



معاونت پژوهشی

کد سند: RO-S-F-27-02

تاریخ صدور: ۱۳۹۹/۴/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۵/۱۵

فرم خلاصه فارسی طرح / پروژه

عنوان طرح/پروژه: کسب دانش فنی طراحی موتورهای سنکرون رلوکتانسی با آهنربای کمکی و ساخت یک نمونه ۳ کیلووات

واحد مجری:	طرح انتقال و توسعه دانش و فناوری الکتروموتورهای سنکرون رلوکتانسی و ابرسانا	کارفرما:	پژوهشگاه نیرو
مدیر طرح/پروژه:	علیرضا قائم پناه	مجری:	سهراب امینی ولاشانی
کد مالی پروژه:	۱۲۷۱۴۴	کد کیفی پروژه:	PETPN12-2
نوع طرح/پروژه:	امانی	معاونت:	پژوهشکده توزیع برق

همکاران: غلامرضا عرب مارکده

کلمات کلیدی: (۶ تا ۱۰ مورد)

موتور سنکرون رلوکتانسی با آهنربای دائم کمکی، آهنربای فریتی، مانع شار، درایو، رپیل گشتاور، طراحی بهینه

ضرورت انجام پروژه/طرح:

لزوم صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی برای کاهش شدت مصرف انرژی الکتریکی، باعث شده است که استفاده از موتورهای پربازده در کاربردهای مختلف، مانند خودروهای برقی - هیبریدی، پمپ‌ها و فن‌ها، خطوط تولیدی و غیره، مورد توجه جدی قرار گیرد. در سال‌های اخیر، به دلیل مزایای فراوان موتورهای سنکرون رلوکتانسی نسبت به سایر انواع موتورهای الکتریکی، فعالیت‌های زیادی برای جایگزینی این موتورها با موتورهای مرسوم در کاربردهای مختلف صورت گرفته است. اگر به ساختار روتور موتورهای سنکرون رلوکتانسی (SynRM) آهنربا اضافه شود (PMA-SynRM)، کلاس بازدهی انرژی موتور از محدوده استاندارد IE4 به استاندارد IE5 ارتقاء پیدا می‌کند و گزینه مناسبی برای استفاده در کاربردهای سرعت ثابت و هم برای استفاده در کاربردهای سرعت متغیر می‌شود.

با توجه به افزایش قیمت آهنرباهای کمیاب حاکی در یک دهه اخیر و تاثیر آن بر قیمت تمام شده انواع موتورهای الکتریکی که در ساختار آن‌ها از آهنربا استفاده می‌شود، فعالیت‌های تحقیقاتی زیادی برای جایگزینی آهنرباهای کمیاب حاکی در این موتورها انجام شده است. در این بین، استفاده از آهنرباهای فریتی، به دلیل قیمت پایین آن و همچنین قابلیت دسترسی آسان به آن، مورد توجه بیشتری قرار گرفته است و شرکت‌های بزرگی مانند ABB، موتورهای سنکرون رلوکتانسی با آهنربای کمکی فریتی در بازه ۰/۵۵ تا ۱/۸ کیلووات و محدوده سرعت ۱۰۰۰ تا ۵۴۰۰ دور در دقیقه تولید می‌کنند.

با توجه به مزایای ذکر شده برای موتور سنکرون رلوکتانسی با آهنربای کمکی، این پروژه با هدف به دست آوردن دانش فنی طراحی موتورهای سنکرون رلوکتانسی با آهنربای کمکی در کاربردهای معمول صنعتی (به عنوان جایگزینی برای موتورهای القایی) و ساخت یک نمونه ۳ کیلووات در نظر گرفته شده است.

اهداف پروژه/طرح:

- طراحی دو نمونه موتور سنکرون رلوکتانسی با آهنربای کمکی (PMA-SynRM) و درایو آن (با در نظر گرفتن مسایل معمول حرارتی موتورهای الکتریکی)
- ساخت یک نمونه موتور سنکرون رلوکتانسی سه‌فاز با آهنربای کمکی از نوع فریتی و سیستم درایو آن با مشخصات فنی زیر:

❖ توان خروجی ۳ کیلووات

❖ چهار قطب، با سرعت نامی ۱۵۰۰ دور در دقیقه و قابلیت کنترل سرعت تا سرعت نامی

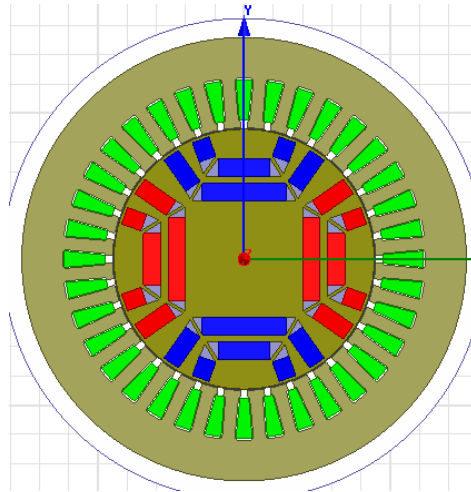
❖ ولتاژ خط ۴۰۰ ولت (ورودی سیستم درایو)

❖ کلاس بازدهی انرژی معادل IE5

- ❖ محدوده عملکرد دمایی: بین ۲۰- تا ۴۰ درجه سانتیگراد
 - ❖ تحمل اضافه بار ۱۰ درصد برای یک دقیقه
 - ❖ ریپل گشتاور در حد موتورهای القایی سه فاز با توان مشابه
 - ❖ استفاده از بدنه خارجی (Frame) استاندارد موتورهای القایی سه فاز
 - ❖ سیستم کنترل حلقه بسته (با استفاده از یکی از روش های معمول سه گانه درایو موتورهای سنکرون رلوکتانسی)
 - ❖ ضریب قدرت بیش از ۹۵ درصد
- بهینه سازی چند منظوره موتور ساخته شده و سیستم درایو آن با توابع هدف:
- ❖ کاهش قیمت (متناسب با منابع کشور)
 - ❖ افزایش بازده مجموعه موتور و درایو
 - ❖ کاهش ریپل گشتاور موتور

چکیده پروژه/طرح:

ابتدا مشخصات فنی و حداقل مقدار بازده موتور الکتریکی با استاندارد انرژی IE5، به کمک استانداردها مشخص شد. انواع ساختارهای موتورهای سنکرون رلوکتانسی و نحوه طراحی این موتورها، با مطالعه مقالات مرتبط استخراج شد. در ادامه دو نمونه موتور سنکرون رلوکتانسی با آهنربای دائم کمکی، با استفاده از دو نوع آهنربای دائم مختلف طراحی و به روش اجزای محدود، شبیه سازی شد. پارامترهای عملکردی موتور، شامل گشتاور، ریپل گشتاور، و بازده موتور و همچنین، پارامترهای مدار معادل موتور سنکرون رلوکتانسی با استفاده از این روش محاسبه شد.

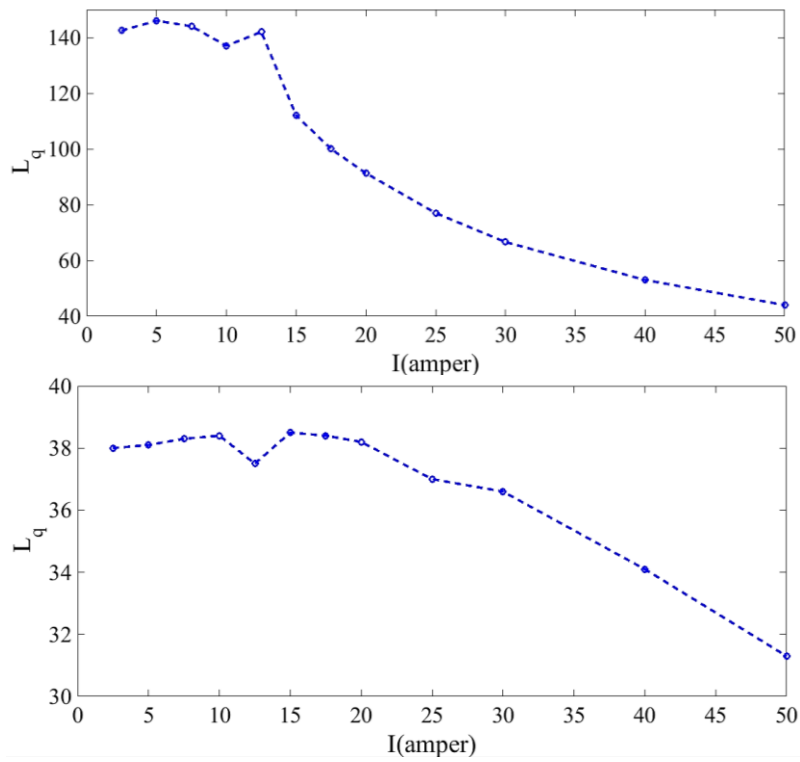


شکل ۱: ساختار موتور سنکرون رلوکتانسی با آهنربای دائم کمکی مورد استفاده در طراحی

در نهایت، با مقایسه مشخصات عملکردی این دو طرح، یک نمونه موتور سنکرون رلوکتانسی سه فاز، با آهنربای دائم کمکی از نوع فریت، طراحی و بهینه سازی شد. شبیه سازی های الکترومغناطیس در محیط نرم افزار Maxwell انجام شده است. به کمک امکانات این نرم افزار، موتور طراحی شده، تحلیل حرارتی هم شده است.

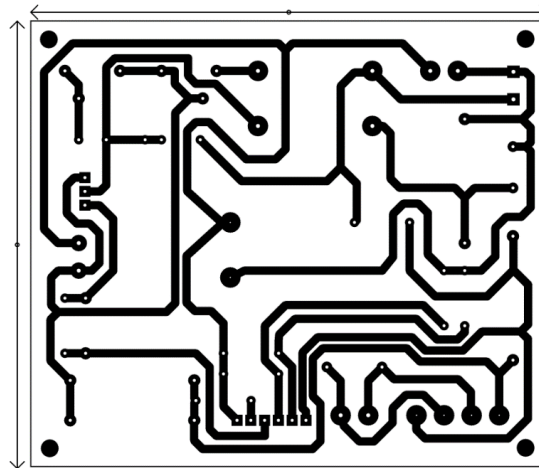
جدول ۱: ساختارهای بهینه ماشین با آهنربای فریتی

شماره ساختار	تعداد لایه آهنربا	ضخامت آهنربا	تعداد دور هر فاز	طول پشته	درصد ضریب توان	دامنه ریپل	بازده	دامنه جریان
۱	۳	۳	۲۱۰	۳۰۰	۹۴٫۵	۴٫۱	٪۹۳٫۶	۹٫۶
۲	۳	۴	۲۱۰	۳۰۰	۹۷	۶	٪۹۲	۱۰٫۱
۳	۲	۳	۱۸۰	۲۰۰	۹۲	۴٫۱	٪۹۵	۹٫۶
۴	۲	۳	۱۸۰	۲۵۰	۹۵	۴٫۳۵	٪۹۴٫۷	۸٫۸

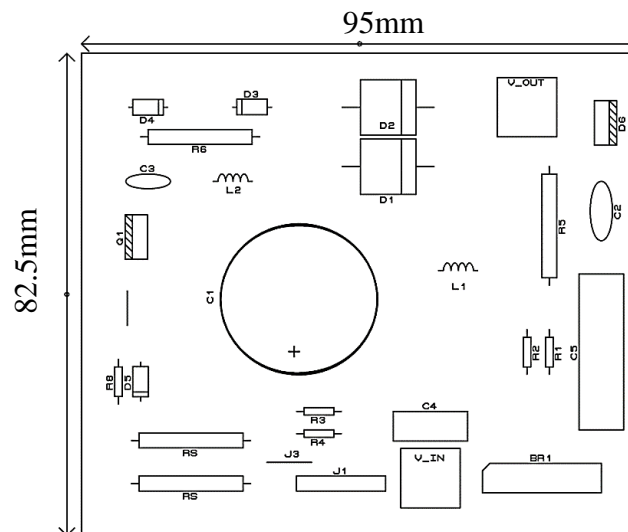


شکل ۲: نمودار اندوکتانس برحسب جریان

درایو این موتور با استفاده از مشخصات فنی مورد انتظار و پارامترهای مدار معادل موتور طراحی شده، طراحی و شبیه‌سازی شد. بر اساس این طراحی، بردهای چاپی آماده و درایو موتور ساخته شد. به دلیل عدم ساخت نمونه موتور سنکرون رلوکتانسی طراحی شده، درایو این موتور، با استفاده از یک نمونه موتور سنکرون آهنربای دائم آزمایش گردید. سیستم کنترل موتور، بر اساس روش کنترل برداری پیاده‌سازی شده است.



شکل ۳: مدار قدرت PCB



شکل ۴: راهنما قطعات مدار قدرت

مراحل و روش‌های انجام پروژه/طرح:

- ۱- مطالعه استانداردها و مقالات معتبر در مورد طراحی موتورهای سنکرون رلوکتانسی با آهنربای دائم کمکی، دارای استاندارد انرژی IE5
- ۲- شبیه‌سازی با استفاده از روش اجزای محدود، مدل‌سازی دینامیک موتور و درایو آن با استفاده از نرم افزار Matlab
- ۳- نمونه‌سازی و آزمایش درایو طراحی شده برای موتور

اهم نتایج به دست آمده از انجام پروژه/طرح (خروجی‌های فنی، ثبت اختراع، مقالات، کتب، گزارش‌های فنی و ...):

- گزارش مرحله اول تا دوم پروژه
- درایو نمونه‌سازی شده موتور سنکرون رلوکتانسی