دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق – قدرت

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - قدرت

عنوان فارسی

بازگردان دینامیک ولتاژ مبتنی بر مبدل منبع امپدانسی

استاد راهنما:

دکتر ابراهیم بابایی

استاد مشاور:

دکتر مهرداد طرفدارحق

پژوهشگر:

سامان تراب‌زاد محمودآبادی

بهمن ۸۹

نام خانوادگی: ترابزاد محمودآبادی **نام**: سامان

عنوان پایان‌نامه: بازگردان دینامیک ولتاژ مبتنی بر مبدل منبع امپدانسی

استاد راهنما: دکتر ابراهیم بابائی

استاد مشاور: دکتر مهرداد طرفدارحق

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی برق **گرایش**: قدرت **دانشگاه**: تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ‌التحصیلی**: ۸۹ /۱۱/۳۰ **تعداد صفحه**: ۱۱۸

کلید واژه‌ها: بازگردان دینامیک ولتاژ، مبدل منبع امپدانسی، یکسوساز، کیفیت توان، کمبود ولتاژ، بیشبود ولتاژ، اتصال‌کوتاه، هارمونیک، مبدل dc به dc افزایشی

چکیده: کمبود ولتاژ پدیده‌ای است که در پی افت ناگهانی ولتاژ و عمدتاً به دلیل وقوع اتصال‌کوتاه در شبکه اتفاق می‌افتد. کمبود ولتاژ سبب آسیب دیدن بارهای حساس به ولتاژ می‌شود. یک راه حل اساسی برای حفاظت این نوع بارها استفاده از بازگردان دینامیک ولتاژ (DVR) است. بازگردان دینامیک ولتاژ با بازیابی ولتاژ در سمت بار هنگام بروز مشکلاتی چون وقوع کمبود ولتاژ، عمل حفاظت از این نوع بارها را انجام می‌دهد. بازگردان دینامیک ولتاژ معمولی عمدتاً شامل مبدل سری VSI، فیلتر هارمونیک، ترانسفورماتور تزریق سری، خازن لینک dc و واحد تغذیه انرژی لینک dc است. واحد تغذیه لینک dc می‌تواند به صورت یکسوساز موازی باشد که به صورت پشت به پشت از طریق خازن dc به مبدل سری وصل است. ساختار مبتنی بر مبدل یکسوساز موازی به دو صورت قابل پیاده‌سازی می‌باشد. در ساختار نوع اول مبدل سری در سمت بار و مبدل موازی در سمت منبع قرار دارد. در سیستم مبتنی بر یکسوساز سمت منبع انرژی لازم برای جبران‌سازی کمبود ولتاژ از خازن لینک dc گرفته می‌شود و خازن باید دارای ظرفیت کافی برای ذخیره و تامین انرژی مبدل سری را داشته باشد. در ساختار نوع دوم مبدل سری در سمت منبع و یکسوساز موازی در سمت بار قرار دارد. در این ساختار با فرض اینکه مبدل سری همواره ولتاژ بار را در مقدار مطلوب خود نگه می‌دارد، یکسوساز در زمان وقوع کمبود ولتاژ نیز قادر به تأمین انرژی لینک dc است بنابراین خازن dc نقش عمده‌ای در تامین انرژی مبدل سری نخواهد داشت و اندازه آن کاهش می‌یابد. اما در ساختار نوع اول با وقوع کمبود ولتاژ یکسوساز قادر به تامین انرژی لینک dc نخواهد بود و همانطور که بیان شد، نیاز به خازنی با اندازه بزرگ می‌باشد. ساختار DVR مبتنی بر یکسوساز موازی سمت بار توانسته‌است اندازه خازن لینک dc را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. یکی از ملاحظات مهم در عملکرد DVR، مواجههٔ این تجهیز با وقوع خطای اتصال‌کوتاه پایین‌دست می‌باشد. در اغلب ساختارهای سنتی، در این حالت برای محافظت از DVR، آن را بکمک کلیدهای پسیو از مدار خارج می‌کنند. کاهش دینامیکی جریان اتصال‌کوتاه در سمت بار در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن ارائه شده‌است. ساختارهای DVR مبتنی بر یکسوساز سمت منبع و بار قابلیت محدود ساختن جریان خطا در پی وقوع اتصال‌کوتاه در

پایین‌دست DVR را دارند. اما این ساختارها در جبران‌سازی کمبود ولتاژهای طولانی و عمیق کارایی مناسبی ندارد. اخیراً مبدل منبع امپدانسی برای غلبه بر مشکلات VSI ارائه شده‌است. در این سیستم نیاز به تعداد زیادی نیمه‌هادی بوده و دارای عناصر پسیو بزرگ است و به دلیل استفاده از روش کنترل ساده برای کنترل ZSI دارای استرس ولتاژ بزرگ و نیازمند کلیدهایی با توان بالا می‌باشد. سیستم ارائه‌شده با استفاده از یک مبدل بوست dc-dc بین مبدل و خازن لینک dc نیز قابل پیاده‌سازی است. استفاده از مبدل بوست باعث افزایش حجم، قیمت و پیچیدگی سیستم و همچنین افزایش تلفات و کاهش راندمان می‌شود.

سیستم‌های مبتنی بر VSI دارای مشکل حساسیت به EMI می‌باشند که سبب افزایش THD ولتاژ خروجی مبدل می‌شود. این مورد در حضور ZSI برطرف می‌شود. در این پایان‌نامه ساختار جدیدی برای DVR مبتنی بر یکسوساز موازی سمت منبع برای جبران‌سازی کمبود ولتاژهای با دوره زمانی طولانی ارایه می‌شود. در این سیستم، مبدل منبع امپدانسی جایگزین مبدل VSI می‌شود. سیستم حاصل علاوه بر جبران کمبود ولتاژهای طولانی قابلیت کاهش دینامیکی جریان خطای پایین‌دست را هم دارد و اندازه المان ذخیره‌کننده انرژی نیز کاهش می‌یابد. مساله TSDPR (Total Switching Device Power Rating) در سیستم پیشنهادی محاسبه و با سیستم‌های موجود مقایسه شده‌است. پارامتر TSDPR در سیستم پیشنهادی کمتر از سیستم مبتنی بر مبدل بوست dc-dc می‌باشد. برای کنترل ZSI سه روش کنترل ساده، کنترل حداکثر بوست و کنترل حداکثر بوست ثابت در مقالات مختلف بیان شده‌است که در این پایان‌نامه روش کنترل ساده برای کنترل مبدل اجرا شده‌است

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فهرست شکل‌ها.....۷
فهرست جداول.....۱۳

فصل اول مقدمه.....۱۴

فصل دوم مبانی و روش‌ها.....۱۹
۲-۱- مقدمه.....۲۰
۲-۲- مشکلات کیفیت توان.....۲۵
۲-۲-۱- پروفیل بار مصرف‌کنندگان.....۲۶
۲-۲-۱-۱- صنایع سنگین.....۲۶
۲-۲-۱-۲- کارخانجات.....۲۶
۲-۲-۱-۳- مصرف‌کنندگان تجاری.....۲۷
۲-۲-۱-۴- مصرف‌کنندگان خانگی.....۲۷
۲-۲-۲- منشا بروز مشکل در کیفیت توان.....۲۸
۲-۲-۲-۱- ادوات الکترونیک قدرت.....۲۸
۲-۲-۲-۲- تجهیزات دفتری و فن‌آوری اطلاعات.....۲۸
۲-۲-۲-۳- تجهیزات قوس الکتریکی.....۲۸
۲-۲-۲-۴- کلیدزنی بار.....۲۸
۲-۲-۲-۵- راه‌اندازی موتورهای بزرگ.....۲۸
۲-۲-۲-۶- تولید پراکنده.....۲۹
۲-۲-۲-۷- تجهیزات حساس.....۲۹
۲-۲-۲-۸- طوفان و مشکلات ناشی از عوامل محیطی.....۳۰
۲-۲-۲-۹- کلیدزنی خازنی.....۳۱
۲-۲-۳- وقفه.....۳۱
۲-۲-۴- کمبود ولتاژ.....۳۲

۲-۲-۵- بیشبود ولتاژ ۳۳
۲-۲-۶- فلیکر ولتاژ ۳۳
۲-۲-۷- هارمونیک‌ها ۳۴
۲-۲-۸- حالات گذرا ۳۴
۲-۲-۹- مشکل تداخل میدان مغناطیسی ۳۵
۲-۲-۱۰- استانداردهای کیفیت توان ۳۵
۲-۳- Custom Power ۳۵
۲-۴- تجهیزات Custom Power ۳۸
۲-۴-۴- بازگردان دینامیک ولتاژ ۳۸
۲-۵- ساختار و عملکرد بازگردان دینامیک ولتاژ ۴۱
۲-۵-۱- واحد ذخیره‌ساز انرژی (dc energy storage device) ۴۱
۲-۵-۲- مبدل (Inverter) ۴۲
۲-۵-۳- فیلترهای پسیو ۴۳
۲-۵-۴- کلید بای‌پس ۴۳
۲-۵-۵- ترانسفورماتور تزریق ولتاژ ۴۴
۲-۶- انواع ساختارهای DVR ۴۵
۲-۷- شرایط عملکرد DVR ۴۹
۲-۷-۱- هنگام بروز کمبود/بیشبود ولتاژ در خط ۴۹
۲-۷-۲- هنگام عملکرد عادی ۴۹
۲-۷-۳- هنگام بروز اتصال‌کوتاه یا خطا در پایین‌دست خط توزیع ۵۰
۲-۸- روش‌های جبران‌سازی توسط DVR ۵۰
۲-۸-۱- جبران‌سازی Pre-sag ۵۱
۲-۸-۲- جبران‌سازی In-phase ۵۱
۲-۸-۳- روش Energy optimization ۵۲
۲-۹- نکات قابل توجه در مورد مبدل‌های منبع ولتاژ و جریان ۵۳
۲-۱۰- مبدل منبع امپدانسی ۵۵
۲-۱۰-۱- روش‌های کنترل مبدل منبع امپدانسی ۶۳
۲-۱۰-۱-۱- روش کنترل ساده (Simple Control) ۶۳
۲-۱۰-۱-۲- روش کنترل حداکثر بوست: ۶۵
۲-۱۰-۱-۳- روش کنترل حداکثر بوست ثابت: ۶۶

۲-۱۱- مقدار توان تجهیزات کلیدزنی (switching device power rating).....۶۷
۲-۱۱-۱- شاخص TSDPR در مبدل منبع ولتاژ معمولی: ۶۸
۲-۱۱-۲- شاخص TSDPR در مبدل منبع ولتاژ با مبدل dc به dc در ورودی.....۶۹
۲-۱۱-۳- شاخص TSDPR در مبدل منبع امپدانسی.....۷۰
۲-۱۲- سیستم DVR مبتنی بر ZSI تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت منبع.....۷۳
۲-۱۲-۱- محاسبهٔ اندازه خازن در سیستم پیشنهادی برای مواجهه با حداقل ریپل.....۷۴
۲-۱۲-۲- بررسی سیلان جریان در سیستم پیشنهادی.....۷۷
۲-۱۲-۳- رابطهٔ اندازهٔ سلف با ضریب بوست، ریپل جریان و مقدار جریان عبوری.....۷۹
۲-۱۳- ساختار DVR مبتنی بر VSI تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت منبع.....۸۲
۲-۱۴- ساختار DVR مبتنی بر VSI تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت بار.....۸۲
۲-۱۵- ساختار DVR مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار.....۸۲

فصل سوم نتایج و بحث.....۸۴
۳-۱- مقدمه.....۸۵
۳-۲- عملکرد سیستم پیشنهادی بااستفاده از مبدل‌های تمام‌پل و نیم‌پل در رفع افت ولتاژ متعادل و نامتعادل.....۸۶
۳-۳- جبران افت ولتاژ.....۹۳
۳-۴- جبران بیشبود ولتاژ.....۱۱۲
۳-۵- هارمونیک.....۱۱۴
۳-۶- مقابله با اتصال‌کوتاه.....۱۱۸

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....۱۲۵

منابع.....۱۳۴

چکیدهٔ انگلیسی.....۱۴۰

شکل.....صفحه

شکل ۲-۱. مدل بلوکی سیستم قدرت کلاسیک.....۲۳
شکل ۲-۲. مدل جدید سیستم قدرت.....۲۴
شکل ۲-۳. اغتشاش وارد بر یک شکل‌موج در طول انرژی‌دار کردن بانک خازنی در یک سیستم انتقال.....۳۱
شکل ۲-۴. وقفه، بصورت قطع کامل ولتاژ منبع یا جریان بار.....۳۱
شکل ۲-۵. عملکرد کلی DVR.....۳۹
شکل ۲-٦. دیاگرام شماتیکی یک DVR.....۴۰
شکل ۲-۷. مدار قدرت و واحدهای یک DVR.....۴۲
شکل ۲-۸. فیلترهای پسیو در سمت اولیه و ثانویهٔ ترانس.....۴۴
شکل ۲-۹. ترانسفورماتور تزریق تک‌فاز بصورت ساختارهای مثلث/باز یا ستاره/باز.....۴۴
شکل ۲-۱۰. تأمین انرژی از طریق یک مبدل موازی متصل به خط در سمت منبع.....۴۶
شکل ۲-۱۱. تأمین انرژی از طریق یک مبدل موازی متصل به خط در سمت بار.....۴۶
شکل ۲-۱۲. ذخیرهٔ انرژی در لینک dc و ولتاژ متغیر آن.....۴۶
شکل ۲-۱۳. استفاده از یک ذخیره‌ساز انرژی دلخواه و یک لینک dc قابل کنترل.....۴۷
شکل ۲-۱۴. مدار سیستم قدرت یک DVR.....۵۱
شکل ۲-۱۵. روش جبران‌سازی Pre-sag.....۵۱
شکل ۲-۱۶. روش جبران‌سازی In-phase.....۵۲
شکل ۲-۱۷. روش Energy optimization.....۵۲
شکل ۲-۱۸. ترکیب تکنیک‌های جبران‌سازی Pre-sag و In-phase.....۵۳
شکل ۲-۱۹. ساختار پایه‌ای مبدل منبع امپدانسی پیشنهادی توسط دکتر پنگ.....۵۶
شکل ۲-۲۰. ساختار پایه‌ای مبدل منبع امپدانسی در ترکیب با مبدل سه‌فاز.....۵۶
شکل ۲-۲۱. استفاده از مبدل dc به dc افزاینده.....۵۶
شکل ۲-۲۲. ساختار یک مبدل منبع امپدانسی.....۵۷
شکل ۲-۲۳. مدار معادل ZSI را از دید لینک dc.....۵۸

شکل ۲-۲۴. شکل‌موج‌های جریان و ولتاژ مدار..... ۶۱
شکل ۲-۲۵. روش کنترل ساده..... ۶۴
شکل ۲-۲۶. نمودار بهره بر حسب شاخص مدولاسیون..... ۶۵
شکل ۲-۲۷. روش کنترل حداکثر بوست..... ۶۶
شکل ۲-۲۸. تکنیک تزریق هارمونیک سوم..... ۶۶
شکل ۲-۲۹. شیوهٔ کنترل حداکثر بوست ثابت..... ۶۷
شکل ۲-۳۰. تکنیک تزریق هارمونیک سوم..... ۶۷
شکل ۲-۳۱. مبدل dc به dc..... ۶۹
شکل ۲-۳۲. مدار معادل مبدل در حالت اتصال‌کوتاه از نوع سه‌ساق..... ۷۱
شکل ۲-۳۳. بلوک دیاگرام سیستم پیشنهادی..... ۷۴
شکل ۲-۳۴. بلوک دیاگرام روش کنترلی ساختار پیشنهادی..... ۷۴
شکل ۲-۳۵. سیستم تغذیه‌شونده با یکسوساز سمت بار..... ۷۶
شکل ۲-۳۶. سیستم تغذیه‌شونده با یکسوساز سمت منبع..... ۷۶
شکل ۲-۳۷. منحنی تغییرات اندازهٔ سلف با تغییر ضریب بوست و ریپل جریان..... ۸۱
شکل ۲-۳۸. منحنی تغییرات اندازهٔ سلف با تغییر ضریب بوست و جریان سلف..... ۸۱
شکل ۲-۳۹. بلوک دیاگرام ساختار DVR مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار..... ۸۳
شکل ۳-۱. ساختار DVR مبتنی بر VSI تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت منبع..... ۸۵
شکل ۳-۲. ساختار DVR مبتنی بر VSI تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت بار..... ۸۵
شکل ۳-۳. ساختار DVR مبتنی بر مبدل dc به dc افزایشی تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت بار..... ۸۵
شکل ۳-۴. ساختار DVR مبتنی بر ZSI تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت منبع (ساختار پیشنهادی)..... ۸۶
شکل ۳-۵. دو ساختار نیم‌پل و تمام‌پل..... ۸۷
شکل ۳-۶. منبع سه‌فاز مواجه با افت ۴۰٪ متعادل..... ۸۷
شکل ۳-۷. جبران کمبود ولتاژ ۴۰٪ متعادل در ساختار تمام‌پل..... ۸۸
شکل ۳-۸. جبران کمبود ولتاژ ۴۰٪ متعادل در ساختار نیم‌پل..... ۸۸

شکل ۳-۹. منبع سه‌فاز مواجه با افت نامتعادل.....۸۸
شکل ۳-۱۰. جبران کمبود ولتاژ نامتعادل در ساختار تمام‌پل.....۸۹
شکل ۳-۱۱. جبران کمبود ولتاژ نامتعادل در ساختار نیم‌پل.....۸۹
شکل ۳-۱۲. ابتدای شکل موج منبع در کمبود تک‌فاز.....۸۹
شکل ۳-۱۳. بزرگ‌نمایی شدهٔ ابتدای پروسهٔ جبران‌سازی در ساختار تمام‌پل در جبران کمبود تک‌فاز از لحظهٔ t=۱ ثانیه.....۹۰
شکل ۳-۱۴. بزرگ‌نمایی شدهٔ ابتدای پروسهٔ جبران‌سازی در ساختار نیم‌پل در جبران کمبود تک‌فاز از لحظهٔ t=۱ ثانیه.....۹۰
شکل ۳-۱۵. ابتدای شکل موج منبع در کمبود دوفاز.....۹۰
شکل ۳-۱۶. بزرگ‌نمایی‌شدهٔ ابتدای پروسهٔ جبران‌سازی در ساختار تمام‌پل در جبران کمبود دوفاز از لحظهٔ t=۱/۱ ثانیه.....۹۱
شکل ۳-۱۷. بزرگ‌نمایی شدهٔ ابتدای پروسهٔ جبران‌سازی در ساختار نیم‌پل در جبران کمبود دوفاز از لحظهٔ t=۱/۱ ثانیه.....۹۱
شکل ۳-۱۸. ابتدای شکل موج منبع در کمبود سه‌فاز نامتعادل.....۹۱
شکل ۳-۱۹. بزرگ‌نمایی شدهٔ ابتدای پروسهٔ جبران‌سازی در ساختار تمام‌پل در جبران کمبود سه‌فاز نامتعادل از لحظهٔ t=۱/۲ ثانیه.....۹۲
شکل ۳-۲۰. بزرگ‌نمایی شدهٔ ابتدای پروسهٔ جبران‌سازی در ساختار نیم‌پل در جبران کمبود سه‌فاز نامتعادل از لحظهٔ t=۱/۲ ثانیه.....۹۲
شکل ۳-۲۱. شکل موج ولتاژ منبع تحت وقوع کمبود ولتاژ ۵۰٪ کوتاه‌مدت.....۹۳
شکل ۳-۲۲. عملکرد سیستم پیشنهادی در جبران افت ولتاژ ۵۰ درصدی.....۹۴
شکل ۳-۲۳. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع در جبران کمبود ولتاژ ۵۰ درصدی.....۹۵
شکل ۳-۲۴. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۵۰ درصدی.....۹۵
شکل ۳-۲۵. عملکرد ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۵۰ درصدی.....۹۵

شکل ۳-۲۶. شکل‌موج منبع سه‌فاز تحت وقوع کمبود ولتاژ ۹۰٪کوتاه‌مدت.....۹۶
شکل ۳-۲۷. عملکرد سیستم پیشنهادی در جبران افت ولتاژ ۹۰ درصدی کوتاه‌مدت.....۹۷
شکل ۳-۲۸. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع در جبران کمبود ولتاژ ۹۰ درصدی کوتاه‌مدت.....۹۸
شکل ۳-۲۹. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۹۰ درصدی کوتاه‌مدت.....۹۹
شکل ۳-۳۰. عملکرد ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۹۰ درصدی کوتاه‌مدت.....۹۹
شکل ۳-۳۱. شکل‌موج منبع ولتاژ سه‌فاز تحت وقوع کمبود ولتاژ ۵۰٪ طولانی مدت.....۱۰۱
شکل ۳-۳۲. عملکرد ساختار پیشنهادی در جبران کمبود ولتاژ ۵۰ درصدی طولانی مدت.....۱۰۲
شکل ۳-۳۳. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع در جبران کمبود ولتاژ ۵۰ درصدی طولانی مدت.....۱۰۳
شکل ۳-۳۴. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۵۰ درصدی طولانی.....۱۰۴
شکل ۳-۳۵. عملکرد ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۵۰ درصدی طولانی مدت.....۱۰۵
شکل ۳-۳۶. شکل‌موج ولتاژ منبع سه‌فاز تحت وقوع کمبود ولتاژ ۹۰٪ طولانی مدت.....۱۰۶
شکل ۳-۳۷. عملکرد ساختار پیشنهادی در جبران کمبود ولتاژ ۹۰ درصدی طولانی.....۱۰۷
شکل ۳-۳۸. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع در جبران کمبود ولتاژ ۹۰ درصدی طولانی.....۱۰۸
شکل ۳-۳۹. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۹۰ درصدی طولانی.....۱۰۹
شکل ۳-۴۰. عملکرد ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار در جبران کمبود ولتاژ ۹۰ درصدی طولانی مدت.....۱۱۰

شکل ۳-۴۱. نمودار هارمونیک سوم و THD ولتاژ بار در ساختار پیشنهادی حین جبران افت ولتاژ ۹۰ درصدی طولانی مدت.....۱۱۱
شکل ۳-۴۲. نمودار هارمونیک سوم و THD ولتاژ بار در ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار حین جبران افت ولتاژ ۹۰ درصدی طولانی مدت.....۱۱۲
شکل ۳-۴۳. شکل‌موج ولتاژ منبع تحت بروز بیشبود ولتاژ ۶۰٪.....۱۱۳
شکل ۳-۴۴. عملکرد ساختار پیشنهادی در جبران بیشبود ولتاژ ۶۰ درصدی.....۱۱۳
شکل ۳-۴۵. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع در جبران بیشبود ولتاژ ۶۰ درصدی.....۱۱۳
شکل ۳-۴۶. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار در جبران بیشبود ولتاژ ۶۰ درصدی.....۱۱۴
شکل ۳-۴۷. عملکرد ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار در جبران بیشبود ولتاژ ۶۰ درصدی.....۱۱۴
شکل ۳-۴۸. شکل‌موج منبع تحت حضور مولفه‌های هارمونیکی.....۱۱۵
شکل ۳-۴۹. عملکرد ساختار پیشنهادی در جبران هارمونیک ولتاژ.....۱۱۵
شکل ۳-۵۰. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع در جبران هارمونیک ولتاژ.....۱۱۶
شکل ۳-۵۱. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار در جبران هارمونیک ولتاژ.....۱۱۶
شکل ۳-۵۲. عملکرد ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار در جبران هارمونیک ولتاژ.....۱۱۶
شکل ۳-۵۳. نمودار هارمونیک سوم و THD ولتاژ بار در ساختار پیشنهادی حین جبران هارمونیک نامتعادل سه‌فاز.....۱۱۷
شکل ۳-۵۴. نمودار هارمونیک سوم و THD ولتاژ بار در ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع حین جبران هارمونیک نامتعادل سه‌فاز.....۱۱۷
شکل ۳-۵۵. نمودار هارمونیک سوم و THD ولتاژ بار در ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار حین جبران هارمونیک نامتعادل سه‌فاز.....۱۱۸
شکل ۳-۵۶. نمودار هارمونیک سوم و THD ولتاژ بار در ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار حین جبران هارمونیک نامتعادل سه‌فاز.....۱۱۸

شکل ۳-۵۷. عملکرد ساختار پیشنهادی در محدود کردن جریان خطا و قطع ولتاژ بار.....۱۱۹
شکل ۳-۵۸. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت منبع در محدود کردن جریان خطا و قطع ولتاژ بار.....۱۲۰
شکل ۳-۵۹. عملکرد ساختار مبتنی بر یکسوساز سمت بار در محدود کردن جریان خطا و قطع ولتاژ بار.....۱۲۱
شکل ۳-۶۰. عملکرد ساختار مبتنی بر چاپر dc به dc با ورودی سمت بار در محدود کردن جریان خطا و قطع ولتاژ بار.....۱۲۲
شکل ۳-۶۱. عملکرد سیستم پیشنهادی با خازنی کوچکتر از خازن پیشنهادی.....۱۲۳

جدول.....صفحه

جدول ۲-۱. استانداردهای کیفیت توان.....۳۶
جدول۲-۲ حالت‌های کلیدزنی اتصال‌کوتاه شبکه امپدانسی.....۵۹
جدول ۲-۳. مقایسهٔ SDPR دو ساختار چاپر dc به dc و ZSI.....۷۱
جدول ۲-۴ مقایسهٔ اندازه خازن در ساختار پیشنهادی و ساختار تغذیه‌شونده با یکسوساز سمت بار به ازای مقادیر مختلف کمبود ولتاژ.....۷۷
جدول ۳-۱ پارامترهای المان‌های بکاررفته.....۸۸
جدول ۳-۲ مشخصات پارامترهای سیستم‌ها.....۹۳
جدول ۳-۳ تنظیمات شبیه‌سازی در محیط PSCSD/EMTDC.....۹۳
جدول ۴-۱. مقایسهٔ چهار ساختار بررسی‌شده با امتیازدهی نسبی.....۱۲۹

فصل اول

مقدمه

معرفی و شرح موضوع

اختلال در کیفیت توان پدیده‌ای است شامل تمامی حالت‌هایی که در آن شکل‌موج ولتاژ منبع (کیفیت ولتاژ) یا جریان بار (کیفیت جریان) در یک، دو و یا تمامی فازهای یک سیستم سه‌فاز، با فرکانسی خاص و دامنه‌ای غیر از دامنهٔ نامی، از شکل سینوسی خود خارج گردد. اغتشاشات مربوط به کیفیت توان دامنهٔ وسیعی از مسائل من جمله تغییرات کوتاه‌مدت و آنی (حالات گذرای ضربه‌ای و نوسانی)، کمبودهای ولتاژ، قطعی‌های (وقفه‌ها) کوتاه‌مدت و نیز اختلالات پایداری چون هارمونیک‌ها و فلیکرها را تحت پوشش قرار می‌دهد. البته به سادگی می‌توان برحسب موقعیت، تمایز بین اغتشاشات مربوط به کیفیت ولتاژ منبع و اغتشاشات مربوط به کیفیت جریان کشیده‌شده ازسوی بار را تشخیص داد.

کمبود ولتاژ و بروز وقفه که ناشی از بروز خطا در سیستم قدرت می‌باشند را می‌توان در دستهٔ اول قرار داد. این اغتشاشات می‌توانند منجر به بروز صدمه در تجهیزات الکترونیکی حساس گردند که خود می‌تواند باعث ایجاد خسارت در مراکز صنعتی شود. از کارافتادگی تجهیزات حساس ممکن است باعث قطع شدن پروسهٔ تولید گشته و زیان‌های مالی فراوانی بهمراه داشته باشد. در این شرایط می‌توان چنین استنباط نمود که منبع، باعث بروز اخلال در بار گشته‌است. برای جلوگیری از تحمل زیان مالی، اغلب مشتریان صنعتی تصمیم گرفته‌اند که از تجهیزات برطرف‌کنندهٔ اغتشاشات استفاده کنند تا از تأسیسات خود دربرابر چنین مسائلی محافظت نمایند.

دستهٔ دوم شامل پدیده‌هایی می‌باشد که ناشی از کیفیت پایین جریان کشیده‌شده توسط بار می‌باشند. در این حالت، این بار است که منبع را دچار اغتشاش می‌کند. مثال ساده برای این موضوع هارمونیک‌های جریان کشیده‌شده توسط بارهایی چون یکسوسازهای دیودی و یا جریان‌های نامتعادل کشیده‌شده توسط بارهای نامتعادل می‌باشد. مشتریان، از قبل وقوع این نوع پدیده‌های کیفیت توان، مشکل مستقیمی احساس نمی‌کنند. اما کیفیت پایین جریان کشیده‌شده توسط سایرین در نهایت منجر به تحویل توانی با کیفیت نه چندان مطلوب به سایر مشتریان می‌گردد. بنابراین استانداردهایی برای محدود ساختن مقدار هارمونیک و نامتعادلی جریان‌هایی که یک بار می‌تواند تولید نماید ارائه شده‌است. برای برآورده ساختن محدودیت‌های ایجادشده توسط این استانداردها، مشتریان اغلب مجبور به استفاده از تجهیزاتی جهت جبران یا برطرف کردن مشکل شده‌اند [۱].

در سال‌های اخیر مصرف‌کنندگان صنعتی و تجاری گزارش‌های فراوانی ارائه کرده‌اند که اشاره به خسارت‌های ناشی از مشکلات کیفیت توان داشته‌است. مشکل، ریشه در استفادهٔ روزافزون از ادوات اتوماتیک و هوشمندی چون درایوهای سرعت، روبات‌ها، خطوط تولید خودکار، کنترل‌کننده‌های منطقی قابل برنامه‌ریزی و منابع تأمین

توان پردازنده‌ها و کامپیوترها دارد. این ادوات و ادوات مشابه به آنها در مقایسه با نسل قبلی سیستم‌های پردازش اطلاعات، ادوات الکترومکانیکی و خطوط تولید غیرخودکار، به‌شدت نسبت به اغتشاشات سیستم توزیع حساس‌تر هستند [۲].

باتوجه به استدلالات فوق، علاقهٔ روزافزونی برای استفاده از ادوات جبران‌ساز، علی‌الخصوص ادوات مبتنی بر تجهیزات الکترونیک قدرت بوجود آمده‌است که به نام ادوات custom power مطرح می‌باشند [۲]. این ادوات قادرند بصورت مناسبی بر بسیاری از مشکلات کیفیت توان غلبه نمایند [۱].

مفهوم ادوات custom power برای اولین بار توسط دکتر N.G. Hingorani در سال ۱۹۹۵ ارائه شد [۲]. ادوات custom power اساسا به دو دسته تقسیم می‌شوند- ادواتی که ساختار شبکه را تغییر می‌دهند و ادواتی که جهت جبران‌سازی بکار می‌روند. کلید انتقال استاتیک (STS) به دستهٔ اول تعلق دارد. این تجهیز معمولا تجهیزی مبتنی بر تریستور است که برای محافظت از بارهای حساس در مقابل کمبود و بیشبود ولتاژ بکار گرفته می‌شود.

ادوات جبران‌سازی برای مواردی مانند فیلتر نمودن، متعادل کردن بار، اصلاح ضریب توان و تنظیم ولتاژ بکار می‌روند. ادواتی که هارمونیک‌های جریان را حذف می‌کنند می‌توانند بصورت سری یا موازی به شبکه متصل شوند. حفاظت از فیلترهای موازی آسان‌تر است و از این رو محبوبیت بیشتری دارند.

بازگردان دینامیک ولتاژ (DVR) یک تجهیز سری می‌باشد که عمده‌ترین هدف آن حفاظت از بارهای حساس دربرابر کمبود و بیشبود ولتاژ سمت منبع می‌باشد. این مهم با تزریق سریع ولتاژ بمنظور جبران افت یا افزایش ولتاژ صورت می‌گیرد.

ساختارهای متنوعی برای DVR ارائه شده‌است [۳]. یک دسته از این ساختارها از یک مبدل موازی برای تأمین ولتاژ مورد نیاز لینک dc بهره می‌برند که این مبدل موازی می‌تواند در سمت بار یا منبع قرار گرفته باشد [۴]. دستهٔ دیگر از المان‌های ذخیره‌ساز انرژی استفاده می‌کنند که می‌توانند با استفاده از یک مبدل dc به dc مقدار ولتاژ لینک dc را ثابت نگه دارند [۴]. دسته‌ای نیز بطور همزمان از یک مبدل موازی و یک مبدل dc به dc استفاده می‌کنند [۵].

مبدل VSI المان محوری ساختار DVR می‌باشد. این مبدل علیرغم داشتن مزایایی چون ولتاژ خروجی با شکل‌موج مناسب، دارای معایبی می‌باشد. ولتاژ ac خروجی در ولتاژ dc ورودی محدود شده و نمی‌تواند از آن فراتر رود و بعبارت دیگر ولتاژ dc ورودی باید بیشتر از ولتاژ ac ورودی باشد. بنابراین مبدل منبع ولتاژی یک مبدل کاهنده در تبدیل dc به ac و یک مبدل افزاینده در تبدیل ac به dc می‌باشد. کلیدهای بالا و پایین موجود بر

یک ساق را نمی‌توان چه بصورت هدفمند و چه ناشی از اثر تداخل نویز الکترومغناطیسی بصورت همزمان روشن نمود. درصورت بروز این پدیده، حالت اتصال‌کوتاه (Shoot-through) بروز نموده و کلیدها آسیب می‌بینند. در اکتبر سال ۲۰۰۲ برای غلبه بر مشکلات فوق‌الذکر مبدلی بنام مبدل منبع امپدانسی (ZSI) توسط دکتر پنگ در گردهم‌آیی سالانهٔ جامعهٔ کاربردهای صنعتی برق معرفی شد [۶].

مبدل منبع امپدانسی از شبکهٔ امپدانسی منحصر به فردی استفاده می‌کند که می‌تواند مدار اصلی مبدل را به منبع تأمین توان، بار یا هر مبدل دیگری متصل سازد و به این ترتیب ویژگی‌های منحصر به فردی را بوجود آورد که نمی‌توان در مبدل‌های سنتی منبع ولتاژ یا جریان که از یک سلف یا از یک خازن استفاده می‌کنند، انتظار داشت. مبدل منبع امپدانسی بر مشکلات ذکرشده برای مبدل‌های منبع جریان و ولتاژ غلبه نموده و مفهوم جدیدی از تبدیل توان را ارائه می‌کند [۶].

هدف این پایان‌نامه ارائهٔ ساختار جدیدی برای DVR تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت منبع می‌باشد. ساختار پیشنهادی عملکرد DVR تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت منبع معمول را بکمک مبدل منبع امپدانسی بهبود داده و مشکلات آنرا برطرف می‌سازد.

در ادامهٔ این پایان‌نامه و پس از مقدمه، در فصل دوم بحث‌هایی حول کیفیت توان صورت می‌گیرد و مشکلات کیفیت توان و منشا بروز آنها ذکر می‌گردد. در ادامهٔ این فصل ادوات custom power مورد اشاره قرار گرفته و ساختار و عملکرد DVR مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه مبدل منبع امپدانسی معرفی شده و مزیت‌های آن نسبت به VSI ذکر می‌گردد. روش‌های کنترل ZSI و بررسی مقایسه‌ای پارامتر SDPR در سه مبدل VSI، ZSI و مبدل dc به dc نیز در ادامهٔ این فصل ارائه می‌شود. در انتهای این فصل، ساختار پیشنهادی ارائه شده و توضیحات لازم حول اندازه المان ذخیره‌ساز انرژی و جریان‌های کشیده‌شده از یکسوساز، DVR و بار با انجام محاسبات لازم ارائه می‌گردد. در فصل سوم ساختار پیشنهادی ارائه‌شده در محیط نرم‌افزار PSCAD/EMTDC مورد شبیه‌سازی واقع می‌شود. نتایج بدست‌آمده از شبیه‌سازی ساختار پیشنهادی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی ساختارهای DVR تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت بار و سمت منبع و نیز DVR مبتنی بر مبدل dc به dc سمت بار مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در فصل چهارم نیز به نتیجه‌گیری و ارائهٔ پیشنهاداتی برای هرچه پربارتر ساختن مطالعات آتی پرداخته می‌شود.

نتایج نشان می‌دهند که ساختار پیشنهادی ضمن برطرف ساختن مشکلات مطرح‌شده برای DVR معمول تغذیه‌شونده توسط یکسوساز سمت منبع دارای برتری‌هایی نسبت به سایر ساختارهای مورد مقایسه می‌باشد. از

نقطه نظر قابلیت جبران کمبود ولتاژهای طولانی و عمیق بهترین عملکرد از آن ساختار پیشنهادی می‌باشد. این ساختار قادر است حتی درصورت بروز خطا در پایین‌دست نیز با برتری محسوسی نسبت به سایر ساختارهای مورد مقایسه، اقدام به کاهش جریان خطا نماید. بررسی اتصال‌کوتاه بصورت کاملا مجزا از قابلیت سیستم‌ها در جبران اغتشاشات ولتاژ منبع صورت گرفته‌است، این بدین معنی است که نحوهٔ بروز کمبود ولتاژ ناشی از انواع اتصال‌کوتاه‌های بالادستی مدنظر این پژوهش نمی‌باشد.

فصل دوم

مبانی و روش‌ها

۲-۱- مقدمه

شاید بدلیل تلاش‌های بی‌شماری که برای توصیف اثر کیفیت توان بر عملکرد سیستم‌های مختلف صورت گرفته‌است، عبارت کیفیت توان به صور مختلفی معنی شده‌است. در واقع کیفیت توان، بیانگر درجهٔ ارضای متقابل بین اجزای مختلف پروسهٔ تولید، انتقال و توزیع توان می‌باشد که عبارتند از:

- مصرف‌کنندگان نهایی
- تولیدکنندگان توان
- سازندگان ادوات الکتریکی
- ارگان‌های دخیل در توسعهٔ استانداردهای کیفیت توان [۷]

از دید تولیدکنندگان، کیفیت توان معیاری برای تعیین سطح خدمات ارائه‌شده به مصرف‌کنندگان است. بهترین وضعیت می‌تواند تأمین ولتاژی با دامنه و فرکانس ثابت در طول ۲۴ ساعت شبانه‌روز باشد؛ که متأسفانه موضوعی غیرممکن است. عوامل مختلفی می‌توانند باعث افت کیفیت توان گردند که از آن‌جمله می‌توان به: الف) اثرات ناشی از بارهایی چون موتورها، کوره‌های قوس الکتریکی، سیستم‌های UPS بزرگ و غیره؛ ب) حوادث ناشی از خطاهای انسانی (مانند وقوع تصادف خودرو)؛ ج) آب و هوا و سایر حوادث غیرمنتظرهٔ طبیعی (رعد و برق، یخ‌زدگی، وقوع سیل، زمین لرزه)؛ و د) عدم کارایی تجهیزات توزیع و انتقال اشاره نمود که این خود می‌تواند ناشی از استهلاک یا سایر عوامل باشد.

مصرف‌کنندگان را می‌توان بخشی از سیستم درنظر گرفت که در نهایت از مشکلات مربوط به کیفیت توان متأثر می‌شوند. عبارت کیفیت توان دلالت بر ولتاژ، جریان و فرکانس در سیستم قدرت دارد. معمولا کیفیت توان بیان می‌کند که به چه اندازه توان قابل بهره‌برداری از نظر پایداری، قابلیت اطمینان و اغتشاش، به توان ایده‌آل تأمین‌شده توسط منبع نزدیک می‌باشد. امروزه تغییرات ولتاژ، جریان و فرکانس، اثر قابل توجهی بر تجهیزات سیستم قدرت ندارند. دسته‌ای از سیگنال‌های تداخلی دیگر که بر ولتاژ منبع ظاهر می‌شوند، می‌توانند بر عملکرد تجهیزات نصب‌شده بر شبکه اثرگذار باشند. جبران‌سازی جریان غیرخطی، کلیدزنی، کموتاسیون، اتصال‌کوتاه و جریان‌های هجومی می‌توانند باعث وقوع وقفه در ولتاژ منبع، تغییر ولتاژ، بروز هارمونیک و جهش ولتاژ گردند. در چند دههٔ اخیر، صنعت برق شاهد ورود دامنهٔ وسیعی از تجهیزات است که تحمل اثرات ناشی از بروز تغییر در پارامترهای کیفیت توان را نداشته و مستعد آسیب‌دیدگی از اغتشاشات سیستم قدرت می‌باشند. تعداد زیادی از این تجهیزات توسط ادوات الکترونیک قدرت کنترل می‌شوند. این کنترل‌کننده‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: