بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مهندسی قدرت

پایان‌نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق-قدرت

عنوان:

طراحی کنترل‌کننده برای DVR به‌منظور حذف اغتشاشات ولتاژ در سیستم‌های توزیع

استاد راهنما:

دکتر سید عباس طاهر

توسط:

حسین تهامی فرد

شهریورماه ۱۳۹۳

تقدیم به

آفریدگار مهر و دوستی و ائمه ی معصومین علیهاسلام و شهدای اسلام و انقلاب اسلامی

و تقدیم به

پدر و مادر مهربانم، که چون مهرتابان، سایه ی پرمهرشان همواره بر وجودم حرارت می بخشد و آتش این مهر هرگز خاموش نخواهد گشت

و تقدیم به

استاد محمدرضا لطفی، معلم هنر و اخلاق که با رفتنش قلب دوستدارانش شکست و ما را همواره مبهوت غیاب خویش نهاد

قدردانی و تشکر

حمد و سپاس خدایی را که این نگارش نیز از اوست و قلم ها و کاغذها در ستایشش بشکنند و بدرند. تجلیل از مقام معلمی که مرا چگونه اندیشیدن آموخت بسی سخت است و سخت تر اینکه برای این تجلیل بیش از چند جمله، ظرفیت این متن نیست.

از استاد معظم و معلم بزرگ، **دکتر سید عباس طاهر** که راهنمایی که پایان‌نامه را بر عهده گرفتند و با سعه صدر درنهایت فروتنی و حسن خلق، عنایت کوچک ترین لکی را در این عرصه دریغ نکردند کمال تشکر رادارم. این بزرگوار برای نگارنده ی این سطور فقط استاد پروژه نبودند بلکه الگویی برای زندگی بودند و نگارنده بر این باور است که هر چه می تواند راه و مسیر ایشان را به‌قدر بضاعت خویش پیش ببرد. طول عمر و توفیق روزافزون برایشان را از خدای منان مسئلت دارم. همچنین از اساتید معزز جناب آقای **دکتر حمیدرضا محمدی** و **دکتر محسن رحیمی کلیشادی** به عنوان استاد داور کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای **احسان بلور کاشانی** نیز که درنهایت تواضع هرچه می‌دانستند را در طبق اخلاص نهادند و بیشترین استمداد را به این حقیر دادند نهایت تشکر رادارم و افزایش شتاب پیشرفتشان را از خدای رحمان خواستارم.

چکیده

امروزه با توجه به افزایش کاربرد الکترونیک قدرت، شبکه‌های توزیع به‌طور ناخواسته با شتابی روزافزون به سمت افزایش تولید اغتشاشات ولتاژ درحرکت‌اند. الکترونیک قدرت خود نیز هرروز پرمصرف‌تر از دیروز در صنعت می‌شود که خود عامل افزایش اغتشاشات ولتاژ است و متأسفانه مصرف‌کننده‌های دارای عناصر الکترونیک قدرت خود به ولتاژ شبکه بسیار حساس‌اند. الکترونیک قدرت خود برای حل این مشکل پاسخ می‌دهد. بازیاب دینامیکی ولتاژ[1] جبران‌سازی موفق از ادوات الکترونیک قدرت برای بازیابی ولتاژ شبکه است تا مصرف‌کننده‌ی حساس به ولتاژ، ولتاژی نزدیک به سینوسی داشته باشد.

برای بازیاب دینامیکی ولتاژ کنترل‌کننده‌های زیادی پیشنهاد شده است که برای نخستین بار در این مطالعه، از روش کنترل تک سیکلی استفاده شده است. روش کنترل تک سیکلی از روش‌های ممتاز و کم‌هزینه برای مبدل‌های مستقیم/مستقیم و مبدل‌های مستقیم/متناوب هست. برای نخستین بار در این مطالعه با تغییر در ساختار روش کنترل تک سیکلی عملکرد کنترل‌کننده را بهبود بخشیده و درنتیجه بازیاب دینامیکی ولتاژ با استفاده از این کنترل‌کننده قادر به جبران انواع اغتشاشات ولتاژ است. این اغتشاشات شامل کمبود ولتاژ، بیش‌بود ولتاژ، نوسانات ولتاژ، هارمونیک و قطعی کوتاه‌مدت است. برای نمایش استحکام کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی مبتنی بر کنترل تک سیکلی، عملکرد بازیاب دینامیکی ولتاژ پیشنهادی در حالت تغییر پارامترهای مصرف‌کننده نیز بررسی گشته است و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در این شرایط نیز بازیاب دینامیکی ولتاژ به‌خوبی اغتشاش را اصلاح خواهد نمود. کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی برای دو توپولوژی معمول بازیاب دینامیکی ولتاژ که از شبکه یا باتری به‌عنوان منبع انرژی استفاده شده است، پیاده‌سازی شده است. بازیاب دینامیکی ولتاژ با کنترل‌کننده‌ی مذکور دارای پاسخ دینامیکی و ماندگار خوب بوده و قابلیت اجرای عملی بسیار بالا دارد و نسبت به دیگر روش‌ها مناسب‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: بازیاب دینامیکی ولتاژ، کنترل تک سیکلی، اغتشاشات ولتاژ، کمبود ولتاژ، بیش‌بود ولتاژ

[1] DVR

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... أ

فهرست جدول‌ها ..... ح

فهرست شکل‌ها ..... خ

فهرست اختصارات و نمادها و لغات جایگزین ..... ر

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- مروری بر کارهای دیگران ۲

۱-۳- اهداف ۴

۱-۴- راهنمای پایان‌نامه ۴

فصل دوم: مروری بر مسائل کیفیت توان ۵

۲-۱- مقدمه‌ای در باب کیفیت توان ۵

۲-۲- تعریف کیفیت توان ۵

۲-۳- کیفیت ولتاژ معادل با کیفیت توان ۶

۲-۴- پدیده‌های گذرا ۷

۲-۴-۱- حالت گذرای ناشی از کلیدزنی ۷

۲-۴-۱-۱- کلیدزنی خازن‌ها ۸

۲-۴-۱-۲- حالت گذرای ناشی از کلیدزنی مصرف‌کننده ۹

۲-۴-۱-۳- برق‌دار کردن ترانسفورماتور ۱۰

۲-۴-۲- حالت گذرای ناشی از صاعقه ۱۰

۲-۴-۳- اصول حفاظتی در مقابل حالات گذرا ۱۱

۲-۴-۴- تجهیزات مناسب پیشنهادی برای حفاظت علیه اضافه ولتاژهای گذرا ۱۱

۲-۴-۴-۱- برق‌گیر ۱۱

۲-۴-۴-۲- ترانسفورماتور ایزوله ۱۱

۲-۴-۴-۳- فیلترهای پایین گذر ۱۲

۲-۴-۴-۴- وسایل برق اضطراری با امپدانس کم ۱۲
۲-۴-۵- راهکارهای مقابله باحالت گذرای ناشی از کلیدزنی خازن‌ها ۱۳
۲-۵- کمبود ولتاژ و قطعی ولتاژ ۱۳
۲-۵-۱- علل ایجاد کمبود ولتاژ ۱۴
۲-۵-۲- رابطه‌ی بین کمبود ولتاژ و عملکرد تجهیزات ۱۴
۲-۵-۳- اصول اساسی حفاظت در مقابل کمبود ولتاژ ۱۵
۲-۵-۳-۱- مسائل مربوط به مشترکین ۱۵
۲-۵-۳-۲- راه حل‌های شرکت‌های برق ۱۶
۲-۶- تغییرات بلندمدت ولتاژ ۱۷
۲-۶-۱- علل وقوع تغییرات بلندمدت ولتاژ ۱۷
۲-۶-۲- اصول اساسی تنظیم ولتاژ ۱۸
۲-۶-۳- تجهیزات تنظیم‌کننده ولتاژ ۱۸
۲-۶-۴- حدود مجاز تغییرات بلندمدت ولتاژ ۱۹
۲-۷- عدم تعادل ولتاژ ۱۹
۲-۷-۱- راه حل‌های عملی جهت کاهش اثرات نامتعادلی بار و حدود مجاز عدم تعادل ولتاژ ۲۰
۲-۸- تغییرات فرکانس و حدود مجاز فرکانس ۲۱
۲-۹- نوسانات ولتاژ (فلیکر) ۲۱
۲-۹-۱- عوامل به وجود آورنده نوسانات ولتاژ و روش‌های جبران و بهبود آن ۲۳
۲-۱۰- شناخت و بررسی هارمونیک‌ها ۲۳
۲-۱۰-۱- مقادیر مؤثر و اعوجاج هارمونیکی کل ۲۴
۲-۱۰-۲- منابع تولید هارمونیک ۲۴
۲-۱۰-۳- اثر اعوجاج هارمونیکی بر روی عملکرد تجهیزات ۲۵
۲-۱۰-۴- روش‌های اصلی کنترل هارمونیک‌ها ۲۶
۲-۱۰-۵- حدود مجاز اعوجاج ولتاژ در شبکه ۲۶
فصل سوم: مروری بر بازیاب دینامیکی ولتاژ ۲۸

۳-۱- مقدمه‌ای پیرامون ادوات جبران‌ساز کیفیت توان ۲۸
۳-۲- تقسیم‌بندی ادوات بهساز کیفیت توان ۲۹
۳-۲-۱- محدودکننده‌ی استاتیکی جریان ۳۰
۳-۲-۲- سوییچ انتقال استاتیکی ۳۱
۳-۲-۳- فیلترهای فعال قدرت ۳۲
۳-۲-۳-۱- فیلتر فعال قدرت موازی ۳۵
۳-۲-۳-۲- فیلتر فعال قدرت سری ۳۵
۳-۳- بازیاب دینامیکی ولتاژ ۳۶
۳-۴- ارضای اهداف مختلف با استفاده از بازیاب دینامیکی ولتاژ ۳۷
۳-۵- ساختار بازیاب دینامیکی ولتاژ ۳۸
۳-۶- اجزای سازنده‌ی بازیاب دینامیکی ولتاژ ۳۹
۳-۶-۱- ترانس تزریق ۴۰
۳-۶-۲- فیلتر پایین گذر ۴۱
۳-۶-۳- اینورتر منبع ولتاژ ۴۲
۳-۶-۴- واحد تأمین انرژی ۴۲
۳-۶-۴-۱- استفاده از برق شهر، به‌عنوان منبع انرژی ۴۳
۳-۶-۴-۲- استفاده از المان ذخیره‌ساز خارجی به‌عنوان منبع انرژی ۴۵
۳-۶-۵- خازن لینک مستقیم ۴۵
۳-۶-۶- سوییچ بای-پس ۴۶
فصل چهارم: کنترل‌کننده‌ی DVR و نحوه‌ی عملکرد DVR ۴۷
۴-۱- کنترل‌کننده‌ی بازیاب دینامیکی ولتاژ ۴۷
۴-۱-۱- قسمت اول کنترل‌کننده یا روش یافتن ولتاژ مرجع کنترل ۴۸
۴-۱-۱-۱-روش قاب مرجع سنکرون و قاب مرجع ساکن ۴۹
۴-۱-۱-۲-روش قاب مرجع سنکرون به همراه کنترل‌کننده‌ی PI یا کنترل‌کننده‌ی فازی ۵۲
۴-۱-۲- قسمت دوم کنترل‌کننده یا نحوه‌ی سوییچ‌زنی ۵۴

۴-۱-۲-۱-روش کنترلی هیسترزیس ۵۴
۴-۱-۲-۲-روش PWM ۵۵
۴-۱-۳- روش کنترل تک سیکلی ۵۶
۴-۱-۴- مقایسه‌ی روش کنترل تک سیکلی با روش PWM ۵۸
۴-۲- طرز عملکرد بازیاب دینامیکی ولتاژ ۵۸
۴-۳- حالات کارکرد بازیاب دینامیکی ولتاژ ۵۹
۴-۳-۱- حالت حفاظت ۵۹
۴-۳-۲- حالت آمادگی برای کار ۵۹
۴-۳-۳- حالت تزریق ۶۰
۴-۳-۴- استفاده از حالات کاری بازیاب دینامیکی ولتاژ در این تحقیق ۶۰
فصل پنجم: طراحی کنترل تک سیکلی برای بازیاب دینامیکی ولتاژ ۶۱
۵-۱- پارامترهای بازیاب دینامیکی ولتاژ مطالعه شده ۶۱
۵-۲- شماتیک اصلی بازیاب دینامیکی ولتاژ مطالعه شده با کنترل تک سیکلی ۶۱
۵-۳- مدار قدرت بازیاب دینامیکی ولتاژ مطالعه شده ۶۲
۵-۴- اینورتر منبع ولتاژ استفاده شده برای DVR مطالعه شده ۶۳
۵-۵- منبع انرژی استفاده شده برای DVR مطالعه شده ۶۵
۵-۶- طراحی کنترل تک سیکلی برای بازیاب دینامیکی ولتاژ ۶۷
۵-۶-۱- ریست شدن فلیپ فلاپ با مقایسه‌ی سیگنال مرجع و خروجی انتگرال‌گیر ۶۹
۵-۶-۲- ریست شدن فلیپ فلاپ با خطای قابل اغماض بین ولتاژ شبکه و مطلوب ۷۰
۵-۶-۳- ریست شدن فلیپ فلاپ با مقایسه‌ی سه ولتاژ شبکه و مطلوب و مصرف‌کننده ۷۱
۵-۶-۴- ریست شدن فلیپ فلاپ با مقایسه‌ی سوییچ مقابل و ولتاژهای مطلوب و بار و شبکه ۷۲
۵-۷- نحوه‌ی تولید انواع اغتشاشات در ولتاژ شبکه در فضای سیمولینک ۷۶
فصل ششم: بررسی نتایج شبیه‌سازی ۸۰
۶-۱- بررسی کمبود ولتاژ و بیش‌بود ولتاژ متقارن در ولتاژ شبکه ۸۱
۶-۲- بررسی کمبود ولتاژ و بیش‌بود ولتاژ نامتقارن در ولتاژ شبکه ۸۴

۶-۳- تغییر پارامترهای بار و بررسی کمبود و بیش‌بود ولتاژ در ولتاژ شبکه ۸۶
۶-۴- بررسی نوسانات ولتاژ شبکه ۸۸
۶-۵- بررسی وجود هارمونیک در ولتاژ شبکه ۹۰
۶-۶- بررسی قطعی ولتاژ شبکه ۹۲
فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۴
۷-۱- نتیجه‌گیری ۹۴
۷-۲- پیشنهادها ۹۴
مراجع و مآخذ ۹۶

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول (۲-۱): حدود مجاز درصد عدم تعادل ولتاژ..... ۲۰

جدول (۲-۲): ماکزیمم اعوجاج ولتاژ مجاز در شـینه‌های با ولتاژهای مختلف، به درصـد نسـبت به ولتاژ نامی با فرکانس ۵۰ هرتز..... ۲۶

جدول (۵-۱): پارامترهای بازیاب دینامیکی ولتاژ شبیه‌سازی شده..... ۶۱

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل (۲-۱): نمونه‌ی حالت گذرای ایجادشده در سیستم قدرت توسط کلیدزنی خازن‌ها ۸
شکل (۲-۲): حالات گذرای سریع ناشی از برق‌دار کردن مجدد یک مصرف‌کننده‌ی سلفی ۹
شکل (۲-۳): اضافه ولتاژ گذرا در طی برق‌دار کردن ترانسفورماتور ۱۰
شکل (۲-۴): ترانسفورماتور ایزوله ۱۲
شکل (۲-۵): حفاظت کننده ترکیبی ۱۲
شکل (۲-۶): وسیله برق اضطراری با امپدانس کم ۱۳
شکل (۲-۷): روش‌های خلاصی از کمبود ولتاژ ۱۵
شکل (۲-۸): شکل موج یک نمونه فلیکر ۲۲
شکل (۳-۱): شمای محدودکننده‌ی استاتیکی جریان ۳۰
شکل (۳-۲): ساختار سوییچ انتقال استاتیکی ۳۲
شکل (۳-۳): اجزای فیلتر فعال و ارتباط بین اجزای فیلتر ۳۴
شکل (۳-۴): جبران‌سازی جریان مصرف‌کننده توسط فیلتر فعال قدرت موازی ۳۵
شکل (۳-۵): ساختار فیلتر فعال قدرت سری ۳۶
شکل (۳-۶): نمایی از بازیاب دینامیکی ولتاژ و علل استفاده از آن در شبکه برق ۳۸
شکل (۳-۷): مدار معادل بازیاب دینامیکی ولتاژ ۳۹
شکل (۳-۸): ساختار کلی بازیاب دینامیکی ولتاژ ۴۰
شکل (۳-۹): نمای فیلتر هارمونیکی مرسوم، به‌صورت تک‌فاز ۴۲
شکل (۳-۱۰): نحوه‌ی اتصال مبدل موازی به شبکه، مبدل موازی سمت مصرف‌کننده ۴۳
شکل (۳-۱۱): نحوه‌ی اتصال مبدل موازی به شبکه، مبدل موازی سمت شبکه ۴۳
شکل (۴-۱): بردارهای سه فاز abc و بردارهای قاب مرجع ساکن ۵۰
شکل (۴-۲): بردارهای سه فاز abc و بردارهای قاب مرجع سنکرون ۵۱
شکل (۴-۳): روش کنترلی قاب مرجع سنکرون با کنترل‌کننده‌ی PI ۵۳
شکل (۴-۴): روش کنترلی قاب مرجع سنکرون با کنترل‌کننده‌ی منطق فازی ۵۳
شکل (۴-۵): الگوی سوییچ‌زنی هیسترزیس ۵۵
شکل (۴-۶): روش PWM دوطرفه‌ی ولتاژ ۵۶
شکل (۴-۷): ساختار کلی کنترل تک سیکلی ۵۷
شکل (۵-۱): شماتیک بازیاب دینامیکی ولتاژ مطالعه شده ۶۲
شکل (۵-۲): مدار قدرت بازیاب دینامیکی ولتاژ مطالعه شده ۶۳

شکل (۵-۳): اینورتر منبع ولتاژ ۶ سوییچه DVR مطالعه شده ۶۴
شکل (۵-۴): اینورتر منبع ولتاژ ۱۲ سوییچه بازیاب دینامیکی ولتاژ مطالعه شده ۶۵
شکل (۵-۵): تأمین منبع انرژی بازیاب دینامیکی ولتاژ توسط سه سوییچ به همراه شبکه‌ی سه فاز ۶۶
شکل (۵-۶): تأمین منبع انرژی بازیاب دینامیکی ولتاژ توسط باتری ۶۷
شکل (۵-۷): نحوه‌ی افزایش سرعت انتگرال‌گیری کنترل‌کننده‌ی تک سیکلی طراحی‌شده ۶۸
شکل (۵-۸): تقدم ریست شدن فلیپ فلاپ RS ۶۹
شکل (۵-۹): ریست شدن فلیپ فلاپ با مقایسه‌ی سیگنال مرجع و خروجی انتگرال‌گیر، برای بخش مثبت فاز b ۷۰
شکل (۵-۱۰): مسیر خطای قابل اغماض ریست کننده‌ی فلیپ فلاپ RS ۷۱
شکل (۵-۱۱): مسیر کارکرد اصلی از منظر کلان، برای بخش مثبت فاز b ۷۱
شکل (۵-۱۲): مسیر ریست شدن فلیپ فلاپ با مقایسه‌ی سه ولتاژ شبکه و مطلوب و مصرف‌کننده، برای بخش منفی فاز b ۷۲
شکل (۵-۱۳): مسیر اصلاح عملکرد با بخش نامرتبط، برای بخش مثبت فاز b ۷۳
شکل (۵-۱۴): مسیر اصلاح عملکرد با بخش نامرتبط، برای بخش منفی فاز b ۷۴
شکل (۵-۱۵): کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی در یک نگاه ۷۵
شکل (۵-۱۶): نمونه‌ای از عملکرد کنترل‌کننده‌ی پیشنهادی به همراه سیگنال‌های مربوطه ۷۶
شکل (۵-۱۷): تعریف زمان و مقدار اغتشاش در نرم‌افزار PSCAD ۷۷
شکل (۵-۱۸): نحوه‌ی تعریف ولتاژهای شبکه پیش و حین و پس از اغتشاش ۷۸
شکل (۵-۱۹): تعریف ولتاژهای سه فاز شبکه با استفاده از بلوک زمان ۷۹
شکل (۶-۱): کمبود ولتاژ و بیش‌بود ولتاژ به‌صورت متقارن در ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط شبکه ۸۲
شکل (۶-۲): کمبود ولتاژ و بیش‌بود ولتاژ به‌صورت متقارن در ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط باتری ۸۳
شکل (۶-۳): کمبود ولتاژ و بیش‌بود ولتاژ به‌صورت متقارن در ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط باتری و ۶ سوییچ در اینورتر منبع ولتاژ ۸۴
شکل (۶-۴): کمبود ولتاژ و بیش‌بود ولتاژ به‌صورت نامتقارن در ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط شبکه ۸۵
شکل (۶-۵): کمبود ولتاژ و بیش‌بود ولتاژ به‌صورت نامتقارن در ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط باتری ۸۶
شکل (۶-۶): کمبود و بیش‌بود ولتاژ به‌صورت متقارن در ولتاژ شبکه به ازای تغییر پارامترهای بار با تأمین انرژی توسط شبکه ۸۷
شکل (۶-۷): کمبود و بیش‌بود ولتاژ به‌صورت متقارن در ولتاژ شبکه به ازای تغییر پارامترهای بار با تأمین انرژی توسط باتری ۸۸
شکل (۶-۸): نوسانات ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط شبکه ۸۹

شکل (۶-۹): نوسانات ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط باتری ۹۰
شکل (۶-۱۰): هارمونیک در ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط شبکه ۹۱
شکل (۶-۱۱): هارمونیک در ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط باتری ۹۲
شکل (۶-۱۲): قطعی ولتاژ شبکه با تأمین انرژی توسط باتری ۹۳

فهرست اختصارات (Abbreviations)

AC	Alternative Current
APF	Active Power Filter
BESS	Battery Energy Storage System
CUPS	CUstom Power Systems
DC	Direct Current
D-FACTS	Flexible AC Transmission Systems
DSC	Distribution Series Capacitors
D-STATCOM	Distribution Static Compensator
DVR	Dynamic Voltage Restorer
FACTS	Flexible AC Transmission System
GTO	Gate Turn-Off thyristor
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
PFC	Power Factor Correction
OCC	One Cycle Control
PLC	Power Line Carrier
PLL	Phase Locked Loop
PWM	Pulse Width Modulation
SA	Surge Arresters
SCL	Static Current Limiter
SETC	Static Electronic Tap Changers
SMES	Super Conducting Magnetic Energy Systems
SSFCL	Solid- State Fault Current Limiter
SSTS	Solid- State Transfer Switches
STATCOM	Static Synchronous Compensator
STS	Static Transfer Switch
SVC	Static Var Compensator
THD	Total Harmonic Distortion
TSC	Thyristor Switched Capacitors
UPQC	Unified Power Quality Cmpensator
UPS	Uninterruptible Power Supply
VSC	Voltage Source Converter
VSI	Voltage Source Inverter

فهرست نمادها

Er_Lk	خطای بین ولتاژ مصرف‌کننده و ولتاژهای مطلوب برای فاز k	k=a,b,c
Er_Sk	خطای بین ولتاژ شبکه و ولتاژهای مطلوب برای فاز k	k=a,b,c
Erk	مرجع مقایسه در فاز k	k=a,b,c
Erk_es_neg	خروجی انتگرال‌گیری بخش منفی فاز k	k=a,b,c
Erk_es_pos	خروجی انتگرال‌گیری بخش مثبت فاز k	k=a,b,c
Error	خطای قابل اغماض	
Fing	ضریب انتگرال‌گیری	
Psag_k	درصد کمبود ولتاژ برای فاز شماره k	k=1-3
Pswell_k	درصد بیش‌بود ولتاژ برای فاز شماره k	k=1-3
R_Sk	ریست سوییچ k	k=1-6
Set	پالس ورودی Set فلیپ فلاپ RS	
te_sag_k	زمان پایان کمبود ولتاژ فاز شماره k	k=1-3
te_swell_k	زمان پایان بیش‌بود ولتاژ فاز شماره k	k=1-3
ts_sag_k	زمان شروع کمبود ولتاژ فاز شماره k	k=1-3
ts_swell_k	زمان شروع بیش‌بود ولتاژ فاز شماره k	k=1-3
V_dc	ورودی انتگرال‌گیر یا ولتاژ لینک مستقیم	
V_ds_k	ولتاژ مطلوب برای فاز k	k=a,b,c
VD,k	ولتاژ تزریقی بازیاب دینامیکی ولتاژ برای فاز k	k=a,b,c
Vinj_pos	ولتاژ ورودی اینورتر منبع ولتاژ	
VLm	ولتاژ ماکزیمم فازی	
Vm_sag_k	ولتاژ ماکزیمم پس از تأثیر کمبود ولتاژ برای فاز k	k=1-3
Vm_swell_k	ولتاژ ماکزیمم پس از تأثیر بیش‌بود ولتاژ برای فاز k	k=1-3
VSk	ولتاژ شبکه برای فاز k	k=a,b,c

فهرست الفاظ فارسی جایگزین لغات لاتین موجود در پایان‌نامه

AC	متناوب
Automatic (اتوماتیک)	خودکار
Coupling (کوپلاژ)	تزویج
DC	مستقیم
D-STATCOM	جبران‌ساز استاتیکی سیستم توزیع
DVR	بازیاب دینامیکی ولتاژ
Flicker voltage	نوسانات ولتاژ
OCC	کنترل تک سیکلی
Regulator (رگلاتور)	تنظیم‌کننده
Shielding (شیلدینگ)	حفاظ گذاری
Standby	آمادگی کار
STS	سوییچ انتقال استاتیکی
SVC	جبران‌ساز استاتیکی توان راکتیو
Tap changer (تپ چنجر)	کلید پله‌ای
UPS	منبع برق بی‌وقفه
Voltage sag (کاهش دینامیکی ولتاژ)	کمبود ولتاژ
Voltage swell (افزایش دینامیکی ولتاژ)	بیش‌بود ولتاژ

فصل اول: مقدمه

۱–۱– مقدمه

انرژی الکتریکی از حدود سال‌های ۱۸۰۰ مطرح‌شده و اولین سیستم‌های قدرت در حدود سال‌های ۱۸۸۰ شکل‌گرفته و به دلایل گوناگون از قبیل تمیز بودن، سهولت تولید و تبدیل و قابلیت کنترل آن، امروزه جایگاه اساسی را در چرخه زندگی ایجاد کرده است. درعین‌حال با پیشرفت فن‌آوری و تولید دستگاه‌های الکتریکی و حساس و از حدود سال‌های ۱۹۸۰، مقوله کیفیت توان نیز اهمیت بسیاری یافته است. درگذشته کیفیت توان به‌عنوان قابلیت شرکت‌های برق در تأمین برق بدون وقفه، تعریف می‌شد؛ اما به سبب افزایش مصرف‌کننده‌های حساس و ادوات الکترونیک قدرت، هم‌اکنون کیفیت توان با تعاریف دقیق‌تر به مقوله مهمی برای مشتریان و نیز شرکت‌های برق تبدیل‌شده است. کاربردهای جدید مانند ریزپردازنده‌ها، کامپیوترها، وسایل الکترونیکی، سیستم‌های تغذیه و کنترل الکتروموتورها، کوره‌های القایی، لامپ‌های کم‌مصرف و غیره از یک‌سو حساس‌اند و به توان الکتریکی با کیفیت مطلوب نیاز دارند و از طرفی خود منشأ برخی پدیده‌های مخل کیفیت توان می‌باشند [۱].

ولتاژ تولیدی نیروگاه‌ها اغلب به‌صورت سینوسی با کیفیت بالاست. به‌طورکلی کاربرد گسترده‌ی الکترونیک قدرت، مصرف‌کننده‌های غیرخطی و خطاها یا اتصالی‌های شبکه ولتاژ تولیدی را از حالت سینوسی خارج می‌کنند. به همین دلیل توجه به کیفیت توان روزافزون و غیرقابل اغماض شده است و مطالعات در این زمینه به بحث مهمی بدل گشته است.

مصرف‌کننده‌های حساس به ولتاژی به شکل سینوسی با فرکانس ثابت و متقارن و با دامنه‌ی ثابت برای عملکرد صحیح خود نیاز دارند. برای ارضای این تقاضا باید اغتشاشات از ولتاژ سیستم توزیع برق حذف گردد [۲].

ادوات مختلفی برای جبران انواع اغتشاشات کیفیت توان فراهم شدند که هرکدام برای یک یا چند هدف بکار می‌روند. در یک منظر باید ادوات را به دو یا سه دسته تقسیم‌بندی نمود. نحوه‌ی تقسیم‌بندی را می‌توان ابزار انگاری نام نهاد. در این نگاه، دسته‌ی اول آن‌هایی هستند

که اغتشاش کیفیت توان را برای شرکت برق اصلاح می‌نمایند و درواقع به استمداد شرکت برق می‌آیند، این دسته غالباً بر روی جریان مصرفی مانور می‌دهند و آن را برای شرکت برق بهبود می‌بخشند. در دسته‌ی دوم جبران‌سازهایی قرار دارند که اغتشاش را برای مصرف‌کننده اصلاح می‌نمایند و یاری مصرف‌کننده، علت وجودشان است، این ادوات اغلب بر روی ولتاژ مصرف‌کننده عملیاتی را انجام می‌دهند. دسته‌ی سوم هر دو ویژگی را دارا هستند. با اینکه در نگاه اول دسته‌ی سوم بیشترین کارایی را دارند اما حضور دسته‌ی اول و دسته‌ی دوم در مدارات عملی پررنگ‌تر است. علت را می‌توان این‌گونه بیان نمود که غیر از طراحی و هزینه‌ی بیشتر ادوات دسته‌ی سوم، مصرف‌کننده یا شرکت برق سودای خود دارند و سنگ خویش بر سینه می‌کوبند و این حقیقتاً عامل مهمی در مباحث اقتصادی و صنعتی است. ذکر این نکته خالی از لطف نیست که برای برخی مصرف‌کننده‌های حساس حتی تحت شرایطی که ولتاژ تغذیه آن‌ها از حد مجاز هم خارج نشده باشد باز هم این مصرف‌کننده‌های حساس عملکرد مطلوبی ندارد. با این توضیح، یک روش برای داشتن عملکرد بهتر تجهیزات ایجاد استانداردهایی برای کارخانه‌های سازنده است که قطعات مصرفی طوری ساخته شوند که به تغییرات جزئی ولتاژ حساس نباشند. این نوع کم اثر کردن مشکلات کیفیت توان را اصلاح توسط وسایل[1] میگویند [۳].

در این تحقیق از بازیاب دینامیکی ولتاژ استفاده شده که از ادوات دسته‌ی دوم است و به دنبال افزایش آسودگی مصرف‌کننده می‌باشد. انگیزه‌ی این انتخاب موارد متعددی بود که می‌توان به آن‌ها با این توصیف اشاره نمود. امروزه حرکت شرکت‌های دولتی و خصوصی به سمت افزایش جذب رضایت مصرف‌کننده است و با بازیاب دینامیکی ولتاژ می‌توان رضایت هر چه بیشتر مصرف‌کننده‌های حساس را کسب کرد. بازیاب دینامیکی ولتاژ عنصری است که هر مصرف‌کننده حساس نیز اگر به افزایش قابلیت اطمینان ولتاژ ورودی‌اش می‌اندیشد می‌تواند از آن بهره جوید و به نصب آن در فیدر مصرفی‌اش اقدام نماید.

۱-۲- مروری بر کارهای دیگران

در مورد ادوات جبران‌ساز بسیار سخن‌ها گفته‌اند و هر کس به‌اندازه‌ی بضاعت خویش در ساختن این بنا همت گماشته است [۴]. اگر بخواهیم صرفاً به بازیاب دینامیکی ولتاژ نظری

[1] Load Conditioning

بیندازیم که هم از اصل پایان‌نامه دور نشده باشیم و هم مثنوی هفتاد من کاغذ نشود، می‌توان به زحمات کشیده شده پیشینیان در این مقوله پرداخت. برخی بر روی توپولوژی‌های بازیاب دینامیکی ولتاژ کارکرده‌اند [۵-۸]. عده‌ای بر روی ساختار بازیاب دینامیکی ولتاژ تحقیق نمودند [۹, ۱۰]. بر روی بهینه‌سازی انرژی انتقالی از بازیاب دینامیکی ولتاژ نیز توسط افرادی کارشده است [۱۱, ۱۲]. بعضی نیز بر روی کنترل‌کننده‌ی بازیاب دینامیکی ولتاژ تمرکز کرده‌اند [۱۳-۲۱].

همه و همه به دنبال افزایش راندمان، کاهش هزینه، کاهش خطا و متمایل نمودن آن به سمت صفر، مرتبط ساختن کنترل‌کننده‌های جدید با بازیاب دینامیکی ولتاژ و مثمر شدن هرچه بیشتر بازیاب دینامیکی ولتاژ در یک‌کلام بهبود کلان بازیاب دینامیکی ولتاژ بوده‌اند. در این مطالعه به‌قدر بضاعت از کنترل‌کننده‌ای نسبتاً قدیمی با عنوان کنترل تک سیکلی استفاده شده است [۲۲, ۲۳]. اگرچه برای بهبود پاسخ، ساختار کنترل تک سیکلی تا حدودی تغییر داده شده است ولی در کلیت کنترل‌کننده تغییر چندانی ایجاد نشده است. جای تعجب است که پیش از این در سال ۲۰۰۳ از کنترل تک سیکلی برای فیلتر اکتیو موازی استفاده شده است [۲۳] ولی تاکنون کسی در اندیشه‌ی استعاره از این کنترل‌کننده برای بازیاب دینامیکی ولتاژ نبوده است. چراکه طراحی کنترل‌کننده‌ها با توجه به هم هدف بودن ادوات جبران‌ساز تا حدودی به هم شبیه هستند و با همتی ممدوح می‌توان به آن نائل شد. فزونی تعجب آنجاست که این کنترل‌کننده دارای محاسن زیادی است و جذب شدن طراحان به سمت آن از واضحات است. مزایایی نظیر پاسخ ماندگار و دینامیکی خوب، سادگی در یادگیری و تجزیه و تحلیل، مجاورت بی‌بدیل با فضای واقعی و قابلیت بدل ساختن جبران‌ساز طراحی‌شده با کنترل تک سیکلی از فضای سیمولینک به فضای عملی و غیره، باعث می‌شود که نگاه به این کنترل‌کننده بیش از پیش تعالی یابد [۲۴, ۲۵]. پاسخ را شاید عدم توجه یا عدم اطمینان از پاسخ یافتن پیوند این دو یعنی بازیاب دینامیکی ولتاژ با کنترل تک سیکلی یا هر دلیل دیگر دانست. به هر روی در این تحقیق برای اولین بار این اقدام انجام داده شده است که به‌طور کامل در ادامه تشریح خواهد گشت.