بسم الله الرحمن الرحيم

١١٦٠٨٢

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه برق- قدرت

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق- قدرت

عنوان:

مدلسازی و شبیه‌سازی ساختار جدید مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل و بکارگیری آن در جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR)

استاد راهنما:

دکتر سیدحسین حسینی

استاد مشاور:

دکتر گئورک قره‌پتیان

پژوهشگر:

آرش خشکبار صدیق

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
ثبت و مدارک

۱۳۸۸ /۶/ ۱۱

۱۱۶۰۸۲

تیرماه ۱۳۸۸

اگر شایسته تقدیم باشد

تقدیم به همسر فداکارم

که حضور سپیدش همپای لحظاتم بوده است

و یاوران همیشگی زندگی، پدر و مادر مهربانم

تقدیر و تشکر

سپاس بیکران پروردگار یکتا را که به ما هستی بخشید و به طریق علم و دانش رهنمون‌مان کرد و به همنشینی با رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزی‌مان ساخت.

با سپاس از عنایات پروردگار یکتا، بر خود لازم می‌دانم از زحمات و راهنمایی‌های استاد گرانقدر جناب آقای دکتر سید حسین حسینی، استاد راهنمای پایان‌نامه و رهنمودهای جناب آقای دکتر گئورک قره‌پتیان استاد مشاور اینجانب کمال تشکر و قدردانی را نمایم. همچنین از آقای دکتر مهران صباحی که در ساخت نمونه آزمایشگاهی به اینجانب کمک فراوان نموده‌اند، سپاسگزاری می‌نمایم.

نام خانوادگی: خشکبار صدیق نام: آرش

عنوان پایان‌نامه: مدلسازی و شبیه‌سازی ساختار جدید مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل و بکارگیری آن در جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR)

استاد راهنما: دکتر سیدحسین حسینی

استاد مشاور: دکتر گئورک قره‌پتیان

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

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۸۸/٤/۳۱ تعداد صفحه: ۱٤٦

کلید واژه: مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل، جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR)، اضافه ولتاژ، کمبود ولتاژ، فلیکر ولتاژ، روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، روش جبران‌سازی حداقل انرژی

چکیده: امروزه مبدل‌های ولتاژ از مهم‌ترین ادوات الکترونیک قدرت محسوب می‌شوند و در بسیاری از بخش‌های مختلف صنعت کاربرد داشته و جزء لاینفک صنعت محسوب می‌شوند. بنابراین با توجه به اهمیت مبدل‌های ولتاژ، در این پایان‌نامه ابتدا ساختارهای مختلف مبدل‌های مالتی‌سل مورد بررسی قرار گرفته‌است. پس از آن ساختار جدیدی برای مبدل مالتی‌سل خازن شناور با نام مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل (Double Flying Capacitor Multicell Converter) ارائه گردیده‌است. در این ساختار با اضافه کردن تنها دو سوییچ فرکانس پائین، تعداد سطوح و نیز مقدار مؤثر (rms) ولتاژ خروجی دوبرابر شده‌است. به منظور بررسی نحوهٔ عملکرد ساختار جدید پیشنهاد شده و نیز مقایسهٔ آن با دیگر انواع مبدل‌های مالتی‌سل، شبیه‌سازی‌هایی توسط نرم‌افزار PSCAD/EMTDC صورت گرفته‌است که بیان‌گر مزیت‌های ساختار جدید مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل می‌باشد. همچنین به منظور اثبات عملی بودن ساختار جدید پیشنهادی، نمونهٔ آزمایشگاهی آن ساخته و نتایج حاصل از آن ارائه شده‌است.

در ادامه نیز کاربرد توان بالا- ولتاژ متوسط ساختار جدید مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل به عنوان جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR) مورد بررسی قرار گرفته‌است. چراکه، کیفیت توان برق در سالهای اخیر بطور جدی مورد توجه مؤسسات برق و مصرف‌کنندگان در برخی از کشورها قرار گرفته است. در این میان اضافه ولتاژ و بخصوص کمبود ولتاژ از مهمترین مشکلات کیفیت توان محسوب می‌گردد که همه ساله در اقصی نقاط جهان این مشکلات موجب خسارات اقتصادی فراوانی می‌گردد. در همین راستا، شبیه‌سازی‌هایی توسط نرم‌افزار PSCAD/EMTDC جهت بررسی جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR) و نحوهٔ عملکرد آن با استفاده از ساختار پیشنهادی مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل صورت گرفته‌است. همچنین، روش‌های جدیدی جهت تشخیص هرگونه اغتشاش ولتاژ و نیز تعیین ولتاژهای مرجع تزریقی DVR مبتنی بر SRF ارائه گردیده‌است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR) با استفاده از روش‌های جدید پیشنهادی، سیستم کنترلی DVR قادر است هر گونه اغتشاش ولتاژ را به محض وقوع آن بدون هیچ‌گونه تعللی تشخیص دهد و همچنین بصورت آنی ولتاژهای مرجع تزریقی DVR را تعیین نماید که بیان‌گر کارایی، دقت و سرعت روش‌های پیشنهادی می‌باشد. شبیه‌سازی جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR) به هنگام جبران‌سازی انواع اغتشاشات ولتاژ اعم از کمبود ولتاژ و اضافه ولتاژ متعادل ویا نامتعادل و همچنین جبران‌سازی اغتشاش فلیکر ولتاژ با استفاده از دو روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال و نیز روش جبران‌سازی حداقل انرژی صورت گرفته‌است. با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشخص است که روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، قادر است هر گونه اغتشاش ولتاژ را به بهترین نحو بدون توجه به میزان اغتشاش ولتاژ، مدت زمان وقوع اغتشاش ولتاژ و همچنین ضریب توان بار جبران نماید؛ بدون اینکه در ولتاژ دو سر بار کمترین اغتشاشی بوجود آید ویا در عملکرد DVR وقفه ویا مشکلی ایجاد گردد.

عناوین | صفحه

فهرست شکل‌ها 6

فهرست جداول 13

مقدمه ۱

فصل اول: بررسی منابع ٤

۱-۱- مقدمه: ٥

۱-۲- مبدل‌های ولتاژ: ٥

۱-۲-۱- مبدل چند سطحهٔ دیود کلمپ : ۹

۱-۲-۲- مبدل کسکید مالتی‌سل (CMC): ۱۲

۱-۲-۳- مبدل مالتی‌سل خازن شناور (FCMC): ۱٤

۱-۲-٤- مبدل استکد مالتی‌سل (SMC): ۱۷

۱-۳- کیفیت توان: ۲۲

۱-٤- اغتشاشات در سیستمهای قدرت: ۲٤

۱-٤-۱- گذراها: ۲٤

۱-٤-۱-۱- گذراهای ضربه‌ای: ۲٤

۱-٤-۱-۲- گذراهای نوسانی: ۲٦

۱-٤-۲- اغتشاشات کوتاه مدت: ۲٦

۱-٤-۲-۱- قطعی ولتاژ: ۲٦

۱-٤-۲-۲- کمبود ولتاژ : ۲۷

۱-٤-۲-۳- اضافه ولتاژ : ۲۷

۱-٤-۳- اغتشاشات بلند مدت: ۲۸

۱-٤-۳-۱- اضافه ولتاژ: ۲۸

۱-٤-۳-۲- کمبود ولتاژ:..... ۲۸
۱-٤-۳-۳- قطعی بادوام ولتاژ: ۲۹
۱-٤-٤- نامتعادلی ولتاژ:..... ۲۹
۱-٤-٥- اعوجاج شکل موج: ۳۰
۱-٤-٥-۱- افست dc: ۳۰
۱-٤-٥-۲- هارمونیک‌ها :..... ۳۰
۱-٤-٥-۳- میان هارمونیک‌ها :..... ۳۱
۱-٤-٥-٤- شکاف‌ها :..... ۳۲
۱-٤-٥-٥- نویز : ۳۲
۱-٤-٦- توسانات ولتاژ : ۳۲
۱-٤-۷- تغییرات فرکانس قدرت: ۳۳
۱-٥- پیامدهای نامطلوب حاصل از کمبود ولتاژ: ۳۳
۱-٥-۱- صنایع کاغذ سازی:..... ۳٤
۱-٥-۲- صنایع نیمه‌هادی: ۳٤
۱-٥-۳- صنایع فولاد: ۳٤
۱-٥-٤- سایر صنایع: ۳٥
۱-٥-٥- هزینه‌های تحمیل شده از کمبود ولتاژ در صنایع مختلف: ۳٥
۱-٦- منحنی شاخص CBEMA: ۳٥
۱-۷- مروری بر ادوات Custom Power: ۳۷
۱-۷-۱- ادوات Custom Power و دسته‌بندی آنها: ۳۹
۱-۷-۲- معرفی جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR): ۳۹
۱-۷-۳- تاریخچهٔ جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR): ٤۰

فصل دوم: مواد و روش‌ها ٤٢

٢-١- مقدمه: ٤٣

٢-٢- ساختار جدید پیشنهادی برای مبدل مالتی‌سل خازن شناور: ٤٣

٢-٢-١- مقایسهٔ مبدل پیشنهادی مالتی‌سل خازن شناور دوبل با ساختار رایج مبدل مالتی‌سل خازن شناور و مبدل استکد مالتی‌سل: ٥٠

٢-٢-٢- مقایسهٔ مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل با مبدل کسکید مالتی‌سل: ٥٢

٢-٢-٣- مدل‌سازی مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل در فضای حالت: ٥٣

٢-٣- عناصر تشکیل دهندهٔ جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR): ٥٤

٢-٤- روش‌های مختلف جبران‌سازی اغتشاشات ولتاژ شبکه: ٥٥

٢-٤-١- استراتژی جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال : ٥٧

٢-٤-٢- استراتژی جبران‌سازی هم‌فاز : ٥٨

٢-٤-٣- استراتژی جبران‌سازی حداقل انرژی : ٦٠

٢-٤-٣-١- جبران‌سازی اغتشاشات ولتاژ متعادل: ٦٠

٢-٤-٣-٢- جبران‌سازی اغتشاشات ولتاژ نامتعادل با تغییرات زاویه فاز ولتاژ شبکه: ٦٣

٢-٥- روش‌های مختلف تشخیص اغتشاشات ولتاژ شبکه: ٦٥

٢-٥-١- اندازه‌گیری پیک ولتاژ [٣٣]: ٦٥

٢-٥-٢- اندازه‌گیری مؤلفه‌های *dq0* ولتاژ شبکه: ٦٦

٢-٦- روش تعیین ولتاژهای مرجع تزریقی DVR: ٧٠

٢-٦-١- تعیین ولتاژهای مرجع تزریقی DVR برای استراتژی جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال : ٧٢

٢-٦-٢- تعیین ولتاژهای مرجع تزریقی DVR برای استراتژی جبران‌سازی هم‌فاز : ٧٣

٢-٦-٣- تعیین ولتاژهای مرجع تزریقی DVR برای استراتژی حداقل انرژی : ٧٣

٢-٧- منابع ذخیره‌کنندهٔ انرژی : ٧٦

۲-۷-۱- خازن : ۷۶
۲-۷-۲- باتری: ۷۷
۲-۷-۳- چرخ طیار [۳۲]: ۷۷
۲-۷-٤- ذخیره‌کنندهٔ انرژی مغناطیسی ابررسانا (SMES) [۳۲] و [٤۹]: ۷۸
۲-۷-۵- یکسوکنندهٔ موازی : ۷۹
فصل سوم: نتایج و بحث ۸۲
۳-۱- مقدمه: ۸۳
۳-۲- شبیه‌سازی و بررسی مبدل‌های مالتی‌سل: ۸۳
۳-۲-۱- مبدل کسکید مالتی‌سل (CM): ۸۳
۳-۲-۲- مبدل مالتی‌سل خازن شناور (FCM): ۸۶
۳-۲-۳- مبدل استکد مالتی‌سل (SM): ۸۷
۳-۲-٤- مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل (DFCM): ۹۱
۳-۳- شبیه‌سازی و بررسی جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ با استفاده از مبدل پیشنهادی مالتی‌سل خازن شناور دوبل: ۹۷
۳-۳-۱- جبران‌سازی کمبود ولتاژ : ۹۸
۳-۳-۱-۱- جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق: ۹۸
۳-۳-۱-۱-۱- روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال: ۹۸
۳-۳-۱-۱-۲- روش جبران‌سازی حداقل انرژی: ۱۰۰
۳-۳-۱-۲- جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز: ۱۰٤
۳-۳-۱-۲-۱- روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال: ۱۰٤
۳-۳-۱-۲-۲- روش جبران‌سازی حداقل انرژی: ۱۰۷
۳-۳-۱-۳- جبران‌سازی کمبود ولتاژ نامتعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز: ۱۱۰
۳-۳-۱-۳-۱- روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال: ۱۱۱
۳-۳-۱-۳-۲- روش جبران‌سازی حداقل انرژی: ۱۱۱

۳-۳-۲- جبران‌سازی اضافه ولتاژ : ۱۱٦
۳-۳-۲-۱- جبران‌سازی اضافه ولتاژ متعادل سطحی و شدید: ۱۱٦
۳-۳-۲-۱-۱- روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال:..... ۱۱۷
۳-۳-۲-۱-۲- روش جبران‌سازی حداقل انرژی: ۱۱۹
۳-۳-۲-۲- جبران‌سازی اضافه ولتاژ نامتعادل سطحی و شدید به همراه تغییر زاویه فاز: ۱۲۳
۳-۳-۲-۲-۱- روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال:..... ۱۲۳
۳-۳-۲-۲-۲- روش جبران‌سازی حداقل انرژی: ۱۲۵
۳-۳-۳- جبران‌سازی فلیکر ولتاژ :..... ۱۲۸
۳-۳-۳-۱- روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال: ۱۲۸
۳-۳-۳-۲- روش جبران‌سازی حداقل انرژی:..... ۱۳۰
۳-٤- نتیجه‌گیری: ۱۳٤
نتیجه‌گیری و پیشنهادات: ۱۳۵
مقالات مستخرج از پایان‌نامه: ۱٤۰
مراجع: ۱٤۱

فهرست شکل‌ها

فصل اول ۴

شکل(۱-۱): (الف) مبدل ولتاژ نیم‌پل تکساق (Half Bridge Voltage Source Converter)؛ (ب) مبدل ولتاژ تمام‌پل دوساق (Full Bridge Voltage Source Converter). ۶

شکل(۱-۲): دسته‌بندی انواع مبدل‌های ولتاژ. ۸

شکل(۱-۳): (الف) مبدل سه سطحهٔ دیود کلمپ؛ (ب) مبدل پنج سطحهٔ دیود کلمپ. ۱۰

شکل(۱-٤): مبدل کسکید مالتی‌سل $2n+1$ سطحه با استفاده از: (الف) منابع ولتاژ ورودی dc مجزا؛ (ب) یک منبع ولتاژ ورودی dc و ترانسفورماتورهای ایزوله. ۱۳

شکل(۱-۵): مبدل مالتی‌سل خازن شناور n سل، $n+1$ سطحه. ۱۵

شکل(۱-٦): مبدل مالتی‌سل خازن شناور ٤ سل-۵ سطحه، روش کنترلی مبتنی بر PSPWM، حالت سویچ‌ها و ولتاژ خروجی. ۱٦

شکل(۱-۷): مبدل استکد مالتی‌سل $2\times n$ سل - $2n+1$ سطحه. ۱۸

شکل(۱-۸): مبدل استکد مالتی‌سل ٤سل- ۵سطحه، روش کنترلی مبتنی بر PSPWM، حالت سویچ‌ها و ولتاژ خروجی. ۱۹

شکل(۱-۹): منحنی CBEMA. ۳٦

شکل(۱-۱۰): محدودهٔ کابرد ادوات FACTS و Custom Power. ۳۸

شکل(۱-۱۱): ساختار سادهٔ جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR). ٤۰

فصل دوم ۴۲

شکل(۲-۱): مبدل مالتی‌سل خازن شناور ٤ سل- ۵سطحه، روش کنترلی مبتنی بر PSPWM، حالت سویچ‌ها و ولتاژ خروجی. ٤٤

شکل(۲-۲): مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤ سل- ۹سطحه پیشنهادی، روش کنترلی جدید مبتنی بر PSPWM، حالت سویچ‌ها و ولتاژ خروجی. ٤۵

شکل(۲-۳): مبدل پیشنهادی مالتی‌سل خازن شناور دوبل nسل-$2n+1$سطحه پیشنهادی. ٤٦
شکل(۲-٤): انواع مبدلهای مالتی‌سل $2n+1$ سطحه با ماکزیمم پیک ولتاژ خروجی E: (الف) مبدل کسکید مالتی‌سل؛ (ب) مبدل مالتی‌سل خازن شناور؛ (ج) مبدل استکد مالتی‌سل؛ (د) مبدل پیشنهادی مالتی‌سل خازن شناور دوبل. ٤٩
شکل(۲-٥): انرژی ذخیره شده در مبدلهای مالتی‌سل خازن شناور، استکد مالتی‌سل و مالتی‌سل خازن شناور دوبل به ازای تعداد سطوح مختلف ولتاژ خروجی و حداکثر پیک ولتاژ خروجی یکسان. ٥١
شکل(۲-٦): عناصر تشکیل دهندهٔ جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR). ٥٥
شکل(۲-۷): دیاگرام فازوری استراتژی جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال (Pre-Sage Compensation Strategy). ٥٧
شکل(۲-۸): دیاگرام فازوری استراتژی جبران‌سازی هم‌فاز (In-Phase Compensation Strategy). ٥٩
شکل(۲-۹): دیاگرام فازوری روش جبران‌سازی حداقل انرژی (Energy Minimized Compensation Strategy). ٦١
شکل(۲-۱۰): امکان و یا عدم امکان جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل به وسیلهٔ روش حداقل انرژی (Energy Minimized Compensation Strategy) به ازای مقادیر مختلف ضریب توان بار و میزان کمبود ولتاژ (مناطق با رنگ تیره به معنای عدم امکان جبران‌سازی میباشد). ٦٢
شکل(۲-۱۱): ولتاژهای سه فاز (فاز به زمین) شبکه، مقدار مؤثر (rms) مؤلفهٔ 0(صفر) آنها در سیستم SRF و مقدار مؤثر (rms) ولتاژها برای اغتشاش نامتعادل ولتاژ. ٦٩
شکل(۲-۱۲): ولتاژهای سه فاز (فاز به زمین) شبکه، مقدار مؤثر (rms) مؤلفهٔ 0(صفر) آنها در سیستم SRF و مقدار مؤثر (rms) ولتاژها برای اغتشاش متعادل ولتاژ. ۷۰
شکل(۲-۱۳): ولتاژهای سه فاز (فاز به زمین) شبکه، مقدار مؤثر (rms) مؤلفهٔ 0(صفر) در سیستم SRF، مقدار مؤثر (rms) ولتاژها و زاویه فاز آن به هنگام تغییر زاویه فاز ولتاژها. ۷۱
شکل(۲-۱٤): ساختار DVR به همراه یکسوکنندهٔ موازی نصب شده در سمت الف) منبع ولتاژ؛ ب) بار. ۸۰

فصل سوم ۸۲

شکل(۳-۱): مبدل کسکید مالتی‌سل ۲سل- ٥سطحه با منابع ولتاژ dc مجزا. ۸٤

شکل(۳-۲): ولتاژ خروجی، جریان بار و حالت سویچ‌های مبدل کسکید مالتی‌سل ۲سل- ۵سطحه. ۸۵
شکل(۳-۳): طیف فرکانسی ولتاژ خروجی مبدل کسکید مالتی‌سل ۲سل- ۵سطحه به ازای M=0.8 ..... ۸۵
شکل(۳-٤): مبدل مالتی‌سل خازن شناور ٤سل- ۵سطحه. ۸٦
شکل(۳-۵): ولتاژ خازن‌های شناور در مبدل مالتی‌سل خازن شناور ٤سل- ۵سطحه، (الف) به ازای بار اهمی و بدون استفاده از فیلتر خروجی RLC؛ (ب) به ازای بار اهمی- سلفی و با استفاده از فیلتر خروجی RLC ۸۷
شکل(۳-٦): ولتاژ خروجی، جریان بار و حالت سویچ‌های مبدل مالتی‌سل خازن شناور ٤سل- ۵سطحه. ۸۸
شکل(۳-۷): طیف فرکانسی ولتاژ خروجی مبدل مالتی‌سل خازن شناور ٤سل- ۵سطحه به ازای M=0.8 ..... ۸۸
شکل(۳-۸): مبدل استکد مالتی‌سل ٤سل- ۵سطحه..... ۸۹
شکل(۳-۹): ولتاژ خازن‌های شناور در مبدل استکد مالتی‌سل ٤سل- ۵سطحه، (الف) به ازای بار اهمی و بدون استفاده از فیلتر خروجی RLC؛ (ب) به ازای بار اهمی- سلفی و با استفاده از فیلتر خروجی RLC ۸۹
شکل(۳-۱۰): ولتاژ خروجی، جریان بار و حالت سویچ‌های مبدل استکد مالتی‌سل ٤سل- ۵سطحه. ۹۰
شکل(۳-۱۱): طیف فرکانسی ولتاژ خروجی مبدل استکد مالتی‌سل ٤سل- ۵سطحه به ازای M=0.8 ..... ۹۰
شکل(۳-۱۲): مبدل پیشنهادی مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤سل- ۹سطحه..... ۹۲
شکل(۳-۱۳): ولتاژ خازن‌های شناور در مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤سل- ۹سطحه، (الف) به ازای بار اهمی و بدون استفاده از فیلتر خروجی RLC؛ (ب) به ازای بار اهمی- سلفی و با استفاده از فیلتر خروجی RLC..... ۹۲
شکل(۳-۱٤): ولتاژ خروجی، جریان بار، ولتاژ V_{AN} و حالت سویچ‌های مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤سل- ۹سطحه. ۹۳
شکل(۳-۱۵): طیف فرکانسی ولتاژ خروجی مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤سل- ۹سطحه به ازای M=0.8 . ۹٤
شکل(۳-۱٦): نمونهٔ آزمایشگاهی مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤سل- ۹سطحه..... ۹٤
شکل(۳-۱۷): نتایج آزمایشگاهی مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤سل- ۹سطحه، (الف) ولتاژ خروجی مبدل و جریان بار؛ (ب) ولتاژ خروجی مبدل و جریان بار با جزئیات بیشتر..... ۹۵
شکل(۳-۱۸): نتایج آزمایشگاهی مبدل مالتی‌سل خازن شناور دوبل ٤سل- ۹سطحه، (الف) ولتاژ خازن شناور سل۱ (V_{C1})؛ (ب) ولتاژ خازن شناور سل۲ (V_{C2})؛ (ج) ولتاژ خازن شناور سل۳ (V_{C3}). ۹٦

شکل(۳-۱۹): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار. ۹۹

شکل(۳-۲۰): ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال. ۱۰۰

شکل(۳-۲۱): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR..... ۱۰۱

شکل(۳-۲۲): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق با استفاده از روش جبران-سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار زاویهٔ مورد نیاز جهت تغییر زاویه فاز ولتاژ شبکه (α)؛ (ب) جریان سه‌فاز بار..... ۱۰۲

شکل(۳-۲۳): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار ولتاژ خازن لینک dc؛ (ب) توان اکتیو مبادله شدهٔ DVR. ۱۰۳

شکل(۳-۲٤): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR. ۱۰۵

شکل(۳-۲۵): ولتاژ خازن‌های شناور در مبدلهای مالتی‌سل خازن شناور دوبل به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) مبدل فاز a؛ (ب) مبدل فاز b؛ (ج) مبدل فاز c..... ۱۰٦

شکل(۳-۲٦): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبرانسازی حداقل انرژی، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR. ۱۰۸

شکل(۳-۲۷): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار زاویهٔ مورد نیاز جهت تغییر زاویه فاز ولتاژ شبکه (α)؛ (ب) جریان سه فاز بار..... ۱۰۹

شکل(۳-۲۸): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ متعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار ولتاژ خازن لینک dc؛ (ب) توان اکتیو مبادله شدهٔ DVR ۱۱۰

شکل(۳-۲۹): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ نامتعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR ۱۱۲

شکل(۳-۳۰): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ نامتعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR ۱۱۳

شکل(۳-۳۱): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ نامتعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار زاویهٔ مورد نیاز جهت تغییر زاویه فاز ولتاژ شبکه (α)؛ (ب) جریان سه‌فاز بار..... ۱۱٤

شکل(۳-۳۲): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی کمبود ولتاژ نامتعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار ولتاژ خازن لینک dc؛ (ب) توان اکتیو مبادله شدهٔ DVR ۱۱۵

شکل(۳-۳۳): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ متعادل سطحی و شدید با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR ۱۱۸

شکل(۳-۳٤): ولتاژ خازن‌های شناور در مبدل‌های مالتی‌سل خازن شناور دوبل به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ متعادل سطحی و شدید با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) مبدل فاز a؛ (ب) مبدل فاز b؛ (ج) مبدل فاز c. ۱۱۹

شکل(۳-۳۵): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ متعادل سطحی و عمیق با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR ۱۲۱

شکل(۳-۳۶): مقدار زاویهٔ مورد نیاز جهت تغییر زاویه فاز ولتاژ شبکه (α) به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ متعادل سطحی و شدید با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی. ۱۲۲

شکل(۳-۳۷): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ متعادل سطحی و شدید با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار ولتاژ خازن لینک dc؛ (ب) توان اکتیو مبادله شدهٔ DVR ۱۲۲

شکل(۳-۳۸): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ نامتعادل سطحی و شدید به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR ۱۲٤

شکل(۳-۳۹): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ نامتعادل سطحی و شدید به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR ۱۲٦

شکل(۳-٤۰): مقدار زاویهٔ مورد نیاز جهت تغییر زاویه فاز ولتاژ شبکه (α) به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ نامتعادل سطحی و شدید به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی. ۱۲۷

شکل(۳-٤۱): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی اضافه ولتاژ نامتعادل سطحی و عمیق به همراه تغییر زاویه فاز با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار ولتاژ خازن لینک dc؛ (ب) توان اکتیو مبادله شدهٔ DVR ۱۲۷

شکل(۳-٤۲): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی فلیکر ولتاژ با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR ۱۲۹

شکل(۳-۴۳): ولتاژ خازن‌های شناور در مبدلهای مالتی‌سل خازن شناور دوبل به هنگام جبران‌سازی فلیکر ولتاژ با استفاده از روش جبران‌سازی حفظ ولتاژ در مقدار قبل از اختلال، (الف) مبدل فاز a؛ (ب) مبدل فاز b؛ (ج) مبدل فاز c. ۱۳۰

شکل(۳-۴۴): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی فلیکر ولتاژ با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) ولتاژ سه‌فاز شبکه؛ (ب) ولتاژ سه‌فاز تزریقی توسط DVR؛ (ج) ولتاژ سه‌فاز بار؛ (د) ولتاژ مرجع سه‌فاز تزریقی توسط DVR. ۱۳۲

شکل(۳-۴۵): مقدار زاویهٔ مورد نیاز جهت تغییر زاویه فاز ولتاژ شبکه (α) به هنگام جبران‌سازی فلیکر ولتاژ با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی..... ۱۳۳

شکل(۳-۴۶): نتایج شبیه‌سازی به هنگام جبران‌سازی فلیکر ولتاژ با استفاده از روش جبران‌سازی حداقل انرژی، (الف) مقدار ولتاژ خازن لینک dc؛ (ب) توان اکتیو مبادله شدهٔ DVR. ۱۳۳

فهرست جداول

جدول(۱-۱) – حالت سوییچ‌ها برای سطوح مختلف ولتاژ خروجی یک مبدل پنج سطحهٔ دیود کلمپ ۷

جدول(۱-۲) – حالت سوییچ‌ها برای سطوح مختلف ولتاژ خروجی یک مبدل پنج سطحهٔ کسکید مالتی‌سل. ۱٤

جدول(۱-۳) – حالت سوییچ‌ها برای سطوح مختلف ولتاژ خروجی مبدل مالتی‌سل خازن شناور ٤سل- ٥سطحه. .. ۱۷

جدول(۱-٤) – حالت سوییچ‌ها برای سطوح مختلف ولتاژ خروجی یک مبدل استکد مالتی‌سل ٤سل- ٥سطحه ۲۱

جدول(۱-٥)- دسته‌بندی و مشخصات انواع اغتشاشات در سیستم قدرت. ۲٥

جدول(۲-۱)- حالت سوییچ‌ها برای سطوح مختلف ولتاژ خروجی مبدل مالتی‌سل خازن شناور دویل ٤سل- ۹سطحه. ٤۷

جدول(۲-۲)- مقایسهٔ مبدل پیشنهادی مالتی‌سل خازن شناور دویل با انواع دیگر مبدل‌های مالتی‌سل برای تعداد سطوح ولتاژ خروجی برابر با $2n+1$ و مقدار پیک ولتاژ یکسان. ٤۸

جدول(۳-۱)- مقادیر پارامترهای عناصر بکاررفته در شبیه‌سازی انواع مبدل‌های مالتی‌سل. ۸٤

جدول(۳-۲)- مقادیر پارامترهای عناصر بکاررفته در شبیه‌سازی جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR). ۹۷

مقدمه

مقدمه:

کیفیت توان برق در سالهای اخیر بطور جدی مورد توجه مؤسسات برق و مصرف‌کنندگان در برخی از کشورها قرار گرفته است. عامل اساسی ضرورت بازنگری مسئله، گسترش بکارگیری تجهیزات جدید الکتریکی در شبکه‌ها می‌باشد. کابردهای جدید مانند میکروپروسسورها، کامپیوترها، وسایل الکترونیکی سیستم‌های تغذیه و کنترل الکتروموتورها و فرآیند تولید و غیره، از یک سو تجهیزات حساس به ولتاژ بوده و به توان الکتریکی با کیفیت مطلوب نیاز دارند و از طرفی خود منشأ پدیده‌های مخل کیفیت توان مانند هارمونیک‌ها هستند. بنابراین پدیده‌های جدید اغتشاش در کنار عوامل سنتی مخرب کیفیت توان مانند صاعقه، کلید زنی، اتصال کوتاه‌ها، راه‌اندازی موتورها و ... بررسی موضوع را ضروری و الزامی ساخته است.

امروزه در ارزیابی کیفیت برق با توجه به ویژگی‌های تجهیزات جدید و توقعات مشترکین بخصوص در محیط رقابت اقتصادی علاوه بر مدت زمان قطعی بلند مدت برق، میزان اغتشاشات و از جمله پدیده‌های گذرای ضربه‌ای یا نوسانی، کمبود ویا اضافه ولتاژ کوتاه مدت، انحراف شکل موج و اعوجاج آن، تغییر فرکانس، فلیکر ولتاژ و شکاف بایستی دقیقاً مورد بررسی قرار گیرد؛ زیرا اثرات سوء آنها روی تجهیزات موجب عملکرد نادرست، صدمه دیدن دستگاه‌ها و قطع روند تولید در کارخانجات می‌گردد. چنین اشکالاتی ضررهای زیادی خواهد داشت چراکه روند تولید بطور ناگهانی متوقف می‌شود و راه‌اندازی مجدد آن مستلزم هزینه می‌باشد. بعلاوه صدمه دیدن تجهیزات و تعمیرات آنها موجب اتلاف وقت و زیان مالی خواهد گردید.

در این میان اضافه ولتاژ و بخصوص کمبود ولتاژ از مهمترین مشکلات کیفیت توان محسوب می‌گردد. بنابراین بایستی هرچه بیشتر به فکر حل این مسئله بود تا از بروز هرگونه مشکل جلوگیری گردد. از جمله راهکارهای حل این مشکل استفاده از جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR) می‌باشد که بایستی آن را مرهون استفاده از نیمه‌هادی‌های الکترونیک قدرت دانست. اساس عملکرد جبران‌کنندهٔ دینامیکی ولتاژ (DVR) به این صورت می‌باشد که این تجهیز بطور سری میان بار و منبع ولتاژ قرار