

الکترونیک قدرت

تألیف:

دنیل هارت

استاد دانشگاه والپاریزو، ایندیانا

ترجمه:

دکتر سید مرتضی سقائیان‌نژاد

استاد مهندسی الکترونیک دانشگاه صنعتی اصفهان

مهندس امیر رشیدی

دانشجوی دکتری مهندسی برق دانشگاه صنعتی اصفهان



دانشگاه صنعتی اصفهان
مرکز نشر

شماره کتاب ۱۳۰

گروه فنی و مهندسی ۴۹

الکترونیک قدرت

تألیف.....	دنیل هارت
برگردان.....	مرتضی سقائیان نژاد، امیر رشیدی
صفحه آرا.....	مهری شهسواری
طراح جلد.....	زحل شیروانی
لیتوگرافی، چاپ و صحافی.....	چاپخانه دانشگاه صنعتی اصفهان
ناشر.....	مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان
چاپ اول.....	زمستان ۱۳۹۳
شمارگان.....	۱۰۰۰ جلد
شابک.....	۹۷۸-۹۶۴-۸۴۷۶-۸۷-۳
قیمت.....	۲۰۰۰۰۰ ریال

سرشناسه	هارت، دانیل دبلیو. W Hart, Daniel
عنوان و نام پدیدآور	الکترونیک قدرت / دنیل دبلیو هارت؛ ترجمه مرتضی سقائیان نژاد، امیر رشیدی.
مشخصات نشر	اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان، مرکز نشر، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	۶۰۱ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	978-964-8476-87-3
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	عنوان اصلی: Power electronics, c2011
یادداشت	کتابنامه: ص. ۶۰۱
موضوع	الکترونیک نیرو
شناسه افزوده	سقائیان نژاد، مرتضی، ۱۳۳۵ - مترجم
شناسه افزوده	رشیدی، امیر، ۱۳۶۳ - مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه صنعتی اصفهان. مرکز انتشارات
رده بندی کنگره	۱۳۹۳ الف ۸۲/TK/۱۵۷۸۸۱
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۱۷
شماره کتابشناسی ملی	۳۷۱۱۷۷۷

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان محفوظ است.

اصفهان: دانشگاه صنعتی اصفهان - مرکز نشر - کد پستی ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱، تلفن: ۰۳۱/۳۳۹۱۲۵۰۹-۱۰ درنگار: ۳۳۹۱۲۵۵۲ (۰۳۱)
برای خرید اینترنتی کلیه کتابهای منتشره مرکز نشر می‌توانید به وبگاه <http://publication.iut.ac.ir> مراجعه و یا
مستقیماً از کتابفروشی مرکز نشر واقع در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی اصفهان (تلفن ۳۳۹۱۲۹۵۲) خریداری فرمائید.

پیشگفتار مؤلف

این کتاب به عنوان یک منبع مقدماتی در الکترونیک قدرت عمدتاً برای دانشجویان مقطع کارشناسی مهندسی برق در نظر گرفته شده است. در این کتاب فرض می‌شود که دانشجویان با تکنیک‌های تحلیل مدار که معمولاً در سال دوم تدریس می‌شود آشنایی دارند. دانشجویان بهتر است که با ادوات الکترونیکی از قبیل دیودها و ترانزیستورها آشنایی داشته باشند، اما تأکید این کتاب به جای ادوات بیشتر بر روی توپولوژی مدارها و عملکرد آنها می‌باشد. یادگیری روابط بین ولتاژ و جریان ادوات خطی از پیش زمینه‌های اولیه مورد نیاز برای این کتاب است و مفهوم سری فوریه نیز از اهمیت برخوردار است. اغلب عناوین بیان شده در این کتاب برای دانشجویان سال سوم یا سال آخر مناسب می‌باشد.

این کتاب به گونه‌ای طراحی شده است تا توسط مدرس یا موضوعات مناسب انتخابی و یا حذفی و در طی یک نیمسال تحصیلی استفاده شود. پیشنهاد می‌شود که فصل ۲ با موضوع محاسبات توانی در ابتدای درس پوشش داده شود و جزئیات آن بر اساس نظر مدرس با توجه به سطح دانشجویان ارائه گردد. فصول ۶ و ۷ با موضوع مبدل‌های dc-dc و منابع تغذیه dc را می‌توان قبل از فصول ۳، ۴ و ۵ با موضوع یکسوکننده‌ها و کنترل کننده‌های ولتاژ، در نظر گرفت. مؤلف به ترتیب فصول ۱ و ۲ (مقدمه و محاسبات توانی)، ۶ و ۷ (مبدل‌های dc-dc و منابع تغذیه dc)، ۸ (اینورترها)، ۳ و ۴ و ۵ (یکسوکننده‌ها و کنترل کننده‌های ولتاژ) و در ادامه عناوین منتخبی از فصول ۹ (مبدل‌های رزونانسی) و ۱۰ (مدارهای راه‌انداز، استایر و هیتسینگ‌ها) را در نظر می‌گیرد. برخی از مباحث پیشرفته از قبیل بخش کنترل در فصل ۷ را می‌توان در یک درس مقدماتی حذف کرد.

بهرتر است که دانشجویان از کلیه ابزارهای نرم افزاری در دسترس برای حل معادلاتی که مدارهای الکترونیک قدرت را توصیف می کنند، استفاده نمایند. این محدوده شامل محاسبه گرهای با توابع داخلی از قبیل انتگرالگیری و ریشه یابی تا بسته های نرم افزاری قدرتمندتر مانند مطلب، متکد، میپل، ممتیکا و غیره می باشد. در این کتاب، اغلب تکنیک های عددی پیشنهاد داده می شود. این امر بستگی به دانشجو دارد تا از کلیه ابزارهای کامپیوتری در دسترس در زمینه الکترونیک قدرت استفاده کند.

این کتاب شامل شبیه سازی های کامپیوتری با استفاده از نرم افزار PSpice به عنوان مکمل تکنیک های حل تحلیلی مدار می باشد. بعضی از تجربیات گذشته از PSpice می تواند مفید باشد ولی ضروری نمی باشد. همچنین آموزش یاران می توانند از دیگر برنامه های شبیه سازی از قبیل نرم افزارهای PSIM یا NI Multisim به جای PSpice استفاده کرد. شبیه سازی کامپیوتری هرگز نمی تواند جایگزینی برای درک مفاهیم اساسی باشد. این باور نویسنده است که استفاده از شبیه سازی کامپیوتری به منظور بهره آموزشی بررسی رفتار ابتدایی مدارهای الکترونیک قدرت دیدی را به درک دانشجو می دهد که با استفاده از معادلات دستنویس صرف امکان پذیر نمی باشد. مشاهده شکل موج های جریان و ولتاژ از یک شبیه سازی کامپیوتری بعضی از اهداف تجربه آزمایشگاهی را فراهم می کند. در یک شبیه سازی کامپیوتری، کلیه جریان ها و ولتاژهای مدار را می توان بررسی کرد که معمولاً خیلی بیشتر و مؤثرتر از آزمایش سخت افزاری می باشد. تغییرات در ادوات و پارامترهای عملکردی در شبیه سازی کامپیوتری ساده تر از محیط آزمایشگاهی انجام می شود. مدارهای PSpice ارائه شده در این کتاب ضرورتاً نماینده بهترین و بهینه ترین راه شبیه سازی مدارها نمی باشد. دانشجویان تشویق می شوند تا مهارت های مهندسی خود را به منظور بهبود مدارهای شبیه سازی تا جایی که ممکن است استفاده کنند.

وب سایت شامل این کتاب، فایل های مداری Capture برای شبیه سازی PSpice برای دانشجویان و آموزش یاران و راهنمای حل مسائل با حفاظت پسورد و دست نوشته های درسی به صورت پاورپوینت برای آموزش یاران را می توان در www.mhhe.com/hart پیدا کرد. تشکر خالصانه من از ویراستاران و دانشجویانی می باشد که سهم بسزایی در این پروژه داشته اند. ویراستاران عبارت اند از:

- علی عمادی

انستیتو تکنولوژی ای لی نویر

- شاهین فیلی زاده

دانشگاه مانی توبا

- مهرداد کازرانی

دانشگاه واترلو

- وجیهه شیرین

دانشگاه هوستون

- حمید تولیت

دانشگاه تگواس A&M

- استیو بکارک

دانشگاه پردو

- جیمز گاور

دانشگاه کترینگ

- پیتر آی دو

ایالت پن، هاریزبورگ

- زایومین کو

دانشگاه ویسکانسین-پلاتویل

- آلکسیز کواسینسکی

دانشگاه نگزاس در آستین

- مدحت م. مارکوس

دانشگاه ایالت کانزاس

- زیا یامایی

دانشگاه پورتلند

- لین ژاو

دانشگاه گانون

تشکر ویژه‌ای از همکارانم کرایج اولجینیکزاک، مارک بودنیک و میشلل دوریا در دانشگاه
والباریزو به خاطر همکاری ایشان دارم. همچنین از نیک آلت به خاطر جمع‌آوری تعداد زیادی
دستنویس خطی تشکر می‌کنم.

سیستم سازماندهی راهنمای کل حل مسائل برخط

(Complete Online Solutions Manual Organization System) COSMOS

اساتید می‌توانند از سیستم سازماندهی راهنمای کل حل مسائل برخط (COSMOS) الکترونیکی مک-گروهیل استفاده کنند. سیستم سازماندهی راهنمای کل حل مسائل برخط (COSMOS) برای آموزشیارها این امکان را فراهم می‌کند تا منبع نامحدودی برای واگذاری تکالیف ایجاد شود تا بتوانند مسائل خود را جمع‌آوری و به نرم افزار منتقل کنند. برای اطلاعات بیشتر، با نماینده فروش مک-گروهیل تماس بگیرید.

گزینه الکترونیکی کتاب Electronic Textbook Option

این کتاب از طریق CourseSmart برای آموزشیاران و دانشجویان پیشنهاد شده است. در واقع CourseSmart یک منبع برخط می‌باشد که دانشجویان می‌توانند متن کامل کتاب را به صورت برخط با نصف هزینه اصلی کتاب خریداری کنند. خریداری کتاب الکترونیکی به دانشجویان این امکان را می‌دهد تا از مزیت یادگیری ابزارهای CourseSmart Web بهره ببرند که شامل تحقیق و بررسی در متن کامل، دست نوشته‌ها و برجسته‌سازی مطالب و ابزارهای میل الکترونیکی برای به اشتراک گذاشتن دست نوشته‌ها از طریق همکلاسی می‌باشد. به منظور آشنایی بیشتر درباره CourseSmart Options با نماینده فروش مک-گروهیل تماس بگیرید یا به آدرس www.CourseSmart.com مراجعه کنید.

دنیل لارت

دانشگاه والاریزو

والاریزو اندیانا

با پیشرفت الکترونیک قدرت و افزایش روز به روز سرعت ادوات کلیدزنی آشنایی با عملکرد کلی این ادوات و نحوه استفاده از آنها در مدارها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در عین حال، فهم کامل مدارهای پایه الکترونیک قدرت و استفاده از نرم افزارهای شبیه‌سازی به منظور درک بهتر مفاهیم نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد. کتاب حاضر، در عین سادگی و روانی در بیان مطالب و داشتن مسائل متنوع و استفاده از ابزارهای شبیه‌سازی، از جامعیت و عمق لازم برای این اهداف را برخوردار است.

این اثر ترجمه کتابی است که توسط آقای دکتر ذبیح‌الله هارت استاد مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه والپاریزو به رشته تحریر در آمده است و می‌تواند برای دانشجویان و مهندسين مورد استفاده قرار گیرد.

در ترجمه این اثر تا جای ممکن، سعی شده است ضمن پایداری به شکل و محتوای متن اصلی، سادگی، روانی و رسایی ترجمه نیز حفظ شود. این کتاب می‌تواند به عنوان کتاب درسی و کمک درسی برای درس الکترونیک صنعتی و مبانی الکترونیک قدرت در مقطع کارشناسی و الکترونیک قدرت در مقاطع تحصیلات تکمیلی تدریس شود.

در انتها بر خود لازم می‌دانیم که از زحمات آقای دکتر کارشناس و آقای دکتر هوشمند به خاطر نقطه نظرات سازنده ایشان و همچنین از آقای دکتر بهرام شریف‌نهی رئیس مرکز نشر،

از خانم زحل شیروانی به خاطر دقت در تصحیح و طراحی جلد کتاب و همه دست اندرکاران مرکز نشر کمال تشکر و قدردانی را داشته و امید داریم، ترجمه این کتاب گامی هر چند کوچک برای خدمت به جامعه دانشگاهی و مهندسی کشورمان باشد. باعث بسی افتخار است تا ما را از نقطه نظرات خود بهره‌مند سازید.

با آرزوی توفیق برای خدمت به اسلام و مسلمین

دکترید مرتضی سغایان نژاد مهندس امیر رشیدی

a.rashidi@ec.iut.ac.ir

saghaian@cc.iut.ac.ir

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه

- ۱-۱ الکترونیک قدرت ۱
- ۲-۱ دسته‌بندی مبدل‌ها ۱
- ۳-۱ مفاهیم الکترونیک قدرت ۳
- ۴-۱ کلیدهای الکترونیکی ۷
- دیود ۷
- تریستورها ۹
- ترانزیستورها ۱۱
- ۵-۱ انتخاب کلید ۱۴
- ۶-۱ نرم‌افزارهای SPICE، PSpice و CAPTURE ۱۷
- ۷-۱ کلیدها در PSpice ۱۸
- کلید کنترل شونده با ولتاژ ۱۹
- ترانزیستورها ۱۹
- دیودها ۲۲
- تریستورها (SCRs) ۲۳

۲۳	مشکلات همگرایی در PSpice
۲۵	مراجع
۲۵	تمرین‌ها
فصل ۲: محاسبات توانی	
۲۷	۱-۲ مقدمه
۲۷	۲-۲ انرژی و توان
۲۷	توان لحظه‌ای
۲۸	انرژی
۲۸	توان متوسط
۳۱	۳-۲ سلف‌ها و خازن‌ها
۳۴	۴-۲ بازیابی انرژی
۴۲	۵-۲ مقادیر مؤثر: RMS
۵۲	۶-۲ توان ظاهری و ضریب توان
۵۲	توان ظاهری S
۵۲	ضریب توان
۵۲	۷-۲ محاسبات توان برای مدارهای AC سینوسی
۵۴	۸-۲ محاسبات توان برای شکل موج‌های متناوب غیر سینوسی
۵۵	سری فوریه
۵۶	توان متوسط
۵۷	منبع غیر سینوسی و بار خطی
۵۹	منبع سینوسی و بار غیر خطی
۶۳	۹-۲ محاسبات توانی با استفاده از PSpice
۷۱	خلاصه
۷۲	مراجع
۷۲	تمرین‌ها

فصل ۳: یکسوکننده‌های نیم موج

۸۱	۱-۳ مقدمه
۸۱	۲-۳ بار مقاومتی
۸۱	ایجاد مؤلفه dc با استفاده از یک کلید الکترونیکی
۸۴	۳-۳ بار مقاومتی - سلفی
۸۹	۴-۳ شبیه‌سازی PSPICE
۸۹	استفاده از نرم افزار شبیه‌سازی به منظور محاسبات توانی
۹۴	۵-۳ بار مقاومت - سلف - منبع
۹۴	تأمین توان برای یک منبع dc از منبع ac
۹۸	۶-۳ بار سلف - منبع
۹۸	استفاده از اندوکتانس به منظور محدود کردن جریان
۱۰۱	۷-۳ دیود هرزگردی
۱۰۱	ایجاد یک جریان dc
۱۰۷	کاهش هارمونیک‌های جریان بار
۱۰۹	۸-۳ یکسوکننده نیم موج با فیلتر خازنی
۱۰۹	تولید یک ولتاژ dc از منبع ac
۱۱۷	۹-۳ یکسوکننده نیم موج کنترل شونده
۱۱۷	بار مقاومتی
۱۲۰	بار R-L
۱۲۳	بار RL - منبع
۱۲۵	۱۰-۳ حل مدارهای یکسوکننده کنترل شونده با استفاده از PSPICE
۱۲۵	مدل‌سازی SCR در PSpice
۱۲۸	۱۱-۳ کموتاسیون
۱۲۸	اثر اندوکتانس منبع
۱۳۱	خلاصه
۱۳۲	مراجع
۱۳۲	تمرین‌ها

فصل ۴: یکسوکننده‌های تمام موج

۱۴۱	۱-۴ مقدمه
۱۴۱	۲-۴ یکسوکننده‌های تمام موج تک فاز
۱۴۱	یکسوکننده پل
۱۴۴	یکسوکننده با ترانسفورماتور سر وسط
۱۴۵	بار مقاومتی
۱۴۶	بار RL
۱۵۰	هارمونیک‌های منبع
۱۵۰	شبیه‌سازی PSpice
۱۵۲	بار RL- منبع
۱۵۵	فیلتر خازنی خروجی
۱۵۸	دو برابرکننده‌های ولتاژ
۱۵۹	خروجی فیلتر شده LC
۱۶۵	۳-۴ یکسوکننده‌های تمام موج کنترل شده
۱۶۶	بار مقاومتی
۱۶۸	بار RL و ناپیوستگی جریان
۱۷۱	بار RL با جریان پیوسته
۱۷۵	شبیه‌سازی PSpice یکسوکننده‌های تمام موج کنترل شونده
۱۷۷	یکسوکننده کنترل شونده با بار RL- منبع
۱۷۹	عملکرد مبدل تک فاز کنترل شونده به صورت یک اینورتر
۱۸۲	۴-۴ یکسوکننده‌های سه فاز
۱۸۹	۵-۴ یکسوکننده‌های سه فاز کنترل شونده
۱۹۱	یکسوکننده دوازده پالسه
۱۹۴	مبدل سه فاز با عملکرد اینورتری
۱۹۷	۶-۴ انتقال توان dc
۲۰۲	۷-۴ کموتاسیون: اثر اندوکتانس منبع
۲۰۲	یکسوکننده پل تک- فاز

۲۰۴	یکسو کننده سه فاز
۲۰۶	خلاصه
۲۰۶	مراجع
۲۰۷	تمرین ها

فصل ۵: کنترل کننده های ولتاژ AC

۲۱۷	۵-۱ مقدمه
۲۱۷	۵-۲ کنترل کننده ولتاژ AC تک فاز
۲۱۷	عملکرد ابتدایی
۲۱۸	کنترل کننده تک فاز با یک بار مقاومتی
۲۲۴	کنترل کننده تک فاز با بار RL
۲۲۹	شبیه سازی PSpice کنترل کننده های ولتاژ AC تک فاز
۲۳۱	۵-۳ کنترل کننده های ولتاژ سه فاز
۲۳۱	بار مقاومتی با اتصال ستاره (Y)
۲۳۶	بار RL با اتصال ستاره (Y)
۲۳۹	بار مقاومتی با اتصال مثلث (Δ)
۲۴۱	۵-۴ کنترل سرعت موتور القایی
۲۴۲	۵-۵ کنترل استاتیکی VAR
۲۴۳	خلاصه
۲۴۳	مراجع
۲۴۴	تمرین ها

فصل ۶: مبدل های DC-DC

۲۴۹	۶-۱ تنظیم کننده های خطی ولتاژ
۲۵۰	۶-۲ یک مبدل کلیدزنی ابتدایی
۲۵۲	۶-۳ مبدل باک
۲۵۲	روابط بین جریان و ولتاژ
۲۵۹	ریپل ولتاژ خروجی

۲۶۲	مقاومت خازن- اثر آن بر روی ریبیل ولتاژ
۲۶۳	یکسوسازی سنکرون برای مبدل باک
۲۶۴	۴-۶ ملاحظات طراحی
۲۶۹	۵-۶ مبدل بوست
۲۶۹	روابط جریان و ولتاژ
۲۷۴	ریبیل ولتاژ خروجی
۲۷۹	مقاومت سلف
۲۸۱	۶-۶ مبدل باک - بوست
۲۸۱	روابط جریان و ولتاژ
۲۸۶	ریبیل ولتاژ خروجی
۲۸۸	۷-۶ مبدل چوک (کاک)
۲۹۴	۸-۶ مبدل اندوکتانس اولیه یک مرحله (SEPIC)
۳۰۳	۹-۶ مبدل‌های چند فازه
۳۰۵	۱۰-۶ کلیدهای غیر ایده‌آل و کارایی مبدل
۳۰۵	افت ولتاژ کلیدها
۳۰۵	تلفات کلیدزنی
۳۰۷	۱۱-۶ عملکرد جریان ناپیوسته
۳۰۷	مبدل باک با جریان ناپیوسته
۳۰۹	مبدل بوست با جریان ناپیوسته
۳۱۵	۱۲-۶ مبدل‌های کلید شونده خازنی
۳۱۵	مبدل کلید شونده خازنی افزایشنده
۳۱۸	مبدل کلید شونده خازنی معکوس کننده
۳۲۰	مبدل کلید شونده خازنی کاهشنده
۳۲۰	۱۳-۶ شبیه‌سازی PSPICE مبدل‌های DC-DC
۳۲۱	مدل کلید شونده PSpice
۳۲۲	مدل مدار متوسط
۳۲۹	خلاصه

۳۳۰	 مراجع
۳۳۱	 تمرین‌ها

فصل ۷: منابع تغذیه DC

۳۳۹	 ۷-۱ مقدمه
۳۴۰	 ۷-۲ مدل‌های ترانسفورمر
۳۴۱	 ۷-۳ مبدل فلای بک
۳۴۱	 مد جریان پیوسته
۳۵۲	 مد جریان ناپیوسته در مبدل فلای بک
۳۵۴	 خلاصه‌ای از عملکرد مبدل فلای بک
۳۵۴	 ۷-۴ مبدل مستقیم (فوروارد)
۳۶۰	 خلاصه‌ای از عملکرد مبدل مستقیم
۳۶۵	 ۷-۵ مبدل مستقیم دو طرفه (دو کلیده)
۳۶۵	 ۷-۶ مبدل Push - Pull
۳۷۱	 خلاصه‌ای از عملکرد مبدل Push - Pull
۳۷۲	 ۷-۷ مبدل‌های DC-DC نیم پل و تمام پل
۳۷۳	 ۷-۸ مبدل‌های منبع جریان
۳۸۰	 ۷-۹ مبدل با چندین خروجی
۳۸۰	 ۷-۱۰ انتخاب مبدل
۳۸۲	 ۷-۱۱ اصلاح ضریب توان
۳۸۵	 ۷-۱۲ شبیه‌سازی PSPICE منابع تغذیه dc
۳۸۶	 ۷-۱۳ کنترل منبع تغذیه
۳۸۷	 پایداری حلقه کنترل
۳۸۹	 تحلیل سیگنال کوچک
۳۹۰	 تابع انتقال کلید
۳۹۱	 تابع انتقال فیلتر
۳۹۲	 تابع انتقال مدلاسیون پهنای پالس

۳۹۳	تقویت کننده خطا نوع ۲ با جبران سازی
۳۹۷	طراحی تقویت کننده خطای جبران شده نوع ۲
۴۰۲	شبیه سازی PSpice کنترل فیدبک
۴۰۲	تقویت کننده خطای جبران شده نوع ۳
۴۰۵	طراحی تقویت کننده خطای جبران شده نوع ۳
۴۱۱	جایگذاری دستی قطب ها و صفرها در تقویت کننده نوع ۳
۴۱۱	۷-۱۴ مدارهای کنترل PWM
۴۱۲	۷-۱۵ فیلتر خط AC
۴۱۲	۷-۱۶ منبع تغذیه dc کامل
۴۱۵	مراجع
۴۱۶	تمرین ها

فصل ۸: اینورترها

۴۲۳	۸-۱ مقدمه
۴۲۳	۸-۲ مبدل تمام پل
۴۲۵	۸-۳ اینورتر موج مربعی
۴۳۱	۸-۴ تحلیل سری فوریه
۴۳۳	۸-۵ اعوجاج هارمونیک کل
۴۳۴	۸-۶ شبیه سازی PSPICE اینورترهای موج مربعی
۴۳۷	۸-۷ کنترل دامنه و هارمونیک
۴۴۳	۸-۸ اینورتر نیم پل
۴۴۴	۸-۹ اینورترهای چند سطحی
۴۴۴	مبدل های چند سطحی با منابع DC مستقل
۴۵۱	یکسان سازی توان متوسط منبع با الگوی جانشینی
۴۵۳	اینورترهای چند سطحی با دیود کلمپ
۴۵۶	۸-۱۰ خروجی مدوله شده پهنای پالس
۴۵۷	کلیدزنی دو قطبی

۴۵۷	کلیدزنی تک قطبی
۴۶۰	۸-۱۱ ملاحظات و تعاریف PWM
۴۶۱	۸-۱۲ هارمونیک‌های PWM
۴۶۱	کلیدزنی دو قطبی
۴۶۷	کلیدزنی تک قطبی
۴۶۸	۸-۱۳ تقویت کننده‌های صوتی کلاس D
۴۶۹	۸-۱۴ شبیه‌سازی اینورترهای مدوله شده پهنای پالس
۴۶۹	PWM دو قطبی
۴۷۳	PWM تک قطبی
۴۷۶	۸-۱۵ اینورترهای سه فاز
۴۷۶	اینورتر شش پله
۴۸۰	اینورترهای سه فاز PWM
۴۸۱	اینورترهای سه فاز چند سطحی
۴۸۳	۸-۱۶ شبیه‌سازی PSPICE اینورترهای سه فاز
۴۸۳	اینورترهای سه فاز شش پله
۴۸۴	اینورترهای سه فاز PWM
۴۸۵	۸-۱۷ کنترل سرعت موتور القایی
۴۸۷	خلاصه
۴۸۸	مراجع
۴۸۹	تمرین‌ها

فصل ۹: مبدل‌های رزونانسی

۴۹۵	۹-۱ مقدمه
۴۹۶	۹-۲ مبدل‌های کلید رزونانسی
۴۹۶	کلیدزنی جریان صفر
۴۹۶	اساس عملکرد
۵۰۴	۹-۳ مبدل کلید رزونانسی: کلیدزنی ولتاژ صفر

۵۰۴	 اساس عملکرد
۵۱۰	 ولتاژ خروجی
۵۱۳	 ۹-۴ اینورتر رزونانسی سری
۵۱۵	 تلفات کلیدزنی
۵۱۵	 کنترل دامنه
۵۱۹	 ۹-۵ مبدل DC-DC رزونانسی سری
۵۱۹	 اساس عملکرد
۵۱۹	 عملکرد در حالت $\omega_s > \omega_o$
۵۲۷	 عملکرد در حالت $\omega_o/2 < \omega_s < \omega_o$
۵۲۷	 عملکرد در حالت $\omega_s < \omega_o/2$
۵۲۹	 مبدل dc-dc رزونانسی سری تغییر یافته
۵۲۹	 ۹-۶ مبدل dc-dc رزونانسی موازی
۵۳۳	 ۹-۷ مبدل dc-dc سری موازی
۵۳۷	 ۹-۸ مقایسه مبدل‌های رزونانسی
۵۳۷	 ۹-۹ مبدل رزونانسی لینک dc
۵۴۲	 خلاصه
۵۴۳	 مراجع
۵۴۴	 تمرین‌ها

فصل ۱۰: مدارهای راه‌انداز، مدارهای اسنابر و هیتسینک‌ها

۵۴۹	 ۱۰-۱ مقدمه
۵۵۰	 ۱۰-۲ مدارهای راه‌انداز MOSFET و IGBT
۵۵۰	 راه‌اندازهای سمت پایین
۵۵۲	 راه‌اندازهای سمت بالا
۵۵۶	 ۱۰-۳ مدارهای راه‌انداز ترانزیستور دو قطبی
۵۶۱	 ۱۰-۴ مدارهای راه‌انداز ترایستور
۵۶۲	 ۱۰-۵ مدارهای اسنابر ترانزیستور

۵۷۳	۶-۱۰ مدارهای اسنابر بازیابی انرژی
۵۷۴	۷-۱۰ مدارهای اسنابر تریستوری
۵۷۵	۸-۱۰ هیتسینگ ها و مدیریت حرارتی
۵۷۵	دمای حالت پایدار
۵۷۹	دماهای متغیر با زمان
۵۸۳	خلاصه
۵۸۴	مراجع
۵۸۴	تمرین ها
۵۸۹	پیوست الف
۵۹۵	پیوست ب
۶۰۳	واژه نامه
۶۰۹	واژه یاب