

ایوب سمیں

Elisa Samiee



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

مبانی الکترومغناطیس

«ویرایش دوم»

۱۶۳۰

نویسنده: دکتر احمد صفایی

استاد دانشگاه ویرجینیا

سرشناسه: صفایی، احمد، ۱۳۲۷.
عنوان و نام پدیدآور: مبانی الکترومغناطیس / نویسنده احمد صفایی
وضعیت ویراست: [ویراست ۲]
وضعیت نشر: اصفهان: شیخ بهایی، ۱۳۸۵.
مشخصات ظاهری: ده، ۵۴۱ ص، مصور، جدول، نمودار.
شابک: 987-964-92527-8-0
موضوع: الکترومغناطیس.
رده بندی دیویی: ۵۳۷
رده بندی کنگره: ۱۳۸۵ م۲ ص/۰۷۶۴۰ QC
شماره کتابشناسی ملی: ۴۷۳۱۲-۸۵ م



عنوان کتاب : مبانی الکترومغناطیس
ناشر : نشر شیخ بهایی - ۰۹۱۳۳۲۵۳۵۳۱
نویسنده : صفایی، احمد
ویراستار : برنجکوب، نفیسه - برنجکوب، محمود
چاپ : پارسا
صحافی : سپاهان نوین
نوبت چاپ : هفتم، ۱۳۹۱
شمارگان : ۳۰۰۰ نسخه
تعداد صفحات : ۵۵۲

قیمت : ۱۲۵۰۰۰ ریال
مرکز پخش : علم گستر سپاهان ۹-۲۳۱۹۹۷۸-۲۳۱۱ (۰۳۱۱)
شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۹۲۵۲۷-۸-۰

پیشگفتار

الکترومغناطیس یکی از اساسی ترین موضوعات مهندسی برق می باشد و آموختن قوانین و روابط حاکم بر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی به منظور درک اصول کار ادوات و دستگاههای الکتریکی اجتناب ناپذیر است. نظریه الکترومغناطیس در حقیقت زیربنای تجزیه و تحلیل بسیاری از مسائل مهندسی برق، که اهم آنها مربوط به اجزاء و مدارهای الکتریکی، ماشینهای الکتریکی، خطوط انتقال انرژی و سیگنالهای مخابراتی، موجرها و ادوات مایکروویو و بالاخره انتشار امواج و آنتنهای آنها می باشند، را تشکیل می دهد. از این رو دانش الکترومغناطیس و درک مفاهیم آن تأثیر به سزایی در تحکیم بنیه علمی و تقویت پیشش مهندسی دانشجویان رشته برق دارد و باید بر اهمیت آن به عنوان یک درس پایه تأکید شود.

این کتاب برای یک درس مقدماتی الکترومغناطیس در دوره کارشناسی مهندسی برق تهیه شده است. هدف آن ارائه یک تجزیه و تحلیل سیستماتیک از میدانهای الکتریکی و مغناطیسی است به گونه ای که دانشجو قادر باشد تصویر روشنی از پیدایش این میدانها و قوانین و روابط حاکم بر آنها در ذهن خود به وجود آورد. تردیدی نیست که ماهیت برداری میدانها و اینکه آنها تابعی از زمان و مکان می باشند، الکترومغناطیس را به عنوان یک مبحث پیچیده جلوه گر می سازد. بنابراین، در این کتاب سعی شده است که جنبه های ریاضی مسأله اهمیت فیزیکی آن را تحت الشعاع قرار ندهد و همواره، تا حد امکان، تشریح مفاهیم فیزیکی مورد توجه و تأکید قرار گرفته است. جنبه های کاربردی و مهندسی نیز مدنظر بوده و برحسب موقعیت با ذکر مثالهای ویژه موارد کاربردی مورد بررسی قرار گرفته اند. قوانین و روابط حاکم بر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی، که در نهایت به شکل معادلات ماکسول بیان می شوند، به طور تدریجی و در هر مورد با شروع از یک قانون تجربی به منزله قانون مبنا به دست می آیند. مطالعات مربوط به میدانهای الکتریکی ساکن، که از بارهای الکتریکی یا توزیع ساکن ناشی می شوند، بر قانون تجربی کولمب استوار می باشد، در حالی که قانون نیروی آمپر مبنای کلیه مطالعات مربوط به میدانهای مغناطیسی ساکن، که از جریانهای الکتریکی ثابت نسبت به زمان (یعنی بارهای الکتریکی متحرک و با سرعت یکنواخت) پدید می آیند، را تشکیل می دهد. معادلات

حاکم بر میدانهای متغیر با زمان، یعنی میدانهای الکترومغناطیس که از حرکت شتابدار بارهای الکتریکی یا جریانهای متغیر با زمان به وجود می‌آیند، را می‌توان شکل تکامل یافته روابط حاکم بر میدانهای ساکن تلقی کرد. این روابط اولین بار با استفاده از قانون تجربی فاراده و یک بررسی ریاضی توسط ماکسول به دست آمدند.

فصل اول کتاب به آنالیز برداری اختصاص یافته است. در این فصل دستگاههای مختصات متعامد، به خصوص دستگاههای مختصات مستطیلی، استوانه‌ای و کروی، انتگرالهای خط، سطح و حجم، مفاهیم اساسی آنالیز برداری شامل گرادیان، دیورژانس و کرل و بالاخره قضایای گوس و استوکس مورد بررسی قرار می‌گیرند. مطالب این فصل به منزله یک ابزار ریاضی نقش مهمی را در بیان روابط میدانها ایفا می‌کند. فصلهای دوم، سوم و چهارم بررسی میدانهای الکتریکی ساکن را در برمی‌گیرند. در فصل دوم میدانهای الکتریکی ناشی از توزیعهای گوناگون بار الکتریکی در خلأ مطالعه می‌شوند. پس از بیان قانون نیروی کولمب، مفاهیم شدت میدان الکتریکی و پتانسیل معرفی و سرانجام معادلات ماکسول برای میدان الکتریکی ساکن نتیجه‌گیری می‌شود. فصل سوم به مطالعه تأثیر میدان الکتریکی و ماده بر یکدیگر و به خصوص میدان الکتریکی در حضور اجسام هادی و عایق اختصاص داده شده است. مباحث انرژی، نیرو و گشتاور الکتریکی و همچنین مفاهیم مقاومت و ظرفیت و نحوه محاسبه آنها در این فصل مطالعه می‌شوند. فصل چهارم به مطالعه میدان الکتریکی بر اساس حل معادله لاپلاس برای تابع پتانسیل می‌پردازد. روش تصویر نیز در این فصل معرفی و مورد بحث قرار می‌گیرد.

فصلهای پنجم و ششم، بررسی میدانهای مغناطیسی ساکن را شامل می‌شوند. در فصل پنجم به مطالعه میدانهای مغناطیسی در خلأ پرداخته و با شروع از قانون نیروی آمپر به منزله یک قانون تجربی، مفاهیم چگالی شار مغناطیسی و پتانسیل مغناطیسی برداری مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در خاتمه این فصل معادلات ماکسول برای میدان مغناطیسی ساکن نتیجه‌گیری می‌شوند. فصل ششم بررسی تأثیر میدان مغناطیسی و ماده بر یکدیگر را در برمی‌گیرد. در این فصل قطبی شدن مغناطیسی اجسام تجزیه و تحلیل می‌شود و مفهوم شدت میدان مغناطیسی ارائه می‌گردد. پدیده پسماند در اجسام فرومغناطیس، ضرایب خودالقایی و القای متقابل، مدارهای مغناطیسی و انرژی، نیرو و گشتاور مغناطیسی در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرند. در خاتمه این فصل مقایسه جامعی بین میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ساکن و روابط حاکم بر آنها، به منظور نشان دادن تشابه‌ها و تفاوتهای آنها، به عمل می‌آید.

در فصل آخر مطالعه کلیات میدانهای متغیر با زمان انجام می‌گیرد. ابتدا قانون تجربی فاراده و پیدایش میدان الکتریکی از شار مغناطیسی متغیر با زمان بیان می‌گردد. آنگاه، معادلات ماکسول، به منزله اساسی‌ترین روابط حاکم بر میدانهای الکترومغناطیس و نکات مهمی که از این معادلات می‌توان استنباط کرد تشریح می‌شوند. میدانهای شبه ساکن و کاربرد آنها در بررسی مسائل علمی مهندسی برق نیز اجمالاً در این فصل مطالعه می‌شوند.

احمد صفایی

پیشگفتار ویرایش دوم

هدف اساسی در ویرایش دوم کتاب مبانی الکترومغناطیس کماکان بررسی و تشریح قوانین بنیادی حاکم بر میدانهای الکترومغناطیس می باشد. فراهم آوردن زمینه لازم برای درک جامع تر و عمیق تر مفاهیم پدیده های الکترومغناطیس همچنان از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و تغییرات ایجاد شده در این ویرایش در راستای تحقق این منظور صورت پذیرفته است. تردیدی نیست که بررسی مثال های گوناگون نه تنها زوایای تاریک مطلب مورد بحث را روشن می سازد، بلکه کیفیت درک آدمی را نیز به میزان قابل ملاحظه ای ارتقا می دهد. براساس این دیدگاه، در پایان هر فصل بخشی تحت عنوان «مسائل خودآزمایی» افزوده شده است. این مسائل فرصت مناسبی فراهم می آورد تا دانشجو جوانب متعدد قوانین حاکم بر میدانهای الکترومغناطیس و کاربرد آنها را در شرایط گوناگون، که در متن کتاب عمدتاً به صورت کلی بیان شده اند، به طور دقیق تر و کامل تری بیاموزد و از این راه دانش الکترومغناطیس خود را گسترش داده و تحکیم بخشد. مسائل خودآزمایی هر فصل شامل مقدمه ای است که در آن ابتدا گفتاری پیرامون ویژگیهای این مسائل ارائه می شود، سپس روش هایی که ممکن است برای حل مسائل به کار گرفته شوند و چگونگی انتخاب آنها مورد بررسی قرار می گیرند، و سرانجام رهنمودهایی که دانشجو را تا حد امکان در حل مسائل مربوط یاری دهد پیشنهاد می شوند. حل مسائل خودآزمایی در پیوست الف کتاب آمده است، و استفاده آگاهانه از آن می تواند کمک مؤثری به فراگیری فوت و فن بررسی مسائل الکترومغناطیس بنماید.

یکی دیگر از تغییرات قابل توجه در ویرایش جدید کتاب، جایگزینی بیش از ۹۰ درصد مسائل پایان فصل با مسائل جدید می باشد. فقط تعداد بسیار کمی از مسائل ویرایش قبل که کاملاً جنبه اساسی دارند در ویرایش جدید آورده شده اند. مسائل پایان فصل به گونه ای طرح شده اند که جوانب گوناگون یک قانون، یک پدیده، یا یک مفهوم و روش استفاده یا عملکرد آن طی یک رشته سؤالات وابسته مورد بحث و بررسی قرار

گیرند. از این رو، مسائل پایان فصل در حقیقت مکمل مطالب متن بوده و بسیاری از نکات مهم ضمن حل آنها به گونه روشن تر و جامع تری فراگرفته می شوند. از جمله تغییرات دیگری که شایسته یادآوری می باشند عبارتند از: بازسازی بسیاری از شکل‌های متن با کیفیت مطلوب، جایگزین نمودن برخی اصطلاحات و اسامی باریشه خارجی با معادل فارسی آنها مانند «اسکالر» با «نرده‌ای» و «سلنوئید» با «سیملوله»، استفاده از سر قلم سیاه برای متمایز نمودن کمیت‌های برداری از نرده‌ای به جای خط تیره در بالای حروف. در پایان از نشر شیخ‌بهایی که تجدید و ویرایش این کتاب را با پیگیری شایسته‌ای تقبل نموده است سپاسگزاری می‌کنم.

احمد صفایی

بهمن ۸۵

فهرست مطالب
فصل ۱: آنالیز برداری

۲	۱-۱ قواعد ساده برداری	40
۲	تساوی بردارها	
۲	جمع بردارها	
۲	ضرب بردار در کمیت‌های نرده‌ای	
۲	ضرب داخلی دو بردار	
۳	ضرب خارجی دو بردار	
۴	بردار واحد	
۴	۲-۱ دستگاه‌های مختصات	
۵	دستگاه مختصات مستطیلی	
۶	دستگاه مختصات استوانه‌ای	
۶	دستگاه مختصات کروی	
۸	۳-۱ مؤلفه‌های بردار	
۸	بردارهای واحد	
۱۰	بردار مکان	
۱۱	تبدیل بردارها در دستگاه‌های مختصات مختلف	
۱۴	۴-۱ انتگرال‌های خط، سطح و حجم	
۱۵	عناصر طول، سطح و حجم	
۱۷	انتگرال خط	
۱۹	انتگرال سطح	
۲۴	← انتگرال حجم	
۲۴	۵-۱ مشتقات میدان‌های نرده‌ای و برداری	
۲۵	گرادیان	
۲۸	دیورژانس	
۳۲	کرل	
۴۰	لاپلاسین	
۴۰	قضیه هلمولتز	
۴۲	۶-۱ خلاصه فصل	
۴۳	۷-۱ مسائل خودآزمایی	
۴۷	۸-۱ مسائل	

فصل ۲: میدان الکتریکی ساکن در خلأ

۵۴	۱-۲ قانون کولمب	35
۵۵	۲-۲ شدت میدان الکتریکی	
۵۶	شدت میدان الکتریکی چندین بار نقطه‌ای	

(هفت)

۵۷	..... دو قطبی الکتریکی
۵۹	..... میدان الکتریکی توزیعهای پیوسته خطی
۶۲	..... میدان الکتریکی توزیعهای پیوسته سطحی
۶۴	..... میدان الکتریکی توزیعهای پیوسته حجمی
۶۷	..... ۳-۲ خطوط میدان
۶۹	..... ۴-۲ قانون گوس
۷۶	..... شکل نقطه‌ای قانون گوس
۷۸	..... ۵-۲ پتانسیل الکتریکی
۷۹	..... پتانسیل بار نقطه‌ای
۸۱	..... پتانسیل چندین بار نقطه‌ای
۸۱	..... پتانسیل برای توزیعهای پیوسته
۸۶	..... ۶-۲ معادله کرل ماکسول برای میدان الکتریکی ساکن
۸۷	..... ۷-۲ پتانسیل و شدت میدان الکتریکی
۹۰	..... ۸-۲ خلاصه فصل
۹۰	..... ۹-۲ مسائل خودآزمایی
۹۸	..... ۱۰-۲ مسائل

فصل ۳: میدان الکتریکی ساکن در اجسام و انرژی الکتریکی

۱۰۷	..... ۱-۳ هدایت الکتریکی در ماده و دسته‌بندی اجسام
۱۱۰	..... ۲-۳ جریان الکتریکی و قانون اهم
۱۱۳	..... ۳-۳ مقاومت الکتریکی
۱۱۶	..... ۴-۳ اصل بقای بار و معادله پیوستگی
۱۱۷	..... ۵-۳ بار آزاد در اجسام هادی و نحوه توزیع آن
۱۱۸	..... ۶-۳ میدان الکتریکی در حضور اجسام هادی و شرایط مرزی
۱۲۳	..... ۷-۳ اجسام عایق در میدان الکتریکی ساکن
۱۳۲	..... ۸-۳ جریان پلاریزاسیون
۱۳۳	..... ۹-۳ شرایط مرزی در سطح مشترک دو عایق
۱۳۵	..... ۱۰-۳ ظرفیت
۱۳۸	..... ۱۱-۳ میدان الکتریکی در اجسام نیمه‌هادی
۱۳۸	..... ۱۲-۳ انرژی ذخیره شده در میدان الکتریکی
۱۴۴	..... توان تلف شده در ناحیه‌ای با رسانایی محدود
۱۴۴	..... ۱۳-۳ نیرو و گشتاور در سیستمهای الکتریکی ساکن
۱۴۶	..... ۱۴-۳ خلاصه فصل
۱۴۷	..... ۱۵-۳ مسائل خودآزمایی
۱۵۷	..... ۱۶-۳ مسائل

فصل ۴: معادلات پواسون و لاپلاس و روشهای حل آنها

۱۶۸	.....	۱-۴ معادلات پواسون و لاپلاس	30
۱۶۸	.....	۲-۴ قضیه یگانگی پاسخ	
۱۶۹	.....	۳-۴ معادله لاپلاس و حل آن در دستگاههای مختلف مختصات	
۱۷۰	.....	حل معادله لاپلاس در دستگاه مختصات مستطیلی	
۱۷۶	.....	حل معادله لاپلاس در دستگاه مختصات استوانه‌ای	
۱۸۴	.....	حل معادله لاپلاس در دستگاه مختصات کروی	
۱۸۸	.....	۴-۴ محاسبه مقاومت به کمک حل معادله لاپلاس	
۱۸۹	.....	مقاومت یک میله مستقیم	
۱۹۱	.....	مقاومت یک میله خمیده	
۱۹۲	.....	۵-۴ حل معادله لاپلاس به روش عددی	
۱۹۵	.....	۶-۴ معادله پواسون	
۱۹۷	.....	۷-۴ روش تصویر	
۱۹۷	.....	بار نقطه‌ای در مقابل صفحه هادی بینهایت	
۱۹۸	.....	بار نقطه‌ای در مقابل کره هادی	
۲۰۰	.....	۸-۴ خلاصه فصل	
۲۰۰	.....	۹-۴ مسائل خودآزمایی	
۲۰۷	.....	۱۰-۴ مسائل	

فصل ۵: میدان مغناطیسی ساکن در خلأ

۲۱۶	.....	۱-۵ نیروی مغناطیسی بین دو مدار جریان	35
۲۱۷	.....	۲-۵ قانون بیو-ساوار	
۲۲۰	.....	۳-۵ نیروی اعمال شده بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی	
۲۲۹	.....	۴-۵ قانون مداری آمپر	
۲۳۹	.....	۵-۵ شکل نقطه‌ای قانون مداری آمپر	
۲۴۰	.....	۶-۵ پتانسیل مغناطیسی برداری	
۲۴۷	.....	۷-۵ معادله دیورژانس ماکسول برای میدان مغناطیسی ساکن	
۲۴۹	.....	۸-۵ خلاصه فصل	
۲۵۰	.....	۹-۵ مسائل خودآزمایی	
۲۵۸	.....	۱۰-۵ مسائل	

فصل ۶: میدان مغناطیسی ساکن در اجسام و انرژی مغناطیسی

۲۶۷	.....	۱-۶ خواص مغناطیسی اجسام و دسته‌بندی آنها	50
۲۶۸	.....	دیامغناطیس	
۲۶۹	.....	پارامغناطیس	
۲۷۰	.....	فرومغناطیس	
۲۷۲	.....	ضد فرومغناطیس و فری مغناطیس	

۲۷۳	۲-۶ میدان مغناطیسی در حضور اجسام.....
۲۸۲	۳-۶ شرایط مرزی.....
۲۸۴	۴-۶ ضرایب خودالقایی و القای متقابل.....
۲۹۳	۵-۶ مدارهای مغناطیسی.....
۲۹۸	۶-۶ انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی.....
۳۰۵	۷-۶ پسماند.....
۳۰۷	۸-۶ محاسبه میدان مغناطیسی به کمک پتانسیل نرده‌ای.....
۳۱۰	۹-۶ نیرو و گشتاور مغناطیسی.....
۳۱۲	نیرو و گشتاور برحسب انرژی مغناطیسی ذخیره شده.....
۳۱۵	۱۰-۶ خلاصه‌ای از میدانهای الکتریکی و مغناطیسی ساکن.....
۳۱۷	۱۱-۶ خلاصه فصل.....
۳۱۸	۱۲-۶ مسائل خودآزمایی.....
۳۲۵	۱۳-۶ مسائل.....

فصل ۷: میدانهای متغیر با زمان

۳۳۴	۱-۷ قانون فاراده.....	25
۳۳۷	۲-۷ نیروهای محرکه ترانسفورماتوری و حرکتی.....	
۳۴۲	۳-۷ معادلات ماکسول.....	
۳۴۶	شکل انتگرالی معادلات ماکسول.....	
۳۴۸	۴-۷ شرایط مرزی.....	
۳۵۱	۵-۷ توابع پتانسیل و پاسخ آنها.....	
۳۵۴	۶-۷ میدانهای شبه ساکن.....	
۳۵۶	۷-۷ میدانهای متغیر با زمان سینوسی.....	
۳۵۸	۸-۷ خلاصه فصل.....	
۳۵۹	۹-۷ مسائل خودآزمایی.....	
۳۶۳	۱۰-۷ مسائل.....	
۳۶۹	پیوست الف: حل مسائل خودآزمایی.....	
۳۶۹	پ-۱ حل مسائل خودآزمایی فصل اول.....	
۳۸۰	پ-۲ حل مسائل خودآزمایی فصل دوم.....	
۴۰۳	پ-۳ حل مسائل خودآزمایی فصل سوم.....	
۴۳۳	پ-۴ حل مسائل خودآزمایی فصل چهارم.....	
۴۶۲	پ-۵ حل مسائل خودآزمایی فصل پنجم.....	
۴۹۰	پ-۶ حل مسائل خودآزمایی فصل ششم.....	
۵۰۹	پ-۷ حل مسائل خودآزمایی فصل هفتم.....	
۵۲۳	پیوست ب: پاسخ مسائل.....	
۵۴۱	پیوست ج: مراجع.....	