بسم الله الرحمن الرحیم

۹۲٤۰۲۰۱۹۷

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق

گرایش قدرت

عنوان :

طراحی موتور القایی شش‌فاز

استاد راهنما:

دکتر رضا کیانی‌نژاد

استاد مشاور:

دکترمرتضی رزاز

نگارنده :

زهرا فضلی‌پور

بهمن ۱۳۹۲

باسمه تعالی

دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی

(نتیجه ارزشیابی پایان نامه ارشد)

پایان نامه خانم زهرا فضلی پور دانشجوی رشته برق گرایش قدرت

دانشکده مهندسی به شماره دانشجویی ۹۰۴۰۲۱۴

با عنوان :

طراحی موتور القایی شش فاز

جهت اخذ مدرک : کارشناسی ارشد در تاریخ : ۱۳۹۲/۱۱/۵ توسط هیأت داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و با درجه عالی تصویب گردید.

۱.	**اعضا ی هیأت داوران :**	**رتبه علمی**	**امضاء**
	استاد راهنما:	**دکتر رضا کیانی‌نژاد**	**دانشیار**
	استاد مشاور :	**دکتر مرتضی رزاز**	**دانشیار**
	استاد داور :	**دکتر قدرت ا... سیف السادات**	**دانشیار**
	استاد داور :	**دکتر سجاد موسی‌پور**	**استادیار**
	نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر امین یاقوتیان		**استادیار**
۲.	**مدیرگروه : دکتر محمد سروش**		**استادیار**
۳.	**معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : دکتر علی حقیقی**		**استادیار**
۴.	**مدیرتحصیلات تکمیلی دانشگاه : دکتر مسعود قربانپور نجف آبادی**		**استاد**

قدردانی

با سپاس فراوان از راهنمائی‌ها و زحمات استاد محترم **جناب آقای دکترکیانی‌نژاد** که از ابتدای راه و در طی انجام این تحقیق، با راهنمائی‌های خود مرا در نگارش این اثر یاری نمودند و تقدیرازاستاد بزرگوار، **جناب آقای دکتررزاز**استاد محترم مشاور که با حمایت‌های بی دریغشان یاری‌ام نمودند و همچنین تشکر و قدردانی از **جناب آقای حاج عبدالحسن سوزنچی** که در پروسه‌ی ساخت این پروژه مرا از راهنمایی‌های خود بهره‌مند ساختند.

در پایان از زحمات تمام کسانی که در تدوین این تحقیق مرا یاری نمودند متشکرم و از خداوند منان سلامت و سعات ایشان را خواستارم.

اهدانامه

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم

به زلال‌ترین نگاه زندگیم، چشمان مهربان مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما

ره آوردی گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پرمهرتان

فهرست مطالب

فرم ارزشیابی ..... ث
قدردانی.....ب
اهدا نامه.....ت
فهرست مطالب.....ث
فهرست شکل‌ها و نمودارها.....ر
فهرست جدول‌ها .....ص
فهرست علامت‌ها و اختصارها.....ض
چکیده پایان‌نامه به زبان فارسی.....ک

فصل اول

مقدمه ۱
۱-۱ توسعه‌ی فرایند طراحی ماشین‌های الکتریکی.....۱
۱-۲ عوامل مهم در طراحی ماشین‌های الکتریکی.....۲
۱-۳ جنبه‌های طراحی ماشین.....۲
۱-٤ مزایای استفاده از موتورهای القایی شش‌فازه.....۳
۱-۵ تعریف مساله، فرضیه‌ها و اهداف.....۳
۱-٦ ساختار پایان‌نامه.....٤

فصل دوم

مروری بر مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی طراحی ماشین‌های الکتریکی ۵
۲-۱ دیدگاه سنتی طراحی ماشین الکتریکی ۵
۲-۱-۱ معادله‌ی اندازه.....۵
۲-۱-۲ انتخاب نسبت‌های ظاهری.....٦
۲-۱-۳ انتخاب چگالی جریان.....۷
۲-۱-٤ انتخاب چگالی شار.....۸
۲-۱-۵ فرایند سنتی طراحی ماشین الکتریکی.....۸

۲-۲ مطالعات پیشین بر روی بهینه سازی موتورهای القایی.....۹
۲-۲-۱ روش بهینه‌سازی هوک جیویس.....۱۰
۲-۲-۲ روش بهینه‌سازی کلی.....۱۰
۲-۲-۳ روش بهینه‌سازی المان محدود (FEM).....۱۱
۲-۲-٤ بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک ۱۲

فصل سوم

طراحی کلاسیک موتورهای القایی.....۱٤
۳-۱ مقدمه.....۱٤
۳-۲ جزئیات ساختاری.....۱٤
۳-۲-۱ موتورهای مرسوم.....۱٤
۳-۲-۲ شکل شیارهای روتور.....۱۸
۳-۳ محاسبات طراحی.....۲۰
۳-۳-۱ چگالی شار فاصله هوایی.....۲۱
۳-۳-۲ بارگذاری الکتریکی ویژه.....۲۲
۳-۳-۳ تعداد قطب‌ها.....۲۳
۳-۳-٤ ابعاد اصلی.....۲۳
۳-۳-۵ طول فاصله هوایی.....۲٤
۳-۳-٦ طراحی استاتور.....۲٤
۳-۳-٦-۱ شیارهای استاتور.....۲۵
۳-۳-٦-۲ سیم‌پیچی استاتور.....۲٦
۳-۳-٦-۳ هسته و دندانه‌های استاتور.....۲۹
۳-۳-۷ طراحی روتور قفس سنجابی.....۳۰
۳-۳-۷-۱ تعداد شیارهای روتور.....۳۱
۳-۳-۷-۲ میله های روتور و حلقه‌ی انتهایی.....۳٦
۳-۳-۸ دندانه روتور و هسته.....٤۱
۳-٤ مشخصه‌های عملکرد.....٤۱
۳-٤-۱ تلفات آهنی.....٤۱
۳-٤-۱-۱ تلفات در دندانه‌های استاتور.....٤۱
۳-٤-۱-۲ تلفات هسته‌ی استاتور ٤۲
۳-٤-۲ جریان مغناطیس‌کنندگی.....٤٤
۳-٤-۲-۱ آمپردورهای فاصله‌هوایی.....٤۵

۳-٤-۲-۲ آمپردورهای دهانه‌های استاتور..... ٤٦
۳-٤-۲-۳ آمپردورهای دندانه‌های روتور..... ٤٧
۳-٤-۲-٤ آمپردورهای هسته‌ی استاتور و روتور..... ٤٧
۳-٤-۳ جریان بی‌باری..... ٤٨
۳-٤-٤ راکتانس‌های نشتی..... ٤٩
۳-٤-٥ لغزش بار کامل..... ٥١
۳-٤-٦ پارامترهای مدارمعادل..... ٥١
۳-٤-۷ گشتاور راه‌اندازی..... ٥٢
۳-٤-۸ حداکثرتوان خروجی..... ٥٣

فصل چهارم

الگوریتم‌های بهینه‌سازی..... ٥٤
٤-۱ مقدمه..... ٥٤
٤-۲ بیان یک مساله‌ی بهینه سازی..... ٥٤
٤-۳ روش‌های بهینه‌سازی نامقید..... ٥٥
٤-۳-۱ روش‌های جست‌وجوی تصادفی..... ٥٦
٤-۳-۲ روش یک تغییری..... ٥٩
٤-۳-۳ روش‌های جست‌وجوی نمونه..... ٦٠
٤-۳-۳-۱ روش هوک جیویس..... ٦٢
٤-۳-۳-۲ روش پاول..... ٦٤
٤-۳-۳-۳ روش سیمپلکس..... ٦٦
٤-٤ بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک..... ۷۳
٤-٤-۱ مقدمه..... ۷۳
٤-٤-۲ کدینگ باینری..... ۷٥
٤-٤-۳ نمایش رشته‌ها..... ۷٦
٤-٤-٤ باز گرداندن رشته‌ها به مجموعه متغیرها..... ۷۷
٤-٤-٥ جمعیت..... ۷۹
٤-٤-٥-۱ ایجاد جمعیت اولیه..... ۸٠
٤-٤-٥-۲ اندازه جمعیت..... ۸٠
٤-٤-٦ محاسبه برازندگی ۸۱
٤-٤-۷ انواع روش‌های انتخاب..... ۸۲
٤-٤-۷-۱ انتخاب چرخه‌ی شانس..... ۸۳

٤-٤-٧-٢ انتخاب حالت پایدار ٨٥
٤-٤-٧-٣ انتخاب نخبه گرایی ٨٥
٤-٤-٧-٤ انتخاب رقابتی ٨٥
٤-٤-٧-٥ انتخاب جایگزینی نسلی اصلاح شده ٨٦
٤-٤-٧-٦ انتخاب مسابقه ٨٦
٤-٤-٧-٧ انتخاب مسابقه تصادفی ٨٧
٤-٤-٨ انواع روش‌های ترکیب ٨٧
٤-٤-٨-١ جابه‌جایی دودوئی ٨٧
٤-٤-٨-٢ ترکیب تک‌نقطه‌ای ٨٩
٤-٤-٨-٣ ترکیب دو نقطه‌ای ٨٩
٤-٤-٨-٤ ترکیب n نقطه‌ای ٩٠
٤-٤-٨-٥ ترکیب یکنواخت ٩٠
٤-٤-٨-٦ ترکیب حسابی ٩١
٤-٤-٩ احتمال ترکیب ٩١
٤-٤-١٠ جهش ٩٢
٤-٤-١٠-١ جهش باینری ٩٤
٤-٤-١٠-٢ جهش حقیقی ٩٥
٤-٤-١٠-٣ وارونه سازی بیت ٩٥
٤-٤-١٠-٤ تغییر ترتیب قرارگیری ٩٥
٤-٤-١٠-٥ وارون سازی ٩٦
٤-٤-١١ محک اختتام اجرای الگوریتم ژنتیک ٩٦

فصل پنجم

طراحی بهینه موتور القایی شش فازه ٩٧

٥-١ مقدمه ٩٧
٥-٢ طراحی سیم‌بندی شش‌فازه ٩٨
٥-٢-١ مشخصات لازم برای طراحی و سیم‌بندی ٩٨
٥-٢-٢ فرم کلاف‌های سیم‌بندی ١٠١
٥-٢-٢-١ سیم‌پیچی متحدالمرکز ١٠١
٥-٢-٢-٢ سیم‌پیچی گام مساوی ١٠١

۵-۲-۳ سربندی کلاف‌ها..... ۱۰۲
۵-۳ الگوریتم طراحی بهینه‌ی موتور القایی شش‌فازه..... ۱۰۳
۵-٤ استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی موتور القایی شش‌فازه..... ۱۰۵

فصل ششم

نتایج شبیه‌سازی کامپیوتری..... ۱۰۷
٦-۱ مقدمه..... ۱۰۷
٦-۲ نرم‌افزار MAXWELL..... ۱۰۷
٦-۲-۱ انواع روش‌های تحلیل در نرم‌افزار MAXWELL..... ۱۰۸
٦-۲-۲ مراحل کار برای انجام تحلیل در نرم‌افزار MAXWELL..... ۱۰۹
٦-۳ موتور القایی شش فاز طراحی شده‌ی (الف)..... ۱۰۹
٦-۳-۱ نتایج حاصل از طراحی و بهینه‌سازی موتور (الف) با استفاده از Matlab..... ۱۱۰
٦-۳-۲ نتایج حاصل از طراحی و بهینه‌سازی موتور (الف) با استفاده از MAXWELL..... ۱۱۳
٦-٤ موتور القایی شش فاز طراحی شده‌ی (ب)..... ۱۲۰
٦-٤-۱ نتایج حاصل از طراحی و بهینه‌سازی موتور (ب) با استفاده از Matlab..... ۱۲۰
٦-٤-۲ نتایج حاصل از طراحی و بهینه‌سازی موتور (ب) با استفاده از MAXWELL..... ۱۲۳
٦-۵ موتور القایی شش فاز طراحی شده‌ی (ج)..... ۱۳۰
٦-۵-۱ نتایج حاصل از طراحی و بهینه‌سازی موتور (ج) با استفاده از Matlab..... ۱۳۰
٦-۵-۲ نتایج حاصل از طراحی و بهینه‌سازی موتور (ج) با استفاده از MAXWELL..... ۱۳۳

فصل هفتم

نتایج آزمایشگاهی..... ۱٤۰
۷-۱ ساخت موتورهای القایی شش‌فازه..... ۱٤۰
۷-۲ آزمایش موتورهای القایی شش‌فازه..... ۱٤٤
۷-۲-۱ آزمایش بی‌باری..... ۱٤٤
۷-۲-۲ آزمایش روتور قفل‌شده..... ۱٤۵
۷-۲-۳ آزمایش موتور تحت بار..... ۱٤۷
۷-۳ نتایج آزمایش‌ها برروی موتورهای ساخته‌شده..... ۱٤۷
۷-۳-۱ موتور القایی شش فاز ساخته شده (الف)..... ۱٤۷
۷-۳-۱-۱ آزمایش بی‌باری موتور(الف)..... ۱٤۷
۷-۳-۱-۲ آزمایش روتور قفل‌شده موتور(الف)..... ۱٤۸
۷-۳-۱-۳ پارامترهای مدارمعادل موتور(الف)..... ۱٤۸

۷-۳-۱-٤ آزمایش تحت بار موتور(الف)..... ۱٤۹
۷-۳-۲ موتور القایی شش فاز ساخته شده (ب)..... ۱۵۰
۷-۳-۲-۱ آزمایش بی‌باری موتور(ب)..... ۱۵۰
۷-۳-۲-۲ آزمایش روتور قفل شده موتور(ب)..... ۱۵۱
۷-۳-۲-۳ پارامترهای مدارمعادل موتور(ب)..... ۱۵۱
۷-۳-۲-٤ آزمایش تحت بار موتور(ب)..... ۱۵۲
۷-۳-۳ موتور القایی شش فاز ساخته شده (ج)..... ۱۵۳
۷-۳-۳-۱ آزمایش بی‌باری موتور(ج)..... ۱۵۳
۷-۳-۳-۲ آزمایش روتور قفل‌شده موتور(ج)..... ۱۵٤
۷-۳-۳-۳ پارامترهای مدارمعادل موتور(ج)..... ۱۵٤
۷-۳-۳-٤ آزمایش تحت بار موتور(ج)..... ۱۵۵

فصل هشتم

نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات..... ۱۵۷

۸-۱ نتیجه‌گیری..... ۱۵۷
۸-۲ پیشنهادات..... ۱٦۰

پیوست‌ها..... ۱٦۱

مراجع..... ۱۸۷

چکیده‌ی انگلیسی..... ۱۹۱

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل ۲-۱: منحنی تجربی برای انتخاب نسبت ظاهری..... ۷

شکل ۲-۲: روند تکراری طراحی ماشین به شیوه‌ی سنتی..... ۹

شکل ۳-۱: نمای برش خورده‌ی موتورالقایی قفس سنجابی..... ۱۶

شکل ۳-۲: شیارهای ذوزنقه‌ای نیمه بسته‌ی به‌کاربرده شده در موتورهای القایی کوچک..... ۱۶

شکل ۳-۳: یک روتورقفس سنجابی قالب ریزی شده..... ۱۷

شکل ۳-٤: سطح مقطع میله ی روتور قفس سنجابی جهت ایجاد مشخصه‌های کلاس طراحی استانداردNEMA..... ۱۸

شکل ۳-۵: فرورفتگی‌های ایجاد شده بوسیله هارمونی‌های پنجم و هفتم سیم‌پیچی در مشخصه‌های گشتاور– سرعت..... ۳۲

شکل ۳-٦: فرورفتگی‌های ایجاد شده بوسیله‌ی هارمونی‌های شیارهفدهم و نوزدهم در مشخصه‌های گشتاور – سرعت..... ۳٤

شکل ۳-۷: توزیع جریان در یک سیم‌پیچی قفس سنجابی..... ۳۷

شکل ۳-۸: ضریب تصحیح حلقه انتهایی..... ٤۰

شکل ۳-۹: منحنی تلفات آهنی برحسب چگالی شار..... ٤۳

شکل ۳-۱۰: ضریب کارتر..... ٤۵

شکل ۳-۱۱: ابعاد شیار استاتور..... ٤۹

شکل ۳-۱۲: شار نشتی زیگزاگ..... ۵۰

شکل ۳-۱۳: مدار معادل موتور القایی..... ۵۲

شکل ٤-۱: نحوه‌ی تقسیم بندی روش‌های جست‌وجوی نامقید..... ۵٦

شکل ٤-۲: الگوی روش یک تغییری..... ٦۰

شکل ٤-۳: فلوچارت روش هوک جیویس..... ٦٤

شکل ٤-٤: پروسه روش پاول..... ٦۵

شکل ٤-۵: پروسه‌ی رفلکس..... ٦۷

شکل ٤-٦: نمودار فرایند رفلکس..... ٦٧
شکل ٤-٧: پروسه سیمپلکس وقتی به سیمپلکس جدیدی نمی‌رسیم..... ٦٩
شکل ٤-٨: فرایند انعکاس که منجر به یک فرایند حلقوی می‌شود..... ٧٠
شکل ٤-٩: فلوچارت روش سیمپلکس..... ٧٢
شکل ٤-١٠: نمونه کروموزوم الگوریتم ژنتیکی..... ٧٧
شکل ٤-١١: پیاده‌سازی روش چرخه‌ی شانس..... ٨٤
شکل ٤-١٢: جابجایی چند نقطه‌ای..... ٨٨
شکل ٤-١٣: ترکیب یک نقطه‌ای..... ٨٩
شکل ٤-١٤: ترکیب دو نقطه‌ای..... ٩٠
شکل ٤-١٥: ترکیب یکنوات..... ٩١
شکل ٤-١٦: شبیه سازی جهش به کمک نمودار..... ٩٢
شکل ٤-١٧: جهش باینری..... ٩٤
شکل ٤-١٨: جهش وارونه سازی بیت..... ٩٥
شکل ٤-١٩: جهش تغییر ترتیب قرارگیری..... ٩٦
شکل ٤-٢٠: جهش باینری..... ٩٦
شکل ٥-١: نحوه‌ی اتصال فازها در سیم‌بندی شش‌فازه..... ١٠٠
شکل ٥-٢: نمودار گسترده سیم‌پیچی متحدالمرکز..... ١٠١
شکل ٥-٣: نمودار سیم‌پیچی گام مساوی..... ١٠١
شکل ٥-٤: اتصال دور و نزدیک برای سیم‌پیچی متحدالمرکز..... ١٠٢
شکل ٥-٥: اتصال دور و نزدیک برای سیم‌پیچی گام مساوی..... ١٠٢
شکل ٥-٦: روند طراحی موتورالقایی شش‌فازه..... ١٠٣
شکل ٥-٧: روند طراحی بهینه‌ی موتور القایی شش‌فاز..... ١٠٥
شکل ٥-٨: فلوچارت بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک..... ١٠٦
شکل ٦-١: مشخصه‌ی گشتاور- سرعت موتور القایی شش‌فاز(الف)..... ١١٢
شکل ٦-٢: مشخصه‌ی‌جریان ـ سرعت موتور القایی شش‌فاز(الف)..... ١١٢
شکل ٦-٣: منحنی تغییرات بازده با ولتاژترمینال موتور القایی شش‌فاز(الف)..... ١١٢
شکل ٦-٤: مش‌بندی موتور القایی شش‌فاز(الف)..... ١١٤
شکل ٦-٥: توزیع شار در طراحی اولیه‌ی موتور القایی شش‌فاز (الف)..... ١١٥

شکل ٦-٦: توزیع چگالی شار در طراحی اولیه‌ی موتور القایی شش‌فاز(الف).....١١٥
شکل ٦-٧: توزیع شار در طراحی بهینه با روش هوک جیویس موتور القایی شش‌فاز (الف)....١١٦
شکل ٦-٨: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش هوک جیویس موتور القایی شش‌فاز (الف).....١١٦
شکل ٦-٩: توزیع شار در طراحی بهینه با روش نلدرمید موتور القایی شش‌فاز (الف).....١١٧
شکل ٦-١٠: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش نلدرمید موتور القایی شش‌فاز (الف).....١١٨
شکل ٦-١١: توزیع شار در طراحی بهینه با روش الگوریتم ژنتیک موتور القایی شش‌فاز (الف).....١١٨
شکل ٦-١٢: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش الگوریتم ژنتیک موتور القایی شش‌فازه(الف).....١١٩
شکل ٦-١٣: مشخصه‌ی گشتاور- سرعت موتور القایی شش‌فاز(ب).....١٢١
شکل ٦-١٤: مشخصه‌ی‌جریان ـ سرعت موتور القایی شش‌فاز(ب).....١٢٢
شکل ٦-١٥: منحنی تغییرات بازده با ولتاژترمینال موتور القایی شش‌فاز(ب).....١٢٢
شکل ٦-١٦: مش‌بندی موتور القایی شش‌فاز(ب).....١٢٣
شکل ٦-١٧: توزیع شار در طراحی اولیه‌ی موتور القایی شش‌فاز (ب).....١٢٤
شکل ٦-١٨: توزیع چگالی شار در طراحی اولیه‌ی موتور القایی شش‌فاز(ب).....١٢٤
شکل ٦-١٩: توزیع شار در طراحی بهینه با روش هوک جیویس موتور القایی شش‌فاز (ب)....١٢٥
شکل ٦-٢٠: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش هوک جیویس موتور القایی شش‌فازه(ب).....١٢٦
شکل ٦-٢١: توزیع شار در طراحی بهینه با روش نلدرمید موتور القایی شش‌فاز (ب).....١٢٧
شکل ٦-٢٢: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش نلدرمید موتور القایی شش‌فاز (ب)..١٢٧
شکل ٦-٢٣: توزیع شار در طراحی بهینه با روش الگوریتم ژنتیک موتور القایی شش‌فاز (ب)..١٢٨
شکل ٦-٢٤: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش الگوریتم ژنتیک موتور القایی شش‌فاز (ب).....١٢٩
شکل ٦-٢٥: مشخصه‌ی گشتاور- سرعت موتور القایی شش‌فاز(ج).....١٣١
شکل ٦-٢٦: مشخصه‌ی‌جریان ـ سرعت موتور القایی شش‌فاز(ج).....١٣٢
شکل ٦-٢٧: منحنی تغییرات بازده با ولتاژترمینال موتور القایی شش‌فاز(ج).....١٣٢

شکل ٦-٢٨: مش‌بندی موتور القایی شش‌فاز(ج).....١٣٣
شکل ٦-٢٩: توزیع شار در طراحی اولیه‌ی موتور القایی شش‌فاز (ج).....١٣٤
شکل ٦-٣٠: توزیع چگالی شار در طراحی اولیه‌ی موتور القایی شش‌فاز (ج).....١٣٥
شکل ٦-٣١: توزیع شار در طراحی بهینه با روش هوک جیویس موتور القایی شش‌فاز (ج).....١٣٦
شکل ٦-٣٢: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش هوک جیویس موتور القایی شش‌فاز (ج).....١٣٦
شکل ٦-٣٣: توزیع شار در طراحی بهینه با روش نلدرمید موتور القایی شش‌فاز (ج).....١٣٧
شکل ٦-٣٤: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش نلدرمید موتور القایی شش‌فاز (ج)...١٣٧
شکل ٦-٣٥: توزیع شار در طراحی بهینه با روش الگوریتم ژنتیک موتور القایی شش‌فاز (ج)...١٣٨
شکل ٦-٣٦: توزیع چگالی شار در طراحی بهینه با روش الگوریتم ژنتیک موتور القایی شش‌فاز (ج).....١٣٩
شکل ٧-١: آرایش سیم‌بندی موتورهای (الف) و (ب).....١٤١
شکل ٧-٢: آرایش سیم‌بندی موتورالقایی شش‌فاز(ج).....١٤٢
شکل ٧-٣: موتور القایی شش‌فازه ساخته شده (الف).....١٤٣
شکل ٧-٤: موتور القایی شش‌فازه ساخته شده (ب).....١٤٣
شکل ٧-٥: موتور القایی شش‌فازه ساخته شده (ج).....١٤٤
شکل ٧-٦: مدار معادل آزمایش روتور قفل شده.....١٤٥
شکل ٧-٧: موتور (الف) در آزمایش تحت بار.....١٥٠
شکل ٧-٨: موتور (ب) در آزمایش تحت بار.....١٥٣
شکل ٧-٩: موتور (ج) در آزمایش تحت بار.....١٥٦
شکل پ-١: منحنی مغناطیس شوندگی مواد به‌کاررفته در ورقه‌های استاتور و روتور طراحی بهینه‌ی موتورهای القایی شش‌فازه(الف).....١٦٦
شکل پ-٢: منحنی مغناطیس‌شوندگی مواد به‌کاررفته در ورقه‌های استاتور و روتور طراحی بهینه‌ی موتورهای‌القایی شش‌فازه(ب) و (ج).....١٦٦

فهرست جدول‌ها

جدول۲-۱: مقادیر بارگذاری‌های مغناطیسی و الکتریکی.....٦
جدول ۳-۱: راندمان وضریب قدرت موتورهای القایی قفس سنجابی ٤قطب سه فاز.....۲۱
جدول ٦-۱: مشخصات موتورهای طراحی شده.....۱۰۷
جدول ٦-۲: محدودیت‌های طراحی بهینه..... ۱۱۰
جدول ٦-۳: ۳ مقادیرحاصل از برنامه‌های طراحی و بهینه‌سازی موتور(الف).....۱۱۰
جدول ٦-٤: مقادیرحاصل از برنامه‌های طراحی و بهینه‌سازی موتور(ب).....۱۲۰
جدول ٦-٥: مقادیرحاصل از برنامه‌های طراحی و بهینه‌سازی موتور(ج).....۱۲۹
جدول ۷-۱: مقادیر حاصل از آزمایش بی‌باری موتور(الف).....۱٤۸
جدول ۷-۲: مقادیر حاصل از آزمایش روتورقفل‌شده موتور(الف).....۱٤۸
جدول ۷-۳: پارامترهای مدارمعادل موتور(الف).....۱٤۹
جدول ۷-٤: مقادیر حاصل از آزمایش تحت بار موتور(الف).....۱٤۹
جدول ۷-٥: مقادیر حاصل از آزمایش بی‌باری موتور(ب).....۱٥۰
جدول ۷-٦: مقادیر حاصل از آزمایش روتورقفل‌شده موتور(ب).....۱٥۱
جدول ۷-۷: پارامترهای مدارمعادل موتور(ب).....۱٥۲
جدول ۷-۸: مقادیر حاصل از آزمایش تحت بار موتور(ب).....۱٥۲
جدول ۷-۹: مقادیر حاصل از آزمایش بی‌باری موتور(ج).....۱٥۳
جدول ۷-۱۰: مقادیر حاصل از آزمایش روتورقفل‌شده موتور(ج).....۱٥٤
جدول ۷-۱۱: پارامترهای مدارمعادل موتور(ج).....۱٥٥
جدول ۷-۱۲: مقادیر حاصل از آزمایش تحت بار موتور(ج).....۱٥٥
جدول پ-۱ راندمان و ضریب‌توان موتورهای القایی سه فاز دوقطب.....۱٦۱
جدول پ-۲ ابعاد استاندارد سیم‌های مسی.....۱٦۲
جدول پ-۳ راندمان و ضریب توان موتورهای القایی سه فاز چهار قطب.....۱٦۳

فهرست علامت‌ها و اختصارها

ac	بارگذاری مغناطیسی ویژه
A_{ss}	مساحت شیار استاتور
a_s	سطح مقطع هادی
A_{SC}	سطح مقطع هسته‌ی استاتور
A_{ts}	سطح مقطع دندانه‌های استاتور
Acr	سطح مقطع هسته‌ی روتور
AT_p	آمپردور کل در هرقطب
AT_g	آمپر دور فاصله‌هوایی
AT_{ts}	آمپر دوردندانه‌ی استاتور
AT_{tr}	آمپر دور دندانه‌ی روتور
AT_{cs}	آمپر دور هسته‌ی استاتور
AT_{cr}	آمپر دور هسته‌ی روتور
at_{ts}	آمپردورها در هر متر برای دندانه‌های استاتور

at_{tr} آمپردورها در هر متر برای دندانه‌های روتور

a_b سطح مقطع میله‌های روتور

b'_{ts} عرض دندانه در $\frac{1}{3}$ ارتفاع از انتهای باریک آن

$\overline{B}$ یا Bav چگالی شار فاصله‌هوایی

B_{g60} . مقدار چگالی‌شار در زاویه ۶۰ درجه الکتریکی از محور قطب کمکی

b_s عرض متوسط شیار استاتور

b_{os} عرض دهانه‌ی شیار استاتور

b_r عرض شیار روتور

b_{s1} عرض کوچکترشیار استاتور

b_{s2} عرض بزرگتر شیار استاتور

C_0 ضریب طراحی

D قطر داخلی هسته‌ی استاتور

D_{er} قطر متوسط حلقه‌ی انتهایی

d_{cs} یا d_c عمق هسته‌ی استاتور

D_{mcs} قطر متوسط هسته‌ی استاتور

d_{ss} عمق شیار استاتور

d_{sr} عمق شیار روتور

eff_a بازده

E_s	ولتاژ القایی هرفاز
f	فرکانس
g_s	تعداد شیار برقطب بر فاز استاتور
g_r	تعداد شیار بر قطب بر فاز روتور
H_{g60}	مقدار میدان مغناطیسی در زاویه ۶۰ درجه الکتریکی از محور قطب کمکی
h_s یا h_{ss}	ارتفاع هادی در شیار استاتور
h_w	ارتفاع بخش بدون هادی شیار استاتور
h_{os}	ارتفاع لبه‌ی استاتور
I_O	جریان بی‌باری
I_{br}	جریان روتور قفل
I_{sc}	جریان اتصال کوتاه
I_m	جریان مغناطیس‌کننده
I_{zs}	جریان هادی‌های استاتور
I_b	جریان میله‌های روتور
I_o	جریان بی‌باری
I یا I_s	جریان استاتور
J_s	چگالی جریان هادی‌های استاتور
k_d	ضریب توزیع سیم‌پیچی

k_c	ضریب گام سیم‌پیچی استاتور
K_{gr}	ضریب کارتر فاصله‌هوایی برای روتور
k_{wr}	ضریب کارتر فاصله‌هوایی برای استاتور
K_{w1} یا k_{ws}	ضریب سیم‌پیچی
k_g	ضریب تصحیح
K_R	ضریب تصحیح حلقه‌ی انتهایی
l_{cs}	طول مسیر شار در هسته‌ی استاتور
l_{cr}	طول مسیر شار در هسته‌ی روتور
L	طول هسته‌ی استاتور
L_g	طول فاصله‌هوایی
L_{mts}	طول دور متوسط هادی‌های استاتور
L_b	طول میله‌های روتور
L_r	ضخامت شعاعی حلقه انتهایی
m	تعداد فاز
n_s	سرعت سنکرون برحسب(rsd/s)
P	تعداد قطب
P_{out} یا Po	توان خروجی
pf_a	ضریب توان