بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق و رباتیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

طراحی، شبیه سازی و ساخت سیستم انتقال انرژی AC بدون تماس مستقیم با استفاده از مبدل ماتریسی

محقق:

مجید عربیارمحمدی

استاد راهنما:

دکتر علی دستفان

استاد مشاور:

دکتر علی سلیمانی

شهریور ۱۳۸۸

تعهد نامه

اینجانب ..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته ..... دانشکده ..... دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه/ رساله ..... تحت راهنمائی ..... متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه/ رساله توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه/ رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه/رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه/رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ : ۹۷/۶/۳۰

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

- متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه/ رساله وجود داشته باشد .

شماره : ۰۶۶۹/آ.ت.ب
تاریخ : ۱۳۸۸/۰۶/۳۰
ویرایش : - - - -

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای مجید عربیارمحمدی رشته برق گرایش قدرت

تحت عنوان : طراحی و شبیه سازی و ساخت یک سیستم انتقال انرژی AC بدون تماس مستقیم با استفاده از مبدل ماتریسی

که در تاریخ ۱۳۸۸/۰۶/۳۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه امتیاز ۱۷/۳۵ خوب) ☑ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹) ۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)

۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶) ۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما	علی دستفان	استادیار	
۲ـ استاد مشاور	سید علی سیدالعراقی	استادیار	
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	محمد حدادزاده	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	مهدی بازرگان	استادیار	
۵ ـ استاد ممتحن	امیر رضا حسروشاهی	استادیار	

تأیید رئیس دانشکده :

به نام او که نامش ترنم عارفانه زندگیست

تقدیم به پدر عزیزم؛ او که قامت استوارش به زیر بار محبت خمید و وجودش به من توان زیستن داد.

تقدیم به مادر مهربانم؛ او که بهشت را در قلب پر محبتش جای داد. فرشته ای که با جانش روح به تنم دمید.

تقدیم به همسر با محبتم؛ او که در تک تک لحظات در کنارم بود و با تمام وجود در اتمام این پایان نامه کمکم نمود.

تقدیم به خواهر عزیزم که در تمام مراحل زندگی پشتیبان من بود.

تقدیم به تمامی اساتید گرانقدری که در طول دوره تحصیل از خرمن علمشان خوشه چیدم.

با تشکر از استاد راهنما جناب آقای دکتر علی دستفان که با راهنمایی ها و حمایت های ارزشمند خود اینجانب را در انجام صحیح و کامل این پایان نامه یاری رساندند.

چکیده

تکنولوژی انتقال انرژی القایی به صورت بدون تماس مستقیم، هم اکنون جایگزین بسیاری از سیستم هایی که در آنها انرژی مغناطیسی از یک منبع توان به یک بار الکتریکی منتقل می شود، شده است. با استفاده از تکنولوژی انتقال انرژی به صورت بدون تماس مستقیم، می توان کابل های انتقال انرژی را حذف کرده و بنابراین دیگر مشکلاتی مثل قطع شدن کابل، پوسیدگی و گسستگی در اتصالات الکتریکی، وجود مقاومت الکتریکی در محل اتصالات و ... وجود نخواهد داشت.

ساختار کلی از این تکنولوژی انتقال انرژی که تقریبا در همه کاربردها استفاده می شود، شامل یک ترانسفورماتور فرکانس بالا با هسته ای غیر یکپارچه می باشد که فاصله هوایی بین دو بخش اولیه و ثانویه هسته نسبتاً زیاد بوده و انتقال انرژی از طریق القای الکترومغناطیسی صورت می گیرد. در این سیستم، عوامل متعددی در تعیین رفتار سیستم نقش دارند که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد :

ابعاد قسمت اولیه و ثانویه سیستم، وجود هسته فریت در سمت اولیه و ثانویه و طول فاصله هوایی.

توان الکتریکی قابل انتقال و همچنین بازده مجموعه های مغناطیسی با فاصله هوایی بزرگ را می توان با استفاده از فرکانس های انتقال بالا، در محدوده تقریباً $۱۰۰KHz$، به طور قابل ملاحظه ای بهبود بخشید.

در این رساله یک سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم با استفاده از مبدل ماتریسی، شبیه سازی و ساخته شده است. در این سیستم، ولتاژ ورودی برق شهر با فرکانس $۵۰Hz$ به یک مبدل ماتریسی سه فاز به تکفاز داده شده و در خروجی مبدل ماتریسی، پالس هایی با فرکانس $۱۰۰KHz$ بوجود خواهد آمد. این پالس های فرکانس بالا سپس به سیم پیچ اولیه سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم داده شده و پس از عبور از فاصله هوایی دو میلی متری در سمت ثانویه، با استفاده از

یک فیلتر پایین گذر، هارمونیک های فرکانس بالای ولتاژ خروجی سیستم مغناطیسی حذف شده و نهایتاً ولتاژ سینوسی با فرکانس $۵۰Hz$ بدست می آید.

سایر سیستم های انتقال انرژی بدون تماس مستقیم بیان شده در مقالات، دارای ولتاژ DC در خروجی می باشند و در جاهایی که نیاز به ولتاژ AC در خروجی باشد، لازم است از یک مرحله اینورتر در خروجی سیستم استفاده شود که باعث پیچیدگی سیستم خواهد شد. اما در سیستم پیشنهادی، خروجی به صورت AC می باشد و قابل کاربرد در جاهایی که نیاز به منبع تغذیه AC می باشد، است. همچنین در صورت نیاز به ولتاژ DC می توان با استفاده از یک مرحله یکسوکننده پل، ولتاژ مورد نظر را بدست آورد.

در نهایت کلیه شبیه سازی های انجام شده با استفاده از نرم افزار *MATLAB/SIMULINK* با مطالب تئوری بیان شده و نتایج بدست آمده در عمل، مقایسه شده و هماهنگی این مطالب با یکدیگر کاملاً مشخص می باشد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۱-۲ دورنمای پایان نامه	۴
فصل دوم: مروری بر سیستم های انتقال انرژی بدون تماس مستقیم	۶
۲-۱ مقدمه	۷
۲-۲ معرفی انواع سیستم های انتقال انرژی بدون تماس مستقیم	۷
۲-۳ معرفی اجزای سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم	۸
۲-۳-۱ منبع تغذیه و فیلتر ورودی	۸
۲-۳-۲ مبدل ولتاژ فرکانس بالا	۹
۲-۳-۲-۱ مبدل ولتاژ فرکانس بالا با استفاده از یکسوکننده و اینورتر	۹
۲-۳-۲-۲ مبدل ولتاژ فرکانس بالا با استفاده از مبدل ماتریسی	۱۲
۲-۳-۳ سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم	۱۶
۲-۳-۳-۱ مدار معادل الکتریکی	۱۶
۲-۳-۳-۲ پارامترهای وابسته به فرکانس	۱۸
۲-۳-۳-۳ جبرانسازی اندوکتانس پراکندگی	۲۰
۲-۳-۳-۳-۱ مبدل رزونانسی سری	۲۲

۲-۳-۳-۳-۲ مبدل رزونانسی سری – موازی ۲۴
۲-۳-۳-۳-۳ مبدل رزونانسی سری با ترانسفورماتور تطبیق ۲۷
۲-۳-۴ مبدل ولتاژ فرکانس پایین ۲۸
۲-۴ معرفی برخی کاربردهای سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم در مقالات ۲۸
۲-۴-۱ سیستم انتقال توان بدون تماس با راندمان بالا برای قطارهای سریع السیر ۲۹
۲-۴-۲ سیستم شارژر باتری وسایل نقلیه الکتریکی به صورت بدون تماس ۳۳
۲-۴-۳ سیستم انتقال توان بدون تماس چرخشی ۳۵
۲-۵ خلاصه ۳۶

فصل سوم: معرفی مبدل ماتریسی ۳۷
۳-۱ مقدمه ۳۸
۳-۱-۱ مدولاسیون ۴۰
۳-۱-۲ روش های مدولاسیون و کنترل ۴۳
۳-۲ مفهوم مبدل ماتریسی ۴۴
۳-۳ تکنیک ها (روش های) مدولاسیون ۴۶
۳-۳-۱ راه حل اساسی مساله مدولاسیون ۵۰
۳-۳-۲ روش بهینه *Venturini* ۵۳
۳-۳-۳ روش عددی ۵۵
۳-۳-۴ روش مدولاسیون فضای برداری (*SVM*) ۵۶
۳-۳-۴-۱ بردارهای فضائی ۵۶

۳-۳-۴-۲ حالات سوئیچینگ مبدل ماتریسی ۵۷
۳-۳-۴-۳ انتخاب حالات سوئیچینگ ۶۰
۳-۴ ساختار سوئیچ های دو طرفه ۶۲
۳-۴-۱ ساختار پل دیودی ۶۳
۳-۴-۲ ساختارهای $IGBT$ با دیود موازی معکوس ۶۳
۳-۴-۲-۱ سوئیچ دو طرفه امیتر مشترک ۶۳
۳-۴-۲-۲ سوئیچ دو طرفه کلکتور مشترک ۶۴
۳-۴-۲-۳ ترکیب های سری $IGBT$ و دیود ۶۵
۳-۴-۲-۴ $IGBT$ های بلوکه کننده معکوس به صورت موازی معکوس ۶۵
۳-۵ روش های کموتاسیون مبدل ماتریسی ۶۶
۳-۵-۱ روش های کموتاسیون ساده ۶۷
۳-۵-۱-۱ روش کموتاسیون زمان مرده ۶۷
۳-۵-۱-۲ روش کموتاسیون هم پوشانی ۶۷
۳-۵-۲ روش های کموتاسیون پیشرفته ۶۸
۳-۵-۲-۱ روش کموتاسیون بر اساس جهت جریان ۶۹
۳-۵-۲-۲ روش کموتاسیون بر اساس دامنه ولتاژ ۷۱
۳-۵-۲-۳ روش دامنه ولتاژ و جهت جریان ۷۳
۳-۶ خلاصه ۷۳

فصل چهارم: طراحی سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم با استفاده

از مبدل ماتریسی ۱ ×۳ ۷۵

۴-۱ مقدمه ۷۶

۴-۲ ساختار سیتم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم پیشنهادی ۷۶

۴-۲-۱ طراحی فیلتر ورودی ۷۸

۴-۲-۲ طراحی سلف ۸۰

۴-۲-۲-۱ محدودیت های طراحی فیلتر سلفی ۸۱

۴-۲-۲-۱-۱ چگالی شار بیشینه ۸۳

۴-۲-۲-۱-۲ اندوکتانس ۸۳

۴-۲-۲-۱-۳ مساحت سیم پیچی ۸۳

۴-۲-۲-۱-۳-۱ ضریب استفاده از پنجره k_u ۸۴

۴-۲-۲-۱-۴ مقاومت سیم پیچی ۸۵

۴-۲-۲-۲ ثابت هندسی هسته ۸۵

۴-۲-۲-۳ روند گام به گام ۸۷

۴-۲-۲-۳-۱ اندازه فاصله هوائی ۸۷

۴-۲-۲-۳-۱-۱ کمیت A_L ۸۸

۴-۲-۲-۳-۲ تعیین تعداد دورها ۸۸

۴-۲-۲-۳-۳ محاسبه شماره سیم ۸۸

۴-۲-۳ بررسی مبدل ماتریسی ۱×۳ و نحوه کنترل آن ۸۹

۴-۲-۴ انتخاب سوئیچ های مبدل ۹۲

۴-۲-۵ ترانسفورماتور فرکانس بالا ۹۳
۴-۲-۵-۱ طراحی ترانسفورماتور قدرت فرکانس بالا ۹۴
۴-۲-۵-۱-۱ روش حاصل ضرب سطح ۹۵
۴-۲-۵-۱-۱-۱ تعریف پارامترهای به کار رفته ۹۶
۴-۲-۵-۱-۱-۲ روابط اساسی ۹۷
۴-۲-۵-۱-۱-۳ تعیین ضرایب ثابت ۹۸
۴-۲-۵-۱-۱-۴ رابطه اساسی ترانسفورماتورها ۹۹
۴-۲-۵-۱-۲ روش هندسه هسته ۱۰۰
۴-۲-۵-۱-۲-۱ تلفات مسی ۱۰۳
۴-۲-۵-۱-۲-۲ تلفات آهنی (هسته) ۱۰۶
۴-۲-۵-۱-۲-۳ ایجاد تعادل برای انتخاب چگالی شار ۱۰۶
۴-۲-۵-۱-۲-۴ تفاوت k_{g} با k_{gfe} ۱۰۹
۴-۲-۶ طراحی فیلتر خروجی ۱۱۲
۴-۳ خلاصه ۱۱۴

فصل پنجم: نتایج شبیه سازی و ساخت ۱۱۶
۵-۱ مقدمه ۱۱۷
۵-۲ شبیه سازی های مقدماتی ۱۱۸
۵-۲-۱ شبیه سازی سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم با استفاده از روش تبدیلات متوالی ۱۱۸

۵-۲-۲ شبیه سازی مبدل ماتریسی سه فاز به سه فاز ۱۲۳

۵-۲-۳ شبیه سازی مبدل ماتریسی سه فاز به دو فاز ۱۲۶

۵-۳ سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم با استفاده از مبدل ماتریسی سه فاز به تک فاز ۱۳۱

۵-۳-۱ ساختار سیستم انتقال انرژی بدون فیلتر ۱۳۶

۵-۳-۲ ساختار سیستم انتقال انرژی با فیلتر ورودی و خروجی ۱۴۰

۵-۴ نتایج حاصل از ساخت نمونه عملی ۱۴۶

۵-۵ خلاصه ۱۵۱

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۵۳

۶-۱ نتیجه گیری ۱۵۴

۶-۲ پیشنهادات ۱۵۵

مراجع

پیوست

فهرست جداول

شماره جدول **صفحه**

جدول(۲-۱): پارامترهای نمونه آزمایشی ۳۱

جدول(۲-۲): مقادیر پارامترهای ورودی و خروجی به ازای مقادیر مختلف خازن ۳۲

جدول(۲-۳): پارامترهای سیستم ۳۴

جدول(۳-۱): حالات سوئیچینگ برای یک مبدل ماتریسی ۳ فاز به ۳ فاز ۵۹

جدول(۳-۲): انتخاب ترکیب های سوئیچینگ برای هر ترکیب از K_V و K_I ۶۱

جدول(۳-۳): انتخاب ترکیب های سوئیچینگ برای هر ترکیب از K_V و K_I ۶۱

جدول(۵-۱): پارامترهای سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم ۱۳۳

فهرست اشکال

شماره شکل **صفحه**

شکل(۱-۱): نمودار بلوکی یک سیستم انتقال توان به صورت بدون تماس مستقیم ۴

شکل(۲-۱): مبدل اینورتری منبع ولتاژ VSI ۱۰

شکل(۲-۲): مبدل اینورتری منبع جریان CSI ۱۰

شکل(۲-۳): ساختار شماره ۱ مبدل اینورتری منبع ولتاژ برای سیستم چهارسیمه ۱۱

شکل(۲-۴): ساختار شماره ۲ مبدل اینورتری منبع ولتاژ برای سیستم چهارسیمه ۱۱

شکل(۲-۵): اینورتر فرکانس بالا برای انتقال بدون تماس مستقیم انرژی ۱۲

شکل(۲-۶): ساختار مبدل ماتریسی برای انتقال بدون تماس انرژی ۱۵

شکل(۲-۷): مدار معادل الکتریکی سیستم مغناطیسی ۱۶

شکل(۲-۸): خطوط شار مغناطیسی یک مجموعه مغناطیسی بهینه شده با فاصله هوایی بزرگ ۱۷

شکل(۲-۹): تغییرات اندوکتانس اصلی مجموعه مغناطیسی به صورت تابعی از طول فاصله هوایی ۱۸

شکل(۲-۱۰): توزیع شبیه سازی شده چگالی جریان ۱۹

شکل(۲-۱۱): مقاومت سیم پیچ بر حسب فرکانس (بالا: اثر پوستی و مجاورتی ، پایین: فقط اثر پوستی) ۲۰

شکل(۲-۱۲): مبدل رزونانسی سری پل کامل ۲۲

شکل(۲-۱۳): نتایج آنالیز فرکانسی مبدل رزونانسی سری ۲۴

شکل(۲-۱۴): مبدل رزونانسی سری – موازی پل کامل ۲۴

شکل(۲-۱۵): مدل معادل مبدل رزونانسی سری – موازی ۲۵

شکل(۲-۱۶): نتایج آنالیز فرکانسی مبدل رزونانسی سری – موازی ۲۶

شکل(۲-۱۷): مبدل رزونانسی سری پل کامل با ترانسفورماتور تطبیق ۲۷

شکل(۲-۱۸): نتایج آنالیز فرکانسی مبدل رزونانسی سری با ترانسفورماتور تطبیق ۲۸

شکل(۲-۱۹): تصویر کلی سیستم انتقال توان بدون تماس با راندمان بالا برای قطارهای سریع السیر ۳۱

شکل(۲-۲۰): نمونه آزمایشی سیستم انتقال انرژی بدون تماس برای قطار ۳۲

شکل(۲-۲۱): نمونه شبیه سازی شده سیستم انتقال انرژی بدون تماس برای قطار ۳۳

شکل(۲-۲۲): ساختار سیستم انتقال توان القایی ۳۳

شکل(۲-۲۳): مدل شماتیکی سیستم شارژ بدون تماس باتری ۳۴

شکل(۲-۲۴): شمای کلی سیستم انتقال توان بدون تماس چرخشی ۳۵

شکل(۳-۱): بار تکفاز تغذیه شده از یک سیکلوکانورتر سه فاز ۳۹

شکل(۳-۲): ساختار مبدل ماتریسی ۴۰

شکل(۳-۳): دیاگرام اصلی مبدل $AC\text{-}DC\text{-}AC$ با ورودی دیودی ۴۱

شکل(۳-۴): شماتیک مبدل $AC\text{-}DC\text{-}AC$ با قابلیت برگشت توان ۴۲

شکل(۳-۵): شمای ساده سیستم مبدل ماتریسی ۴۲

شکل(۳-۶): شکل کلی الگوی سوئیچینگ ۴۹

شکل(۳-۷): شکل موج های تئوری، محدودیت ۵۰٪ نسبت ولتاژ را نشان می دهد. ۵۳

شکل(۳-۸): شکل موج های تئوری، افزایش هارمونیک سوم را برای به دست آوردن محدودیت
نسبت ولتاژ بهینه ۸۶٪ نشان می دهد. این نسبت مقدار rms به مقدار rms است. ۵۴

شکل(۳-۹): حالات مبدل برای ترکیب سوئیچینگ ۱+ و ۱- ۶۰

شکل(۳-۱۰): ترکیب فضای فازوری ولتاژ خروجی و جریان ورودی ۶۰

شکل(۳-۱۱): سوئیچ دو طرفه پل دیودی ۶۳

شکل(۳-۱۲): سوئیچ دو طرفه امیتر مشترک ۶۴

شکل(۳-۱۳): سوئیچ دو طرفه کلکتور مشترک ۶۵

شکل(۳-۱۴): المانهای پشت به پشت بدون اتصال مرکزی ۶۵

شکل(۳-۱۵): سوئیچ دوطرفه $IGBT$ بلوکه کننده معکوس ۶۶

شکل(۳-۱۶): وضعیت های غیر مجاز در مبدل ماتریسی ۶۷

شکل(۳-۱۷): مبدل دو فاز به تکفاز ۶۹

شکل(۳-۱۸): دیاگرام زمانی برای کموتاسیون جریان چهار مرحله ای بین دو سوئیچ ۷۰

شکل(۳-۱۹): دیاگرام زمانی برای کموتاسیون جریان دو مرحله ای بین دو سوئیچ ۷۰

شکل(۳-۲۰): نواحی بحرانی و غیر بحرانی کموتاسیون ۷۲

شکل(۳-۲۱): نواحی بحرانی بین فاز A و فاز B – دو ترکیب اضافی به فاز C در تناوب
مدولاسیون اضافه شده است. ۷۳

شکل(۴-۱): شمای کلی سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم ۷۷

شکل(۴-۲): نمایش کامل سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم به همراه بخش کنترلی ۷۷

شکل(۴-۳): طیف فرکانسی جریان ورودی سیستم بدون استفاده از فیلتر ورودی ۷۸

شکل(۴-۴): طیف فرکانسی جریان ورودی سیستم با استفاده از فیلتر ورودی ۷۹

شکل(۴-۵): فیلتر ورودی میرا شده ۸۰

شکل(۴-۶): مدار معادل یک سلف واقعی ۸۲

شکل(۴-۷): مدار مغناطیسی معادل فیلتر سلفی ۸۲

شکل(۴-۸): نمایی از سیم پیچی هسته ۸۴

شکل(۴-۹): ساختار مبدل ماتریسی سه فاز به تکفاز ۸۹

شکل(۴-۱۰): ترکیب ولتاژ خروجی ۹۱

شکل(۴-۱۱): نمایش حداکثر نسبت ولتاژ ۵۰٪ ۹۲

شکل(۴-۱۲): نمای هسته الف)برش عرضی. ب)از روبرو ۹۶

شکل(۴-۱۳): مدار معادل یک ترانس با n سیم پیچی ۱۰۱

شکل(۴-۱۴): شمای ساده ای از یک ترانسفورماتور نمونه که سطح پیچش در آن مشخص شده است. ۱۰۲

شکل(۴-۱۵): شمایی از یک هسته ترانسفورماتور که تقسیم بندی فضای اختصاص داده شده به

هر سیم پیچی در آن مشخص شده است. ۱۰۲

شکل(۴-۱۶): نمودار تلفات مسی سیم پیچی ها بر حسب تعداد دور یک سیم پیچ ۱۰۴

شکل(۴-۱۷): شمای تصویری شکل موج ولتاژ اولیه اختیاری ۱۰۷

شکل(۴-۱۸): به دست آوردن نقطه کمینه مجموع تلفات مسی و آهنی ۱۰۸

شکل(۴-۱۹): نمایش مقاومت ها و اندوکتانس القائی در مدار معادل ترانسفورماتور ۱۱۲

شکل(۴-۲۰): طیف فرکانسی ولتاژ خروجی سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم بدون

استفاده از فیلتر خروجی ۱۱۳

شکل(۴-۲۱): طیف فرکانسی ولتاژ خروجی سیستم با استفاده از فیلتر خروجی ۱۱۴

شکل(۵-۱): سخت افزار شبیه سازی شده سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم با

استفاده از روش تبدیلات متوالی ۱۱۹

شکل(۵-۲): ولتاژ خروجی یکسوکننده پل کامل ۱۱۹

شکل(۵-۳): ولتاژ خروجی اینورتر فرکانس بالا ۱۲۰

شکل(۵-۴): ولتاژ خروجی اینورتر فرکانس بالا در حالت زوم شده ۱۲۰

شکل(۵-۵): ولتاژ سمت ثانویه سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم ۱۲۱

شکل(۵-۶): ولتاژ سمت ثانویه سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم در حالت زوم شده ۱۲۱

شکل(۵-۷): ولتاژ سمت ثانویه سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم پس از فیلتر ۱۲۲

شکل(۵-۸): ولتاژ سمت ثانویه سیستم مغناطیسی بدون تماس مستقیم پس از فیلتر در حالت زوم شده ۱۲۲

شکل(۵-۹): شمای کلی مبدل ماتریسی سه فاز به سه فاز ۱۲۴

شکل(۵-۱۰): شکل موج ولتاژ فاز خروجی مبدل ماتریسی سه فاز به سه فاز ۱۲۵

شکل(۵-۱۱): شکل موج مولفه اصلی ولتاژ فاز خروجی مبدل ماتریسی سه فاز به سه فاز ۱۲۵

شکل(۵-۱۲): مبدل ماتریسی سه فاز به دو فاز ۱۲۷

شکل(۵-۱۳): مدار شبیه سازی شده مبدل ماتریسی سه فاز به دو فاز ۱۲۸

شکل(۵-۱۴): ولتاژهای فاز خروجی مبدل ماتریسی سه فاز به دو فاز ۱۲۹

شکل(۵-۱۵): مولفه های اصلی ولتاژهای فاز خروجی مبدل ماتریسی سه فاز به دو فاز ۱۲۹

شکل(۵-۱۶): مولفه های اصلی جریان های فاز خروجی مبدل ماتریسی سه فاز به دو فاز ۱۳۰

شکل(۵-۱۷): شمای کلی سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم ۱۳۱

شکل(۵-۱۸): نمایش کامل سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم به همراه بخش کنترلی ۱۳۲

شکل(۵-۱۹): زیر سیستم تولید زمان های سوئیچینگ ۱۳۳

شکل(۵-۲۰): زیر سیستم تولید پالس های اعمالی به سوئیچ ها ۱۳۴

شکل(۵-۲۱): شمای شبیه سازی شده سیستم فرمان سوئیچ ها توسط AVR ۱۳۵

شکل(۵-۲۲): شکل موج خروجی میکروکنترلر پس از بافر شدن ۱۳۵

شکل(۵-۲۳): شکل موج پالس های اعمالی به سوئیچ ها، شبیه سازی شده در $MATLAB$ ۱۳۶

شکل(۵-۲۴): سیستم انتقال انرژی بدون تماس مستقیم بدون فیلتر ورودی و خروجی ۱۳۷

شکل(۵-۲۵): شکل موج جریان فاز ورودی سیستم بدون فیلتر ۱۳۸