریونیت
برآمدگی		۳۰ سیکل – ۳ ثانیه	۱,۲ – ۱,۱ پریونیت
۳-۳ موقت			
قطعی		۳ ثانیه – ۱ ثانیه	کوچکتر از ۰,۱ پریونیت
فلش		۳ ثانیه – ۱ ثانیه	۰,۹- ۰,۱ پریونیت
برآمدگی		۳ ثانیه – ۱ ثانیه	۱,۲ – ۱,۱ پریونیت
۴- عدم تعادل ولتاژ		حالت ماندگار	۲ – ۰,۵ درصد
۵- اعوجاج شکل موج		حالت ماندگار	۰,۱ – ۰ درصد
۵-۱ وجود مولفه dc در شبکهac			
۵-۲ هارمونیک ها	هارمونیک اول تا صدم	حالت ماندگار	تا ۲۰ درصد
۵-۳ هارمونیک های	صفر تا ۶ کیلو هرتز	حالت ماندگار	تا ۲ درصد

میانی ۴-۵ برش ۵-۵ نویز ۶- نوسان ولتاژ ۷- تغییرات فرکانس قدرت	در باند وسیع کوچکتر از ۲۵ هرتز	حالت ماندگار حالت ماندگار متناوب کوچکتر از ۱۰ ثانیه	تا ۱ درصد ۰,۱ تا ۷ درصد