

الحمد لله
الرحمن الرحيم



انتشارات دانشگاه تبریز

ماشین‌های الکتریکی مخصوص

تألیف

دکتر محمدرضا فیضی

استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز

و

مهندس کامران خفافی

کارشناس ارشد مهندسی برق، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز

ویرایش دوم، چاپ اول

انتشارات دانشگاه تبریز

تبریز-۱۴۰۲

سرشناسه	: فیضی، محمدرضا، ۱۳۳۱ -
عنوان و نام پدیدآور	: ماشین‌های الکتریکی مخصوص/تألیف محمدرضا فیضی و کامران خفافی؛ ویراستار علمی جواد فیض؛ ویراستار ادبی محمداقبر بهادری .
وضعیت ویراست	: [ویراست ۲]
مشخصات نشر	: تبریز: دانشگاه تبریز، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری	: ۴۴۲ص.
فروست	: انتشارات دانشگاه تبریز؛ ۷ - ۴۳۰.
شابک	: ۷-۳۸-۷۷۱۱-۶۲۲-۹۷۸: ۲۰۰۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: چاپ اول.
موضوع	: ماشین آلات برقی Electric machinery
شناسه افزوده	: خفافی، کامران، ۱۳۴۵ -
شناسه افزوده	: فیض، جواد، ۱۳۳۱ - ویراستار
شناسه افزوده	: دانشگاه تبریز
شناسه افزوده	: University of Tabriz
رده بندی کنگره	: TK ۲۰۰۰
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۰۴۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۲۰۲۲۵۵
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیپا



ماشین‌های الکتریکی مخصوص (ویرایش جدید/دوم)

تألیف	: دکتر محمدرضا فیضی - مهندس کامران خفافی
ویراستار علمی	: دکتر جواد فیض
ویراستار ادبی	: دکتر محمد باقر بهادری
ناشر و فروست	: انتشارات دانشگاه تبریز، ۴۳۰/۷
تاریخ و نوبت چاپ	: ۱۴۰۲ - اول
شمارگان	: ۵۰۰ نسخه
شابک	: ۷-۳۸-۷۷۱۱-۶۲۲-۹۷۸
قیمت	: ۲۰۰۰۰۰۰ ریال
طراح جلد	: محمدرضا فیضی
سایت	: http://pprs.tabrizu.ac.ir
لیتوگرافی، چاپ و صحافی	: اداره چاپ دانشگاه تبریز

این اثر مشمول قانون حمایت از مولفان، مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است. هر شخص حقیقی یا حقوقی که تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر منتشر، پخش، عرضه، تکثیر یا تجدید چاپ نماید مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

نشانی: تبریز، بلوار ۲۹ بهمن، دانشگاه تبریز - تلفن: ۰۴۱۳۳۹۲۶۵۵ و ۰۴۱۳۳۳۹۵۰۰۱؛ نمابر: ۰۴۱۳۳۲۹۴۱۱۹
 آدرس پست الکترونیکی: publication@tabrizu.ac.ir

پیشگفتار

امروزه کتاب‌های متعدد در زمینه ماشین‌های الکتریکی و به زبان‌های مختلف دنیا چاپ و منتشر شده‌است، ولی اکثر قریب به اتفاق آن‌ها درباره ماشین‌های الکتریکی مرسوم، شامل ماشین‌های dc، ماشین‌های القایی و ماشین‌های سنکرون بوده و برحسب سطح کتاب، مباحث فوق را از مرحله ساختمان تا طراحی و کاربرد مورد بحث قرار داده‌است. تنها بعضی از کتاب‌های فوق فصلی از کتاب را به ماشین‌های الکتریکی مخصوص اختصاص داده و هرکدام از مؤلفان به سلیقه خود، تعداد خاصی از ماشین‌های مخصوص را، در حدی که تمام مطالب مربوط به آن‌ها از حد یک فصل تجاوز نکند، مطرح کرده‌اند. تعداد محدودی کتاب تخصصی نیز در زمینه بعضی از ماشین‌های مخصوص، از جمله موتورهای پله‌ای و سرو موتورها به طور مجزا چاپ و به بازار علم ارائه شده‌است. با وجود این، تا جایی که مؤلف اطلاع دارد، تا قبل از تاریخ انتشار کتاب حاضر، هیچ کتابی تحت عنوان "ماشین‌های الکتریکی مخصوص" یا عناوین مشابه که انواع ماشین‌های مخصوص را در خود جای داده‌باشد، چاپ و منتشر نشده‌است. حاصل جستجوهای اغلب دانشجویان رشته برق، که درس تخصصی "ماشین‌های مخصوص" را با این جانب گذرانده‌اند، مؤید این ادعا است.

مسئله فوق، این جانب را بر آن داشت که حاصل بیش از بیست‌وشش سال تدریس و تحقیق خود را در زمینه ماشین‌های مخصوص در قالب یک کتاب واحد، که درعین حال بتواند تمام مطالب و سرفصل‌های درس تخصصی یادشده را پوشش دهد تألیف و منتشر کنم. برای تسریع در انجام این کار، از آقای مهندس کامران خفافی، که از فارغ‌التحصیلان ممتاز گروه برق (۱۳۷۰) و در حال حاضر عضو هیئت علمی دانشگاه هستند دعوت به مشارکت کردم.

در تألیف این کتاب، فرض بر این نهاده شده است که خوانندگان آن، در زمینه تبدیل الکترومکانیکی، ماشین‌های dc و ac مرسوم اطلاعات کافی داشته باشند. با وجود این، مقدار قابل ملاحظه‌ای از مطالب پیش‌نیاز این کتاب، در قالب چهار ضمیمه تنظیم و در انتهای کتاب آورده شده‌است.

این کتاب می‌تواند علاوه بر پوشش کامل درس تخصصی ماشین‌های الکتریکی مخصوص، که قبلاً به آن اشاره شد، توسط علاقه‌مندان به بعضی از ماشین‌های خاص، از جمله موتورهای dc بدون جاروبک و پله‌ای، که امروزه جای خود را در همه زمینه‌های صنعت باز کرده‌است، مورد استفاده قرار گیرد.

از کلیه افرادی که به نحوی در انجام این کار سهیم بوده‌اند، بالأخص از مسئولان و کارکنان گران قدر اداره انتشارات دانشگاه تبریز که امکانات چاپ و انتشار این کار را فراهم آورده‌اند، تشکر و

قدردانی می‌کنم.

تدوین، ترسیم اشکال و ویرایش این کتاب در حدود سه سال به طول انجامید و کلیه کارهای آن در خارج از اوقات اشتغال رسمی انجام گرفت. در نتیجه، درصد قابل توجهی از زمانی را در مدت مذکور باید با افراد خانواده می‌گذراندم، در پشت میز کار یا کامپیوتر صرف شد. لذا، بدین وسیله از همسرم مهنا، و دو فرزندم آرشیا و آرش، بابت صبر و حوصله‌ای که به خرج داده‌اند تشکر می‌کنم و سهم خود را در تألیف این کتاب صمیمانه به آنان تقدیم می‌دارم.

دکتر محمدرضا فیضی

شهریور ۱۳۸۰

مقدمه

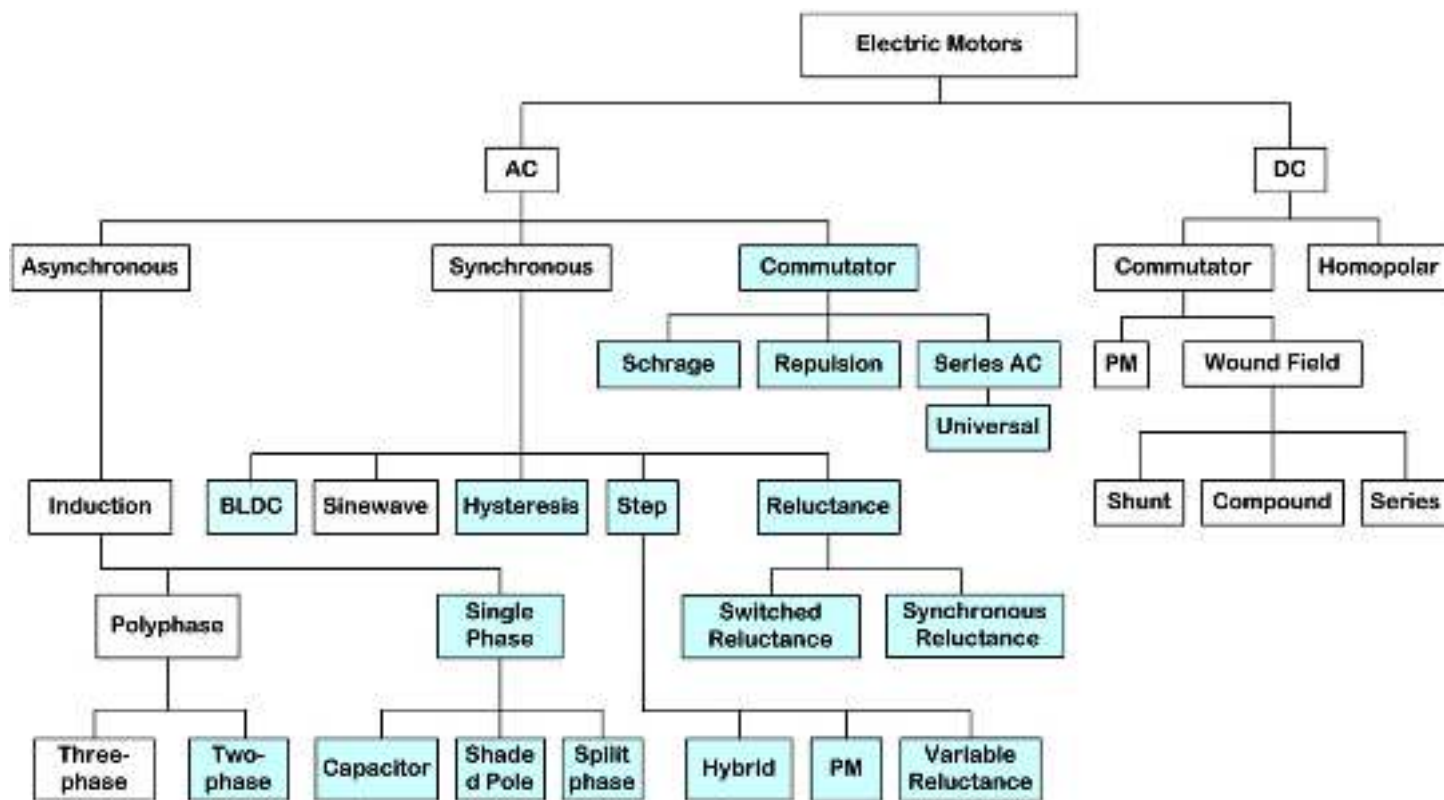
نظریه و ساختمان ماشین‌های الکتریکی معمول، از جمله، ماشین‌های dc با انواع اتصالات داخلی سنت، سری و کمیوند، و نیز ماشین‌های ac سه‌فاز سنکرون و القایی، در اغلب کتب معتبر ماشین‌های الکتریکی تشریح شده‌اند. ضمن آن‌که هریک از انواع ماشین‌های فوق، برحسب نیاز و دسترسی به امکانات لازم، از مزایای متعدد برخوردارند، دارای ضعف‌هایی نیز هستند که استفاده از آن‌ها را تحت شرایط خاص محدود می‌سازد. به‌عنوان مثال، موتورهای dc مزایای زیادی از نظر مشخصه‌های کاری دارند، ولی قیمت آن‌ها زیاده‌تر از موتورهای ac هم‌قدرت است. به‌علاوه، این موتورها نیاز به منابع dc دارند که در اغلب محل‌های غیر صنعتی، مانند منازل و ادارات، در دسترس نیستند. همین محدودیت در مورد به‌کارگیری ماشین‌های ac سه‌فاز نیز وجود دارد زیرا، یک منزل مسکونی یا یک دفتر کار الزاماً مجهز به شبکه سه‌فاز نیست. از جمله این دستگاه‌ها می‌توان از مکندة‌های الکتریکی (جاروبرقی)، آب‌میوه‌گیری، ساعت‌های الکتریکی، تایمرهای موتوری، پمپ‌های آب، موتورخانه‌های حرارتی، کمپرسورهای یخچال و کمپرسورهای باد نام برد.

اغلب ماشین‌های به‌کاررفته در دستگاه‌های خانگی و اداری به‌صورت موتور هستند که تعداد قابل‌توجه آن‌ها به‌صورت سیار هستند. در چنین موارد، علاوه بر قدرت موتور و سایر مشخصه‌های آن، نسبت قدرت به وزن موتور نیز یکی از پارامترهای مهم در انتخاب نوع موتور است.

ماشین‌های الکتریکی مورد استفاده سیستم‌های کنترل، کامپیوتر و اجزای جانبی کامپیوتر اعم از چاپگر، اسکنر و غیره گروه دیگری از ماشین‌های مخصوص هستند، که امروزه جای خود را به‌خوبی در صنعت باز کرده‌اند. از جمله این موتورها می‌توان به موتورهای پله‌ای، سینکروها، تاکوژنراتورها و سرو موتورها اشاره کرد. بلوک دیاگرام داده‌شده در انتهای این قسمت جایگاه بسیاری از انواع موتورهای الکتریکی را در دسته‌بندی موتورها به‌طور خلاصه نشان می‌دهد.

توان اغلب ماشین‌های مخصوص کمتر از یک اسب بخار است و در بیشتر موارد، ساختمان این موتورها ساده‌تر از انواع موتورهای معمول است. با وجود این، نباید تصور کرد که آنالیز و طراحی آن‌ها نیز الزاماً ساده‌تر باشد.

در این کتاب سعی شده است آن دسته از ماشین‌های الکتریکی مخصوص، که بیشتر کاربرد دارند، مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به حجم زیاد مطالب، از وارد شدن به آنالیزهای پیچیده و نیز طراحی پرهیز شده و روی رفتار و مشخصه‌های آن‌ها تأکید شده است. قسمتی از انواع موتورهایی که در این کتاب مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، در شکل صفحه بعد با بلوک‌های تیره مشخص شده‌است.



نمایش جایگاه تعدادی از انواع ماشین‌های الکتریکی

مقدمه ویرایش دوم، چاپ اول

ویرایش اول این کتاب بعد از نزدیک سیزده سال از اولین چاپ آن در قالب چاپ هفتم منتشر شد. تأکید ویرایش فوق اضافه کردن یک فصل کامل تحت عنوان موتورهای dc بدون جاروبک به همراه مسائل انتهایی فصل و انتهای کتاب بود که مورد درخواست بسیاری از دانشجویان بود. متأسفانه، به دلیل اتمام نسخ موجود در بازار و ضرورت چاپ مجدد، این فرصت این را فراهم نیاورد تا کار کافی برای ویرایش فصول دیگر نیز انجام شود؛ این فرصت در چاپ هفتم نیز میسر نشد.

در چاپ حاضر، فصل‌های اول، دوم و ششم به‌طور کامل ویرایش شده و مطالب تکمیلی لازم در آن‌ها گنجانده شده‌است. به‌علاوه، مطالب سایر فصل‌ها نیز بازنگری شده و با اعمال تغییرات لازم، تا حد ممکن روان‌تر شده است. تعداد قابل‌توجهی از شکل‌های سرتاسر کتاب نیز مجدداً با وضوح بیشتر و کیفیت بالاتر رسم و جایگزین شده است.

کلیه کارهای اشاره‌شده و درنهایت صفحه‌آرایی کتاب بیش از چهار ماه کار تمام‌وقت در طول دو تابستان ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ و توسط این‌جانب انجام شد. بدین‌وسیله، از همسر عزیزم مهنا، از بابت صبر و حوصله‌ای که به خرج داده و تبدیل منزل به محیط کار توسط این‌جانب را تحمل نمودند، تشکر می‌کنم و این ویرایش از کتاب را صمیمانه به ایشان تقدیم می‌کنم.

بالاخره، از کلیه همکاران محترم و دانشجویان عزیزم، که با راهنمایی‌های خود شرایط تصحیح این کتاب را فراهم آوردند، و نیز خوانندگانی که این‌جانب را در هرچه بهتر کردن چاپ بعدی آن یاری خواهند نمود، سپاسگزارم.

دکتر محمدرضا فیضی

شهریور ۱۴۰۲

فهرست مطالب

عنوان.....	صفحه
پیشگفتار.....	v
مقدمه.....	vii
مقدمه ویرایش دوم، چاپ اول.....	xi
فصل ۱: موتورهای القایی دوفاز.....	۱
۱-۱ تعریف ماشین‌های الکتریکی.....	۱
۱-۱-۱ دسته‌بندی ماشین‌های الکتریکی.....	۱
۲-۱ توزیع مکانی آمپر دور فاصله هوایی.....	۲
۱-۲-۱ سیم‌پیچ متمرکز.....	۳
۲-۲-۱ سیم‌پیچ گسترده شده در تعداد محدود شیار.....	۵
۳-۲-۱ سیم‌پیچ گسترده شده با توزیع سینوسی.....	۷
۳-۱ موتورهای القایی دوفاز.....	۱۱
۴-۱ تئوری میدان‌های گردان.....	۱۲
۵-۱ موتورهای القایی دوفاز متعادل.....	۱۴
۱-۵-۱ موتور القایی دوفاز متعادل با تغذیه متعادل.....	۱۵
الف: موتور با $q=۲$	۱۸
ب: موتور با $q=۴$	۱۹
۲-۵-۱ موتور القایی دوفاز متعادل با تغذیه نامتعادل.....	۲۲
۶-۱ مؤلفه‌های مستقیم و معکوس یک شبکه دوفاز.....	۲۳
۷-۱ موتورهای دوفاز نامتعادل.....	۳۱
مسائل فصل ۱.....	۳۲
فصل ۲: موتورهای القایی تک‌فاز.....	۳۵
۱-۲ بررسی کیفی یک موتور القایی تک‌فاز.....	۳۵
۲-۲ بررسی کمی یک موتور القایی تک‌فاز.....	۳۷
۳-۲ روش‌های ایجاد گشتاور راه‌اندازی در موتور القایی تک‌فاز.....	۴۶

۴۷.....	۱-۳-۲ موتور با فاز شکسته.....
۵۱.....	۲-۳-۲ موتورهای خازنی.....
۵۵.....	۳-۳-۲ موتور با قطب چاک‌دار.....
۵۷.....	۴-۲ مقایسه موتورهای القایی تک‌فاز با موتورهای القایی چندفاز متعادل با تغذیه متعادل.....
۵۸.....	۵-۲ مدار معادل موتورهای القایی دوفاز نامتعادل.....
۶۰.....	۱-۵-۲ محاسبات مربوط به استخراج مدار معادل.....
۶۵.....	۲-۵-۲ بررسی حالات خاص.....
۷۱.....	۳-۵-۲ مثال‌های کاربردی با استفاده از مدار معادل موتور دوفاز نامتعادل.....
۸۸.....	مسائل فصل ۲.....
۹۱.....	فصل ۳: سرو موتورهای دوفاز یا موتورهای کنترل دوفاز.....
۹۱.....	۱-۳ اصول کار.....
۹۴.....	۲-۳ مشخصه‌های موتور کنترل دوفاز.....
۹۷.....	مسائل فصل ۳.....
۹۹.....	فصل ۴: تاکوژنراتور.....
۱۰۰.....	۱-۴ کلیات.....
۱۰۱.....	۲-۴ تاکوژنراتورهای جریان مستقیم (dc).....
۱۰۲.....	۲-۴-۱ مشخصه خروجی یک تاکوژنراتور با مغناطیس دائم.....
۱۰۴.....	۲-۲-۴ معادله ولتاژ خروجی یک تاکوژنراتور با مغناطیس دائم در حالت کلی.....
۱۰۸.....	۳-۲-۴ تاکوژنراتورهای dc با تحریک جداگانه میدان.....
۱۰۹.....	۳-۴ خطاهای تاکوژنراتورهای dc.....
۱۰۹.....	۱-۳-۴ خطای حرارتی.....
۱۱۰.....	۲-۳-۴ خطای ناشی از عدم تقارن محل جاروبک‌ها.....
۱۱۱.....	۳-۳-۴ تموج ولتاژ خروجی.....
۱۱۶.....	۴-۴ مزایا و معایب تاکوژنراتورهای dc.....
۱۱۶.....	۱-۴-۴ معیارهای دقت تاکوژنراتورهای dc.....
۱۱۷.....	۵-۴ تاکوژنراتورهای ac القایی.....
۱۱۷.....	۱-۵-۴ ساختمان یک تاکوژنراتور القایی.....
۱۱۸.....	۲-۵-۴ تئوری تاکوژنراتور القایی با استفاده از روش دو محوری.....
۱۲۰.....	۳-۵-۴ نیروی محرکه ترانسفورمری در سیم‌پیچ ژنراتوری.....

۱۲۱.....	عوامل مؤثر در غیرخطی شدن مشخصه.....	۴-۵-۴
۱۲۲.....	بررسی کمی تاکوژنراتور القایی با استفاده از تئوری میدان‌های گردان.....	۵-۵-۴
۱۲۵.....	خطاهای تاکوژنراتور القایی.....	۶-۵-۴
۱۲۸.....	مسائل فصل ۴.....	
۱۳۱.....	فصل ۵: سلسین و سینکرو.....	
۱۳۲.....	۱-۵ سلسین‌های سه فاز.....	
۱۳۵.....	۲-۵ سلسین‌های تک‌فاز، یا سینکروها.....	
۱۳۷.....	۳-۵ تئوری کار زوج سینکروی "فرستنده-گیرنده".....	
۱۳۸.....	۱-۳-۵ بررسی کیفی.....	
۱۴۰.....	۲-۳-۵ بررسی کمی.....	
۱۴۲.....	۴-۵ محاسبه گشتاور.....	
۱۴۹.....	۵-۵ سینکروی ترانسفورمر (CT).....	
۱۴۹.....	۱-۵-۵ بررسی کیفی.....	
۱۵۰.....	۲-۵-۵ بررسی تحلیلی.....	
۱۵۶.....	۳-۵-۵ نمونه‌های کاربرد.....	
۱۵۹.....	۴-۵-۵ ویژگی ساختار.....	
۱۵۹.....	۶-۵ سینکروی تفاضلی.....	
۱۶۱.....	۱-۶-۵ محاسبه زاویه انحراف.....	
۱۶۳.....	مسائل فصل ۵.....	
۱۶۵.....	فصل ۶: موتورهای سنکرون مخصوص.....	
۱۶۵.....	۱-۶ موتورهای سنکرون با مغناطیس دائم.....	
۱۷۰.....	۲-۶ موتورهای رلوکتانسی.....	
۱۷۰.....	۱-۲-۶ موتورهای رلوکتانسی تک‌فاز.....	
۱۷۳.....	۲-۲-۶ معادله گشتاور.....	
۱۷۹.....	۳-۲-۶ موتورهای رلوکتانسی سه‌فاز.....	
۱۸۱.....	۴-۲-۶ راه‌اندازی موتور رلوکتانسی سه‌فاز با راه‌انداز القایی.....	
۱۸۵.....	۳-۶ موتورهای هیستریزیس.....	
۱۸۷.....	۱-۳-۶ ساختمان موتور هیستریزیس.....	
۱۸۸.....	۲-۳-۶ استخراج شکل موج B در یک ماده مغناطیسی دارای هیستریزیس.....	

۱۹۰	۳-۳-۶ مکانیزم تولید گشتاور در موتور هیستریزیس
۱۹۳	۴-۳-۶ مشخصه گشتاور- سرعت موتور هیستریزیس
۱۹۶	۵-۳-۶ معادله گشتاور موتور هیستریزیس
۱۹۸	۶-۳-۶ مقایسه موتور رلوکتانسی و موتور هیستریزیس
۱۹۸	۴-۶ موتورهای سنکرون کم‌سرعت
۱۹۹	۵-۶ ماشین‌های سنکرون قطب پنجاهی
۱۹۹	۱-۵-۶ ژنراتورهای با روتور قطب پنجاهی
۲۰۱	۲-۵-۶ موتورهای با روتور یا استاتور قطب پنجاهی
۲۰۳	۶-۶ موتورهای dc بدون جاروبک
۲۰۳	مسائل فصل ۶
۲۰۵	فصل ۷: موتورهای dc بدون جاروبک
۲۰۶	۱-۷ موتورهای مغناطیس دائم
۲۰۶	۱-۱-۷ موتور مغناطیس دائم جریان مستقیم با جاروبک (PMDC)
۲۰۷	۲-۱-۷ موتورهای مغناطیس دائم بدون جاروبک (PMBL)
۲۰۸	۳-۱-۷ انواع ساختارهای موتور جریان مستقیم بدون جاروبک
۲۱۰	۲-۷ اصول کار موتور BLDC
۲۱۴	۱-۲-۷ ساختمان استاتور
۲۱۴	۲-۲-۷ ساختمان روتور
۲۱۶	۳-۷ تغذیه موتور BLDC توسط اینورتر شش‌پالسه
۲۱۹	۴-۷ درایو موتور BLDC
۲۲۲	۱-۴-۷ کنترل سرعت و گشتاور در موتورهای dc مرسوم
۲۲۴	۲-۴-۷ کنترل جریان هیستریزیس
۲۲۸	۳-۴-۷ کنترل جریان به روش مدولاسیون پهنای پالس
۲۳۷	۵-۷ مزایا و معایب موتور BLDC
۲۳۷	۱-۵-۷ مزایای موتورهای BLDC
۲۳۸	۲-۵-۷ معایب موتورهای BLDC
۲۳۹	۶-۷ عوامل تولید ریپل گشتاور در موتورهای BLDC
۲۴۱	۷-۷ نمونه‌های کاربرد موتور BLDC
۲۴۲	۸-۷ انواع سنسورهای سرعت و موقعیت

۲۴۳	۱-۸-۷ سنسورهای اثر هال
۲۴۵	مسائل فصل ۷
۲۴۷	فصل ۸: ماشین‌های کموتاتور دار ac
۲۴۷	۱-۸ عمل کموتاتور
۲۵۱	۲-۸ عمل حلقه لغزان
۲۵۲	۳-۸ بررسی چند نمونه از ماشین‌های ac کموتاتور دار
۲۵۲	۱-۳-۸ مبدل فرکانس گردان
۲۶۱	۲-۳-۸ مبدل dc/ac سنکرون
۲۶۳	۳-۳-۸ شراگ موتور
۲۶۵	۴-۸ موتورهای ac سری
۲۶۷	۱-۴-۸ دیاگرام فازوری یک ماشین ac سری
۲۶۸	۲-۴-۸ کموتاسیون
۲۷۴	۳-۴-۸ ویژگی‌های ساختمانی یک موتور ac سری
۲۷۵	۴-۴-۸ مشخصه، تلفات و بازده موتورهای ac سری
۲۷۶	۵-۸ موتور یونیورسال
۲۷۷	۶-۸ موتورهای ریپالسیونی (دفعی)
۲۸۱	۱-۶-۸ محاسبه گشتاور
۲۸۳	مسائل فصل ۸
۲۸۵	فصل ۹: موتورهای پله‌ای
۲۸۵	۱-۹ مفاهیم کلی در مورد موتورهای پله‌ای
۲۸۷	۲-۹ تعاریف کلی در مورد موتورهای پله‌ای
۲۸۹	۱-۲-۹ انواع موتورهای پله‌ای
۲۹۰	۳-۹ موتورهای پله‌ای با روتور آهنربای دائم یا نوع اکتیو (PMSM)
۲۹۰	۱-۳-۹ بررسی کیفی
۲۹۴	۲-۳-۹ تحلیل کمی
۲۹۷	۳-۳-۹ سیم‌پیچ با سر وسط
۲۹۸	۴-۳-۹ محدودیت‌های موتورهای پله‌ای نوع اکتیو
۲۹۹	۴-۹ موتورهای پله‌ای با رلوکتانس متغیر (VRSM)
۳۰۶	۵-۹ موتورهای پله‌ای با رلوکتانس متغیر چندطبقه

۳۰۹.....	۶-۹ موتورهای پله‌ای مختلط (HSM).....
۳۱۱.....	۱-۶-۹ مقایسه موتور پله‌ای مختلط با نوع اکتیو و رلوکتانسی.....
۳۱۱.....	۲-۶-۹ چند نکته کلی در مورد موتورهای پله‌ای.....
۳۱۲.....	۷-۹ شرایط کار و مشخصه‌های موتورهای پله‌ای.....
۳۱۲.....	۱-۷-۹ شرایط کار استاتیکی موتور.....
۳۱۶.....	۲-۷-۹ موتور پله‌ای تک‌فاز با اصول کار قطب چاک‌دار.....
۳۲۰.....	۳-۷-۹ شرایط کار تک پله‌ای (Single Step).....
۳۲۳.....	۴-۷-۹ شرایط کار چند پله (Multi-Step Operation).....
۳۲۶.....	۵-۷-۹ نکاتی در مورد مشخصه "گشتاور-سرعت پله".....
۳۲۸.....	۸-۹ موتورهای رلوکتانس متغیر (VRM).....
۳۲۹.....	۱-۸-۹ مشخصات ساختمانی.....
۳۳۰.....	۲-۸-۹ اصول کار.....
۳۳۱.....	۳-۸-۹ حالت‌های کاری.....
۳۳۱.....	۴-۸-۹ کاربردها.....
۳۳۲.....	مسائل فصل ۹.....
۳۳۵.....	فصل ۱۰: سیستم‌های محرک و مداربندی موتورهای پله‌ای.....
۳۳۵.....	۱-۱۰ سیستم‌های محرک.....
۳۳۶.....	۲-۱۰ مدار ترتیب‌دهنده منطقی.....
۳۳۷.....	۱-۲-۱۰ تحریک یک موتور دوفاز با تغذیه هم‌زمان دوفاز.....
۳۳۷.....	۲-۲-۱۰ استفاده از ریزپردازنده.....
۳۴۲.....	۳-۱۰ محرک‌های موتور پله‌ای.....
۳۴۲.....	۱-۳-۱۰ اتصال بین مدار ترتیب‌دهنده منطقی و محرک.....
۳۴۲.....	۲-۳-۱۰ مسائل مربوط به محرک‌ها.....
۳۴۳.....	۳-۳-۱۰ مدارهای گردش آزاد.....
۳۴۵.....	۴-۳-۱۰ روش‌های کاهش زمان صعود جریان.....
۳۴۸.....	۵-۳-۱۰ محرک پل برای یک موتور دوفاز.....
۳۴۹.....	۶-۳-۱۰ موتورهای سه و پنج فاز مختلط.....
۳۵۰.....	۷-۳-۱۰ محرک با مدولاسیون پهنای پالس.....
۳۵۷.....	مسائل فصل ۱۰.....

۳۵۹	فصل ۱۱: موتورهای خطی
۳۵۹	۱-۱۱ ساختمان اساسی موتورهای خطی
۳۶۱	۲-۱۱ موتورهای القایی خطی
۳۶۳	۱-۲-۱۱ ماشین‌های مولد نیرو (عمل‌کننده‌ها)
۳۶۳	۲-۲-۱۱ ماشین‌های انرژی (شتاب‌دهنده)
۳۶۳	۳-۲-۱۱ ماشین‌های قدرت (محرک‌ها)
۳۶۴	۳-۱۱ ماشین‌های القایی خطی ایدئال
۳۶۵	۱-۳-۱۱ محاسبه مقدار نیرو
۳۶۶	۴-۱۱ ماشین‌های خطی در عمل
۳۶۷	۱-۴-۱۱ ماشین با اولیه کوتاه
۳۶۷	۲-۴-۱۱ ماشین با ثانویه صفحه‌ای
۳۶۸	۵-۱۱ نمونه‌هایی از کاربردهای موتورهای خطی
۳۶۸	۱-۵-۱۱ موتورهای قدرت
۳۷۰	۲-۵-۱۱ شتاب‌دهنده‌ها
۳۷۱	۶-۱۱ موتورهای لوله‌ای
۳۷۱	مسائل فصل ۱۱
۳۷۳	فصل ۱۲: مسائل متفرقه
۳۷۹	ضمیمه الف: رابطه بین پارامترهای یک ماشین با ابعاد فیزیکی آن
۳۷۹	الف-۱ معادله قدرت خروجی یک ماشین dc
۳۸۱	الف-۲ معادله قدرت خروجی یک ماشین ac
۳۸۳	الف-۳ آمپرسیم بر متر آرمیچر
۳۸۵	ضمیمه ب: نیروی محرکه و گشتاور در ماشین‌های الکتریکی
۳۸۵	ب-۱ نیروی محرکه القاشده در ماشین‌های الکتریکی ac
۳۸۸	ب-۲ نیروی محرکه القاشده در ماشین‌های dc
۳۹۱	ب-۳ نیروی محرکه بین دو جاروبک متکی به کموتاتور در حالت کلی
۳۹۴	ب-۴ نیرو و گشتاور در مبدل‌های الکترومکانیکی
۳۹۷	ب-۵ محاسبه گشتاور در یک موتور با قطب صاف
۳۹۹	ب-۶ معادله گشتاور بر حسب مؤلفه‌های طولی و عرضی (تئوری دومحوری)

۴۰۳	ضمیمه پ: عمل حلقه اتصال کوتاه در موتورهای با قطب چاک‌دار.....
۴۰۳	پ-۱ بررسی کیفی.....
۴۰۴	پ-۲ بررسی کمی.....
۴۰۹	ضمیمه ت: تنظیم سرعت موتورهای القایی به روش تزریق ولتاژ به ثانویه.....
۴۰۹	ت-۱ تئوری تنظیم سرعت به روش تزریق ولتاژ به ثانویه.....
۴۱۲	ت-۲ مشخصه گشتاور- سرعت موتور.....
۴۱۴	ت-۳ دیاگرام فازوری حلقه ثانویه برای حالات مختلف V_3 از نظر اندازه و فاز.....
۴۱۹	مراجع.....
۴۲۱	فهرست الفبایی.....