بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

مدلسازی، الگوریتم طراحی اولیه و بهینه سازی موتور شار متقاطع مغناطیس دائم (PMTFM)

دانشجو :

حسین آذرین‌فر

استاد راهنما :

دکتر احمد دارابی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۱۳۹۰

شماره : ۰۹۳/ت ب
تاریخ : ۹۰/۱۱/۱۷
ویرایش : ---

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

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 :

حسین آذرین فر رشته : **برق** گرایش : **قدرت**

تحت عنوان : **مدلسازی، الگوریتم طراحی اولیه و بهینه سازی موتور شار متقاطع مغناطیس دائم (PMTFPM)**

که در تاریخ ۹۰/۱۱/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : خوب امتیاز ۱۷/۹۳۷۵) ☑ 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)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضـــاء
۱ـ استاد راهنما	احمد یاران	دانشیار	
۲ـ استاد مشاور	ـــــ	ـــــ	ـــــ
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	امیر رضا سروری	استادیار	
۴ـ استاد ممتحن	امین حاجی زاده	استادیار	
۵ـ استاد ممتحن	حسین تهرانی مقدم	استادیار	

رئیس دانشکده

نمی دانم از چه بنویسم؟ نوشتن درباره انسان‌هایی که حیات گرامی شان را صرف دلواپسی‌های من، صرف پویایی من کرده‌اند، بسیار دشوار است

پدر صبورم،

مادر مهربانم،

همسر فداکارم،

آفتاب و چشمه

سوسن و بهار

و این دست نوشته ناقابل را تقدیم مهربانی و شکیبایی شما می‌کنم

زندگی من با وجود نازنین شما معنا گرفته است

به خاطر همه چیز سپاسگزارم

تعهد نامه

اینجانب حسین آذرین مهر ..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته برق-قدرت ..... دانشکده مهندسی برق و رباتیک

دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان :

مدلسازی و الگوریتم مدارهای ادیبه و بهینه سازی موقعیت شارژ قطع مغناطیسی دائم (PM TFM) .....

تحت راهنمائی آقای دکتر احمد دلاری ..... متعهد می شوم :

- تحقیقات در این پایان نامه 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 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 تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، 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 :

امضاء دانشجو

حسین آذرین مهر

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 بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

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

تقدیر و تشکر:

به نام آن علیمی که شعله‌ی عشق به تحصیل را در فانوس سینه‌ی پر مهر صاحبان علم و طالبان عمل روشن نمود. حمد و سپاس کردگاری را سزاست که رخصت کسب علم و دانش را به ما عطا فرموده است . اکنون که به فضل خدا در این موقعیت قرار گرفته‌ام بر خود لازم می‌دانم تا از تمامی عزیزانی که در این پروژه از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ایشان بهره برده‌ام، قدردانی نمایم.

بدین وسیله از کلیه اساتید گرانقدرم که در تمام مراحل همواره پشتیبان و حامی بنده بودند، بی‌نهایت سپاسگزارم. به ویژه از استاد ارزشمند جناب آقای دکتر دارابی که درس‌های بزرگی را از ایشان فرا گرفته‌ام و همواره راهنما و راه گشای بنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده‌اند، کمال تقدیر و تشکر را دارم. در پایان از خانواده خوبم که از آغاز تا کنون همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند و همچنین از کلیه دوستان و هم کلاسی‌هایم خود در دانشگاه صنعتی شاهرود که با یاری‌ها و راهنمایی‌های ایشان، بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان‌تر نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

حسین آذرین‌فر

۱۳۹۰

چکیده

ایده‌ی ماشین‌های شار متقاطع مغناطیس دائم[1] در سال ۱۹۸۶ توسط آقایان Weh و May ارائه شد. این ماشین‌ها به عنوان ماشین‌هایی با چگالی توان و گشتاور بالا شهرت یافته‌اند. از جمله کاربردهای این نوع ماشین می‌توان به کاربردهای گشتاور بالا در سرعت پائین همانند ژنراتور توربین های بادی و موتور وسایل نقلیه الکتریکی اشاره کرد. چگالی توان و گشتاور بالا با تعداد قطب‌های زیاد و بارگذاری الکتریکی بالا بدست می‌آیند. جنبه نامطلوب این ماشین ها بالا بودن شار پراکندگی و پائین بودن ضریب قدرت به دلیل تعداد قطب های زیاد، است. متاسفانه مسیرهای سه بعدی خطوط شار، مسیرهای پیچیده شار نشتی و اشباع قابل توجه هسته به مشکلات طراحی این ماشین ها می افزاید. از جمله مزایایی که این ماشین را از ماشین‌های معمولی متمایز کرده است، می‌توان به مستقل بودن فازها از یکدیگر، شکل ساده سیم‌پیچی این ماشین‌ها و ... اشاره نمود.

طراحی و مدل‌سازی این ماشین‌ها امری مهم به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر ابتدا در مورد اصول عملکرد و انواع ساختارهای این نوع از ماشین‌ها بحث می‌شود، سپس با انتخاب ساختار قطب چنگالی[2]، الگوریتم طراحی اولیه برای طراحی ارائه می‌گردد. بعد از مطرح کردن الگوریتم اولیه، دو نمونه از ماشین‌های طراحی شده در مراجع به منظور اطمینان از صحت الگوریتم، مجددا طراحی می‌شوند و نتایج با اطلاعات داده شده در مراجع مقایسه می‌گردد. بعد از این مرحله ماشین‌های نمونه با روش اجزا محدود[3] شبیه سازی شده و نتایج آن با الگوریتم مقایسه می‌گردد. در نهایت ماشین اصلی با الگوریتم ارائه شده طراحی می‌شود و ابعاد و پارامترهای ماشین با روش سعی و خطا بهینه می‌گردد.

---

[1] - Transverse Flux Permanent Magnet Machines
[2] - Claw pole
[3] - Finite Element Method

در پایان پژوهش نیز یک نمونه کوچک از ماشین‌های شار متقاطع مغناطیس دائم با هسته U شکل ساخته شده در آزمایشگاه مطرح می‌شود.

کلمات کلیدی:

ماشین شار متقاطع قطب چنگالی، روش اجزا محدود، الگوریتم طراحی اولیه

مقالات مستخرج از پایان نامه

- ثبت اختراع با عنوان " ماشین سنکرون دیسکی شار متقاطع مغناطیس دائم تک‌فاز"

فهرست مطالب

فصل اول ۱

مقدمه ۱

۱- ۱- مقدمه ۲

۱-۲- نگاه کلی به تاریخچه TFPM [۴] ۳

۱-۳- مفاهیم و اصطلاحات مورد نیاز برای شناخت ماشین TFPM [۴] ۴

۱-۳-۱- موقعیت فاصله هوائی نسبت به محور چرخش (ماشین های شعاعی (R) و محوری (A)) ۴

۱-۳-۲- موقعیت هستهی استاتور نسبت به جهت حرکت، طولی (L) یا متقاطع (عرضی) (T) ۵

۱-۳-۳- موقعیت PM ها نسبت به فاصله هوائی(رویهای(SM) و شار متمرکز(FC)) ۷

۱-۴- اصول عملکرد TFPM ۷

۱-۵- روش تحلیل گشتاور در TFPM ۹

۱-۶- مزیتهای TFPM ۱۱

۱-۷- توصیف انواع TFPM از لحاظ موقعیت PMها ۱۲

۱-۷-۱- TFPM با آهنربای سطحی ۱۲

۱-۷-۲- TFPM شار متمرکز ۱۳

فصل دوم ۱۴

انواع ساختارهای ماشین شار متقاطع مغناطیس دائم ۱۴

۲-۱- انواع ساختارهای TFPM شار متمرکز ۱۵

۲-۱-۱- ماشین TFPM دو طرفه، دو سیم پیچه ۱۵

۲-۱-۲- ساختار دو طرفه، یک سیم پیچه با هسته U شکل : ۱۶

۱-۱- ۲-۱-۳- ساختاردو طرفه، یک سیم پیچه با هسته C شکل ۱۷

۲-۱-۴- ماشین شار متقاطع قطب چنگالی ۲۰

۲-۱-۵- ماشین شار متقاطع مغناطیس دائم با هسته E شکل ۲۳
۲-۱-۶- ساختار TFPM با روتور دیسکی با هسته C شکل [۷] ۲۴
۲-۱-۷- ماشین شار متقاطع مغناطیس دائم خطی (TFPLM) ۲۵
۲-۲- انتخاب ساختار مناسب برای طراحی اولیه ۲۷
۲-۳- بررسی تستهای انجام شده روی نمونه ساختار TFPM با روتور دیسکی با هسته C شکل ۲۸
۲-۳-۱- تست مدار باز ۲۸
۲-۳-۲- تست تعیین اندوکتانسهای محورههای d و q روتور ثابت شده ۲۹
۲-۴- ضریب قدرت ماشینهای TFPM و هزینه الکترونیک قدرت: ۳۲
۲-۵- مقایسه عملکرد آهن پودر شده و ورقههای فولاد Fe – Si ۳۳
۲-۵- تلفات آهنی در میدانهای سه بعدی ۳۵
۲-۶- دیگر خواص مغناطیسی مواد SMC و ورقههای فولاد ۳۷
۲-۷- ساخت پودر آهن ۳۸
فصل سوم ۴۰
الگوریتم طراحی اولیه ماشین شار محوری آهنربای دائم ۴۰
۳-۱- معادله ابعادی ماشین ۴۱
۳-۲- چگالی شار فاصله هوایی[۱۲] و [۱۳] ۵۴
چگالی شار متوسط فاصله هوایی B_g به صورت زیر محاسبه میشود: ۵۴
۳-۳- سیم پیچی ۵۴
۳-۴- تائید صحت الگوریتم ارائه شده با استفاده از مشخصات دو نمونه عملی مندرج در منابع ۵۵
۳-۴-۱- نمونه اول [۱۰] ۵۵
۳-۴-۱-۱- بعضی مشخصات داده شده ماشین نمونه ۱ ..... ۵۵
۳-۴-۱-۲- پیاده سازی الگوریتم برای یافتن ابعاد هندسی ماشین نمونه ۱ ..... ۵۵
۳-۴-۲- نمونه دوم [۱۴] ۵۸

۳-۴-۲-۱- بعضی مشخصات نامی داده شده نمونه ۲ ..... ۵۸
۳-۴-۲-۲- پیاده سازی الگوریتم برای یافتن ابعاد و پارامترهای طراحی ماشین نمونه ۲ ..... ۵۸
۳-۵- مقایسه نتایج ۵۹
۳-۶- شکل موجهای شار در ماشینهای قطب چنگالی و مقایسه بین آنها ۶۱
فصل چهارم ۶۳
مدلسازی، شبیهسازی و بهینه سازی ماشین شار متقاطع آهنربای دائم با ساختار قطب چنگالی ۶۳
۴-۱- مقدمه: ۶۴
۴-۲- شبیه سازی ماشین قطب چنگالی با روش اجزا محدود ۶۵
۴-۲-۱- مقدمهای بر نرمافزار Comsol ۴.۲ ..... ۶۵
۴-۲-۲- نتایج ۶۸
۴-۲-۳- نرم افزار Maxwell ۱۴a ۷۳
۴-۲-۳-۱- به دست آوردن اندوکتانس ۷۳
۴-۲-۳-۲- شار پیوندی سیمپیچ و نیروی ضد محرکه ۷۵
۴-۲-۳-۳- مقدار زاویه بار ($\boldsymbol{\delta}$) ۷۵
۴-۳- نمونه دوم ۷۵
۴-۴- پیاده سازی الگوریتم طراحی اولیه برای یافتن ابعاد هندسی ماشین اصلی و بهینهسازی آن ۷۸
۴-۴-۱- مشخصات نامی ماشین اصلی ۷۹
۴-۴-۱-۱-۱- طراحی به ازای فرکانسهای مختلف ۷۹
۴-۴-۱-۱-۱- فرکانس ۳۰ هرتز ۷۹
۴-۴-۱-۱-۲- فرکانس ۵۵ هرتز ۸۰
۴-۴-۱-۱-۳- فرکانس ۲۰۰ هرتز ۸۲
۴-۴-۱-۱-۴- نتایج به دست آمده از الگوریتم در فرکانسهای مختلف ۸۴
۴-۵- بهینه کردن طرح نهائی ۸۷
۴-۵-۱- اثر $\boldsymbol{Ks}$ ۸۷

۱-۵- ۴-۵-۲- اثر KL ۸۸
فصل پنجم ۹۰
یک نمونه عملی از ماشینهای شار متقاطع مغناطیس دائم ۹۰
۵-۱- مشخصات ماشین طراحی و ساخته شده ۹۱
۵-۱-۱- استاتور ۹۱
۵-۱-۲- سیم پیچی ۹۳
۵-۱-۳- شفت (محور) ۹۳
۵-۱-۴- روتور ۹۴
۱-۶- ۵-۱-۵- آهنرباهای دائم ۹۶
۱-۷- ۵-۱-۶- بلبرینگ ۹۶
۱-۸- ۵-۱-۷- اسمبل کردن ماشین ۹۶
۵-۲- تستهای انجام شده روی ماشین ۹۸
۱-۹- ۵-۲-۱- در حالت ژنراتوری ۹۸
۵-۲-۱-۱- مشخصه ولتاژ- جریان ماشین در حالت مولدی ۹۹
۵-۲-۱-۲- مشخصه راندمان-توان ماشین در حالت مولدی ۱۰۰
۵-۲-۲-۱- مشخصه راندمان-توان ماشین در حالت موتوری ۱۰۴
۵-۲-۲-۲- راکتاس سنکرون ماشین در حالت موتوری ۱۰۴
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۶
۶-۱- جمع بندی و نتیجه گیری ۱۰۷
۶-۲- پیشنهادات ۱۰۷
مراجع ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱) : موقعیت فاصله هوائی ماشین شعاعی و ماشین محوری ۵

شکل (۱-۲) : موقعیت استاتور ماشین طولی و عرضی (متقاطع) ۶

شکل (۱-۳) : ساختارهای FC و SM..... ۷

شکل (۱-۴) : یک بخش از ماشین TFPM یک طرفه ۸

شکل (۱-۵) : ماشین TFPM با رویهی سطحی ۱۳

شکل (۱-۶) : ماشین TFPM شار متمرکز..... ۱۳

شکل (۲-۱) : ماشین TFPM دو طرفه، دو سیم پیچه ۱۶

شکل (۲-۲) : ساختار دوطرفه، یک سیم پیچه با هسته U شکل..... ۱۷

شکل (۲-۳) : ساختار دو طرفه، یک سیم پیچه با هسته C شکل ۱۸

شکل (۲-۴) : ماشین دو طرفه، تک سیم پیچه با هسته C شکل مطرح شده توسط Mecrow ۱۸

شکل (۲-۵) : ماشین شار متقاطع قطب چنگالی ۲۰

شکل (۲-۶) : ساختار Claw Pole..... ۲۲

شکل (۲-۷) : ماشین قطب چنگالی دو طرفه و ماشین خطی ۲۳

شکل (۲-۹) : نمایش مفهوم کلی یک نمونه موتور دیسک..... ۲۵

شکل (۲-۱۰) : نمایش نمونه عملی ۲۵

شکل (۲-۱۱) : ساختار پایه TFPLM..... ۲۶

شکل (۲-۱۲) : آرایش فازهای A وB..... ۲۶

شکل (۲-۱۳) : جریان فازها و نیروی محوری ایجاد شده ۲۶

شکل (۲-۱۴) : تست مدار باز با اتصال اسیلوسکوپ ۲۹

شکل (۲-۱۵) : تغییرات ولتاژ خروجی بی باری با تغییرات فرکانس ۲۹

شکل (۲-۱۶) : مدار تست تعیین اندوکتانسهای محورههای d و q روتور ثابت شده ۳۰

شکل (۲-۱۷) : بردار امپدانس محور d ۳۱

شکل (۲-۱۸) : بردار امپدانس محور q ۳۱

شکل (۲-۱۹) : ذرات آهنی میکروسکوپی و عایق بین آن‌ها ۳۵

شکل (۲-۲۰) : مسیر جریان گردشی در اطراف عایق ۳۵

شکل (۲-۲۱) : دو ساختار ورقه کردن هسته استاتور ۳۷

شکل (۲-۲۳) : فرآیند تولید آهن پودر شده ۳۹

شکل (۳-۱) : ماشین شار متقاطع قطب چنگالی ۴۱

شکل (۳-۲) : نمایش یک جفت قطب از هر فاز ماشین قطب چنگالی به همراه پارامترهای آن ۴۲

شکل (۳-۳) : یک قطعه از روتور [۵] ۵۱

شکل (۳-۴) : مقدار بهینه K_L نسبت به سرعت مکانیکی نامی n_s برای تعداد جفتهای قطبهای مختلف ۵۳

شکل (۴-۱) : سه بعدی ساختار یک فاز از ماشین قطب چنگالی ۶۴

شکل (۴-۲) : نحوه فراخوانی شکل از نرمافزار کمکی گرافیکی ۶۵

شکل (۴-۳) : نحوه لینک کردن نرمافزار Solid Works با Comsol ۴.۲ ..... ۶۶

شکل (۴-۴) : ساختار معرفی شده به نرمافزار Comsol ۴.۲ ..... ۶۶

شکل (۴-۵) : مش بندی ماشین نمونه ۶۷

شکل (۴-۶) : مش بندی فاصله هوائی ۶۸

شکل (۴-۷) : نمایش برداری چگالی شار مغناطیسی همراه با اندازههای چگالی شار در حالت بدون جریان..... ۶۸

شکل (۴-۸) : طیف رنگی چگالی شار در یک قطب استاتور..... ۶۹

شکل (۴-۹) : توزیع چگالی شار مغناطیسی بیباری در خط وسط فاصله هوائی ماشین قطب چنگالی مورد مطالعه .. ۷۰

شکل (۴-۱۰) : مؤلفه عمودی چگالی شار مغناطیسی در فاصله هوائی در حالت بدون جریان بر حسب اندازه قوس کمان ۷۱

شکل (۴-۱۱) : مؤلفه عمودی چگالی شار مغناطیسی زیر فاصله هوائی در حالت جریان نامی ۷۱

شکل (۴-۱۲) : توزیع چگالی شار مغناطیسی بیباری در خط وسط فاصله هوائی ماشین قطب چنگالی مورد مطالعه. ۷۶

شکل (۴-۱۳) : مؤلفه عمودی چگالی شار مغناطیسی در فاصله هوائی در حالت بدون جریان بر حسب اندازه قوس کمان ۷۶

شکل (۴-۱۴) : مؤلفه عمودی چگالی شار مغناطیسی زیر فاصله هوائی در حالت جریان نامی ۷۷

شکل (۴-۱۵) : مؤلفه عمودی چگالی شار مغناطیسی در فاصله هوائی در حالت بدون جریان بر حسب اندازه قوس کمان ۸۶

شکل (۴-۱۶) : طیف رنگی توزیع چگالی شار ۸۷

شکل (۵-۱) : نمای شبیه سازی شده استاتور بدون ۹۲

شکل (۵-۳) : هسته U شکل ۹۳

شکل (۵-۴) : نمای شبیهسازی استاتور همراه با هستهها ۹۳

شکل (۵-۵) : نقشه شفت روتور به همراه ابعاد ۹۴

شکل (۵-۷) : نمای جلو و جانبی دیسک روتور به همراه ابعاد ۹۵

شکل (۵-۸) : نقشه سوراخ کاری دیسک روتور به همراه ابعاد آن ۹۶

شکل (۵-۹) : شمای کلی ماشین به صورت شبیهسازی شده ۹۷

شکل (۵-۱۰) : نمای کلی ماشین به صورت عملی ۹۷

شکل (۵-۱۱) : یکی از بدنههای استاتور به همراه هستههای U شکل و سیمپیچی ۹۸

شکل (۵-۱۲) : منحنی ولتاژ خروجی بر حسب جریان خروجی در بار مقاومتی ۱۰۰

شکل (۵-۱۳) : مشخصه راندمان-توان در حالت مولدی ۱۰۰

شکل (۵-۱۴) : دیاگرام برداری مولدی پس فاز ۱۰۱

شکل (۵-۱۵) : شکل موج ولتاژ ورودی موتور در یک مرحله آزمایش ۱۰۲

شکل (۵-۱۶) : شکل موج جریان ورودی موتور در یک مرحله آزمایش ۱۰۲

شکل (۵-۱۷) : مشخصه راندمان - توان در حالت موتوری ۱۰۴

شکل (۵-۱۸) : دیاگرام برداری موتور پس فاز ۱۰۵

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۱) : سیر تکاملی ماشین TFPM ۳

جدول (۱-۲) : مشخصات نمونه های عملی ساخته شده TFPM..... ۴

جدول (۲-۱) : مقایسه بین نمونه عملی ۳۲

جدول (۲-۲) : مقایسه بین مقاومت ویژه آهن پودر شده و ورقههای فولاد Fe-Si ۳۳

جدول (۲-۳) : خواص مغناطیس ورقههای Fe-Si و مواد SMC..... ۳۸

جدول (۳-۱) : معرفی پارامترهای طراحی ماشین قطب چنگالی ۴۳

جدول (۳-۲) : شکل موجهای نمونه اولیه نوعی..... ۴۷

جدول (۳-۳) : ابعاد و پارامترهای محاسبه شده نمونه دوم با الگوریتم..... ۵۸

جدول (۳-۴) : مقایسه نتایج: ماشین نمونه ۱ ..... ۵۹

جدول(۳-۵) : مقایسه نتایج: ماشین نمونه ۲ ..... ۶۰

جدول (۳-۶) : مقایسه نتایج: ماشین نمونه ۱ ..... ۶۲

جدول (۳-۷) : مقایسه نتایج: ماشین نمونه ۲ ..... ۶۲

جدول (۴-۱) : مقایسه چگالی شار مغناطیسی بدون جریان حاصل از محاسبات تحلیلی و FEM ۷۲

جدول (۴-۲) : چگالی شار حاصل لز جریان آر میچر ۷۲

جدول (۴-۳) : مقایسه چگالی شار مغناطیسی بدون جریان حاصل از محاسبات تحلیلی و FEM ۷۷

جدول(۴-۵) : مقایسه بین نتایج حاصل از شبیه سازی و مرجع ۷۸

جدول (۴-۶) : مقادیر پریونیت شده نیروی ضد محرکه، راکتانس سنکرون و مقاومت ۷۸

جدول (۴-۷) : فرضیات و پارامترهای بهینه به دست آمده از الگوریتم در فرکانس ۳۰ هرتز ۷۹

جدول (۴-۸) : فرضیات و پارامترهای بهینه به دست آمده از الگوریتم در فرکانس ۵۵ هرتز ۸۰

جدول (۴-۹) : فرضیات و پارامترهای بهینه به دست آمده از الگوریتم در فرکانس ۲۰۰ هرتز ۸۲

جدول (۴-۱۰) : نتایج حاصل از طراحی با فرکانسهای مختلف ۸۴

جدول (۴-۱۱) : مقایسه چگالی شار فاصله هوائی در محاسبات تحلیلی و روش اجزا محدود ۸۵

جدول (۴-۱۲) : مقادیر راکتانس سنکرون و نیروی ضد محرکه پریونیت شده ماشین اول نمونه به همراه چگالی توان و تعداد دور ۸۶

جدول(۴-۱۳) : تاثیر Ks بر شار پیوندی و اندوکتانس ۸۸

جدول (۵-۱) : مقادیر ولتاژ و جریان برای بارهای مقاومتی مختلف ۹۹

جدول (۵-۲) : راکتانس سنکرون ماشین (مولدی) ۱۰۲

جدول (۵-۳) : نتایج حاصل از آزمایش در حالت موتوری ۱۰۳

جدول (۵-۴) : راکتانس سنکرون ماشین ۱۰۵

فصل اول

مقدمه

۱- ۱- مقدمه

ماشین‌های TFPM[۱] به عنوان ماشین های با چگالی توان و گشتاور بالا شهرت یافته اند. از جمله کاربردهای این نوع ماشین می‌توان به کاربردهای گشتاور بالا در سرعت بالا همانند ژنراتور توربین های بادی و موتور وسایل نقلیه الکتریکی اشاره کرد [۱]. این ماشین ها همچنین در موتورهای ربات و کشتی های الکتریکی و وسایل خانگی مانند ماشین لباسشوئی بکار می‌روند [۲].

چگالی توان و گشتاور بالا با تعداد قطب‌های زیاد و بارگذاری الکتریکی بالا بدست می‌آیند. جنبه نامطلوب این ماشین ها بالا بودن شار پراکندگی و پائین بودن ضریب قدرت به دلیل تعداد قطب های زیاد، است. متاسفانه مسیرهای سه بعدی خطوط شار، مسیرهای پیچیده شار نشتی و اشباع قابل توجه هسته به مشکلات طراحی این ماشین ها می افزاید [۱].

از جمله مزایایی که این ماشین را از ماشین‌های معمولی متمایز کرده است، می‌توان موارد زیر را مطرح کرد:

الف- هر فاز موتور کاملا از فاز های دیگر مجزا است، بنابراین از لحاظ الکترومغناطیسی هیچگونه تزویجی بین فازها وجود ندارد.

ب- هر سیم‌پیچی استاتور شامل یک سولنوئید است که توسط هسته‌ی مربوط به خود احاطه می‌شود.

---

۱ - Transverse Flux Permanent Magnet Machine