

ماشین های الکتریکی

بخش اول

تحلیل مدارهای مغناطیسی و مبادل های الکترومکانیکی

مؤلف:

دکتر محمد رضا فیاضی

استاد دانشگاه تبریز

نیاز دانش



نیاز دانش

سرشناسه	فیضی، محمد رضا، ۱۳۳۱-
عنوان و نام پدیدآور	ماشینهای الکتریکی: بخش اول تحلیل مدارهای مغناطیسی و مبدل های الکترومکانیکی / مؤلف محمدرضا فیضی
مشخصات نشر	تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	۳۷۸ص
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۷۳-۵
وضعیت فهرست نویسی	فیفا
یادداشت	درس ماشینهای الکتریکی
عنوان دیگر	تحلیل مدارهای مغناطیسی و مبدل های الکترومکانیکی.
موضوع	ماشین آلات برقی
موضوع	Electric machinery
موضوع	مبدل های مغناطیسی
موضوع	Transducers
رده بندی کنگر	TK۲۱۸۱
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۱۰۴۲
شماره کتابشناسی	۶۲۹/۱۶

نام کتاب	ماشین های الکتریکی، بخش اول: تحلیل مدارهای مغناطیسی و مبدل های الکترومکانیکی
مؤلف	دکتر محمدرضا فیضی - استاد دانشگاه تهران
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
ناشر	نیاز دانش
صفحه آرا	واحد تولید انتشارات نیاز دانش
نوبت چاپ	اول - ۱۳۹۹
شمارگان	۱۵۰ نسخه
قیمت	۵۸۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-8906-73-5

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۹۰۶-۷۳-۵

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

آدرس انتشارات: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، تقاطع وحید نظری، پلاک ۲۵۵، طبقه ۱، واحد ۲

۰۲۱-۶۶۴۷۸۱۰۶-۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲-۲۱۰۶۷۰۹

پیشگفتار

مبدل‌های الکترومکانیکی، مانند انواع عملگرها و ماشین‌های الکتریکی، نیروی محرکه صنعت امروز و نیز اساس کار اتوماسیون صنعتی هستند و استفاده بهینه از این مبدل‌ها مستلزم درک اصول کار آن‌ها است. باوجوداین، اکثر قریب به اتفاق کتاب‌های متعددی که امروزه در زمینه ماشین‌های الکتریکی به زبان‌های مختلف منتشر شده‌است، بخش محدودی از کتاب را به این موضوع اختصاص داده‌اند؛ و یا اصلاً حتی از آن به میان نیاورده‌اند. این در حالی است که در مورد انواع ماشین‌های الکتریکی -رسم-، ازجمله ماشین‌های DC، ماشین‌های القایی و ماشین‌های سنکرون، کتاب‌های متعدد چاپ و منتشر شده‌است که ویژگی‌های هر کدام از آن‌ها، از مرحله ساختمان تا طراحی، و نیز تحلیل آن‌ها در شرایط مانع‌آزار و غیرآزار، بسیار موشکافانه مورد بحث قرار گرفته‌است.

مسئله فوق، این‌جانب را بر آن داشت که پس از چهل سال تجربه تدریس و تحقیق در زمینه انواع مبدل‌های الکترومکانیکی و ماشین‌های الکتریکی، یک جلد کتاب مجزا را، که به‌طور اختصاصی در مورد تحلیل مدارهای مغناطیسی و تبدیل انرژی الکتریکی بحث می‌کند، تألیف نمایم. در این کتاب، فرض بر این نهاده شده‌است که خوانندگان آن دستیار آموزشی از اطلاعات پایه ریاضی، با چند اصل و قانون فیزیک، ازجمله اصل بقای انرژی، قوانین ولتاژ و جریان^۱ کیرشهوف و نیز قوانین فارادی و آمپر، آشنایی کافی دارند.

کتاب حاضر شامل شش فصل است. در فصل اول، مباحث مربوط به پارامترهای میدان مغناطیسی بحث شده و آمادگی لازم برای ورود به مباحث مدارهای مغناطیسی با تحریک DC، که در فصل دوم آورده شده‌است، را فراهم می‌سازد. فصل سوم ادامه فصل قبلی است و در آن، مدارهای مغناطیسی با تحریک AC به همراه مدارهای تزویج‌شده مغناطیسی و نیز تلفات هسته مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت، فصل‌های چهارم تا ششم از مقدمات محاسبه انرژی در میدان مغناطیسی تا حسابات مربوط به نیرو و گشتاور در مبدل‌های الکترومکانیکی را به‌طور مشروح پوشش می‌دهد. در فصل‌های اشاره‌شده، بالغ‌بر هفتاد مثال کلیدی حل‌شده مرتبط با هر مبحث گنجانده شده‌است و علاوه بر آن، تعدادی تمرین در متن هر فصل و به تعداد کافی مسئله تشریحی در انتهای آن قرار داده شده‌است. به‌دنبال فصول اشاره شده، تعداد شصت تست چهارگزینه‌ای به‌صورت جداگانه به همراه کلید آن‌ها آورده شده‌است که می‌تواند تمرین خوبی جهت افزایش آمادگی دانشجویان برای آزمون‌های سراسری کارشناسی ارشد

1. KVL

2. KCL

باشد. یادآوری می‌شود که بیش از ۹۵٪ مثال‌ها، مسائل تشریحی و تست‌های چهارگزینه‌ای داده‌شده در این کتاب توسط شخص مؤلف طراحی شده و تعدادی از آن‌ها، بالأخص تست‌های چهارگزینه‌ای، در آزمون‌های مختلف ورودی دانشگاه‌ها، ازجمله آزمون‌های سراسری کارشناسی ارشد در بیست‌وپنج سال اخیر، مورد استفاده قرار گرفته‌است.

مباحث مطرح‌شده در این کتاب از نظر سرفصل، تقریباً نیمی از سرفصل‌های فعلی درس ماشین‌های الکتریکی یک دوره کارشناسی را شامل می‌شود، ولی حجم مطالب به‌مراتب بیش از آن است که در نصف یک نیمسال تحصیلی به‌طور کامل قابل تدریس باشد و در نتیجه، استاد درس به سلیقه خود ممکن است قسمت‌هایی از مطالب را به‌صورت خلاصه‌تر از آنچه در این کتاب بیان شده‌است، تدریس نماید. به‌علاوه، با توجه به عمق مطالب، این کتاب درصد بالایی از فصل مرتبط با تبدیل انرژی درس تئوری ماشین‌های الکتریکی دوره کارشناسی ارشد را نیز پوشش می‌دهد.

روش بیان مطالب و مثال‌ها، حل‌شده متعدد به نحوی تنظیم شده‌است که یک فرد علاقه‌مند با اطلاعات اولیه لازم می‌تواند به‌صورت خودآموز مطالب کتاب را فراگیرد. به‌علاوه، چند مثال نمونه با استفاده از برنامه نویسی در محیط نرم‌افزار MATLAB آورده شده است و خوانندگان علاقه‌مند و آشنا به این نرم‌افزار یا هر نرم‌افزار مشابه می‌توانند اغلب مثال‌ها و مسائل تشریحی انتهای فصل‌ها را با استفاده از آن‌ها حل نمایند. یادآوری می‌شود که آ‌های پیشنهادی الزاماً بهترین نیستند و برحسب سلیقه و مهارت افراد ممکن است تغییر کنند.

این کتاب، علاوه بر یک کتاب درسی، می‌تواند به‌عنوان یک مرجع مناسب برای آمادگی آزمون ورودی کارشناسی ارشد و بالأخص المپیاد دانشجویی مورد استفاده قرار گیرد.

از همکار محترم جناب آقای دکتر سجاد توحیدی، که نقش به‌سزایی در ویرایش علمی و نگارشی این کتاب داشتند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

علیرغم آنکه این جانب نهایت سعی خود را در بیان هرچه روشن‌تر مطالب به‌کاربرده‌ام، طبعاً کار حاضر را بدون نقص نمی‌دانم و از خوانندگان این کتاب تقاضا دارم هرگونه انتقاد، تائید، نارسایی مطالب بیان‌شده و یا هرگونه پیشنهاد را که می‌تواند در جهت بهبود این کتاب باشد، به نحو مقتضی، ازجمله ایمیل feyzi@tabrizu.ac.ir، به این جانب اطلاع دهند تا در ویرایش‌های بعدی اعمال شود.

دکتر محمدرضا فیضی

استاد دانشگاه تبریز

دی‌ماه ۱۳۹۸

فهرست

عنوان..... شماره صفحه

فصل ۱: مواد و مدارهای مغناطیسی..... ۱

مقدمه..... ۱

۱-۱ چند نمونه ساده از مبدل‌های الکترومکانیکی..... ۲

۱-۱-۱ تبدیل الکترومکانیکی در میدان الکتریکی..... ۲

۱-۱-۲ تبدیل الکترومکانیکی در میدان مغناطیسی..... ۴

۲-۱ مروری بر پارامترهای یک میدان مغناطیسی..... ۵

۳-۱ یادآوری چند تعریف و پارامتر میدان‌های مغناطیسی..... ۶

۱-۳-۱ شدت میدان مغناطیسی..... ۶

۲-۳-۱ اندوکسیون مغناطیسی..... ۸

۳-۳-۱ شار مغناطیسی..... ۹

۴-۳-۱ میدان مغناطیسی یکنواخت و غیر یکنواخت..... ۱۰

۵-۳-۱ مقدار متوسط چگالی شار..... ۱۳

۴-۱ خواص مغناطیسی مواد..... ۱۴

مسائل فصل ۱..... ۲۰

فصل ۲: مدارهای مغناطیسی با تحریک DC..... ۲۳

مقدمه..... ۲۳

۱-۲ مدار مغناطیسی..... ۲۳

۱-۱-۲ مدار مغناطیسی ساده..... ۲۶

۲-۱-۲ مدار مغناطیسی واقعی..... ۲۸

۳-۱-۲ مدار الکتریکی معادل یک مدار مغناطیسی..... ۳۶

۴-۱-۲ مدار مغناطیسی با فاصله هوایی..... ۳۹

۵-۱-۲ پدیده نشت شار در مدارهای مغناطیسی..... ۴۴

۶-۱-۲ پدیده پراکندگی یا شکستگی شار در فواصل هوایی..... ۴۷

۲-۲ مشخصه مغناطیسی مواد فرومغناطیسی..... ۴۹

۵۲.....	۱-۲-۲ مشخصه خطی.....
۵۳.....	۲-۲-۲ مشخصه غیرخطی.....
۶۵.....	۳-۲-۲ پدیده هیستریزیس.....
۶۹.....	۴-۲-۲ فولاد الکتریکی.....
۷۱.....	مسائل فصل ۲.....
۸۱.....	فصل ۳: مدارهای مغناطیسی با تحریک AC.....
۸۱.....	مقدمه.....
۸۱.....	۱-۳ سیم پیچ تغذیه شده از منبع ولتاژ سینوسی.....
۸۷.....	۱-۱-۳ بررسی شکل موج جریان در مدار مغناطیسی غیرخطی.....
۹۸.....	۲-۳ شار پیوندی سیم پیچ.....
۱۰۱.....	۳-۳ اندوکتانس اضرب خودالقایی یک سیم پیچ.....
۱۰۴.....	۱-۳-۳ استخراج مشخصه $\lambda(i)$ یک سیم پیچ.....
۱۰۷.....	۲-۳-۳ استخراج اندوکتانس با استفاده از مشخصه های $\lambda(i)$
۱۱۰.....	۳-۳-۳ اندوکتانس تفاضلی.....
۱۱۴.....	۴-۳ سیم پیچ های کوپله شده مغناطیسی.....
۱۱۶.....	۱-۴-۳ تعریف اندوکتانس خودی و متقابل.....
۱۲۳.....	۵-۳ مقدمه ای بر ترانسفورماتور.....
۱۲۳.....	۱-۵-۳ اصول کار.....
۱۲۵.....	۲-۵-۳ ترانسفورماتور در حالت بی باری.....
۱۲۶.....	۳-۵-۳ چگونگی انتقال توان توسط عمل ترانسفورماتور.....
۱۲۸.....	۶-۳ تلفات هسته آهنی در میدان متغیر با زمان.....
۱۲۸.....	۱-۶-۳ تلفات فوکو.....
۱۳۰.....	۲-۶-۳ محاسبه تلفات فوکو در یک ورقه هادی.....
۱۳۷.....	۳-۶-۳ تلفات هیستریزیس.....
۱۴۰.....	۴-۶-۳ تلفات آهن.....
۱۴۸.....	مسائل فصل ۳.....
۱۶۱.....	فصل ۴: اصول تبدیل الکترومکانیکی.....
۱۶۱.....	مقدمه.....
۱۶۱.....	۱-۴ نیرو و گشتاور در میدان مغناطیسی.....

۱۶۱	۱-۱-۴ نیروی وارد بر محیط حامل جریان
۱۶۴	۲-۱-۴ نیروی وارد بر بدنه ماده مغناطیسی غیر حامل جریان
۱۶۸	۲-۴ مبدل‌های الکترومکانیکی
۱۷۱	۳-۴ معادله تعادل انرژی در یک مبدل الکترومکانیکی در حالت کلی
۱۷۴	۱-۳-۴ معادله حالت یک سیستم
۱۷۵	۲-۳-۴ مکانیزم تبدیل انرژی در میدان مغناطیسی
۱۷۷	۴-۴ محاسبه انرژی میدان مغناطیسی
۱۸۰	۱-۴-۴ انرژی ذخیره‌شده در میدان با مدار مغناطیسی خطی
۱۸۴	۲-۴-۴ انرژی در میدان با مدار مغناطیسی غیر خطی
۱۹۰	۵-۴ چگالی حجمی انرژی ذخیره‌شده در یک میدان
۱۹۹	مسائل فصل ۳
۲۰۵	فصل ۵: نیرو و گشتاور در مبدل‌های الکترومکانیکی یک تحرکه
۲۰۵	مقدمه
۲۰۵	۱-۵ محاسبه نیرو در مبدل‌های یک تحرکه
۲۱۰	۲-۵ محاسبه گشتاور
۲۱۳	۳-۵ استفاده از تابع کوانرژی برای نیرو یا گشتاور
۲۱۵	۱-۳-۵ محاسبه کوانرژی
۲۱۹	۴-۵ محاسبه چگالی حجمی کوانرژی در یک میدان مغناطیسی
۲۲۲	۵-۵ محاسبه نیرو در مبدل با مدار مغناطیسی غیر خطی
۲۲۴	۶-۵ روش کار مجازی
۲۳۲	۷-۵ مقدار متوسط نیرو
۲۳۳	۱-۷-۵ مقدار متوسط مکانی نیرو
۲۳۸	۲-۷-۵ مقدار متوسط زمانی
۲۴۴	۸-۵ بررسی رفتار یک مبدل الکترومکانیکی با تغذیه AC
۲۴۹	۹-۵ نیروی محرکه القاشده در سیم‌پیچ یک مبدل الکترومکانیکی
۲۵۲	۱۰-۵ معادله دینامیکی یک مبدل الکترومکانیکی
۲۵۶	۱-۱۰-۵ تعادل پایدار و ناپایدار در یک مبدل الکترومکانیکی
۲۵۹	۱۱-۵ چند مثال حل‌شده تکمیلی
۲۷۱	مسائل فصل ۵

فصل ۶: مبدل‌های الکترومکانیکی چندتحریکه.....	۲۷۹
مقدمه.....	۲۷۹
۱-۶ تحلیل مبدل‌های چندتحریکه.....	۲۸۰
۱-۱-۶ تعادل انرژی در سیستم‌های چندتحریکه.....	۲۸۰
۲-۱-۶ محاسبه نیرو و گشتاور.....	۲۸۱
۳-۱-۶ محاسبه انرژی در یک سیستم چندتحریکه.....	۲۸۲
۴-۱-۶ معادله انرژی در یک سیستم دوتحریکه با مدار مغناطیسی خطی.....	۲۸۶
۵-۱-۶ معادله نیرو و گشتاور در یک مبدل دوتحریکه با مدار مغناطیسی خطی.....	۲۸۶
۲-۶ استفاده از تابع کوانرژی برای محاسبه نیرو و گشتاور.....	۲۸۸
۱-۲-۶ محاسبه تابع کوانرژی.....	۲۸۹
۲-۲-۶ بررسی سیستم چندتحریکه با مدار مغناطیسی خطی با استفاده از تابع کوانرژی.....	۲۹۱
۳-۶ تحلیل مبدل انرژی با تغییر مکان زاویه‌ای.....	۲۹۳
۱-۳-۶ مفاهیم گشتاور، لنگنس، قابلیت.....	۲۹۷
۲-۳-۶ بررسی رفتار مبدل دوتحریکه با تغییر مکان زاویه‌ای با تحریک DC.....	۳۰۰
۳-۳-۶ بررسی اثر ساختار هندسی مبدل روی مؤلفه‌های گشتاور.....	۳۰۹
۴-۳-۶ بررسی رفتار مبدل با تحریک متغیر با زمان.....	۳۱۲
مسائل فصل ۶.....	۳۱۴
نمونه سؤالات تستی چهارگزینه‌ای.....	۳۱۸
کلید سؤالات تستی چهارگزینه‌ای.....	۳۴۶
ضمیمه الف: پاسخ دینامیکی سیستم جرم-فنر-دمپر به یک ورودی متغیر با زمان.....	۳۴۷
مقدمه.....	۳۴۷
الف-۱ سیستم مکانیکی جرم-فنر-دمپر با یک درجه آزادی.....	۳۴۷
الف-۱-۱ پاسخ عمومی سیستم.....	۳۵۰
الف-۱-۲ پاسخ خصوصی سیستم.....	۳۵۲
الف-۲ تعریف تکانه یا اندازه حرکت.....	۳۵۸
مراجع.....	۳۶۱
واژه‌نامه.....	۳۶۳
فهرست الفبایی.....	۳۶۵