

مباحث تکمیلی ماشینهای الکتریکی

تألیف: حمید لسانی

استاد دانشکده برق و کامپیوتر

پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

شامل:

- مدارهای مغناطیسی
- تبدیل انرژی
- ماشینهای جریان مستقیم
- ماشینهای سنکرون
- ماشینهای آسنکرون
- ماشینهای مخصوص

بسمه تعالی

مقدمه

یکی از نکاتی که در مورد کتابهای علمی و فنی بویژه کتابهای درسی به چشم می خورد، عدم پوشش کامل تمام مطالبی است که به صورت اندوخته های دانش بشری موجود است. واقعیت این است که گنجان کلیه مطالب مربوط به یک موضوع علمی، به علت گستردگی، در یک کتاب ممکن نیست. معیول باید در چندین کتاب عمومی و تخصصی آورده شود. این به معنی خرد-گیری بر نویسندگان این گونه کتابها نیست. زیرا هر مؤلفی در موضوع خاصی تخصص داشته و طبیعی است که مطالب بیشتری حول آن زمینه بنگارد. لذا دانشجویان و دانش پژوهان به مطالعه چندین کتاب مختلف در یک موضوع می پردازند.

ماشینهای الکتریکی در نقش مولد یا موتور به عنوان مهمترین محرکه ها و مبدل های انرژی عصر حاضر محسوب می شوند و امروزه در بازه وسیعی از قدرت یا اندازه، از قدرت بسیار کم در حد ۰/۰۱ وات تا چندین گیگاوات ساخته می شوند که همگی آنها براساس قوانین الکترومغناطیسی و مکانیک نیوتونی کار می کنند. اما از تنوع بسیاری برخوردارند. کتابهای ماشین های الکتریکی نیز از این امر مستثنی نبوده و ضمناً توجه به جنبه های مهندسی و مفاهیم و تفسیر فیزیکی در آنها کمتر به چشم می خورد. کتاب حاضر که عنوان "مباحث تکمیلی ماشینهای الکتریکی" را به خود گرفته است، حاوی مباحث تکمیلی و جنبه های مفهومی و بسویژه ماشینهای مخصوص است که در کتابهای درسی کمتر به آنها پرداخته شده است. در تهیه مطالب این کتاب علاوه بر تجربیات شخصی نگارنده، از منابع متنوعی استفاده شده که مهمترین آنها کتاب "تئوری جامع ماشینهای الکتریکی تألیف پروفسور پیم بهارا" است. امید است که کتاب حاضر بتواند مورد استفاده استادان، دانشجویان، پژوهشگران و مهندسين شاغل در صنایع قرار گیرد.

از کلیه عزیزانی که این کتاب را مطالعه می فرمایند استدعا دارد که از هرگونه اظهار نظر و راهنمایی از طریق yaredana90@gmail.com دریغ نفرمایند.

حمید لسانی

استاد دانشکده برق و کامپیوتر

پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۱۷	فصل اول: مدارهای مغناطیسی
۱۷	۱-۱- مقدمه
۲۰	۱-۲- حل مدارهای مغناطیسی
۳۱	۱-۳- انرژی در سیستم چند تحرّیکه
۳۷	۱-۴- سیستم دو تحرّیکه خطی
۳۹	۱-۵- سیستم چند تحرّیکه خطی
۴۰	۱-۶- انرژی مغناطیسی ذخیره شده در فاصله هوایی
۴۳	مسائل
۴۵	فصل دوم: تبدیل انرژی الکترومکانیکی
۴۵	۲-۱- تبدیل انرژی در محیط واسطه مغناطیسی و الکتریکی
۴۷	۲-۲- نیرو در مدارهای مغناطیسی قابل اشباع (غیرخطی)
۵۷	مسائل
۶۱	فصل سوم: ماشینهای جریان مستقیم
۶۱	مقدمه
۶۱	۳-۱- کار موازی مولدهای جریان مستقیم

- ۶۳ ۳-۱-۱- کار موازی مولدهای شنت
- ۶۸ ۳-۱-۲- کار موازی مولدهای کمپوند
- ۸۰ ۳-۲- تعویض قطب‌بندی (پلارایته) مولدهای
- ۸۱ ۳-۳- مولد $d c$ با قطبهای انحراف‌دهنده شار
- ۸۲ ۳-۴- ترنز الکتریکی موتورهای جریان مستقیم
- ۸۲ ۱-۴-۱- ترنز تولید مجدد
- ۸۵ ۳-۴-۲- ترنز جریان مخالف
- ۸۹ ۳-۴-۳- ترنز دیامیتری
- ۱۰۸ ۳-۵- رسم مشخصه بار موتور $d c$ با استفاده از مشخصه مغناطیسی
- ۱۱۰ ۳-۶- موتور $d c$ آهنربای دائمی
- ۱۱۳ ۳-۷- موتورهای $d c$ با لختی کم (سرو موتورهای $d c$)
- ۱۱۴ ۳-۷-۱- سرو موتور پوسته‌ای
- ۱۱۵ ۳-۷-۲- سرو موتور مدار چاپی (دیسکی)
- ۱۱۸ ۳-۷-۳- سرو موتورهای $d c$ معمولی
- ۱۱۹ ۳-۸- موتور $d c$ با کموتاتور الکترونیکی
- ۱۲۱ ۳-۹- موتور $D C$ بدون جاروبک (بدون کموتاتور)
- ۱۲۳ ۳-۹-۱- موتور جریان متناوب آهنربای دائمی
- ۱۲۵ ۳-۹-۲- موتور $d c$ بدون جاروبک سه فاز سه پالسه (یا نیم موج)
- ۱۳۲ ۳-۱۰- موتورهای گشتاوری
- ۱۳۳ ۳-۱۱- موتور مینیاتوری ($d c$)
- ۱۳۵ مسائل

۱۴۱	فصل چهارم: ماشینهای سنکرون
۱۴۱	۴-۱- منحنی توانائی مولدهای سنکرون
۱۴۵	۴-۲- موازی کردن مولدهای سنکرون (سنکرونیزاسیون)
۱۴۶	۴-۲-۱- سنکرونیزاسیون در لحظه خاموشی
۱۵۰	۴-۲-۲- سنکرونیزاسیون خاموش - روشن
۱۵۱	۴-۲-۳- سنکرونیزاسیون با سنکرونسکوپ
۱۵۳	۴-۳- کار موازی دو مولد سنکرون
۱۵۴	۴-۳-۱- اثر تغییر گشتاور مکانیکی
۱۶۰	۴-۳-۲- اثر تغییر تحریک
۱۷۶	۴-۴- ماشین سنکرون وصل به شین بی نهایت
۱۷۷	۴-۴-۱- اثر تغییر تحریک
۱۷۹	۴-۴-۲- اثر تغییر گشتاور محرک
۲۰۲	۴-۵- مولد سنکرون با رتور دو سیم پیچه
۲۰۳	۴-۵-۱- ویژگیهای ساختمانی
۲۰۵	۴-۵-۲- بردارهای شار و mmf مولد رتور دو سیم پیچه
۲۱۶	۴-۶- پارامترهای اصلی ماشین سنکرون
۲۱۸	۴-۶-۱- مقاومتهای ماشین سنکرون
۲۱۸	۴-۶-۲- ضرایب القاء ماشین سنکرون
۲۲۶	۴-۶-۳- پارامترهای ماشین سنکرون
۲۳۰	۴-۶-۴- نسبت اتصال کوتاه (SCR)
۲۳۴	۴-۷- راکتانسها و ثابتهای زمانی مدارهای معادل ماشین سنکرون

۲۳۵	۴-۷-۱- راکتانسها از مدارهای معادل
۲۳۸	۴-۷-۲- ثابتهای زمانی از مدار معادل
۲۴۱	۴-۷-۳- راکتانسها و ثابت زمانهای محور عرضی (q)
۲۴۴	۴-۸- مفهوم راکتانسهای ماشین سنکرون
۲۴۴	۴-۸-۱- راکتانسهای توالی مثبت
۲۵۱	۴-۸-۲- راکتانس توالی منفی X_2
۲۵۲	۴-۸-۳- راکتانس توالی صفر X_0
۲۵۳	۴-۹- اندازه گیری راکتانسها
۲۵۸	۴-۱۰- راکتانسها و ثابتهای زمانی از نوساننگاشت جریان اتصال کوتاه
۲۶۸	۴-۱۱- مشخصه توان - زاویه گذرا
۲۷۷	۴-۱۲- نمودارهای برداری در شرایط گذرا و فوق گذرا
۲۸۱	۴-۱۲-۱- نمایش ماشین سنکرون در سیستم قدرت
۲۸۵	۴-۱۳- دینامیک ماشین سنکرون (حالت گذرای الکترومکانیکی)
۲۸۶	۴-۱۳-۱- معادلات الکترومکانیکی
۳۰۳	۴-۱۳-۲- نوسانات دوره‌ای گشتاور محور (یا نوسانات اجباری)
۳۱۱	۴-۱۴- نوسانات بزرگ زاویه
۳۲۱	۴-۱۵- رمز الکتریکی موتورهای سنکرون
۳۲۹	۴-۱۶- مولدهای فرکانس بالا
۳۳۰	۴-۱۶-۱- مولد الفاکر تک قطبی
۳۳۱	۴-۱۶-۲- مولد الفاکر چند قطبی
۳۳۴	۴-۱۷- موتورهای سنکرون آهنربای دائمی

۳۳۵	۴-۱۸- ماشینهای سینکرو
۳۳۵	۴-۱۸-۱- انواع سینکروها
۳۴۱	۴-۱۸-۲- موارد کاربرد سینکروها
۳۴۵	۴-۱۹- تشخیص دهنده (رزولور)
۳۴۸	۴-۲۰- سرو موتورها
۳۵۳	مسائل
۳۶۵	فصل پنجم: ماشینهای القایی
۳۶۵	۵-۱- اثر تغییر ولتاژ و فرکانس بر عملکرد موتور القایی
۳۶۵	۵-۱-۱- ولتاژ متغیر، فرکانس ثابت
۳۶۸	۵-۱-۲- ولتاژ ثابت فرکانس متغیر
۳۶۹	۵-۱-۳- ولتاژ متغیر و فرکانس متغیر
۳۷۴	۵-۱-۴- جریان ثابت، فرکانس ثابت
۳۷۹	۵-۲- موتورهای قفس سنجایی گشتاور بالا
۳۸۰	۵-۲-۱- رتور شیار عمیق
۳۸۲	۵-۲-۲- رتور دو قفسی
۳۸۴	۵-۲-۳- مدار معادل موتور دو قفسی
۳۹۳	۵-۳- کنترل سرعت موتورهای القایی
۴۴۹	۵-۴- طرحهای بازیافت توان لغزش برای کنترل سرعت موتور القایی
۴۴۹	۵-۴-۱- محرکه گشتاور ثابت
۴۵۱	۵-۴-۲- محرکه توان ثابت

۵۲۵	۵-۱۲-۳ گشتاورهای ارتعاشی و نويز
۵۲۶	۵-۱۲-۴ کاهش گشتاورهای هارمونیک و ارتعاشی
۵۲۸	۵-۱۲-۵ کندشدن ناشی از نامتقارنی مدار رتور
۵۳۴	۵-۱۳- موتور القائی قطاعی
۵۳۵	۵-۱۴- موتور القائی یکپارچه
۵۳۷	مسائل
۵۵۵	فصل ششم: موتورهای تکفاز
۵۵۵	۶-۱- موتورهای القائی تکفاز
۵۵۸	۶-۲- تئوری میدان دوار دوگانه
۵۶۴	۶-۳- تئوری میدان عرضی
۵۶۷	۶-۴- مدار معادل موتور القائی تکفاز
۵۸۱	۶-۴-۱- اندازه‌گیری پارامترهای مدار معادل
۵۸۷	۶-۴-۲- مدار معادل تقریبی
۵۹۰	۶-۴-۳- مقایسه بین موتورهای تکفاز و چندفاز
۵۹۱	۶-۵- روش‌های راه‌اندازی موتورهای القائی تکفاز
۵۹۲	۶-۵-۱- راه‌اندازی دو نیمه‌فاز
۵۹۸	۶-۵-۲- موتور قطب چاکدار
۶۰۰	۶-۵-۳- راه‌اندازی ریپولسیون (دافعه‌ای)
۶۰۱	۶-۵-۴- راه‌اندازی مقاومت مغناطیسی
۶۰۲	۶-۶- شرایط گشتاور راه‌اندازی حداکثر در موتورهای القائی تکفاز

۶۰۳	۱-۶-۶-۱- موتور دو نیمه فاز مقاومتی
۶۰۶	۲-۶-۶-۱- موتورهای دو نیمه فاز خازنی
۶۱۴	۷-۶- موتورهای سنکرون تکفاز
۶۱۴	۱-۶-۷-۱- موتورهای مقاومت مغناطیسی تکفاز
۶۱۵	۲-۶-۷-۱- موتورهای زیر سنکرون
۶۱۷	۳-۶-۷-۱- موتورهای پس ماندی
۶۲۲	۸-۶- سرو موتورهای دوفاز
۶۴۱	۹-۶- سرعت سنج های جریان متناوب
۶۴۷	مسائل

۶۵۷	فصل هفتم: ماشین های کموتاتوری جریان متناوب
۶۵۸	۱-۷- مولدهای اعمال نیروی محرکه به مدار موتور
۶۵۸	(۱) ماشین لبلانس
۶۵۹	(۲) ماشین والکر
۶۵۹	(۳) ماشین شریبوس
۶۶۰	(۴) مبدل فرکانس
۶۶۱	۲-۷- موتورهای کموتاتوری سه فاز جبران شده
۶۶۱	(۱) موتور هیلند
۶۶۲	(۲) موتور ایچ برگ
۶۶۴	(۳) موتور تغذیه دوگانه
۶۶۵	(۴) موتور اسنوز

۶۶۶	(۵) موتور شراگ
۶۶۷	(۶) موتور توردا
۶۶۹	(۷) موتور فین - ویچسل
۶۷۰	(۸) موتور سری سه فاز
۶۷۲	۷-۳- emf القایی در سیم پیچی کموتاتوری
۶۷۲	۷-۳-۱- emf تولیدی در میدان ضربانی
۶۸۰	۷-۳-۲- emf تولیدی توسط میدان دوار
۶۸۸	۷-۴- گشتاور
۶۹۱	۷-۵- کموتاسیون در ماشین های جریان متناوب
۶۹۲	۷-۵-۱- ماشین های کموتاتوری تکفاز
۶۹۵	۷-۵-۲- ماشین های کموتاتوری سه فاز
۷۰۰	۷-۵-۳- روش های بهبود کموتاسیون
۷۰۷	۷-۵-۴- تداخل رادیویی
۷۰۷	۷-۶- موتورهای سری تکفاز
۷۱۵	۷-۶-۱- موتورهای سری AC جبران شده
۷۳۱	۷-۷- موتور ریولسیون (دافعه ای)
۷۴۲	۷-۸- موتور با تغذیه دوگانه
۷۴۳	۷-۸-۱- کنترل سرعت
۷۴۴	۷-۸-۲- مشخصه سرعت گشتاور
۷۴۶	۷-۹- موتور شراگ
۷۶۱	۷-۱۰- ماشین شریوس

- ۷۶۶ ۷-۱۰-۱- سیستم کنترل سرعت شریوس
- ۷۷۲ ۷-۱۱- موتورهای کموتاتوری تکفاز با مشخصه سری
- ۷۷۵ ۷-۱۲- موتورهای تکفاز با مشخصه موازی (شنت)
- ۷۷۶ ۷-۱۳- جمع بندی
- ۷۷۹ مسائل
- ۷۸۹ فصل هشتم: موتورهای پله‌ای و موتورهای مغناطیسی
- ۷۸۹ ۸-۱- موتورهای پله‌ای
- ۷۹۰ ۸-۱-۱- اصول کار
- ۷۹۱ ۸-۱-۲- موتور پله‌ای مقاومت مغناطیسی متغیر
- ۷۹۷ ۸-۱-۳- موتورهای پله‌ای آهنربای دائمی
- ۸۰۱ ۸-۱-۴- موتورهای پله‌ای دو گانه
- ۸۰۴ ۸-۱-۵- مشخصه‌های موتورهای پله‌ای
- ۸۰۵ ۸-۱-۵-۱- مشخصه گشتاور - جابه‌جایی
- ۸۱۰ ۸-۱-۵-۲- مشخصه گشتاور با نرخ پالس
- ۸۱۳ ۸-۱-۶- مدارهای محرکه (درایو) موتورهای پله‌ای
- ۸۱۴ ۸-۱-۶-۱- مدار محرکه تک‌قطبی برای موتور پله‌ای مقاومت مغناطیسی متغیر
- ۸۱۵ ۸-۱-۶-۲- مدار محرکه دوقطبی برای موتور آهنربای دائمی و موتور پله‌ای دو گانه
- ۸۱۶ ۸-۱-۷- مقادیر نامی و کاربردها
- ۸۱۷ ۸-۲- موتورهای مقاومت مغناطیسی متغیر
- ۸۱۹ ۸-۲-۱- ویژگی‌های ساختمانی

۸۲۰	۸-۲-۲ اصول کار
۸۲۱	۸-۲-۳ تولید گشتاور
۸۲۴	۸-۲-۴ مودهای کاری
۸۲۷	۸-۲-۵ مدارهای محرکه وارون‌ساز برای موتور مقاومت مغناطیسی متغیر
۸۲۹	۸-۲-۶ موارد استعمال
۸۳۰	۸-۳ موتور مقاومت مغناطیسی سه‌فاز
۸۳۱	مسائل
۸۳۵	فصل نهم: موتورهای الکتریکی خطی
۸۳۵	۹-۱ موتور القائی خطی و اصول کار آن
۸۴۰	۹-۲ موتورهای سنکرون خطی
۸۴۱	۹-۳ ماشین‌های تعلیق خطی
۸۴۳	۹-۴ موارد استعمال
۸۴۷	مسائل
۸۴۹	فهرست موضوعی