

تئوری جامع ماشین‌های الکتریکی

مؤلف

دکتر جعفر سلطانی

نیاز دانش

مقدمه مؤلف

پس از ترجمه دو جلد کتاب ماشین‌های الکتریکی و کاربرد که به‌عنوان مرجع اصلی دروس کارشناسی مهندسی برق توسط وزارت علوم آموزش و فناوری قرار داده شد و نیز ترجمه کتاب الکترونیک قدرت و تالیف کتاب ماشین‌های الکتریکی مخصوص با توفیقات الهی هم‌اکنون موفق شدم که کتاب حاضر را تحت عنوان **تئوری جامع ماشین‌های الکتریکی** برای مقطع کارشناسی ارشد مهندسی برق (قدرت) را به تالیف برسانم.

مطالبی که در این کتاب قرار داده شده حاصل از قریب ۳۰ سال تجربه اینجانب در تدریس ماشین‌های الکتریکی در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق در بعضی از دانشگاه‌های کشور، بخصوص در دانشگاه صنعتی اصفهان می‌باشد.

در فصل اول این کتاب اشاره‌ای به کاربرد تبدیلات خطی در ماشین‌های الکتریکی شده است که معمولاً در مراجع دیگر اصولاً یافت نمی‌گردد. فصول بعدی به ترتیب مربوط است به تئوری جامع تبدیل انرژی در سیستم‌های الکترومکانیک تئوری جامع ماشین‌های **dc**، اصول اساسی مورد نیاز برای مدلسازی ماشین‌های **ac**، تئوری جامع ماشین‌های القائی سه‌فاز متعادل و بالاخره در فصل آخر تئوری جامع ماشین‌های سنکرون سه فاز متعادل ارائه شده است. در فصل ۲ بطور بنیادی بر اساس قضیه لانگراژ و قضیه تلفاتی رایلی اصول پایه‌ای تبدیل انرژی برای هر نوع سیستم الکترومکانیک با میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی واسطه پیوندی شرح داده شده است. بر اساس این تئوری می‌توان معادلات تعادلی الکترومکانیک را با هر تعداد از درجه‌های الکتریکی و مکانیکی استخراج نمود. همچنین در این فصل بدون استفاده مستقیم از قضایای مذکور روش استخراج معادلات مذکور بطور مستقیم نیز ارائه شده است. در فصل سوم با معرفی یک ماشین **dc** بنیادی (primitive) معادلات ولتاژهای الکتریکی دو محوری برای سیم‌پیچ‌های این ماشین استخراج که به سادگی قابل انطباق بر روی هر یک از ماشین‌های **dc** متعارف و رایج می‌باشد. بر اساس معادلات الکترومکانیکی استخراج شده برای ماشین بنیادی **dc**، امکان تجزیه و تحلیل حالت‌های ماندگار و دینامیکی هر یک از ماشین‌های **dc** وجود دارد. در فصل ۴ که در نوع خود بی‌نظیر است، اصول اساسی مورد نیاز برای مدلسازی ماشین‌های الکتریکی **ac** مورد بحث قرار گرفته است. در این فصل ابتدا میدان‌های مغناطیسی حاصل از سیم‌بندی این ماشین‌ها محاسبه و سپس با فرض یک بخش فضایی سینوسوئیدال برای این میدان‌ها، اندوکتانس‌های ماشین‌های سنکرونی و القائی سه‌فاز محاسبه گردیده‌اند. در پایان این فصل، تئوری مربوط به تغییر مختصات مرجع که در آن معادلات ولتاژهای ماشین از دستگاه مختصات مرجع سه‌محوری (یا دستگاه مختصات مرجع متغیرهای ماشین) به یک دستگاه مختصات مرجع در محوری دلخواه توضیح داده شده است. بر اساس این تبدیل معادلات دیفرانسیلی غیرخطی با ضرائب متغیر با زمان در دستگاه مختصات مرجع متغیرهای ماشین به معادلات دیفرانسیل غیر خطی با ضرائب ثابت در

دستگاه مختصات مرجع دلخواه تبدیل می‌شوند، نوع دستگاه مختصات مرجع در محوری دلخواه بر حسب نوع ماشین (القائی و یا سنکرون) و بر حسب مورد استفاده کاربرد تعیین می‌گردد. در فصل پنجم و ششم این کتاب با استفاده از مطالب ارائه شده در چهار فصل قبلی بخصوص فصول (۱) و (۲) و (۴)، تئوری جامع ماشین‌های الکتریکی القائی و سنکرون ارائه شده است. سعی شده است در هر فصل تعداد قابل توجهی مسئله حل شده قرار داده شود که دانشجویان و خوانندگان عزیز را در فهم بهتر مطالب مطروحه کمک کند. به علاوه در هر فصل تمریناتی منظور شده است که پاسخ به آنها می‌تواند کمک مؤثر و شایان توجهی به فهم عمیق مطالب درسی بنماید. شایان ذکر است که مطالب ارائه شده در این کتاب صرفاً بر پایه‌ی بیان یک سری فرمول‌های ریاضی قرار ندارد بلکه سعی شده است با ارائه توضیحات فیزیکی فلسفه و پایه اصولی فرمول‌های مربوط مورد بحث قرار گیرد. گذشته از آن در هر فصل تعدادی مسئله حل شده و نشده منظور شده که می‌توان به جرأت گفت تمامی آنها توسط خود مؤلف طراحی شده است. این مسائل عمدتاً مربوط به امتحانات درس تئوری جامع ماشین‌های الکتریکی در دانشگاه‌های مختلف بخصوص دانشگاه صنعتی اصفهان که مؤلف این درس را تدریس می‌نموده است، می‌باشد.

از ویژگی‌های دیگر این کتاب آنست که تقریباً در هر فصل تعدادی پروژه شبیه سازی کامپیوتری پیشنهاد شده که بخصوص این پروژه‌ها در فصل (۵ و ۶) عمدتاً مبتنی بر مدلسازی کامپیوتری ماشین‌های القائی و سنکرون برای خطاهای الکتریکی نامتقارن می‌باشد. قابل ذکر است که در پایان فصل ۶ در یک بخش جداگانه نحوه و متد مدلسازی این ماشین‌ها برای خطاهای مذکور تشریح شده است.

مطالب ارائه شده در این کتاب با کمک گرفتن از مراجع بسیار معتبر بین‌المللی و نیز دست‌نوشته‌های مؤلف که لیست آنها در پایان کتاب داده شده است تدوین و تنظیم شده است. تمامی مطالب توسط خود مؤلف بدون استفاده مستقیم از متون استفاده شده در سایر مراجع می‌باشد. علیرغم کوشش‌های زیادی که برای آماده‌سازی این کتاب مبذول گردیده است بدون شک کتاب حاضر نمی‌تواند خالی از اشکالات نگارشی و حتی به میزان بسیار نادر اشکالات فنی باشد. اینجانب از تمامی همکاران دانشمند خود که این درس را در دانشگاه‌های مختلف کشور ارائه داده و یا می‌دهند و همچنین از همه دانشجویان عزیز شاغل به تحصیل در مقطع تحصیلات تکمیلی در مهندسی برق (قدرت) استدعا دارم که با طرح نظرات سازنده خود این حقیر را در اصلاح هر چه بهتر این کتاب در چاپ‌های بعدی یاری کنند. بی‌شک مساعدت همه آن عزیزان خدمت شایان توجه به پیشرفت علم و دانش در میهن اسلامی می‌باشد.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از زحمات و کمک‌های بی دریغ و بی شائبه جناب آقای مهندس علی جلیلی (از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد مهندسی برق (قدرت)) که در بازنویسی دست‌نوشته‌های اینجانب مرا یاری کرده‌اند نهایت قدردانی و تشکر را نموده و برای ایشان از درگاه ایزد متعال آرزوی سلامتی و توفیق نمایم.

ومن ... التوفیق و علیه التکلیان

دکتر جعفر سلطانی



کتاب حاضر تقدیم می‌شود در درجه اول به همسر مهربان و دلسوزم که با صبر و همکاری خود در تمام طول زندگی مشترک همواره یار و یاور و کمک کار مؤثر اینجانب در امر پیشبرد کارهای علمی و دانشگاهی‌ام بوده است. در درجه دوم تقدیم می‌شود به فرزندان دلبندم که همواره مشوق و راهنمای اینجانب در امر تالیف، ترجمه و نشر کتاب‌های موجود بوده و می‌باشند.

برای همه آن عزیزانم آرزوی سلامتی، توفیق، سربلندی و موفقیت از درگاه ایزد منان خواهانم.

در پایان هم بر خود لازم می‌دانم که از زحمات و تلاش‌های مستمر و بی‌شائبه مدیر مسئول و سایر کارکنان محترم انتشارات نیاز دانش که تایپ، تدوین، آماده سازی و چاپ این کتاب را بر عهده داشتند، صمیمانه قدردانی نموده و برای همه آن بزرگواران از درگاه ایزد منان آرزوی سلامتی، کامیابی و سربلندی می‌نمایم.

دکتر جعفر سلطانی

زمستان ۱۳۹۳

فهرست مطالب

فصل ۱ کاربرد تبدیلات خطی در ماشین‌های الکتریکی

۱-۱	مقدمه	۱۱
۲-۱	تبدیلات خطی	۱۱
۳-۱	مدلسازی ترانسفورماتور	۱۴
۴-۱	معادلات فضای حالت ترانسفورماتور	۱۷
۵-۱	مدلسازی ترانسفورماتور سه سیم‌پیچ	۲۰
۶-۱	مسائل حل نشده [۲]	۲۳
۷-۱	حل مسائل بخش (۶-۱)	۲۴
۸-۱	مسائل حل نشده	۲۶
۹-۱	پروژه‌های درسی	۲۷

فصل ۲ تئوری جامع تبدیل انرژی در سیستم‌های الکترونیک

۱-۲	مقدمه	۲۹
۲-۲	معرفی المان‌های اصلی در سیستم‌های الکترومکانیک	۳۱
۳-۲	محاسبه انرژی در سیستم‌های الکترومغناطیسی ایستا با n درجه آزادی الکتریکی	۳۶
۴-۲	«انرژی در سیستم‌های الکترومغناطیسی ایستا بدون تلف»	۳۸
۵-۲	محاسبه انرژی و سیستم‌های مکانیکی با حرکت‌های انتقالی و چرخشی بدون تلف	۳۹
۶-۲	محاسبه انرژی پتانسیل در سیستم‌های مکانیکی بدون تلف با حرکت انتقالی	۴۰
۷-۲	«محاسبه نیرو و گشتاور در سیستم‌های مکانیکی با حرکت‌های انتقالی و گردشی»	۴۲
۸-۲	کاربرد قضیه لانگرائز در مدارهای الکتریکی بدون تلف	۵۲
۹-۲	«به‌کارگیری قضیه لانگرائز سیستم‌های الکترومکانیک واقعی»	۵۸
۱۰-۲	تابع تلفاتی انرژی در سیستم‌های الکترومکانیک موسوم به تابع - رایلی	۶۰
۱۱-۲	محاسبه نیرو و گشتاور در سیستم‌های مکانیک بدون استفاده از قضیه لانگرائز	۷۲
۱۲-۲	مسائل فصل ۲	۷۵
۱۳-۲	حل بعضی از مسائل بخش (۱۲-۲)	۸۳

فصل ۳ تئوری جامع ماشین‌های الکتریکی dc

۹۳	مقدمه	۱-۳
۹۳	یادآوری اصول کار ماشین dc به اختصار	۲-۳
۹۹	ماشین dc پایه بنیادی	۳-۳
۱۰۱	محاسبه میدان‌های مغناطیسی ماشین (dc) پایه یا بنیادی	۴-۳
۱۰۴	محاسبه اندوکتانس‌های الکتریکی ماشین dc پایه	۵-۳
۱۰۶	محاسبه ولتاژهای حرکتی القایی در سیم‌پیچ‌های آرمیچر ماشین بنیادی dc	۶-۳
۱۱۰	«محاسبه گشتاور الکترومغناطیسی تولیدی ماشین»	۷-۳
۱۱۳	نمایش یک ماشین dc پایه ابتدائی به صورت یک ترانسفورماتور ایده‌آل با چند سیم‌پیچ	۸-۳
۱۱۴	معادلات خطی شده ماشین dc بنیادی	۹-۳
۱۱۴	کاربرد مدل ماشین dc پایه در ماشین‌های dc رایج	۱۰-۳
۱۲۰	خطی‌سازی معادلات ژنراتور dc تحریک جداگانه	۱۱-۳
۱۲۰	بررسی حالت ماندگار ماشین بنیادی (dc) تحریک جداگانه	۱۲-۳
۱۲۱	«بررسی رفتار ژنراتور dc تحریک جداگانه در حالت گذرا»	۱۳-۳
۱۲۳	مسائل فصل ۳	۱۴-۳
۱۳۵	حل بعضی از مسائل بخش (۳-۱۱)	۱۵-۳
۱۴۴	صورت مسائل [۲]	۱۶-۳
۱۴۶	حل مسائل فصل بخش [۲]	۱۷-۳

فصل ۴ مباحث اساسی مورد نیاز جهت مدل‌سازی ماشین‌های AC

۱۵۱	مقدمه	۱-۴
۱۵۲	محاسبه میدان‌های مغناطیسی ماشین سنکرون ۳ فاز رتور قطب برجسته متعادل	۲-۴
۱۶۱	فازورهای مکانی میدان‌های مغناطیسی در حالت ماندگار سینوسی	۳-۴
۱۶۴	محاسبه اندوکتانس‌های ماشین سنکرون سه فاز رتور قطب برجسته	۴-۴
۱۶۸	مدل ابتدایی یک ماشین القایی سه فاز	۵-۴
۱۷۱	تئوری ماشین بنیادی	۶-۴
۱۷۵	محاسبه گشتاور الکترومغناطیسی تولیدی ماشین	۷-۴
۱۷۸	تئوری مختصات مرجع (Reference frame Theory)	۸-۴
	انتقال معادلات ولتاژهای شبکه‌های سه فاز از دستگاه متغیرهای ۳ محوری این شبکه‌ها به یک دستگاه مختصات مرجع دو محوری دلخواه	۹-۴
۱۸۵	یک دستگاه مختصات مرجع دو محوری دلخواه	۱۰-۴
۱۹۰	تعیین معادلات ماندگار شبکه‌های سه فاز	۱۱-۴
۲۰۶	مسائل	۱۱-۴
۲۱۱	مسائل فصل ۴ [۲]	۱۲-۴
۲۱۶	حل مسائل فصل ۴ [۴]	۱۳-۴

فصل ۵ تئوری جامع ماشین‌های القائی سه فاز متعادل

- ۱-۵ مقدمه..... ۲۲۷
- ۲-۵ مدل‌سازی ماشین‌های القائی سه فاز متعادل در دستگاه مختصات مرجع سه محوری متغیرهای ماشین..... ۲۲۸
- ۳-۵ مدل‌سازی ماشین القائی سه فاز متعادل در یک دستگاه مختصات مرجع دو محوری دلخواه..... ۲۳۲
- ۴-۵ دستگاه‌های مختصات مرجع دو محوری رایج برای مدل‌سازی ماشین‌های القائی سه فاز..... ۲۳۸
- ۵-۵ سیستم در واحدسازی سازی ماشین‌های القائی سه فاز متعادل..... ۲۳۸
- ۶-۵ تعیین مدار معادل حالت ماندگار سینوسی ماشین‌های القائی سه فاز متعادل..... ۲۴۰
- ۷-۵ تجزیه و تحلیل رفتار دینامیکی و ماندگار ماشین‌های القائی سه فاز متعادل به کمک بردارهای فضائی..... ۲۴۶
- ۸-۵ بررسی رفتار دینامیکی ماشین‌های القائی سه فاز..... ۲۵۱
- ۹-۵ صورت مسائل [۲]..... ۲۷۰
- ۱۰-۵ حل مسائل بخش (۵-۹)..... ۲۷۳
- ۱۱-۵ مسائل حل نشده فصل ۵..... ۲۸۳
- ۱۲-۵ پروژه‌های پیشنهادی شبیه‌سازی کامپیوتری فصل ۵..... ۲۸۴

فصل ۶ تئوری جامع ماشین‌های سنکرون سه فاز متعادل

- ۱-۶ مقدمه..... ۲۸۷
- ۲-۶ مدل‌سازی ماشین سنکرون سه فاز در دستگاه مختصات مرجع متغیرهای ماشین..... ۲۹۰
- ۳-۶ مدل‌سازی ماشین سنکرون سه فاز در دستگاه مختصات مرجع دو محوری چسبیده روتور..... ۲۹۶
- ۴-۶ محاسبه گشتاور الکترومغناطیسی ماشین در دستگاه مختصات دو محوری چسبیده روتور..... ۳۰۱
- ۵-۶ تعریف زاویه گشتاور و یا زاویه داخلی ماشین..... ۳۰۱
- ۶-۶ تجزیه و تحلیل حالت کار ماندگار سینوسی ماشین سنکرون ۳ فاز..... ۳۰۳
- ۷-۶ تجزیه و تحلیل ماشین سنکرون سه فاز با استفاده از بردارهای فضائی..... ۳۰۷
- ۸-۶ رفتار دینامیکی ژنراتور سنکرون سه فاز متصل به یک شبکه ثابت..... ۳۲۳
- ۹-۶ بررسی خطاهای نامتقارن الکتریکی در ماشین‌های سنکرون سه فاز متعادل..... ۳۴۶
- ۱۰-۶ مسائل حل نشده فصل ۶..... ۳۵۵
- ۱۱-۶ پروژه‌های شبیه‌سازی کامپیوتری پیشنهادی برای فصل ۶..... ۳۵۹
- ۱۲-۶ مسائل فصل ۶..... ۳۶۰
- ۱۳-۶ حل مسائل بخش (۶-۱۲) - [۲]..... ۳۶۴
- منابع..... ۳۷۳

