



الکترومغناطیس

مؤلف:

احمد علی اشرفیان

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

بسمه تعالی

سرشناسه	: اشرفیان، احمدعلی، ۱۳۴۰
عنوان و نام پدیدآور	: الکترومغناطیس / مؤلف احمدعلی اشرفیان
مشخصات نشر	: تهران؛ بسیج دانشجویی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز خدمات آموزشی نصیر، ۱۳۹۳
مشخصات ظاهری	: [۶۹۶] ص،
شابک	: ۹-۵۸-۶۹۲۷-۶۰۰-۹۷۸-۳۰۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: چاپ اول
موضوع	: الکترومغناطیس
موضوع	: الکترومغناطیس -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
شناسه افروود	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، بسیج دانشجویی، مرکز خدمات آموزشی نصیر
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۴ الف ۱۵ / QC ۷۶۰
رده‌بندی دیویی	: ۶۳۷
شماره کتاب‌شناسی ملی	: ۶۷۳

نام کتاب	: الکترومغناطیس
مؤلف	: احمدعلی اشرفیان
ناشر	: بسیج دانشجویی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
با همکاری	: مرکز خدمات آموزشی نصیر
نوبت چاپ	: اول
سال و محل نشر	: تهران، ۱۳۹۳
ناظر فنی چاپ	: علی غزالی، حمید رضا پوریعقوبی
حروفچینی و صفحه‌آرایی	: علی‌اکبر هدایتی
رسم شکل	: الیاس مهدی‌پور - سیدعلی سعیدی
طرح جلد	: محمدرضا حاج محمدحسینی
تیراژ	: ۲۰۰۰ جلد
قیمت	: ۳۰۰۰۰ تومان
شابک	: ISBN ۹۷۸-۶۰۰-۶۹۲۷-۵۸-۹

• هرگونه چاپ و تکثیر از این اثر ممنوع و به موجب بند ۵ ماده ۲ قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان پیگرد قانونی دارد.
نشانی: خیابان شریعتی، نرسیده به پل سید خندان، دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز خدمات آموزشی نصیر
تلفن: ۸۸۴۶۴۷۸-۸۸۴۶۶۳۵

خداوند را سپاس می‌گوییم که به من توفیق و توانایی نگارش این کتاب را عطا فرمود.

فراگیری دانش الکترومغناطیس و درک عمیق و صحیح مفاهیم آن برای دانشجویان رشته مهندسی برق از اهمیت بسزایی برخوردار است. به همین دلیل آموختن قوانین و روابط حاکم بر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، آن هم به روش اصولی و کاربردی، به تحکیم بنیه علمی دانشجو و دستیابی او به بینشی جامع و کامل، کمک شایانی می‌کند تا از این ردتوشه به‌عنوان سس‌نیاز برای یادگیری درس‌های مدارهای الکتریکی، ماشین‌های الکتریکی، خطوط انتقال انرژی، میدان‌ها و امواج، آنتن و انتشار امواج استفاده نماید.

در این کتاب با شروع از یک قانون تجربی به‌منزله‌ی قانون مبنا سعی شده است به قوانین و روابط حاکم بر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی برسیم که در نهایت به شکل معادلات ماکسول بیان می‌شوند.

از طرف دیگر با اشاره به نکات مهم و کلیدی، استفاده از تقارن‌ها، حل مثال‌های متعدد در متن هر فصل و ارائه پاسخ تشریحی کلیه سس‌ن‌های رشته‌ی مهندسی برق و فیزیک در پایان هر فصل سعی شده ضمن کمک به یادگیری و حل سس‌ن‌های مربوط به مغناطیس، کوتاه‌ترین راحل‌های تستی نیز ارائه گردد تا زمینه آمادگی لازم جهت قبولی دانشجویان عزیز در کنکور کارشناسی ارشد فراهم شود.

در فصل اول به کتاب که به عنوان «بررسی اولیه» در برداری ارائه شده است ضمن معرفی هر رابطه‌ی ریاضی به‌صورت یک ابزار کاربردی در حل مسائل الکترومغناطیس، سعی شده برای آن رابطه، توجیه فیزیکی نیز ارائه گردد. به‌طوری‌که نگاه دانشجو به روابط ریاضی، نسبت به گذشته تفاوت خواهد کرد و استفاده از آنها، بسیار لذت‌بخش می‌گردد.

آنچه در این کتاب می‌خوانید:

در فصل اول کتاب که به آنالیز برداری اختصاص دارد، جمع و تفریق دو بردار شروع کرده و به معرفی ضرب داخلی و خارجی دو بردار و خواص و کاربردهای آنها می‌پردازیم. سپس با معرفی دستگاه‌های مختصات کارتزین، استوانه‌ای و کروی و ارتباط بین آنها، نحوه‌ی انتخاب مناسب دستگاه مختصات در حل مسأله را آموزش می‌دهیم تا دانشجو بتواند به کمک آن، مسائل مغناطیس را سریع‌تر و راحت‌تر حل کند. در انتهای این فصل به معرفی اپراتور گرادیان، عبارت‌های دیورژانس و کس، تدریجی دیورژانس، استوکس و هلمهولتز پرداخته، مفاهیم فیزیکی و کاربردهای آنها را در درس الکترومغناطیس بررسی می‌کنیم.

در فصل دوم قانون کولمب را معرفی کرده و به کمک آن نحوه‌ی محاسبه‌ی شدت میدان الکتریکی ناشی از توزیع بارهای نقطه‌ای، سطحی و حجمی ساکن را بررسی می‌کنیم.

در فصل سوم به معرفی قانون گوس و نحوه‌ی محاسبه‌ی شار الکتریکی عبوری از سطوح مختلف پرداخته و نشان می‌دهیم در صورتی‌که توزیع بار دارای تقارن کارتزینی، استوانه‌ای و یا کروی باشد به کمک قانون گوس خیلی سریع‌تر و راحت‌تر از قانون کولمب می‌توان شدت میدان الکتریکی را محاسبه کرد.

در انتهای این فصل با فرم دیفرانسیلی گوس که همان معادله‌ی اول ماکسول است نیز آشنا می‌شوید.

در فصل چهارم با معرفی پتانسیل الکتریکی، نحوه‌ی محاسبه پتانسیل الکتریکی ناشی از توزیع بارهای گوناگون را آموزش داده و نشان می‌دهیم چگونه می‌توان شدت میدان الکتریکی ناشی از یک توزیع بار را از طریق منفی گرادیان پتانسیل الکتریکی حاصل از آن توزیع بار به‌دست آورد. در این فصل با معادله‌ی دوم ماکسول برای میدان‌های الکتریکی ساکن نیز آشنا می‌شوید.

در فصل پنجم به نحوه‌ی محاسبه انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره شده در میدان الکتریکی، ناشی از توزیع بارهای مختلف می‌پردازیم.

در فصل ششم به خواص هادی کامل و تأثیر آن بر میدان الکتریکی می‌پردازیم.

در فصل هفتم تأثیر میدان الکتریکی و ماده‌ی عایقی بر یکدیگر و نحوه‌ی پلاریزه شدن اجسام عایقی در معرض میدان الکتریکی را بررسی کرده و روش مدل کردن اجسام پلاریزه شده با بارهای مقید حجمی، سطحی، خطی و نقطه‌ای در فضای آزاد را ارائه می‌دهیم.

در انتهای این فصل با بررسی شرایط مرزی، رابطه‌ی بین مؤلفه‌های میدان الکتریکی در سطح مشترک دو محیط را به دست می‌آوریم.

در فصل هشتم ابتدا با معرفی خازن‌های مسطح، استوانه‌ای و کروی به نحوه‌ی محاسبه‌ی ظرفیت آنها می‌پردازیم. سپس نشان می‌دهیم چگونه می‌توان به کمک ظرفیت به دست آمده، انرژی ذخیره شده در خازن و سپس از طریق روشی حاصل شده، نیرو و گشتاور وارد بر صفحات خازن را محاسبه کرد.

در فصل نهم ابتدا میدان الکتریکی در اجسام نیمه‌هادی (اهمی) را مورد بررسی قرار داده و با معرفی معادله‌ی پیوستگی به نحوه‌ی تغییرات در حباب زمان در اجسام نیمه‌هادی می‌پردازیم. سپس با معرفی چگالی جریان و بررسی شرایط مرزی آن در سطح مشترک دو محیط، نشان می‌دهیم سریع‌ترین روش برای محاسبه‌ی میدان الکتریکی در محیط‌های اهمی غیرهمگن سه‌بعدی، استفاده از چگالی جریان است.

در انتهای این فصل نحوه‌ی محاسبه‌ی مقادیر الکتریکی محیط‌های اهمی و اتلاف توان در آنها را بررسی می‌کنیم. در فصل دهم به حل معادلات پواسن و لاپلاس در دستگاه مختصات کارتزین، استوانه‌ای و کروی می‌پردازیم. در فصل یازدهم با معرفی روش تصاویر، راهکاری برای حل بعضی از مسائل خاص ارائه می‌کنیم که خیلی سریع‌تر از معادله لاپلاس ما را به جواب می‌رساند.

در فصل دوازدهم ابتدا به معرفی قانون بیو - ساوار می‌پردازیم و سپس به کمک آن نحوه‌ی محاسبه‌ی شدت میدان مغناطیسی ساکن در خلاء حاصل از توزیع جریان‌های حجمی، سطحی و خطی و حتی بار نقطه‌ای متحرک با سرعت v را بررسی می‌کنیم.

در فصل سیزدهم ابتدا قانون مداری آمپر را معرفی می‌کنیم و سپس به کمک آن نشان می‌دهیم میدان مغناطیسی ناشی از توزیع جریان‌هایی که دارای تقارن استوانه‌ای و یا کارتزینی هستند را می‌توان خیلی سریع‌تر از قانون بیو - ساوار به دست آورد. در این قسمت با فرم دیفرانسیلی مداری آمپر یا قانون سوم ماکسول برای میدان‌های مغناطیسی ساکن نیز آشنا می‌شوید. در ادامه با معرفی پتانسیل مغناطیسی برداری، نشان می‌دهیم چگونه می‌توان میدان مغناطیسی ناشی از یک توزیع جریان را به کمک کرل پتانسیل مغناطیسی برداری حاصل از آن توزیع جریان به دست آورد.

در انتهای این فصل شما را با معادله‌ی چهارم ماکسول، معادله‌ی لاپلاس برداری $\vec{A}$ و پتانسیل مغناطیسی اسکالر آشنا می‌کنیم.

در فصل چهاردهم ابتدا با معرفی اجسام دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس، به تأثیر میدان مغناطیسی و ماده بر یکدیگر پرداخته و نحوه‌ی قطبی شدن اجسام مغناطیسی را بررسی می‌کنیم و نشان می‌دهیم چگونه می‌توان یک جسم مغناطیس شده را با جریان‌های مقید مغناطیسی حجمی، سطحی و خطی و یا بارهای مقید مغناطیسی حجمی، سطحی، خطی و نقطه‌ای در فضای آزاد مدل کرد و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

در انتهای این فصل با بررسی شرایط مرزی، ارتباط بین مؤلفه‌های میدان مغناطیسی در سطح مشترک دو مغناطیسی را به دست می‌آوریم.

در فصل پانزدهم ضرایب خودالقایی، القای متقابل، مدارهای مغناطیسی، انرژی، نیرو و گشتاور مغناطیسی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در فصل شانزدهم ابتدا با معرفی قانون تجربی فارادای نشان می‌دهیم که یک میدان مغناطیسی متغیر با زمان نیروی محرکه الکتریکی می‌کند سپس به کمک رابطه‌ی لیر که بیان ریاضی قانون فارادای است نحوه‌ی محاسبه نیروی محرکه (ترانسفورماتوری و حرکتی) را بررسی می‌کنیم. در ادامه با روابط حاکم بر میدان‌های متغیر یا همان جریان‌های القا شده و جریان‌های الکتریکی و جریان‌های متغیر با زمان به وجود می‌آیند آشنا می‌شوید و نشان می‌دهیم که روابط شکل تکامل یافته معادلات ماکسول حاکم بر میدان‌های ساکن می‌باشند که اولین بار با استفاده از قانون فارادای یک بررسی ریاضی توسط ماکسول به دست آمدند. سپس با بررسی شرایط مرزی میدان‌های متغیر با زمان استفاده از آنجا در حالات ماکسول به معادله‌ی موج می‌رسیم.

در انتهای فصل شما را با سیستم‌های سه سگ و کاربرد آنها در مسائل علمی مهندسی برق آشنا کرده و با معرفی موج الکتریکی سیستم‌های سه سگ را به زبان می‌بریم.

در این جا لازم می‌دانم از فضل معتمد علی اربابی‌نژاد که در ویرایش کتاب کمک فاس توجهی به من نکرد و قدری کم و زیاد کرد و مراعات ادبی و سبک قلمی خود را نسبت به همسر عزیزم خانم رویا گذشتی و پدرش ابرار کند که با صبر و بردباری فرموده و به من فرصت داد تا این کتاب را به من کمک زیادی کرد. این راه را برایم آسان نمودند؛ به‌ویژه همسرم که در این کتاب به من کمک زیادی کرد. در پایان از آقای علی‌اکبر هدایتی که زحمت ناشر و صفحه‌آرایی و آقای سیدعلی سعیدی و به‌طور ویژه از الیاس مهدی‌پور که زحمت رسم شکل‌های کتاب را بر عهده داشتند صمیمانه تشکر می‌کنم.

ضمن اعتراف به کاستی‌های کتاب، سپاسگزار اساتید و خدای تعالی خواهم بود که با پیشنهادهایشان ز چاپ‌های بهتر این کتاب را در آینده فراهم می‌سازند و همچنین رؤسای مسئولین محترم مؤسسه‌ی آموزشی و تحقیقاتی و حمایت‌هایی را که در راستای چاپ این کتاب داشته‌اند قدردانی می‌نموم و آرزو دارم که در خدمات آموزشی و فرهنگی خود بیش از پیش موفق باشند.

قابل توجه دانشجویان عزیز:

جهت مطالعه‌ی بهینه این کتاب و آگاهی از تفکیک نکات تستی از مباحث تشریحی، به وبسایت اینجانب www.ahmadaliashrafian.ir مراجعه کنید.

پس از انتشار کتب «مدارهای الکتریکی»، «الکترونیک ۲»، «۵۰۰ تست تألیفی کنترل خطی»، «تجزیه تحلیل سیستم‌ها» و «کنترل خطی» از مجموعه کتاب‌های رشته مهندسی برق «مرکز خدمات آموزشی نصیر»، بار دیگر توفیق یافتیم تا با انتشار کتاب «الکترومغناطیس» به قلم استاد گرانقدر و فرهیخته جناب آقای احمدعلی اشرفیان خدمت دیگری به دانشجویان عزیز ارائه نماییم. کتاب پیش روی شما به گونه‌ای نگاشته شده که هم برای دانشجویان کارشناسی قابل استفاده بوده و هم برای داوطلبان آزمون کارشناسی ارشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و از این نظر مجموعه‌ای کامل است که نیاز دانشجویان را به هر مرجع دیگری برطرف می‌سازد.

«مرکز خدمات آموزشی نصیر» وابسته به بسیج دانشجویی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، اولین مرکز آموزشی در زمینه آمادگی آزمون‌های کارشناسی ارشد در کشور است که از شروع فعالیت‌های آن قریب به ۲۲ سال می‌گذرد. این مرکز که تا پیش از سال ۱۳۸۱ توسط دانشجویان بسیجی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی راه‌اندازی شد در طی این سال‌ها همواره در حال رشد و ترقی و تعالی بوده است و علاوه بر گسترش حیطه فعالیت‌ها و گسترش کمی مخاطبان آن، کیفیت آموزشی سطح علمی آن همواره روند رو به رشدی را داشته است. با توجه به اینکه این مرکز زیرمجموعه بسیج دانشجویی است، باید اصلی‌ترین هدف خود را خدمت‌رسانی، عدالت آموزشی و ارتقاء علمی دانشجویان قرار داده و از این جهت اختصاصی مرکز آموزشی در میان مؤسسات مشابه است. و این حقیقت فراتر از یک ادعا می‌باشد و از این جهت همواره عناوین مرکزی خوش‌نام و موفق در میان اساتید و دانشجویان محترم مطرح بوده است و به علت اینکه مسئولین و کادر این مرکز خود نیز اغلب از دانشجویان دانشگاه‌های تهران هستند بیشترین ارتباط را با دانشجویان مخاطب این مرکز دارا بوده و از نقطه نظر آنان همواره استفاده نموده است. در زیر نکاتی برای آشنایی بیشتر شما مخاطب گرامی با این مرکز سر می‌برد:

۱. استفاده از اساتید مجرب و طراز اول دانشگاه‌های تهران که به لحاظ علمی جزو سرآمدترین اساتید کشور می‌باشند از اصلی‌ترین نقاط قوت این مرکز است. اعتقاد ما بر این است که به این نقطه از موفقیت هرگز نائل نمی‌شدیم مگر با مساعدت و تلاش و همکاری صادقانه اساتید گرانقدر و بزرگ‌ترین انگیزه آنان نیز در این مسیر، هدف مقدس و والایی است که سرلوحه فعالیت‌های مرکز را بر گرفته است.

۲. رویکرد ما همواره افزایش سطحی کیفی فعالیت‌ها در عین ارائه آن با کمترین هزینه می‌باشد که با تحقق این مهم، هدف اصلی ما که خدمت‌رسانی و ارتقاء هر چه بیشتر علمی دانشجویان در هر روز بوم در کنار عدالت آموزشی می‌باشد محقق می‌شود.

۳. با توجه به برگزاری ۲۲ سال کلاس‌های آموزشی و ۱۲ سال آزمون‌های آزمایشی، تجربه گوناگونی اندوخته‌ایم که یکی از عوامل اصلی موفقیت روز افزون ما است. این تجربیات که در مواردی سایر مؤسسات نیز از آن استفاده کرده‌اند و از آن الگو گرفته‌اند، همواره این مرکز را در جایگاه پیشروترین مؤسسه آموزشی کارشناسی ارشد و دکتری قرار داده است.

۴. با توجه به اهداف ذکر شده، شهریه ارائه شده کمترین مقدار را در میان تمام مؤسسات مشابه دارا می‌باشد، که این اختلاف عمیق بعضاً باعث تعجب و ایجاد سؤال برای مخاطبانی گردیده که تازه با این مرکز آشنا شده‌اند. ولی آشنایی بیشتر آنان با مجموعه راه را در جهت دریافت پاسخ باز می‌نماید.

با توجه به سابقه درخشان این مرکز در طی این سال‌ها و ضعف موجود در زمینه کتاب‌های کارشناسی ارشد به لحاظ کیفی، این مجموعه تصمیم بر آن گرفت که در این زمینه نیز وارد شده و افتخاری دیگر به افتخارات خود بیفزاید. "مجموعه کتاب‌های کارشناسی ارشد نصیر" که از این پس به مرور در اختیار علاقمندان قرار خواهد گرفت مجموعه‌ای بی‌نظیر با رویکردی نوین و ویژگی‌های منحصر به فرد می‌باشد به طوری که داوطلبان بعد از مراجعه آن، نیازی به استفاده از منبع دیگری نخواهند داشت و نظر به همکاری اساتید کرانقدری که کوله‌باری از تجربه ارزشمند علمی را در سطح دانشگاه‌ها و کلاس‌های مرکز خدمات آموزشی نصیر با خود دارند و رعایت بالاترین کیفیت در صفحه‌آرایی و چاپ، دانشجویان عزیز لذت واقعی یادگیری را خواهند چشید، در این جا لازم است از زحمات فراوان اساتید گران قدر جناب آقای احمدعلی اشرفیان در تألیف این اثر ارزشمند کمال قدردانی را بنماییم. در پایان اجر معنای فعالیت‌ها را این مرکز را تقدیم می‌کنیم به شهدای دفاع مقدس. این شمع‌های همیشه فروزان بشریت که به مقاومت رزانه خود حماسه‌ای جاوید آفریدند.

مرکز خدمات آموزشی نصیر

فهرست

فصل اول: آنالیز برداری.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- قواعد ساده برداری.....	۲
۱-۲-۱- تساوی بردارها.....	۲
۲-۲-۱- جمع برداری.....	۲
۳-۲-۱- تفریق برداری.....	۳
۴-۲-۱- ضرب بردارها.....	۴
۳-۱- دستگاه‌های مختصات متعامد و راستگرد.....	۱۰
۱-۳-۱- دستگاه مختصات کارتزین.....	۱۶
۲-۳-۱- دستگاه مختصات استوانه‌ای.....	۲۱
۳-۳-۱- دستگاه مختصات کروی.....	۲۸
۴-۱- مشتقات بردارها.....	۳۸
۱-۴-۱- گرادیان.....	۳۸
۲-۴-۱- دیورژانس یک میدان برداری.....	۵۳
۳-۴-۱- کرل یک میدان برداری.....	۶۱
۵-۱- دو اتحاد صفر.....	۷۲
۱-۵-۱- اتحاد I.....	۷۲
۲-۵-۱- اتحاد II.....	۷۳
۶-۱- قضیه‌ی هلم هولتز.....	۷۵
۷-۱- لاپلاسین.....	۷۸
مسائل فصل اول.....	۷۹
پاسخ تشریحی مسائل فصل اول.....	۸۵
فصل دوم: میدان الکتریکی ساکن در خلاء.....	۱۰۷
۱-۲- قانون کولمب.....	۱۰۷
۲-۲- شدت میدان الکتریکی.....	۱۱۰
۱-۲-۲- شدت میدان الکتریکی چندین بار نقطه‌ای.....	۱۱۰
۲-۲-۲- شدت میدان الکتریکی توزیع بارهای پیوسته‌ی خطی، سطحی و حجمی.....	۱۱۱
۳-۲- خطوط میدان.....	۱۲۲
۴-۲- تشخیص جهت شدت میدان الکتریکی با استفاده از تقارن موجود در توزیع بارهای متقارن.....	۱۲۴
تست‌های فصل دوم.....	۱۲۸
پاسخ تشریحی تست‌های فصل دوم.....	۱۳۳
فصل سوم: قانون گوس.....	۱۳۹
۱-۳- قانون گوس.....	۱۳۹
۳-۱- آزمایش فاراده و مفهوم شار.....	۱۳۹
۳-۲- قانون گوس.....	۱۴۱
تست‌های فصل سوم.....	۱۵۲

۱۵۷	پاسخ تشریحی تست‌های فصل سوم
۱۶۳	فصل چهارم: پتانسیل الکتریکی
۱۶۳	۱-۴- پتانسیل الکتریکی
۱۶۵	۱-۱-۴- پتانسیل بار نقطه‌ای
۱۶۶	۲-۱-۴- پتانسیل چندین بار نقطه‌ای
۱۶۷	۳-۱-۴- پتانسیل برای توزیع بارهای پیوسته
۱۷۱	۲-۴- رابطه‌ی بین شدت میدان الکتریکی و پتانسیل الکتریکی
۱۷۶	تست‌های فصل چهارم
۱۸۰	پاسخ تشریحی تست‌های فصل چهارم
۱۸۵	فصل پنجم: پتانسیل الکتریکی
۱۹۴	تست‌های فصل پنجم
۱۹۸	پاسخ تشریحی تست‌های فصل پنجم
۲۰۱	۱۶-۱-۶- پتانسیل الکتریکی
۲۰۸	تست‌های فصل ششم
۲۱۳	پاسخ تشریحی تست‌های فصل ششم
۲۲۱	فصل هفتم: میدان الکتریکی
۲۲۳	۱-۱-۷- پتانسیل و میدان الکتریکی یک بار نقطه‌ای
۲۳۰	۲-۱-۷- پتانسیل و میدان الکتریکی حاصل از غایق قطبی شده
۲۳۷	۳-۱-۷- چگالی شار الکتریکی و ضریب دی الکتریک
۲۴۲	۴-۱-۷- مقاومت دی الکتریک
۲۴۳	۲-۷- شرایط مرزی میدان‌های الکتریکی ساکن در سطح
۲۴۷	تست‌های فصل هفتم
۲۵۹	پاسخ تشریحی تست‌های فصل هفتم
۲۷۱	فصل هشتم: خازن‌ها
۲۷۱	۱-۸- ظرفیت خازن
۲۷۳	۲-۸- خازن مسطح
۲۷۸	۳-۸- خازن استوانه‌ای
۲۷۹	۴-۸- خازن کروی
۲۸۳	۵-۸- ظرفیت در سیستم‌های چندهادی
۲۸۷	۶-۸- محافظت الکتریسته‌ی ساکن
۲۸۸	۷-۸- قضیه‌ی متقارن گرین
۲۹۰	۸-۸- نیرو و گشتاور در سیستم‌های الکتریکی ساکن
۲۹۴	تست‌های فصل هشتم
۳۰۶	پاسخ تشریحی تست‌های فصل هشتم
۳۱۷	فصل نهم: جریان‌های الکتریکی دائم
۳۱۸	۱-۹- چگالی جریان و ضریب هدایت

۳۲۰	۲-۹- قانون اهم و مقاومت الکتریکی
۳۲۰	۱-۲-۹- محاسبه‌ی مقاومت الکتریکی با استفاده از قانون اهم
۳۲۲	۲-۲-۹- محاسبه‌ی مقاومت از طریق ظرفیت
۳۲۳	۳-۹- نیروی محرکه‌ی الکتریکی و قانون ولتاژ کیرشف
۳۲۶	۴-۹- معادله‌ی پیوستگی و قانون جریان کیرشف
۳۲۷	۵-۹- بار آزاد و نحوه‌ی توزیع آن در اجسام هادی ($\sigma \neq 0$)، نیمه‌هادی و عایق غیرکامل ($\sigma \neq 0$)
۳۲۹	۶-۹- اتلاف توان و قانون ژول
۳۳۰	۷-۹- شرایط مرزی چگالی جریان
۳۳۵	تست‌های فصل نهم
۳۴۶	پاسخ تشریحی تست‌های فصل نهم
۳۵۳	فصل دهم: دالات پواسن و لاپلاس و روش‌های حل آن
۳۵۴	۱-۱۰- معادله پواسن و لاپلاس
۳۵۵	۱-۱۰- قضایای یگانه‌سازی پاسخ
۳۵۶	۳-۱۰- معادله لاپلاس در آن در دستگاه‌های مختلف مختصات
۳۵۶	۳-۱۰- حل معادله لاپلاس در دستگاه‌های مختلف مختصات یک‌بعدی
۳۶۳	۳-۳-۱۰- حل معادله لاپلاس در دستگاه‌های مختلف مختصات دوبعدی و سه‌بعدی
۳۷۶	تست‌های فصل دهم
۳۸۳	پاسخ تشریحی تست‌های فصل دهم
۳۸۹	فصل یازدهم: روش تصاویر
۳۸۹	۱-۱۱- روش تصاویر
۳۸۹	۲-۱۱- بار نقطه‌ای در مقابل صفحه هادی بی‌نهایت
۳۹۴	۳-۱۱- بار خطی و استوانه‌ی هادی موازی با آن
۴۰۱	۴-۱۱- بار نقطه‌ای و کره‌ی هادی
۴۰۱	۱-۴-۱۱- بار نقطه‌ای خارج کره‌ی هادی
۴۰۷	۲-۴-۱۱- بار نقطه‌ای داخل پوسته‌ی هادی کروی
۴۱۰	۵-۱۱- کره‌ی باردار و صفحه‌ی هادی زمین شده
۴۱۱	۶-۱۱- بار نقطه‌ی Q مقابل مرز مسطح دو محیط عایقی با ضریب دی‌الکتریک مختلف
۴۱۳	تست‌های فصل یازدهم
۴۲۵	پاسخ تشریحی تست‌های فصل یازدهم
۴۳۷	فصل دوازدهم: میدان مغناطیسی ساکن در خلاء
۴۳۷	۱-۱۲- مغناطیس چیست؟
۴۳۸	۲-۱۲- قانون بیو - ساوار
۴۴۸	تست‌های فصل دوازدهم
۴۵۳	پاسخ تشریحی تست‌های فصل دوازدهم
۴۵۷	فصل سیزدهم: قانون مداری آمپر، پتانسیل مغناطیسی برداری و پتانسیل مغناطیسی اسکالر
۴۵۷	۱-۱۳- قانون مداری آمپر
۴۶۴	۲-۱۳- شکل نقطه‌ای قانون مداری آمپر
۴۶۷	۳-۱۳- پتانسیل مغناطیسی برداری

۴۷۳	۴-۱۳- معادله‌ی دیورژانس ماکسول برای میدان مغناطیسی ساکن
۴۷۴	۵-۱۳- معادلات پواسون و لاپلاس برداری
۴۷۶	۶-۱۳- پتانسیل مغناطیسی اسکالر
۴۷۷	تست‌های فصل سیزدهم
۴۸۲	پاسخ تشریحی تست‌های فصل سیزدهم
۴۸۷	۱-۱۴- دوقطبی مغناطیسی
۴۹۰	۲-۱۴- حوض مغناطیسی جسم و دسته‌بندی آن‌ها
۴۹۱	۳-۱۴- دیامغناطیس
۴۹۲	۴-۱۴- پارامغناطیس
۴۹۳	۵-۱۴- فرومغناطیس
۴۹۵	۶-۱۴- ضد فرومغناطیس و آهن مغناطیس
۴۹۶	۷-۱۴- چگونگی اثر حوض مغناطیسی در حوض اجسام
۵۰۳	۸-۱۴- چگونگی اثر حوض مغناطیسی در اجسام مغناطیسی
۵۰۷	۹-۱۴- سربسته‌ی مغناطیسی ساکن
۵۱۰	۱۰-۱۴- سربسته‌ی مرزی پتانسیل برداری
۵۱۱	۱۱-۱۴- جریان خطی آبه‌ها می‌تواند سطح مشترک دو محیط مغناطیسی با ضریب نفوذپذیری متفاوت
۵۱۴	۱۲-۱۴- معادله‌ی مسطح اجسام
۵۱۹	تست‌های فصل چهاردهم
۵۲۳	پاسخ تشریحی تست‌های فصل چهاردهم
۵۴۵	فصل پانزدهم انرژی، نیرو و گشتاور مغناطیسی
۵۴۵	۱-۱۵- ضریب خودالقایی و القای متقابل
۵۵۴	۲-۱۵- مدارهای مغناطیسی
۵۵۹	۳-۱۵- انرژی مغناطیسی
۵۵۹	۴-۱۵- انرژی مغناطیسی برحسب ضرایب خودالقایی و القای متقابل
۵۶۲	۵-۱۵- انرژی مغناطیسی برحسب کمیات میدان
۵۶۵	۶-۱۵- نیروی مغناطیسی
۵۶۵	۷-۱۴-۱۵- نیروی مغناطیسی وارد بر بار متحرک
۵۶۹	۸-۱۵-۲-۴- نیروی مغناطیسی وارد بر جریان الکتریکی
۵۷۱	۹-۱۵-۳-۴- اثر هال
۵۷۲	۱۰-۱۵- گشتاور مغناطیسی
۵۷۵	۱۱-۱۵- نیرو و گشتاور برحسب انرژی مغناطیسی ذخیره شده
۵۷۸	۱۲-۱۵- نیرو و گشتاور برحسب اندوختن متقابل
۵۸۱	تست‌های فصل پانزدهم
۶۰۶	پاسخ تشریحی تست‌های فصل پانزدهم
۶۲۷	فصل شانزدهم: میدان‌های متغیر با زمان
۶۲۸	۱-۱۶- قانون فاراده
۶۲۹	۲-۱۶-۱-۱- مدار ساکن در میدان مغناطیسی تغییرپذیر با زمان (نیروی محرکه ترانسفورماتوری)

۶۲۹.....	■ جریان‌های گردابی
۶۳۰.....	۱۶-۲-۱- هادی متحرک در میدان مغناطیسی ساکن (نیروی محرکه حرکتی)
۶۳۱.....	۱۶-۳-۱- مدار متحرک در میدان مغناطیسی تغییرپذیر با زمان (نیروی‌های محرکه ترانسفورماتوری و حرکتی)
۶۳۲.....	۱۶-۲- معادلات ماکسول
۶۳۵.....	۱۶-۲-۱- شکل انتگرالی معادلات ماکسول
۶۳۶.....	۱۶-۳- شرایط مرزی الکترومغناطیس
۶۳۹.....	۱۶-۴- معادلات موج و حل آنها به منظور یافتن پتانسیل‌ها
۶۴۳.....	۱۶-۵- معادلات موج در محیط بدون منبع
۶۴۴.....	۱۶-۶- میدان‌های شبه ساکن
۶۴۵.....	۱۶-۷- میدان‌های متغیر با زمان سینوسی
۶۴۷.....	۱۶-۸- میدان‌های بدون منبع در محیط‌های ساده
۶۴۷.....	۱۶-۸-۱- میدان‌های بدون منبع در محیط‌های ساده غیرهادی ($\sigma=0$)
۶۴۸.....	۱۶-۸-۲- میدان‌های بدون منبع در محیط‌های ساده با اتلاف ($\sigma\neq 0$)
۶۵۰.....	۱۶-۹- طیف الکترومغناطیسی
۶۵۲.....	تست‌های فصل شانزدهم
۶۶۷.....	پاسخ تشریحی تست‌های فصل شانزدهم
۶۷۷.....	تست‌های ارشد ۹۳
۶۸۱.....	پاسخ تشریحی تست‌های ارشد ۹۳
۶۸۴.....	مراجع