استفاده از UPFC مبتنی بر مدولاسیون بردار فضایی (SVPWM) برای بهبود کیفیت توان

یاسین پوراحمدی

دانشکده فنی

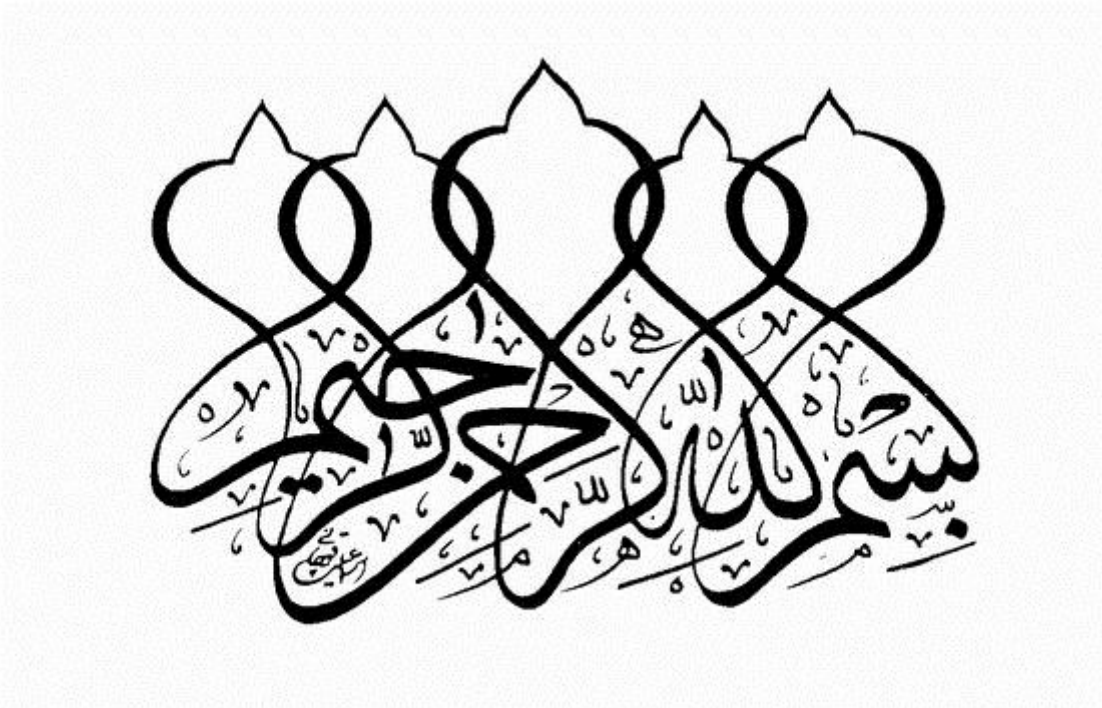
گروه برق

آذر ۱۳۹۰

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

استاد راهنما: دکتر مرتضی فرسادی


بسم الله الرحمن الرحيم

تأییدیه ی هیأت داوران جلسه ی دفاع از پایان نامه

پایان نامه به تاریخ شماره موردپذیرش هیات محترم داوران با رتبه و نمره قرار گرفت.

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	دانشگاه یا موسسه	امضا
۱	استاد راهنما و رئیس هیات داوران	دکتر مرتضی فرسادی	دانشگاه ارومیه	
۲	داور داخلی		دانشگاه ارومیه	
۳	داور خارجی		دانشگاه ارومیه	
۴	نماینده تحصیلات تکمیلی		دانشگاه ارومیه	

تقدیم به همسر و مادر مهربانم

و

تقدیم به روح پاک پدر

تقدیروتشکر

خداوند علیم را شاکرم که مرا یاری نمود تا بتوانم این پایانامه را با موفقیت به اتمام برسانم.به جاست که از راهنمایی های علمی واموزنده اساتید ارجمند جناب آقای دکتر طوسی ودکتر نظرپوربه خصوص از استاد راهنمای مهربان خودم جناب آقای **دکتر مرتضی فرسادی** که در طول نگارش این پایانامه مرا همواره با راهنمایی های ارزنده خود یاری نموده اند تقدیر وتشکر نموده واز خدای متعال سلامتی وموفقیت این عزیزان راخواهانم.

چکیده:

در سالهای اخیر،اختلالات کیفیت توان مهمترین موضوع می باشد که محققان زیادی را برای پیدا کردن راه حلی برای حل آن علاقه مند ساخته است.امروزه کیفیت توان در سیستم قدرت برای مراکز صنعتی،تجاری وکاربردهای بیمارستانی مسئله مهمی می باشد.مشکل ولتاژمثل شرایط افت ولتاژواضافه جریان ناشی از اتصال کوتاه مدار یا وقوع خطا در سیستم بیشتر مورد توجه می باشد.

برای مطالعه افت ولتاژ واضافه جریان،محققان زیادی کار کرده اند.افت ولتاژ یکی از مهم ترین اختلالات کیفیت توان می باشد[1].براساس استانداردIEC61000-9-3،افت ولتاژ به کاهش موقت ولتاژ در نقطه ای از سیستم الکتریکی به مقدار کمتراز مقدار تعیین شده تعریف می شود[2].براساس استانداردIEEE1159-1995،افت ولتاژ به تغییرات rms با اندازه بین ۱۰ تا۹۰درصد مقدارنامی ولتاژ یا جریان در مدت زمان بین نیم سیکل ویک دقیقه تعریف می شود[3].

در سال ۱۹۸۸،هینگورانی از ادوات FACTSتعریف کردواز کاربردهای وسیع آنها در همه جهات سخن به میان آورده است.امروزه تکنولوژی FACTS پتانسیل بالایی در همه جنبه ها دارد.مثالهای زیادی از ادوات FACTSوکنترلهای آنها می توان استفاده کرد.برای اولین بار ادوات FACTSبه عنوان خانواده ی تجهیزات الکترونیک قدرت برای کنترل وبهبود توان الکتریکی شارشی در خطوط انتقال استفاده شد[4,5].UPFCجنبه های پژوهشی زیادی دارد ومقالات پژوهشی بسیاری در رابطه با مدل سازی،آنالیز،کنترل وکاربردUPFCدر سالهای اخیر منتشر شده است[6,7].

مدلهاب ریاضی UPFCبرای تعیین عملکرد در شرایط حالت پایدار با بکارگیری معادلات فضای حالت بدون ملاحظه تاثیر کانورترهاودینامیک ژنراتورها بهبودیافته است[8,9].عملکرد UPFCبوسیله طراحی کانورترهای سری با بکار گیری کنترلهای متعارف وسودمند آنالیز می شود[10,11].مدل ریاضی UPFCبا بکار گیری مدولاسیون بردار فضایی برای انجام شارش توان، مطالعات آنالیزی وپایداری گذرا به کار می رود[12].مدل سیگنال کوچک غیر خطی شبکه با UPFCبرای مطالعات حالت گذرا مورداستفاده قرار می گیرد[13].

کلمات کلیدی: UPFC،مدولاسیون بردارفضایی،افت ولتاژ،اضافه جریان

فهرست مطالب

۱- فصل اول:مقدمه..... ۱

1-1- مقدمه..... ۲

۲- فصل دوم:کیفیت توان ومشکلات مرتبط باآن ۴

۲-۱- مقدمه.... ..... ۵

۲-۲- شکل موج ولتاژ ایده ال ۵

۲-۳- تعریف کیفیت توان ۶

۲-۴- افت ولتاژ..... ۷

۲-۵- اضافه ولتاژ..... ۸

۲-۶- حالت گذرای لحظه ای ۹

۲-۷- حالت گذرای نوسانی ۱۰

۲-۸- قطع شدگی..... ۱۰

۲-۹- شکاف یا بریدگی..... ۱۱

۲-۱۰-عدم تعادل ولتاژ..... ۱۲

۳ فصل سوم:مدولاسیون بردار فضایی(SVPWM) ۱۴

3-1- مقدمه..... ۱۵

۳-۲- تکنیکهایPWMبرای کنترل مبدلهای با توان متوسط ۱۶

۳-۳- اینورترمنبع ولتاژ سه بازویه ۱۹

۳-۴- مدولاسیون بردارفضایی ۲۳

4- فصل چهارم:معرفی ادوات FACTS..... ۳۰

۴-۱- مقدمه ۳۱

۴-۲- پخش توان در خطوط انتقال ۳۱

۴-۳- FACTSوتعاریف آن ۳۳

۴-۴- تعاریف کنترل کننده های مبتنی بر Facts ۳۴

4-5- معرفی STATCOM ۴۱

4-6- معرفی UPFCواجزاء آن ۴۵
4-7- کنترل UPFC ۵۱
4-8- سیستم کنترلی توان اکتیو P و راکتیو Q..... ۵۳
4-9- تبادل توان در STATCOM..... ۵۵
4-10-تبادل توان درSSSC ۵۹
۴-۱۱-تاثیرUPFCبرشبکه قدرت: ۶۰
۵- فصل پنجم:شبیه سازی سیستم مورد مطالعه وارائه نتایج..... ۶۴
۵-۱- مقدمه ۶۵
۵-۲- مدل مدولاسیون بردار فضایی(SVPWM) ۶۵
۵-۳- مدل سازی UPFC ۷۱
۵-۴- نتایج..... ۷۳
6- فصل ششم:نتیجه گیری وپیشنهادات..... ۸۰
۶-۱- نتیجه گیری ۸۱
۶-۲- پیشنهادات..... ۸۱

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱: شکل موج ولتاژ ایده ال تکفاز ۵
شکل ۲-۲: شکل موج ولتاژ ایده ال سه فاز ۵
شکل ۲-۳: شکل موج افت ولتاژ ۷
شکل ۲-۴: افت ولتاژ(a):مدارایجاد کننده افت ولتاژمنتجه از استارت موتور ۸
شکل ۲-۵: اضافه ولتاژ ۹
شکل ۲-۶: شکل موج حالت گذرای لحظه ای ۹
شکل ۲-۷: حالت گذرای نوسانی(a):مدارایجاد کننده حالت گذرای نوسانی(b):حالت گذرای نوسانی ۱۰
شکل ۲-۸: قطع شدگی ۱۱
شکل ۲-۹: شکل موج بریدگی در یکسوساز سه فاز(a):یکسو ساز سه فاز ایجاد کننده شکاف ۱۲
شکل ۲-۱۰: شکل موج پدیده عدم تعادل ولتاژ ۱۳
شکل ۳-۱: مدل مداری اینورتر تک فاز ۱۸
شکل ۳-۲: مدولاسیون عرض پالس ۱۸
شکل ۳-۳: توپولوژی اینورترمنبع ولتاژ سه بازویه ۲۰
شکل ۳-۴: توپولوژیهای هشت حالت سوئیچینگ اینورتر ۲۰
شکل ۳-۵: توپولوژی یک اینورتر ۲۱
شکل ۳-۶: توپولوژی یک در مختصات دوبعدی(α,β) ۲۱
شکل ۳-۷: :بردارهای ولتاژغیر صفردرمختصات (α,β) ۲۲
شکل ۳-۸: توپولوژی ولتاژ خروجی صفر ۲۲
شکل ۳-۹: بردارهای ولتاژ صفردر مختصات (α,β) ۲۳
شکل ۳-۱۰: اینورترPWMمنبع ولتاژ سه فاز ۲۴
شکل ۳-۱۱: هشت بردار ولتاژ اینورتر ۲۵
شکل ۳-۱۲: مقایسه ماکزیمم ولتاژ کنترل شده خط بین PWMسینوسی وSVPWM ۲۶
شکل ۳-۱۳: رابطه بین حالت مرجع abcوحالت چرخشیdq ۲۶
شکل ۳-۱۴: بردارهای سوئیچینگ پایه وسکتورها ۲۷
شکل ۳-۱۵: بردار ولتاژ فضایی وجزئیات آن در صفحه(d-q) ۲۸
شکل ۳-۱۶: بردار مرجع تجزیه شده به بردارهای مجاور در سکتور اول ۲۹
شکل ۴-۱: خط انتقال ۳۲
شکل ۴-۲: نماد عمومی کنترل کننده Facts ۳۴
شکل ۴-۳:STATCOMهمراه با منبع انرژی ۵۶
شکل ۴-۴:تبادل توان اکتیو توسط STATCOMبا سیستم AC ۵۷
شکل ۴-۵: تبادل توان راکتیو توسط STATCOMبا سیستم AC ۵۷

شکل ۴-۶:STATCOMدرحالت سلفی وخازنی ۵۸
شکل ۵-۱:اینورترمنبع ولتاژ سه فاز ۶۵
شکل ۵-۲:دیاگرام بردارهای فضایی ۶۷
شکل ۵-۳:مدل شبیه سازی شده تعیین سکتور ۶۸
شکل ۵-۴:روش کنترل seven-segment ۶۹
شکل ۵-۵:مدل شبیه سازی شده مدت زمان عملکرد بردارهای پایه ولتاژ ۷۰
شکل ۵-۶:مدل شبیه سازی محاسبات **Ta**,**Tb**,**Tc** ۷۰
شکل ۵-۷:مدل شبیه سازی محاسبات **Tcm1**, **Tcm2**و**Tcm3** ۷۱
شکل ۵-۸:تولید کننده های شکل موج مدولاسیون ۷۱
شکل ۵-۹: شبکه قدرت شامل UPFC (الف) شماتیک (ب) مدل پخش بار ۷۲
شکل ۵-۱۰:شکل موجهای خروجی مدولاسیونهای بردار فضایی ۷۴
شکل ۵-۱۱:دیاگرام تک خطیUPFCبا خطوط انتقال موازی ۷۵
شکل ۵-۱۲:مدل شبیه سازی شده..... ۷۵
شکل ۵-۱۳:شکل موج افت ولتاژخط ۷۷
شکل ۵-۱۴:شکل موج ولتاژ جبران شده باUPFC ۷۷
شکل ۵-۱۵:شکل موج جریان خط قبل از اعمال UPFC ۷۸
شکل ۵-۱۶:شکل موج جریان خط بعد از اعمال UPFC ۷۸
شکل ۵-۱۷:محتوای هارمونیکی کل ولتاژ خط ۷۹

فهرست جداول

جدول ۳-۱: بردارهای سوئیچینگ،ولتاژهای فازوولتاژ های خط به خط خروجی ۲۵
جدول ۵-۱:بردارهای خروجی فاز وخط به خط ۶۶
جدول ۵-۲:رابطه بین Pوشماره سکتور ۶۸
جدول ۵-۳:تاثیر زمانهای بردارهای مجاور در سکتورها ۶۹
جدول ۵-۴:نقاط سوئیچینگ برای محاسبه Tcmx..... ۷۰
جدول ۵-۵:مقایسهSPWMوSVPWMبا اندیسهای مختلف ۷۵

۱ فصل اول:مقدمه

۱-۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم پژوهشگران صنعت برق در دهه اخیر بهبود عملکرد وارتقاء قابلیت های سیستم های انتقال قدرت،بدون ایجاد تغییرات ساختاری وبرنامه ریزی مجدد برای این سیستم ها،می باشد.در راستای این هدف،توجه به استانداردهای بین المللی در زمینه کیفیت توان،استفاده بهینه از ظرفیت های قدرت ایجاد شده وتوسعه عملکرد سیستم،بسیار مهم است.

پدیده های کیفیت توان الکتریکی،توجه روز افزون شرکت های برق ومشترکین را به خود معطوف کرده است.عبارت کیفیت توان از اواخر دهه ۱۹۸۰ بصور یکی از معروفترین واژه های صنعت برق درآمده است[14].این واژه به عنوان یک مفهوم فراگیر برای انواع مختلف اغتشاشات سیستم قدرت بکار می رود.در این ارتباط تعاریف مختلفی وجود دارد.یکی از مناسب تریت تعاریف بصورت زیر می باشد:

"هرگونه تغییرات ولتاژ وجریان ویا فرکانس که باعث خرابی وعملکرد بد تجهیزات مصرف کننده ها می شود به عنوان یک مشکل کیفیت توان معرفی می گردد."

بنابراین مسائل مربوط به این واژه،به عنوان پارامترهای کیفیت توان شناخته می شوند.این پارامترها به دسته بلند مدت وکوتاه مدت تقسیم می شوند.مسائل مربوط به خطوط انتقال در سیستم های قدرت اکثراًبه پارامترهای لحظه ای مربوط می شوند[15].

ظرفیت بزرگتر انتقال توان مورد نیاز،از دو راه قابل حصول می باشد.اول بناکردن خطوط انتقال جدید ودوم ،افزایش ظرفیت انتقال خطوط موجود با نصب تجهیزات کمکی روی خطوط می باشد[16].همچنین با کنترل توان انتقالی خطوط می توان اولاًتلفات خطوط انتقال را به حداقل رساند.ثانیاً از محدوده حرارتی سیستم خارج نشویم.ثالثاً حاشیه پایداری سیستم نیز افزایش یابد.بدون اینکه به پخش اقتصادی بارخللی وارد شود.ادوات FACTS[1]در زمره برجسته ترین ابزار مورد توجه پژوهشگران در افزایش کیفیت توان سیستم از طریق کنترل توان خطوط بر پایه بکارگیری کنترلرهای با بهره بالا وسوئیچینگ سریع می باشند که با تغییر پارامترهای ساختاری شبکه این عمل را انجام می دهند.کنترل کننده یکپارچه کیفیت توانUPFC[2]،عضوی از خانواده ادوات FACTSمی باشد که توانایی جبران سازی سری وموازی خط انتقال را بطور همزمان دارامی باشدوبرهمین اساس می تواند عملکرد استاتیکی ودینامیکی سیستم انتقال قدرت را بهبود بخشد[17].ادوات UPFCاین کار را ازطریق کنترل کلیه پارامترهای موثر بر توان انتقالی از خط(ولتاژ پایانه ها،امپدانس خط انتقال،زاویه انتقال)انجام می دهد.در واقعUPFCاز مفهوم منبع ولتاژ سنکرون،برای فراهم آوردن قابلیت منحصر بفرد وگستره در کنترل خطوط انتقال استفاده می کند[18].به عبارت دیگر UPFCدارای این قابلیت منحصر به فرد است که می تواند تواماً کنترل پخش توان اکتیو راکتیو را بصورت مستقل از هم فراهم آورد.این قابلیت

[1] -Flexibility Alternative Current Transmission System
[2] -Unified Power Flow Controller

اساسی در حال حاضر،UPFCرا به قدرتمندترین وسیله کنترل سیستم انتقال تبدیل کرده است.ادوات UPFCاز ۲ کانورتر پشت به پشت تشکیل شده است.که بوسیله یک لینک خازنی dc،بهم متصل شده اند.یکی از این کانورترها بصورت سری به شبکه متصل می باشد([1]SSSC)واز طریق تزریق یک ولتاژ سری با اندازه وفاز قابل کنترل،کنترل توان اکتیو وراکتیو عبوری از شبکه را بعهده دارد.دومین کانورتر بصورت موازی به شبکه متصل می باشد([2]STATCOM)وعملکرد آن براساس ثابت نگه داشتن ولتاژباسUPFCولینک خازنیdc،می باشد که این کار را از طریق جذب توان اکتیو به منظور ثابت نگه داشتن ولتاژdcوجذب یا تحویل توان راکتیو به شبکه برای کنترل ولتاژ باس UPFC انجام می دهد[19].

با این توضیحات می توان گفت که با کنترل صحیح مبدلهای سری وموازی در ادوات UPFCمی توان علاوه بر جبران توان راکتیو وافزایش توان انتقالی،کیفیت توا ن را نیز به طور مطلوبی در سیستم انتقال بالا برد.

در این پایانامه در فصل اول مقدمه کلی از هدف پایانامه وموضوعاتی که بررسی خواهد شد آورده شد.در فصل دوم به مطالعه مفهوم ومعنی کیفیت توان پرداخته می شود وعواملی که باعث می شود توان تحویلی به مصرف کننده ازکیفیت کمتری برخورداباشدمطالعه ومنابع ایجاد کننده این عوامل بررسی وراهکارهایی برای حل این مشکلات ارائه می شود.در فصل سوم به مطالعه الگوریتم مدولاسیون بردارفضاییSVPWMپرداخته می شودوروش مرحله به مرحله برای ایجاد سیگنالهای پالس بررسی می شود.در فصل چهارم به معرفی ومطالعه ادوات FACTSوروشهای کنترلی آنها واصول عملکرداین ادوات بخصوص UPFCپرداخته می شود.در فصل بعدی به شبیه سازی سیستم موردمطالعه وارائه نتایج اختصاص داده می شودودرفصل اخرازپایانامه وتحقیقات انجام شده نتیجه گیری شده وپیشنهادات لازم ارائه می شود.

[1] -Static Synchronous Series Compensator
[2] -Static Compensator

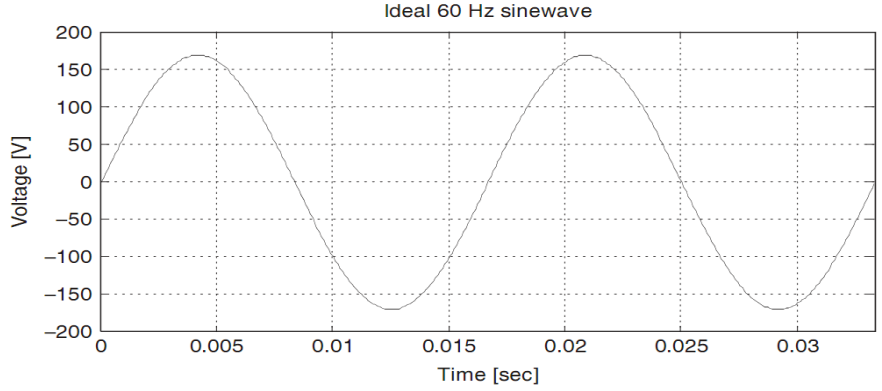
۲ فصل دوم:کیفیت توان ومشکلات مرتبط باآن

۲–۱– مقدمه

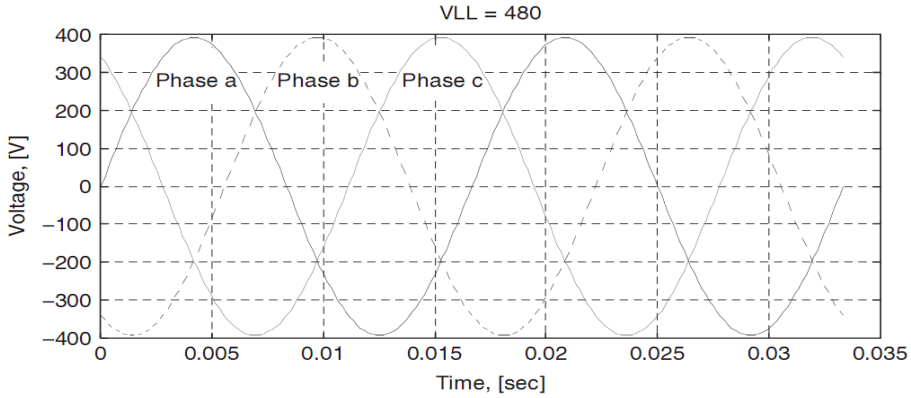
در سالهای اخیر اهمیت ونگرانی در مورد کیفیت توان تحویلی به کارخانه ها،مراکز تجاری ومنازل افزایش پیدا کرده است که این نگرانی ناشی از به کارگیری سیستم های هارمونیک زا می باشد[20].درایوهای تنظیم سرعت،منابع انرژی قابل سوئیچینگ،کوره های القایی،متعادل سازهای لامپ فلورسنت الکترونیکی وهمه تجهیزات هارمونیک زای دیگر در تولید هارمونیک سیستم هادخیل می باشند[21-23].علاو براین،کلیدهای جبرانسازهای خطا اختلالاتی که در کیفیت توان تحویلی تاثیر دارد را تولید می کنند.بیشتر تجهیزات امروزی در مواقعی که توان تحویلی دارای کیفیت ضعیفی باشد دچار آسیب می شوند وهم چنین کیفیت توان ضعیف در عملکرد وسایل الکترونیکی ودیگر تجهیزات کارخانه ها وادارات تاثیر می گذارد[24].

۲–۲–شکل موج ولتاژ ایده ال

کیفیت توان ایده ال برای منبع انرژی یک بار الکتریکی توسط شکل موج ولتاژ شکل ۲-۱وشکل موجهای سه فازشکل ۲-۲ نشان داده می شود.دامنه ،فرکانس وهر اعوجاج شکل موجهای مربوط باید در محدوده مجاز تعیین شده باقی بماند.



شکل ۲-۱: شکل موج ولتاژ ایده ال تکفاز



شکل ۲-۲: شکل موج ولتاژ ایده ال سه فاز

وقتی ولتاژهای شکل ۲-۱وشکل ۲-۲ به بارهای الکتریکی اعمال شود ،فرکانس ودامنه جریانهای بار به امپدانس یا دیگر خصوصیات با بستگی دارد.اگر شکل موج جریان بار نیز سینوسی باشد بار را بارخطی[1] می نامند واگر شکل موج جریان بار غیر سینوسی باشد بار غیر خطی[2] می باشد جریان بار غیر سینوسی(اعوجاج دار)در ولتاژ منابع اغتشاش ایجاد می کند که نشانه کیفیت توان ضعیف می باشد.

۲-۳- تعریف کیفیت توان

هرگونه تغییرات ولتاژ وجریان ویا فرکانس که باعث خرابی وعملکرد بد تجهیزات مصرف کننده ها می شود به عنوان یک مشکل کیفیت توان معرفی می گردد.استانداردIEEE1159کیفیت توان را به صورت زیر تعریف می کند:

تصور کلی از توان وسیستم زمین تجهیزات حساس در وضعیتی که برای عملکرد این تجیزات مناسب باشد گفته می شود[28-25].نمونه هایی از کیفیت توان ضعیف که براساس استاندارد های IEEEتعریف شده در زیر آمده است که عبارتند از:

- افت ولتاژ[3] که کاهش مختصر در مقدار موثر ولتاژ خط از۱۰تا۹۰درصد ولتاژ نامی برای مدت زمان نیم سیکل تا ۱دقیقه می باشد.
- اضافه ولتاژ[4]که معکوس افت ولتاژ می باشد عبارتست از افزایش مختصر در مقدارموثر ولتاژ خط از ۱۱۰تا۱۸۰درصد ولتاژنامی برای مدت زمان نیم سیکل تا ۱دقیقه.
- حالت گذرای لحظه ای[5] ،تغییرات یکسویه در ولتاژوجریان،یا هر دو در خط قدرت می باشد.عوامل عمومی رایج درحالت گذرای لحظه ای برخورد رعدوبرق،سوئیچینگ بارهای اندکتیو،یا سوئیچینگ در سیستم توزیع انرژی می باشد.این حالت گذرا می تواند باعث خاموشی یا آسیب به تجهیزات شود اگر سطح اعوجاج به حد کافی بالا باشد تاثیرات حالت گذرا را می توان توسط بکارگیری جبران کننده های حالت گذرای ولتاژ مانند دیود زنر وMOVها(Metal-oxide Varisors)مقاومت های اکسید فلز جبران کرد.
- حالت گذرای نوسانی[6] ،تغییرات یکسویه در ولتاژ،جریان،یا هر دو در خط قدرت می باشد که توسط خازنهای تصحیح فاکتور توان،یا ترانسفورماتورهای فرورزونانس اتفاق می افتد.
- قطع شدگی[7] کاهش در ولتاژ یا جریان خط به کمتر از ۱۰درصد مقدار نامی در کمتر از ۶۰ ثانیه تعریف می شود.

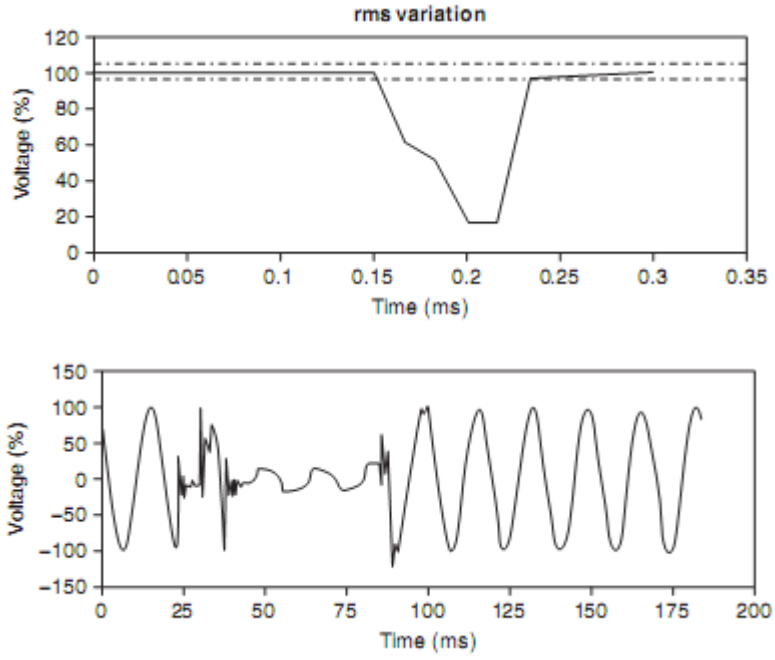
[1] -Linear Load

[2] -NonLinear Load
[3] -Voltage sag
[4] -Voltage Swell
[5]- impulsive transient
[6]- oscillatory transient
[7]- interruption

- از دیگر علایم کیفیت توان ضعیف، بریدگی یا شکاف [1]می باشد،که می تواند توسط یکسو سازهایی که اندوکتانس خط را محدود می کنند تولید می شود.
- نوسانات ولتاژ[2] ،تغییرات نسبتاً کم(کمتر از۵±درصد)در مقدارموثر ولتاژ خط می باشد.این تغییرات می تواند توسط سیکلو کانورترها،کوره های القایی،وسیستم های دیگری که جریان ،سنکرون با فرکانس نمی باشد نشان می دهد.این قبیل نوسانات می تواند تغییراتی در شدت روشنایی شود که به اصطلاح فلیکرنامیده می شود.
- عدم تعادل ولتاژ[3] که عبارتست از تغییرات در دامنه ولتاژهای سه فاز نسبت به دیگری می باشد.

۲-۴- افت ولتاژ

افت ولتاژ پدیده ای است که ولتاژ موثر خط از مقدار ولتاژ نامی خط برای مدت زمان کوتاه کاهش پیدا می کندشکل ۲-۳افت ولتاژ ۸۰درصدی با مدت زمان کمتر از ۶۰ سیکل را نشان می دهد.این نوع از تغییرات به دلیل اتصال بارهای خیلی بزرگ به زمین مثل اتصال موتور سه فاز یا خطا در فیدرهای کمکی یا کارخانه ها اتفاق می افتد.

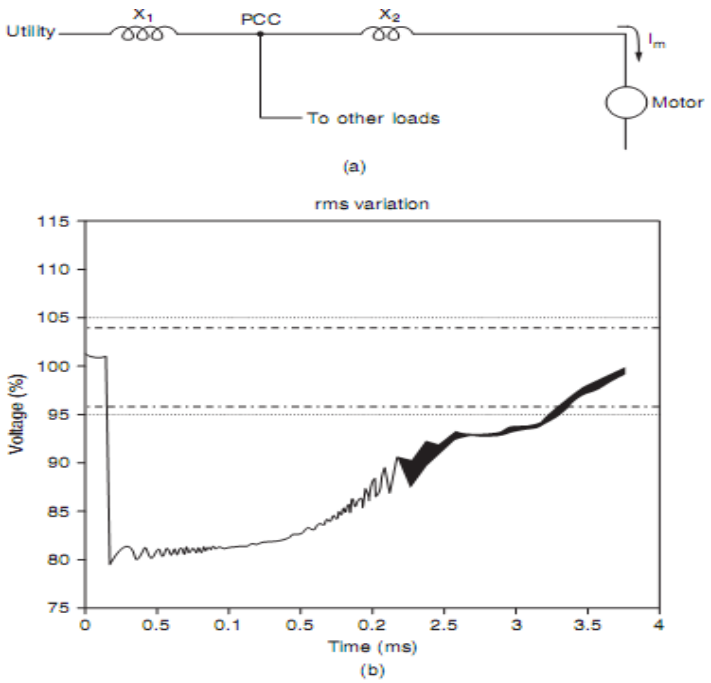


شکل ۲-۳: شکل موج افت ولتاژ

درشکل ۲-۴مدار با یک خط، موتور الکتریکی را تغذیه می کند.مشاهده می شود که وقتی از خط

[1]- notching
[2]- Voltage fluctuations
[3]- imbalance

جریان کشیده می شود امپدانس خط باعث افت ولتاژ می شود وقتی موتور انـرژی دار مـی شـود،جریان موتور(I_m)باعث افت ولتاژ سایر بارهای متصل شده به سیستم در نقطه عمومی اتصال(PCC)[1] می شود.



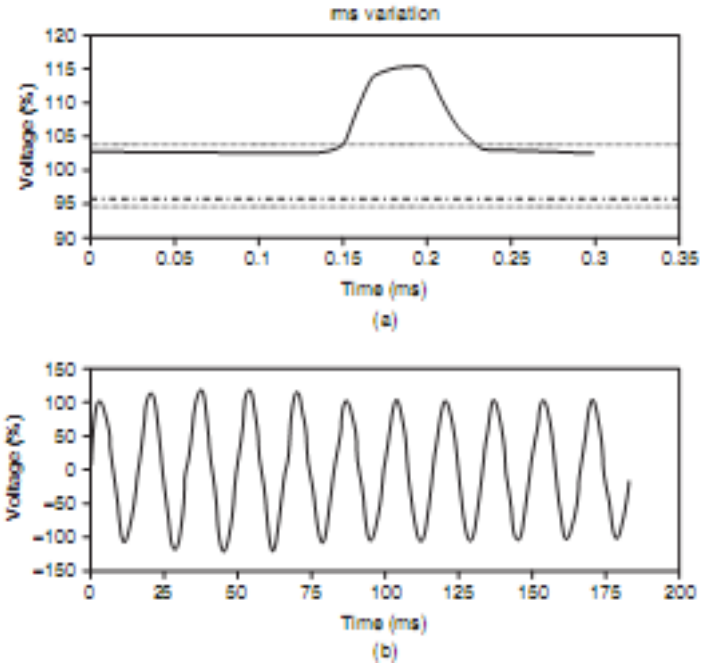
شکل ۲-۴: افت ولتاژ(a):مدارایجاد کننده افت ولتاژمنتجه از استارت موتور

(b):افت ولتاژ ناشی از استارت موتور

۲–۵– اضافه ولتاژ

اضافه ولتاژ عکس افت ولتاژ می باشد وافزایش مختصر در ولتاژ موثر خط می باشدشکل ۲-۵اضـافه ولتاژ ناشی از خطای خط به زمین رانشان می دهد.

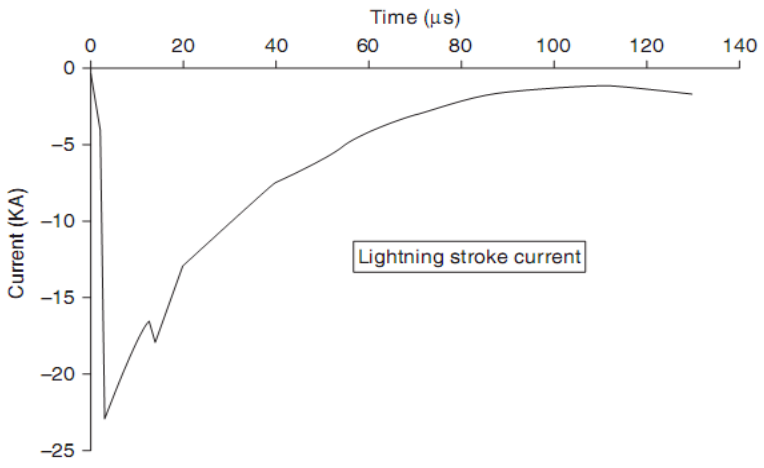
[1]- the point of common coupling



شکل ۲-۵: اضافه ولتاژ

۲-۶- حالت گذرای لحظه ای

حالت گذرای لحظه ای عبارتست از تغییرات یکطرفه در ولتاژ،جریان،یا هردو در خط قدرت می باشد.منابع معمول تولید کننده حالت گذرای لحظه ای، برخورد صاعقه ها می باشد(شکل ۲-۶).حالت گذرای ناشی از برخورد صاعقه می تواند به علت برخورد صاعقه به خط قدرت،یا القای مغناطیسی یا خاصیت خازنی برخطوط مجاورباشد.



شکل ۲-۶: شکل موج حالت گذرای لحظه ای