

الکترونیک قدرت

مدارها، عناصر و کاربردها

محمد هوشید

دکتر سید ابراهیم افجه‌ای

دکتر سید ابراهیم افجه‌ای

(هیأت علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی)

دکتر علیرضا سیادتان

(هیأت علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی)

نیاز دانش

سرشناسه	: رشید، محمد، ۱۹۴۵ م.	Rashid, Muhammad H
عنوان و نام پدیدآور	: الکترونیک قدرت: مدارها، عناصر و کاربردها/ محمد ه رشید؛ [مترجمان] سید ابراهیم افجه‌ای، علیرضا سیادتان.	
وضعیت ویراست	: ویراست ۴.	
مشخصات نشر	: تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۳.	
مشخصات ظاهری	: ۱۰۲۴ ص.	
شابک	: 978-600-6481-92-0	
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا	
یادداشت	: عنوان اصلی: Power electronics: devices, circuits, and applications..., 4th ed, 2014	
موضوع	: الکترونیک نیرو	
شماره افزوده	: افجه‌ای، ابراهیم، ۱۳۳۰، مترجم.	
شماره اندک	: سیادتان، علیرضا، ۱۳۵۷، مترجم.	
رده‌بندی کنگره	: TK۷۸۸۸۱/۱۵۱ الف ۷۳ ۱۳۹۳	
ردیف دیویی	: ۶۲۱/۳۱۷	
شماره کتابخانه	: ۳۶۴۰۴۴	



نام کتاب	: الکترونیک قدرت (مدارها، عناصر و کاربردها) / ویراست چهارم
نویسنده	: پروفسور محمد ه رشید
برگردان	: دکتر سید ابراهیم افجه‌ای (هیأت علمی دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی) دکتر علیرضا سیادتان (هیأت علمی دانشکده برق کامپیوتر دانشگاه شهید بهشتی)
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
ناشر	: نیاز دانش
صفحه آرا	: واحد تولید انتشارات نیاز دانش
لیتوگرافی / چاپ	: فرانش - گنجینه
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۳
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۳۰۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-6481-92-0

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۱-۹۲-۰

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه‌ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه‌ی کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

تماس با انتشارات: ۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵-۰۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۶۶۴۷۸۱۰۶-۰۲۱

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲-۲۱۰۶۷۰۹

مقدمه مترجمان

شنا و حمد بی پایان خدا را که صفتش در وجود آورد ما را

سپاس خداوندی را است که هر آنچه هست از لطف و رحمت اوست و سلام و صلوات بیکران بر اشرف مخلوقات و سید کائنات و روحانی ما میسر باشد. حضرت محمد مصطفی صلوات الله علیه و آله و خاندان مبارکش.

کتابی که در پیش روی شماست ترجمه کتاب *Power Electronics: Circuits, Devices & Applications* ویرایش چهارم تألیف پروفسور محمد سید ابراهیم دانشگاه پردو امریکا است که یکی از معتبرترین کتاب‌های الکترونیک قدرت به شمار می‌آید. این کتاب در این زمینه نیز مانند اکثر دانشگاه‌های جهان در دوره‌های برق و رشته‌های وابسته تدریس می‌شود و شامل جدیدترین مباحث و زمینه‌های سیستم‌های قدرت است که با مثال‌های متعددی در هر بخش همراه است. در چاپ اخیر این کتاب تغییرات زیادی نسبت به چاپ‌های قبل به وجود آمده است که از جمله‌ی آن می‌توان به بررسی روش‌های جدید مدل‌سازی و از همه مهم‌تر به کارگیری برنامه SPICE در طراحی و تحلیل مدارها اشاره کرد.

لازم به ذکر است که همکاران و دوستان بسیاری ما را در ترجمه‌ی این اثر ارزشمند دادند که از همگی آن‌ها سپاسگزاریم. به خصوص از سرکار خانم فاطمه میرزایی، مهندس محسن محمدی، مهندس وحید عابدی‌فر، مهندس امیر عیسی‌پور معرف، مهندس نسیم رشیدی‌راد، مهندس سید شمس‌الدین، مهندس امیر ایلایفر، مهندس پیمان شیرازی و مهندس ثمین علیپور که در ویرایش این کتاب ما را به نهایت تشکر و قدردانی را داریم.

در ترجمه‌ی کتاب نهایت امانتداری رعایت شده و هیچ بخشی از کتاب حذف نشده است. ضمناً مجموعه‌ای از لغات تخصصی مورد استفاده به همراه ترجمه آنها در انتهای کتاب به صورت پیوست افزوده گردیده است.

در انتها یادآور می‌شود که هرگونه نظر، پرسش، انتقاد و پیشنهادی به جد از سوی مترجمین مورد استقبال قرار خواهد گرفت و در چاپ‌ها و ویرایش‌های آتی لحاظ خواهند شد.

گروه برق - قدرت، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی

سید ابراهیم افجه‌ای (c-afjei@sbu.ac.ir)

علیرضا سیادتان (a_siadatan@sbu.ac.ir)

مقدمه نویسنده

الکترونیک قدرت به عنوان منبع کاملی برای درس الکترونیک قدرت / مبدل‌های قدرت استاتیک برای دانشجویان مهندسی برق و الکترونیک به نگارش درآمده است. این کتاب را می‌توان در سطح کارشناسی ارشد نیز تدریس کرد و حتی برای مهندسانی که در زمینه طراحی و کاربردهای الکترونیک قدرت فعالیت می‌کنند، بسیار مفید است. مطالب این کتاب برای یک ترم بسیار زیاد است، فصل‌های ۱ تا ۱۱ کفایت تا زمینه قوی الکترونیک قدرت را برای دانشجویان ایجاد کند. فصل‌های ۱۲ تا ۱۷ را می‌توان به دانشجویان کارشناسی ارشد و یا به عنوان درس اختیاری در مقطع مهندسی برق درس داد.

الکترونیک قدرت امروزه جایگاه پیشرو را گرفته است که دشوار بتوان تمام مطالب آن را در یک ترم مطرح کرد. اساس الکترونیک قدرت کاملاً جا افتاده است و به سرعت تغییر نمی‌کند. گرچه مشخصه‌های قطعات به طور مستمر در حال بهبود است و قطعات جدیدی به روز ساخته می‌شوند. کتاب الکترونیک قدرت، ابتدا روش‌های تبدیلی مشخصه‌های عناصر و سپس کتاب‌های آنها را توضیح می‌دهد. در جدول P.1 می‌تواند مطالب مربوط به یک ترم درسی را ملاحظه کنید.

جدول P.1 و P.2 موضوعات پیشنهادی برای یک ترم درسی الکترونیک قدرت و راه‌اندازهای موتور

جدول P.1 موضوعات پیشنهادی برای یک ترم درسی الکترونیک قدرت			
فصل	موضوع	بخش	کنفرانس
۱	مقدمه	۱-۱ تا ۱-۱۲	۲
۲	دیودهای قدرتی و یکسوسازها	۱-۲ تا ۱-۲۴، ۲-۶ تا ۲-۱۰	۳
۳	یکسوسازهای دیودی	۱-۳ تا ۱-۱۱	۵
۴	ترانزیستورهای قدرت	۱-۴ تا ۱-۹	۵
۵	چاپرهای DC	۱-۵ تا ۱-۹	۵
۶	مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب	۱-۶ تا ۱-۷	۳
۷	مبدل‌های پالس تشدید	۱-۷ تا ۱-۵	۳
۹	تریستورها	۱-۹ تا ۱-۱۰	۲
۱۰	یکسوسازهای کنترل‌شونده	۱-۱۰ تا ۱-۵	۶
۱۱	کنترل‌کننده‌های ولتاژ متناوب	۱-۱۱ تا ۱-۵	۳
	آزمون میان‌ترم و امتحانات		۳
	آزمون نهایی		۳
	کنفرانس نهایی در یک ترم درسی ۱۵ هفته‌ای		۲۵

جدول P.۲ موضوعات پیشنهادی برای یک ترم درسی الکترونیک قدرت و راهاندازی موتور

فصل	موضوع	بخش	کنفرانس
۱	مقدمه	۱-۱ تا ۱-۱۰	۲
۲	دیودهای قدرتی و یکسوسازها	۱-۲ تا ۷-۲	۲
۳	یکسوسازهای دیودی	۱-۳ تا ۸-۳	۴
۴	ترانزیستورهای قدرت	۱-۴ تا ۸-۴	۱
۵	چاپرهای DC	۱-۵ تا ۸-۵	۴
۱۴	دراپورهای DC	۱-۱۴ تا ۷-۱۴	۵
۶	مبدل های جریان	۱-۶ تا ۱۰-۶	۵
	تریستورها	۱-۹ تا ۶-۹	۱
	مدارهای سه فاز	A	۱
	یکسوسازهای کنترل شونده	۱-۱۰ تا ۷-۱۰	۵
۱۱	کنترل کننده های ولتاژ متناوب	۱-۱۱ تا ۵-۱۱	۲
	مدارهای مغناطیسی	B	۱
۱۵	آزمون مبدل های	۱-۱۵ تا ۹-۱۵	۶
	آزمون مبدل ها و تجهیزات		۳
	آزمون نهایی		۳
۴۵	کنفرانس نهایی در کتاب ترم درسی ۱۵ هفته ای		

این کتاب به پنج بخش تقسیم می شود:

- دیودها و یکسوسازهای قدرت: فصل های ۱ تا ۲
- ترانزیستورهای قدرت و مبدل های DC: فصل های ۳ و ۴
- اینورترها فصل های ۶، ۷ و ۸
- تریستورها و مبدل های تریستوری: فصل های ۹، ۱۰ و ۱۱
- کاربردها و حفاظت الکترونیک قدرت: فصل های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷

مباحثی همچون مدارهای سه فاز، مدارهای مغناطیسی، کلیدزنی مبدل ها، آنالیز گذرای dc و آنالیز فوریه در ضمیمه ها گنجانده شده است. الکترونیک قدرت با کاربردهای الکترونیک قدرت جامد در کنترل و تبدیل توان الکتریکی سرو کار دارد. روش های تبدیل نیاز به خاموش و روشن کردن ضمیمه هادی قدرت دارد. مدارهای الکترونیکی سطح پایین که معمولاً شامل مدارهای مجتمع و قطعات نیمه هادی، سیگنال های روشن کننده مورد نیاز عناصر قدرت را تولید می کند. مدارهای مجتمع و قطعات را در حال جایگزین شدن با میکروپروسورها هستند.

تکنولوژی نیمه هادی های قدرت با سرعت بسیار بالایی در حال ساخت عناصر کلیدزنی قدرت سریعی است که حد جریان ولتاژ بالاتری داشته باشند. عناصر کلیدزنی قدرت از قبیل BJT های قدرت، MOSFET، SIT، SCR، SITH، MCT، JGBT، و دیگر عناصر نیمه هادی در رنج وسیعی از محصولات بکار گرفته می شوند. با رشد تکنولوژی، الکترونیک قدرت کاربردهای متعددی پیدا کرده و قطعات جدید با قابلیت های حرارتی بالا و تلفات کم نیز در حال پیشرفتند. قطعات الکترونیکی SiC دامنه ی ولتاژی وسیعتری داشته، تلفات ولتاژشان کمتر است و رسانایی حرارتی بالاتری دارند. در این کتاب سعی بر این است که تا جای ممکن کاربردهای الکترونیک قدرت پوشش داده شود.

فهرست مطالب

۶۲-..... ۸-۲ مدل SPICE دیود

۶۳-..... ۹-۲ دیودهای اتصال سری

۶۷-..... ۱۰-۲ دیودهای اتصال موازی

۶۸-..... ۱۱-۲ دیودهای با بار RC

۷۵-..... ۱۲-۲ دیود با بار RL

۷۲-..... ۱۳-۲ دیود با بار LC

۷۴-..... ۱۴-۲ دیود با بار RLC

۷۹-..... ۱۵-۲ دیودهای هرزگره با بار RI

۸۱-..... ۱۶-۲ آزادسازی انرژی ذخیره شده با استفاده از دیود

فصل ۳ یکسوسازهای دیودی ۹۳

۳- مقدمه ۹۳

۱- پارامترهای کارایی ۹۴

۳-۲- یکسوسازهای تمام موج تکفاز ۹۵

۴- یکسوساز تمام موج تکفاز با بار RL ۹۹

۵-۲- یکسوساز تمام موج تکفاز با بار سلفی بالا ۱۰۴

۳-۶- یکسوساز تمام موج تکفاز با بار سلفی پایین ۱۰۷

۳-۷- یکسوسازی پهنای باند ۱۱۱

۳-۸- یکسوساز پل ۱۱۴

۳-۹- یکسوساز سه فاز با بار سلفی بالا ۱۱۸

۳-۱۰- مقایسه یکسوساز دیود و ترانزیستور ۱۲۰

۳-۱۱- طراحی مدار یکسوساز ۱۲۱

۳-۱۲- ولتاژ خروجی با فیلتر LC ۱۳۲

۳-۱۳- اثرات اندوکتانس های منبع و بار ۱۳۵

۳-۱۴- ملاحظات عملی برای انتخاب سلف ها و خازن ها ۱۳۸

۳-۱۴-۱- خازن های فیلم AC ۱۳۸

۳-۱۴-۲- خازن های سرامیکی ۱۳۹

۳-۱۴-۳- خازن های الکترولیتی آلومینیوم ۱۳۹

۳-۱۴-۴- خازن های تانتالوم جامد ۱۴۰

۳-۱۴-۵- سه بار خازن ها ۱۴۰

فصل مقامہ ۱۵

۱-۱ بردها، الکترونیک قدرت ۱۶

۲-۱ تاریخ الکترونیک قدرت ۱۸

۳-۱ انواع مدارهای الکترونیک قدرت ۱۹

۴-۱ طراحی وسایل الکترونیک قدرت ۲۴

۵-۱ تعیین مقادیر ریسورسها در مدارهای الکترونیک قدرت ۲۶

۶-۱ اثرات جانبی ۲۶

۷-۱ ویژگی‌ها و مشخصات کلید ۲۸

۷-۱-۱ ویژگی‌های ایده‌آل ۲۹

۷-۱-۲ ویژگی‌های قطعات عملی ۲۹

۸-۱ عناصر نیمه‌هادی قدرت ۳۳

۹-۱ مشخصه‌های کنترل عناصر قدرت ۳۳

۱۰-۱ انتخاب قطعه ۴۱

۱۱-۱ بخش‌های قدرت ۴۲

۱۲-۱ بخش‌های هوشمند ۴۲

۱۳-۱ محلات و کنفرانس‌های الکترونیک قدرت ۴۴

بخش دیودهای قدرتی و یکسوسازها

فصل ۲ دیودهای قدرتی و مدارهای RLC ۴۹

۱-۲ مقدمه
۲-۲ اصول اولیه‌ی نیمه‌هادی
۳-۲ مشخصه‌های دیود
۴-۲ مشخصه‌های بازایی معکوس
۵-۲ انواع دیودهای قدرت
۶-۲ ۱-۵-۲ دیودهای همه‌منظوره
۷-۲ ۲-۵-۲ دیودهای بازایی سریع
۸-۲ ۳-۵-۲ دیودهای شاتکی
۹-۲ ۶-۲ دیودهای کاربرد سیلیکون
۱۰-۲ ۷-۲ دیودهای شاتکی کاربرد سیلیکون

بخش ۱ ترانزیستورهای قدرت و

مبدل‌های DC به DC

فصل ۴ ترانزیستورهای قدرت

۱-۴	مقدمه
۱۴۸	۲-۴ ترانزیستورهای کاربید سیلیکون
۱۴۹	۳-۴ MOSFET‌های قدرت
۱۵۰	۱-۳-۴ مشخصه‌های حالت پایدار
۱۵۳	۲-۳-۴ مشخصه‌های کلیدزنی
۱۵۶	۳-۴ MOSFET‌های کاربید سیلیکون
۱۵۷	۴-۴ COOLMOS
۱۶۰	۱-۴ ترانزیستورهای پیوندی اثر میدانی (FETها)
۱۶۲	۱-۵-۴ عملکرد ترانزیستورهای FETها
۱۶۲	۲-۵-۴ ساختارهای T
۱۶۵	۶-۴ ترانزیستورهای پیوندی
۱۶۸	۱-۶-۴ مشخصه‌های حالت پایدار
۱۶۹	۲-۶-۴ مشخصه‌های کلیدزنی
۱۷۳	۳-۶-۴ محدودیت‌های کلیدزنی
۱۷۹	۴-۶-۴ BJT‌های کاربید سیلیکون
۱۸۰	۷-۴ IGBTها
۱۸۱	۱-۷-۴ IGBT‌های کاربید سیلیکون
۱۸۱	۸-۴ SITها
۱۸۱	۹-۴ مقایسه ترانزیستورها
۱۸۶	۱۰-۴ Derating توان ترانزیستورهای قدرت
۱۹۰	۱۱-۴ محدودیت‌های dv/dt و di/dt
۱۹۳	۱۲-۴ عملکرد سری و موازی
۱۹۴	۱۳-۴ مدل‌های SPICE
۱۹۴	۱-۱۳-۴ مدل BJT SPICE
۱۹۶	۲-۱۳-۴ مدل MOSFET SPICE
۱۹۸	۳-۱۳-۴ مدل IGBT SPICE
۲۰۰	۱۴-۴ راه‌اندازی گیت MOSFET
۲۰۱	۱۵-۴ راه‌اندازی گیت JFET
۲۰۳	۱۶-۴ راه‌اندازی بیس BJT
۲۰۷	۱۷-۴ جداسازی راه‌اندازهای بیس و گیت
۲۰۹	۱-۱۷-۴ ترانسفورماتورهای پالس
۲۰۹	۲-۱۷-۴ اپتوکوپلرها
۲۱۰	۱۸-۴ IC‌های راه‌انداز گیت

فصل ۵ چاپرهای DC

۲۲۱	۱-۵ مقدمه
۲۲۲	۲-۵ پارامترهای عملکرد چاپرهای DC-DC

بخش ۲ اینورترها

فصل ۶ مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب

۲۹۵	۱-۶ مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب
۲۹۶	۲-۶ اینورترهای تک فاز
۲۹۷	۳-۶ اینورترهای دو فاز
۲۹۹	۴-۶ اینورترهای سه فاز
۳۰۲	۵-۶ اینورترهای چهار فاز
۳۰۸	۱-۵-۶ هدایت درجه
۳۱۱	۲-۵-۶ هدایت ۱۲۰ درجه
۳۱۸	۳-۵-۶ هدایت ۱۲۰ درجه
۳۲۰	۶-۶ کنترل ولتاژ اینورترهای تک فاز
۳۲۱	۱-۶-۶ مدولاسیون پهنای پالس
۳۲۴	۲-۶-۶ مدولاسیون پهنای پالس سینوسی
۳۲۷	۳-۶-۶ مدولاسیون پهنای پالس سینوسی بهبود یافته
۳۲۸	۴-۶-۶ کنترل جابه‌جایی فاز
۳۳۱	۷-۶ کنترل ولتاژ اینورترهای سه فاز
۳۳۱	۱-۷-۶ مدولاسیون پهنای پالس سینوسی
۳۳۴	۲-۷-۶ مدولاسیون پهنای پالس ۶۰ درجه
۳۳۶	۳-۷-۶ مدولاسیون پهنای پالس هارمونیک سوم
۳۳۷	۴-۷-۶ مدولاسیون بردار فضایی

۴۴۵	۶-۱ اصول کارایی	۳۴۹	۶-۵ مقایسه تکنیک‌های PWM
۴۴۶	۶-۲ ویژگی‌های اینورتر آشناری	۳۵۰	۶-۸ کاهش هارمونیک
۴۴۹	۸-۷ کاربردها	۳۵۴	۶-۹ اینورترهای منبع جریانی
۴۴۹	۸-۷-۱ جبران توان راکتیو	۳۵۸	۶-۱۰ اینورتر اتصال dc متغیر
۴۵۰	۸-۷-۲ اتصال‌دهنده داخلی پشت به پشت	۳۵۸	۶-۱۱ اینورتر بوست
۴۵۱	۸-۷-۳ درایوهای سرعت قابل تنظیم	۳۶۳	۶-۱۲ طراحی مدار اینورتر
۴۵۱	۸-۸ جریان‌های قطعات کلیدزنی		
۴۵۳	۸-۹ خازن اتصال DC متعادل‌کننده ولتاژ	فصل ۷ مبدل‌های پالس تشدید	
۴۵۴	۸-۱۰ ویژگی‌های اینورتر چندسطحی	۳۷۷	۷-۱ مقدمه
۴۵۵	۸-۱۱ مقایسه اینورترهای چندسطحی	۳۷۷	۷-۲ اینورترهای تشدید سری
		۳۷۸	۷-۲-۱ اینورترهای تشدید سری با کلیدهای یک‌سویه
		۳۸۷	۷-۲-۲ اینورترهای تشدید سری با کلیدهای دوسویه
		۳۹۴	۷-۳ پاسخ فرکانسی اینورترهای تشدید سری
		۳۹۴	۷-۳-۱ پاسخ فرکانسی برای بارهای مقاوم
		۳۹۶	۷-۳-۲ پاسخ فرکانسی برای بارهای القایی
		۳۹۸	۷-۳-۳ پاسخ فرکانسی برای بارهای خازنی
		۴۰۰	۷-۴ اینورترهای با تشدید موازی
		۴۰۳	۷-۵ کنترل ولتاژ اینورترهای تشدید
		۴۰۳	۷-۶ اینورتر تشدید کلاس E
		۴۰۳	۷-۷ یکسوکننده تشدید کلاس E
		۴۱۰	۷-۸ مبدل‌های تشدید کلیدزنی جریان صفر
		۴۱۴	۷-۸-۱ مبدل‌های تشدید ZCS نوع L
		۴۱۶	۷-۸-۲ اینورتر تشدید ZCS نوع M
		۴۱۸	۷-۹ مبدل‌های تشدید کلیدزنی ولتاژ صفر
		۴۱۸	۷-۱۰ مقایسه میان مبدل‌های ZCS و مبدل‌های تشدید کلید زنی ولتاژ صفر
		۴۲۱	۷-۱۱ مبدل‌های تشدید کلیدزنی ولتاژ صفر دو ربعی
		۴۲۵	۷-۱۲ اینورترهای تشدید اتصال DC
		فصل ۸ اینورترهای چندسطحی	
		۴۳۳	۸-۱ مقدمه
		۴۳۳	۸-۲ مفهوم چندسطحی
		۴۳۵	۸-۳ انواع اینورترهای چندسطحی
		۴۳۶	۸-۴ اینورتر چندسطحی برش دیودی
		۴۳۷	۸-۴-۱ اصول کار
		۴۳۸	۸-۴-۲ ویژگی‌های اینورتر برش دیودی
		۴۳۹	۸-۴-۳ اینورتر دیود برشی بهبود یافته
		۴۴۲	۸-۵ اینورتر چندسطحی خازن شناور
		۴۴۳	۸-۵-۱ اصول کارکرد
		۴۴۴	۸-۵-۲ ویژگی‌های اینورتر خازن شناور
		۴۴۵	۸-۶ اینورترهای چندسطحی آشناری
بخش ۹ ترستورها و مبدل‌های ترستوری			
فصل ۹ ترستورها			
۴۵۹	۹-۱ مقدمه		
۴۶۰	۹-۲ مشخصات ترستور		
۴۶۳	۹-۳ مدل دوترانزیستوری ترستور		
۴۶۵	۹-۴ روشن کردن ترستور		
۴۶۷	۹-۵ خاموش کردن ترستور		
۴۶۹	۹-۶ انواع ترستورها		
۴۷۰	۹-۶-۱ ترستورهای کنترل فاز		
۴۷۰	۹-۶-۲ ترستورهای کنترل فاز دوجته		
۴۷۱	۹-۶-۳ ترستورهای نامتقارن کلیدزنی سریع		
۴۷۱	۹-۶-۴ ترستورهای کنترل شده سیلیکونی		
۴۷۲	۹-۶-۵ ترستورهای کنترل شده با نور		
۴۷۲	۹-۶-۶ ترستورهای دوجته با تریاک		
۴۷۳	۹-۶-۷ ترستورهای هدایت معکوس		
۴۷۴	۹-۶-۸ ترستورهای کنترل شده با گیت		
۴۷۸	۹-۶-۹ ترستورهای کنترل شده با FET		
۴۷۹	۹-۶-۱۰ ترستورهای خاموش‌شونده با (MTOs)		
۴۸۰	۹-۶-۱۱ ترستورهای خاموش‌شونده با (MTOs)		
۴۸۰	۹-۶-۱۲ ترستورهای خاموش‌شونده با (MTOs)		
۴۸۲	۹-۶-۱۳ ترستورهای کنترل شده از نوع (MCT)		
۴۸۳	۹-۶-۱۴ ترستورهای کنترل شده از نوع (MCT)		
۴۸۶	۹-۶-۱۵ ترستورهای القا استاتیک		
۴۸۷	۹-۶-۱۶ مقایسه ترستورها		
۴۹۲	۹-۷ عملکرد سری ترستورها		
۴۹۶	۹-۸ عملکرد موازی ترستورها		
۴۹۶	۹-۹ حفاظت در برابر di/dt		
۴۹۷	۹-۱۰ حفاظت در برابر dv/dt		
۴۹۹	۹-۱۱ مدل SPICE ترستورها		

۶۱۳ اثرات اندوکتانس‌های منبع و بار

بخش حفاظت‌ها و کارایی‌های الکترونیک قدرت

فصل ۱۲ سیستم‌های انعطاف‌پذیر انتقال

۶۲۱	ولتاژ متناوب AC
۶۲۲	۱-۱۲ مقدمه
۶۲۳	۲-۱۲ قاعده کلی انتقال توان
۶۲۵	۳-۱۲ قاعده کلی جبران‌سازی شنت
۶۲۷	۴-۱۲ جبران‌سازهای شنت
۶۲۷	۱-۴-۱۲ راکتور ترستوری کنترل شده
۶۲۸	۲-۴-۱۲ خازن ترستوری کلیدی
۶۳۱	۳-۴-۱۲ جبران‌ساز استاتیکی VAR
۶۳۲	۴-۴-۱۲ جبران‌ساز استاتیکی پیشرفته VAR
۶۳۳	۵-۱۲ قاعده کلی جبران‌سازی سری
۶۳۵	۶-۱۲ جبران‌سازهای سری
۶۳۶	۱-۶-۱۲ خازن ترستوری کلیدی سری
۶۳۷	۲-۶-۱۲ خازن کنترل شده ترستوری سری
۶۳۷	۳-۶-۱۲ خازن کنترل شده سری با کموتاسیون اجباری
۶۳۹	۴-۶-۱۲ جبران‌ساز VAR استاتیکی سری
۶۴۰	۵-۶-۱۲ SSVVC پیشرفته
۶۴۱	۷-۱۲ قاعده اصلی جبران‌سازی زاویه فاز
۶۴۴	۸-۱۲ جبران‌ساز زاویه فاز
۶۴۶	۱-۱۲ کنترل‌کننده یکپارچه شار توان
۶۴۶	۵-۱۲ کنترل‌کننده جبران‌سازها

فصل ۱۳ منبع تغذیه

۶۵۱	۱-۱۳ مقدمه
۶۵۱	۲-۱۳ منابع تغذیه DC
۶۵۲	۱-۲-۱۳ منابع تغذیه dc در حالت
۶۵۳	۲-۲-۱۳ مبدل فلای بک
۶۵۷	۳-۲-۱۳ مبدل مستقیم
۶۶۲	۴-۲-۱۳ مبدل پوش‌پول
۶۶۴	۵-۲-۱۳ مبدل نیمه پل
۶۶۷	۶-۲-۱۳ مبدل تمام پل
۶۷۰	۷-۲-۱۳ منابع تغذیه DC تشدید شده
۶۷۰	۸-۲-۱۳ منابع تغذیه دوسویه
۶۷۲	۳-۱۳ منابع تغذیه AC
۶۷۴	۱-۳-۱۳ منابع تغذیه ac تغییر حالتی
۶۷۴	۲-۳-۱۳ منابع تغذیه ac تشدید

۴۹۹	۱-۱۱-۹ مدل SPICE ترستور
۵۰۱	۲-۱۱-۹ مدل SPICE برای GTO
۵۰۳	۳-۱۱-۹ مدل SPICE برای MCT
۵۰۴	۴-۱۱-۹ مدل SPICE برای SITH
۵۰۵	۱۲-۹ DIAC ها
۵۰۶	۱۳-۹ مدارهای آتش ترستور
۵۰۹	۱۴-۹ ترانزیستورهای تک‌پیوندی
۵۱۲	۱۵-۹ ترانزیستور تک‌پیوندی قابل برنامه‌ریزی

فصل ۱۰ یکسوسازهای کنترل شونده

۵۲۱	۱-۱۰ مقدمه
۵۲۲	۲-۱۰ مبدل‌های کامل تک فاز
۵۲۲	۱-۱۰ مبدل کامل تکفاز با بار RL
۵۲۶	۳-۱۰ مبدل‌های دوتایی‌فاز
۵۲۹	۴-۱۰ مبدل‌های کامل سه فاز
۵۳۲	۱-۴-۱۰ مبدل کامل سه فاز با بار RL
۵۳۶	۵-۱۰ مبدل‌های دوتایی‌فاز
۵۳۸	۶-۱۰ کنترل مدولاسیون پهنای پالس
۵۴۱	۱-۶-۱۰ کنترل PWM
۵۴۲	۲-۶-۱۰ PWM سینوسی تکفاز
۵۴۴	۳-۶-۱۰ یکسوساز PWM سه فاز
۵۴۶	۷-۱۰ مبدل‌های سری تکفاز
۵۴۶	۸-۱۰ مبدل‌های دوازده پالسی
۵۵۰	۹-۱۰ طراحی مدارهای مبدل
۵۶۰	۱۰-۱۰ اثرات اندوکتانس منبع و بار

فصل ۱۱ کنترل‌کننده‌های ولتاژ متناوب

۵۷۱	۱-۱۱ مقدمه
۵۷۲	۲-۱۱ پارامترهای عملکرد کنترل‌کننده ولتاژ متناوب
۵۷۳	۳-۱۱ کنترل‌کننده‌های دوسویه تکفاز با بار مقاومتی
۵۷۴	۴-۱۱ کنترل‌کننده‌های تکفاز با بار سلفی
۵۷۷	۵-۱۱ کنترل‌کننده تمام موج
۵۸۲	۶-۱۱ کنترل‌کننده‌های دوسویه سه فاز با اتصال مثلث
۵۸۶	۷-۱۱ عوض‌کننده سر وسط ترانسفورماتور تکفاز
۵۹۰	۸-۱۱ سیکلوکانورترها
۵۹۵	۱-۸-۱۱ سیکلوکانورترهای تکفاز
۵۹۶	۲-۸-۱۱ سیکلوکانورترهای سه‌فاز
۵۹۹	۳-۸-۱۱ کاهش هارمونیک‌های خروجی
۶۰۰	۹-۱۱ کنترل‌کننده‌های ولتاژ متناوب با کنترل PWM
۶۰۲	۱۰-۱۱ مبدل ماتریسی
۶۰۳	۱۱-۱۱ طراحی مدارهای کنترل‌کننده ولتاژ متناوب

۷۴۲	۸-۷-۱۴ طراحی کنترلر سرعت
۷۴۶	۹-۷-۱۴ درایو تغذیه شده با چایر
۷۴۷	۱۰-۷-۱۴ کنترل حلقه فاز قفل شده
۷۴۹	۱۱-۷-۱۴ کنترل میکرو کامپیوتری درایوهای DC
۷۵۹	فصل ۱۵ درایوهای AC
۷۶۰	۱-۱۵ مقدمه
۷۶۰	۲-۱۵ درایو موتور القایی
۷۶۳	۱-۲-۱۵ مشخصات کارایی
۷۶۵	۲-۲-۱۵ مشخصه گشتاور سرعت
۷۷۰	۳-۲-۱۵ کنترل ولتاژ استاتور
۷۷۵	۴-۲-۱۵ کنترل ولتاژ روتور
۷۸۳	۵-۲-۱۵ کنترل فرکانس
۷۸۶	۶-۲-۱۵ کنترل ولتاژ فرکانس
۷۹۱	۷-۲-۱۵ کنترل جریان
۷۹۶	۸-۲-۱۵ کنترل سرعت لغزش ثابت
۷۹۷	۹-۲-۱۵ کنترل ولتاژ، جریان و فرکانس
۷۹۹	۳-۱۵ کنترل مدار بسته موتورهای القایی
۸۰۲	۴-۱۵ دیمانسسیون متغیرهای کنترل
۸۰۴	۵-۱۵ کنترل‌های برداری
۸۰۵	۱-۱۵ اصول کلی کنترل برداری
۸۰۶	۲-۵ تبدیل محور مستقیم و متعامد
۸۱۲	۳-۵ کنترل برداری غیر مستقیم
۸۱۵	۴-۵ کنترل دار مستقیم
۸۱۷	۶-۱۵ موتور سنکرون
۸۱۸	۱-۶-۱۵ موتور بلوک با ولتاژ استوانه‌ای
۸۲۱	۲-۶-۱۵ موتورهای قفل شده
۸۲۳	۳-۶-۱۵ موتورهای سنکرون
۸۲۴	۴-۶-۱۵ موتورهای رلوکتانس متغیر
۸۲۴	۵-۶-۱۵ موتورهای با آهنربای دائم
۸۲۹	۶-۶-۱۵ کنترل حلقه بسته موتور سنکرون
۸۳۰	۷-۶-۱۵ درایوهای موتور AC و DC بدون جاروبک
۸۳۲	۷-۱۵ طراحی کنترلر سرعت برای درایوهای PMSM
۸۳۲	۱-۷-۱۵ بلوک دیاگرام سیستم
۸۳۴	۲-۷-۱۵ حلقه جریان
۸۳۵	۳-۷-۱۵ کنترلر سرعت
۸۳۹	۸-۱۵ کنترل موتور پله‌ای
۸۳۹	۱-۸-۱۵ موتورهای پله‌ای رلوکتانس متغیر
۸۴۲	۲-۸-۱۵ موتورهای پله‌ای آهنربای دائم
۸۴۵	۹-۱۵ موتورهای القایی خطی
۸۴۸	۱۰-۱۵ ولتاژ بالا برای درایو موتورها

۶۷۵	۳-۳-۱۳ منابع تغذیه ac دوسویه
۶۷۶	۴-۱۳ تبدیلات چندمرحله‌ای
۶۷۶	۵-۱۳ مدارهای کنترلی
۶۷۹	۶-۱۳ ملاحظات طراحی مغناطیسی
۶۷۹	۱-۶-۱۳ طراحی ترانسفورماتور
۶۸۴	۲-۶-۱۳ تلف DC
۶۸۶	۳-۶-۱۳ اشباع مغناطیسی

۶۹۳	فصل ۱۶ درایوهای DC
۶۹۴	۱-۱۶ مقدمه
۶۹۵	۲-۱۶ مشخصات اصلی موتورهای DC
۶۹۵	۱-۲-۱۶ موتور DC تحریک جداگانه
۶۹۸	۲-۲-۱۶ موتور تحریک سری
۷۰۰	۳-۲-۱۶ نسبت چرخش
۷۰۲	۳-۱۶ حالت‌های کاری
۷۰۴	۴-۱۶ درایوهای تکفاز
۷۰۶	۱-۴-۱۶ درایوهای با مبدل نیمه سلف
۷۰۷	۲-۴-۱۶ درایوهای با مبدل کامل تکفاز
۷۰۷	۳-۴-۱۶ درایوهای مبدل دوگانه تکفاز
۷۱۱	۵-۱۶ درایوهای سه فاز
۷۱۱	۱-۵-۱۶ درایوهای مبدل نیمه سه فاز
۷۱۱	۲-۵-۱۶ درایوهای مبدل کامل سه فاز
۷۱۳	۳-۵-۱۶ درایوهای با مبدل دوگانه سه فاز
۷۱۶	۶-۱۶ درایوهای چایر
۷۱۶	۱-۶-۱۶ اساس کنترل توان
۷۱۸	۲-۶-۱۶ اساس کنترل ترمز مولدی
۷۲۱	۳-۶-۱۶ اساس کنترل ترمز رئوستائی
۷۲۱	۴-۶-۱۶ اصول کنترل ترمز ترکیبی مولدی و رئوستائی
۷۲۲	و رئوستائی
۷۲۳	۵-۶-۱۶ درایوهای چایر دو چهار ربعی
۷۲۴	۶-۶-۱۶ چایرهای چندفاز
۷۲۷	۷-۱۶ کنترل حلقه بسته درایوهای DC
۷۲۷	۱-۷-۱۶ تابع انتقال حلقه باز
۷۲۷	۲-۷-۱۶ تابع انتقال حلقه باز موتورهای تحریک جداگانه
۷۲۸	۳-۷-۱۶ تابع انتقال حلقه باز موتورهای تحریک سری
۷۳۱	۴-۷-۱۶ مدل‌های کنترل مبدل
۷۳۲	۵-۷-۱۶ تابع انتقال حلقه بسته
۷۳۴	۶-۷-۱۶ کنترل جریان حلقه بسته
۷۳۷	۷-۷-۱۶ کنترلر جریان
۷۴۱	۷-۷-۱۶ طراحی کنترلر جریان

۳-۸-۱۶ سلول‌های سوختی با غشای الکترولیت

۹۱۵	پلیمری
۹۱۱	۴-۸-۱۶ سلول‌های سوختی متانول - مستقیم
۹۱۲	۵-۸-۱۶ سلول‌های سوختی قلبیایی
۹۱۳	۶-۸-۱۶ سلول‌های سوختی فسفریک اسید
۹۱۵	۷-۸-۱۶ سلول‌های سوختی کربنات ذوب‌شده
۹۱۶	۸-۸-۱۶ سلول‌های سوختی اکسید جامدی
۹۱۶	۹-۸-۱۶ فرآیندهای الکتریکی و گرمایی
۹۱۷	سلول‌های سوختی
۹۲۵	۹-۱۶ انرژی زمین‌گرمایی
۹۲۱	۱۰-۱۶ انرژی زیست‌توده

فصل ۱۶ مقدمای بر انرژی‌های تجدیدپذیر ۸۶۱

۸۶۲	۱-۱۶ مقدمه
۸۶۳	۲-۱۶ انرژی و توان
۸۶۴	۳-۱۶ سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر
۸۶۵	۱-۳-۱۶ توربین
۸۶۶	۲-۳-۱۶ سیکل حرارتی
۸۶۸	۴-۱۶ سیستم‌های انرژی خورشیدی
۸۶۸	۱-۴-۱۶ انرژی خورشیدی
۸۷۱	۲-۴-۱۶ فتوولتائیک
۸۷۱	۳-۴-۱۶ سلول‌های فوتوولتائیک
۸۷۲	۱-۴-۱۶ مدل‌های PV
۸۷۸	۵-۴-۱۶ سیستم‌های فوتوولتائیک
۸۸۱	۵-۱۶ انرژی بادی
۸۸۲	۱-۵-۱۶ توربین‌های بادی
۸۸۳	۲-۵-۱۶ توان بادی
۸۸۵	۳-۵-۱۶ کنترل سرعت بادی
۸۸۶	۴-۵-۱۶ منحنی توان
۸۸۸	۵-۵-۱۶ سیستم‌های انرژی بادی
۸۹۰	۶-۵-۱۶ ژنراتورهای القایی دواربر تغذیه شده
۸۹۱	۷-۵-۱۶ ژنراتورهای القایی قفس سنج
۸۹۱	۸-۵-۱۶ ژنراتورهای سنکرون
۸۹۱	۹-۵-۱۶ ژنراتور سنکرون آهترای دائم
۸۹۱	۱۰-۵-۱۶ ژنراتور رلکتانس متغیر
۸۹۴	۱۱-۵-۱۶ مقایسه پیکره‌بندی‌های توانی
۸۹۴	توربین‌های بادی
۸۹۵	۶-۱۶ انرژی اقیانوس
۸۹۵	۱-۶-۱۶ انرژی موج
۸۹۶	۲-۶-۱۶ مکانیزم تولید موج
۸۹۷	۳-۶-۱۶ توان موج
۸۹۹	۴-۶-۱۶ انرژی جذرومد
۹۰۲	۵-۶-۱۶ تبدیل انرژی گرمایی اقیانوس
۹۰۲	۷-۱۶ انرژی برق‌آبی
۹۰۳	۱-۷-۱۶ برق‌آبی مقیاس بزرگ
۹۰۳	۲-۷-۱۶ برق‌آبی مقیاس کوچک
۹۰۶	۸-۱۶ سلول‌های سوختی
۹۰۸	۱-۸-۱۶ تولید هیدروژن و سلول‌های سوختی
۹۰۹	۲-۸-۱۶ انواع سلول‌های سوختی

فصل ۱۷ محافظت از قطعات و مدارها ۹۲۹

۹۲۹	۱-۱۷ مقدمه
۹۳۵	۲-۱۷ خنک‌سازی و گرماگیرها
۹۳۶	۳-۱۷ مدلسازی حرارتی قطعات قدرتی کلیدزنی
۹۳۶	۱-۳-۱۷ مدل حرارتی هم ارز الکتریکی
۹۳۷	۲-۳-۱۷ مدار هم ارز حرارتی ریاضیاتی
۹۳۷	۳-۳-۱۷ جفت کردن یا کوپلینگ مؤلفه‌های الکتریکی و حرارتی
۹۴۱	۴-۱۷ مدارهای استایر
۹۴۲	۵-۱۷ سیگنال‌های گذرای بازایی معکوس
۹۴۸	۶-۱۷ سیگنال‌های گذرای سمت بار و منبع
۹۴۸	۷-۱۷ حفاظت ولتاژ با دیودهای سلنیوم و
۹۵۱	۸-۱۷ مقاومت‌های متغیر اکسید فلزی
۹۵۳	۱-۱۷ حفاظت جریان
۹۵۳	۲-۱۷ استفاده از شوژ
۹۵۷	۲-۸-۱۷ حفاظت با منبع AC
۹۵۸	۳-۸-۱۷ جریان اتصال به زمین
۹۶۱	۹-۱۷ تداخل الکتریکی
۹۶۲	۱-۹-۱۷ منابع EMI
۹۶۲	۲-۹-۱۷ به حداقل رساندن تولید EMI
۹۶۳	۳-۹-۱۷ شیلد کردن EMI
۹۶۳	۴-۹-۱۷ استانداردهای EMI
۹۷۱	پیوستها
۱۰۰۳	پاسخ مسائل
۱۰۲۱	واژه‌نامه