

الكترونيک قدرت

مدارها، عناصر و کاربردها

محمد ه رشید

ویراست چهارم

دکتر سید ابراهیم افجهای

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

دکتر علیرضا سیادت‌دان

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

نیاز دانش

تقدیم به:

تمامی دانشجویان و مهندسان برق

مقدمه مترجمان

شناو حربی پایان خدرا که صنعت در وجود آوردمارا پیش

سپاس خداوندی را سزاست که هر آنچه هست از لطف و رحمت اوست و سلام و صلوات بیکران بر اشرف مخلوقات و سید کائنات وجود مقدس پیامبر خاتم حضرت محمد مصطفی صلوات الله علیه و آله و خاندان مبارکش.

کتابی که در پیش روی شما است ترجمه کتاب Power Electronics: Circuits, Devices & Applications ویرایش چهارم تالیف پروفسور محمد رشید استاد دانشگاه پُردو امریکا است که یکی از معتبرترین کتاب‌های الکترونیک قدرت به شمار می‌آید. این کتاب در ایران نیز مانند اکثر دانشگاه‌های جهان در دوره‌های برق و رشته‌های وابسته تدریس می‌شود و شامل جدیدترین مباحث در زمینه‌ی 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 مدولاسیون 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 یاری دادند که از همگی آن‌ها سپاسگزاریم. به خصوص از سرکار خانم فاطمه میرزاچی، مهندس محمد‌مهدی محمودی، مهندس وحید عابدی‌فر، مهندس امیر عیسی‌پور معرف، مهندس نسیم رشیدی‌راد، مهندس سروش صادق بیان، مهندس امیر ایلیافر، مهندس پیمانه شیرازی و مهندس ثمین علیپور که در ویرایش این کتاب ما را یاری دادند، 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 خواهد شد.

گروه برق - قدرت، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهرد بهشتی
سید ابراهیم افجه‌ای (e-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 کافیست تا زمینه قوی الکترونیک قدرت را در دانشجویان ایجاد کند. فصل‌های ۱۲ تا ۱۷ را می‌توان به دانشجویان کارشناسی ارشد و یا به عنوان درس اختیاری در سال آخر مهندسی برق درس داد.

الکترونیک قدرت امروزه تا جایی پیشرفت کرده است که دشوار بتوان تمام مطلب 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 جدید روز به روز ساخته می‌شوند. کتاب الکترونیک قدرت، ابتدا روش‌های تبدیل مشخصه‌های عناصر و سپس کاربرد 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	۱۲-۱	۲
۲	دیودهای قدرتی و یکسوسازها	۱-۲	۳
۳	یکسوسازهای دیودی	۱۱-۳	۵
۴	ترانزیستورهای قدرت	۹-۴	۳
۵	چاپرهای DC	۹-۵	۵
۶	مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب	۷-۶	۷
۷	مبدل‌های پالس تشید	۵-۷	۳
۹	تریستورها	۱۰-۹	۲
۱۰	یکسوسازهای کنترل شونده	۱-۱۰	۶
۱۱	کنترل کننده‌های ولتاژ متناوب	۱-۱۱	۳
	آزمون میان‌ترم و امتحانات		۳
	آزمون نهایی		۴۵
	کنفرانس نهایی در یک ترم درسی ۱۵ هفته‌ای		

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

فصل	موضوع	بخش	کنفرانس
۱	مقدمه	۱۰-۱ تا ۱-۱	۲
۲	دیودهای قدرتی و یکسوسازها	۷-۲ تا ۱-۲	۲
۳	یکسوسازهای دیودی	۸-۳ تا ۱-۳	۴
۴	ترانزیستورهای قدرت	۸-۴ تا ۱-۴	۱
۵	چاپرهای DC	۸-۵ تا ۱-۵	۴
۱۴	درایورهای DC	۷-۱۴ تا ۱-۱۴	۵
۶	مبدل‌های جریان	۱۰-۶ تا ۱-۶	۵
۷	تریستورها	۶-۹ تا ۱-۹	۱
پیوست	مدارهای سه‌فاز	A	۱
۱۰	یکسوسازهای کنترل‌شونده	۷-۱۰ تا ۱-۱۰	۵
۱۱	کنترل کننده‌های ولتاژ متناوب	۵-۱۱ تا ۱-۱۱	۲
پیوست	مدارهای مغناطیسی	B	۱
۱۵	درایورهای AC	۹-۱۵ تا ۱-۱۵	۶
آزمون میان‌ترم و امتحانات			۳
آزمون نهایی			۳
کنفرانس نهایی در یک ترم درسی ۱۵ هفته‌ای			۴۵

این کتاب به پنج بخش تقسیم می‌شود:

- دیودها و یکسوسازهای قدرت فصل‌های ۲ و ۳
- ترانزیستورهای قدرت و مبدل‌های DC-DC فصل‌های ۴ و ۵
- اینورترها فصل‌های ۶، ۷ و ۸
- تریستورها و مبدل‌های تریستوری فصل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱
- کاربردها و حفاظت الکترونیک قدرت فصل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶ و ۱۷

مباحثی همچون مدارهای سه‌فاز، مدارهای مغناطیسی، کلیدزنی مبدل‌ها، آنالیز گذراي dc و آنالیز فوريه در ضمیمه‌ها گنجانده شده است. الکترونیک قدرت با کاربردهای الکترونیک حالت جامد در کنترل و تبدیل توان الکتریکی سرو کار دارد. روش‌های تبدیل نیاز به خاموش و روشن کردن عناصر نیمه‌هادی قدرت دارد. مدارهای الکترونیکی سطح پایین که معمولاً شامل مدارهای مجتمع و قطعات مجزاست، سیگنال‌های روشن‌کننده مورد نیاز عناصر قدرت را تولید می‌کند. مدارهای مجتمع و قطعات مجزا در حال جایگزین شدن با میکروپروسسورها هستند.

تکنولوژی نیمه‌هادی‌های قدرت با سرعت بسیار بالای درحال ساخت عناصر کلیدزنی قدرت سریعی است که حد جریان ولتاژ بالاتری داشته باشند. عناصر کلیدزنی قدرت از قبیل BJT‌های قدرت، SIT، MOSFET، IGBT، MCT، SCR، SITH، TRیاک‌ها، دیگر عناصر نیمه‌هادی در رنج وسیعی از محصولات بکار گرفته می‌شوند. با رشد تکنولوژی، الکترونیک قدرت کاپردهای متعددی پیدا کرده و قطعات جدید با قابلیت‌های حرارتی بالا و تلفات کم نیز در حال پیشرفتند. قطعات الکترونیکی SiC دامنه‌ی 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
۷۰-	۱۲-۲ دیود با بار RL
۷۲-	۱۳-۲ دیود با بار LC
۷۴-	۱۴-۲ دیود با بار RLC
۷۹-	۱۵-۲ دیودهای هرزگرد با بار RL
۸۱-	۱۶-۲ آزادسازی انرژی ذخیره شده با استفاده از دیود
۹۳-	فصل ۳ یکسازهای دیودی
۹۳-	۱-۳ مقدمه
۹۴-	۲-۳ پارامترهای کارآئی
۹۵-	۳-۳ یکسازهای تمام موج تکفاز
۹۹-	۴-۳ یکساز تمام موج تکفاز با بار RL
۱۰۴-	۵-۳ یکساز تمام موج تکفاز با بار سلفی بالا
۱۰۷-	۶-۳ یکسوزندهای ستاره‌ای چندفاز
۱۱۱-	۷-۳ یکسوزندهای پل سه فاز
۱۱۴-	۸-۳ یکسوزن پل سه فاز با بار RL
۱۱۸-	۹-۳ یکسوزن سه فاز با بار سلفی بالا
۱۲۰-	۱۰-۳ مقایسه یکسازهای دیودی
۱۲۱-	۱۱-۳ طراحی مدار یکساز
۱۳۲-	۱۲-۳ ولتاژ خروجی با فیلتر LC
۱۳۵-	۱۳-۳ اثرات اندوکتانس‌های منبع و بار
۱۳۸-	۱۴-۳ ملاحظات عملی برای انتخاب سلفها و خازن‌ها
۱۳۸-	۱-۱۴-۳ خازن‌های فیلم AC
۱۳۹-	۲-۱۴-۳ خازن‌های سرامیکی
۱۳۹-	۳-۱۴-۳ خازن‌های الومینیوم
۱۴۰-	۴-۱۴-۳ خازن‌های تانتالوم جامد
۱۴۰-	۵-۱۴-۳ سوپرخازن‌ها

۱۵-	فصل ۱ مقدمه
۱۶-	۱-۱ کاربردهای الکترونیک قدرت
۱۸-	۲-۱ تاریخچه الکترونیک قدرت
۱۹-	۳-۱ انواع مدارهای الکترونیک قدرت
۲۴-	۴-۱ طراحی وسایل الکترونیک قدرت
۲۶-	۵-۱ تعیین مقادیر ریشه میانگین مریع شکل موج‌ها
۲۶-	۶-۱ اثرات جانبی
۲۸-	۷-۱ ویژگی‌های مشخصات کلیدها
۲۹-	۱-۷-۱ ویژگی‌های ایده‌آل
۳۰-	۲-۷-۱ ویژگی‌های قطعات عملی
۳۲-	۳-۷-۱ ویژگی‌های کلید
۳۳-	۸-۱ عناصر نیمه‌هادی قدرت
۳۸-	۹-۱ مشخصه‌های کنترل عناصر قدرت
۴۱-	۱۰-۱ انتخاب قطعه
۴۲-	۱۱-۱ بخش‌های قدرت
۴۲-	۱۲-۱ بخش‌های هوشمند
۴۴-	۱۳-۱ مجلات و کنفرانس‌های الکترونیک قدرت

بخش ۱ دیودهای قدرتی و یکسازها

۴۹-	فصل ۲ دیودهای قدرتی و مدارهای RLC
۵۰-	۱-۲ مقدمه
۵۰-	۲-۲ اصول اولیه نیمه‌هادی
۵۲-	۳-۲ مشخصه‌های دیود
۵۵-	۴-۲ مشخصه‌های بازیابی معکوس
۵۸-	۵-۲ انواع دیودهای قدرت
۵۸-	۱-۵-۲ دیودهای همه‌منظوره
۵۹-	۲-۵-۲ دیودهای بازیابی سریع
۶۰-	۳-۵-۲ دیودهای شاتکی
۶۰-	۴-۶ دیودهای کاربید سیلیکون
۶۱-	۷-۲ دیودهای شاتکی کاربید سیلیکون

۲ بخش ترانزیستورهای قدرت و مبدل‌های DC به DC

فصل ۴ ترانزیستورهای قدرت

۲۲۳-	اساس طرز کار کاهش پله‌ای
۲۲۷-	۱-۳-۵ تولید سیکل کاری
۲۲۸-	۴-۵ چاپر کاهش پله‌ای با بار RL
۲۳۳-	۵-۵ اساس طرز کار افزایش پله‌ای
۲۳۶-	۶-۵ چاپر افزایش پله‌ای با بار مقاومتی
۲۳۸-	۷-۵ پارامترهای محدودکننده فرکانس
۲۳۹-	۸-۵ طبقه‌بندی چاپرها
۲۴۳-	۹-۵ رگولاتورهای تغییر دهنده حالت
۲۴۴-	۱۰-۵ رگولاتورهای باک
۲۴۸-	۱۱-۵ رگولاتورهای بوست
۲۵۲-	۱۲-۵ رگولاتورهای باک-بوست
۲۵۶-	۱۳-۵ کیوک رگولاتور
۲۶۲-	۱۴-۵ محدودیت‌های تبدیل یک مرحله‌ای
۲۶۳-	۱۵-۵ مقایسه رگولاتورها
۲۶۴-	۱۶-۵ مبدل بوست چندخروجی
۲۶۷-	۱۷-۵ مبدل بوست تغذیه شده با یکسوسازدیودی
۲۷۰-	۱۸-۵ مدل‌های متواتر از مبدل‌ها
۲۷۴-	۱۹-۵ آنالیز فضای حالت رگولاتورها
۲۷۹-	۲۰-۵ ملاحظات طراحی فیلتر ورودی و مدار چاپر
۲۸۴-	۲۱-۵ درایو IC برای چاپرها

۳ بخش اینورترها

۲۹۵-	فصل ۶ مبدل‌های جریان مستقیم به متناوب
۲۹۶-	۱-۶ مقدمه
۲۹۷-	۲-۶ پارامترهای کارایی
۲۹۹-	۳-۶ اصول کار
۳۰۲-	۴-۶ اینورترهای پل تکفاز
۳۰۸-	۵-۶ اینورترهای سه فاز
۳۱۱-	۶-۶ هایات ۱۸۰ درجه
۳۱۸-	۷-۶ هایات ۱۲۰ درجه
۳۲۰-	۸-۶ کنترل ولتاژ اینورترهای تکفاز
۳۲۱-	۹-۶ مدولاسیون پهنهای پالس چندگانه
۳۲۴-	۱۰-۶ مدولاسیون پهنهای پالس سینوسی
۳۲۷-	۱۱-۶ مدولاسیون پهنهای پالس سینوسی بهبود یافته
۳۲۸-	۱۲-۶ کنترل جابه‌جایی فاز
۳۳۱-	۱۳-۶ کنترل ولتاژ اینورترهای سه فاز
۳۳۱-	۱۴-۶ مدولاسیون پهنهای پالس سینوسی
۳۳۴-	۱۵-۶ مدولاسیون پهنهای پالس ۶۰ درجه
۳۳۶-	۱۶-۶ مدولاسیون پهنهای پالس هارمونیک سوم
۳۳۷-	۱۷-۶ مدولاسیون بردارفضایی

فصل ۵ چاپرهای DC

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

۴۴۵	۱-۶-۸ اصول کارایی	۳۴۹	۵-۷-۶ مقایسه تکنیک‌های PWM
۴۴۶	۲-۶-۸ ویژگی‌های اینورتر آبشاری	۳۵۰	۸-۶ کاهش هارمونیک
۴۴۹	۷-۸ کاربردها	۳۵۴	۹-۶ اینورترهای منبع جریانی
۴۴۹	۱-۷-۸ جبران توان راکتیو	۳۵۸	۱۰-۶ اینورتر اتصال dc متغیر
۴۵۰	۲-۷-۸ اتصال دهنده داخلی پشت به پشت	۳۵۸	۱۱-۶ اینورتر بوست
۴۵۱	۳-۷-۸ درایووهای سرعت قابل تنظیم	۳۶۳	۱۲-۶ طراحی مدار اینورتر
۴۵۱	۸-۸ جریان‌های قطعات کلیدزنی		
۴۵۳	۹-۸ خازن اتصال DC معادل‌کننده ولتاژ		
۴۵۴	۱۰-۸ ویژگی‌های اینورتر چندسطحی		
۴۵۵	۱۱-۸ مقایسه اینورترهای چندسطحی		
بخش ۲ تریستورها و مبدل‌های تریستوری			
فصل ۹ تریستورها		فصل ۷ مبدل‌های پالس تشديد	
۴۵۹		۱-۷ مقدمه	
۴۶۰	۱-۹ مقدمه	۲-۷ اینورترهای تشديد سری	
۴۶۰	۲-۹ مشخصات تریستور	۱-۲-۷ اینورترهای تشديد سری با کلیدهای یک‌سویه	
۴۶۳	۳-۹ مدل دوترازیستوری تریستور	۲-۲-۷ اینورترهای تشيد سری با کلیدهای دوسویه	
۴۶۵	۴-۹ روشن کردن تریستور	۳-۷ پاسخ فرکانسی برای اینورترهای تشيد سری	
۴۶۷	۴-۹ خاموش کردن تریستور	۴-۷ اینورترهای با تشيد موازی	
۴۶۹	۶-۹ انواع تریستورها	۴۰۰	
۴۷۰	۱-۶-۹ تریستورهای کنترل فاز	۴۰۴	۵-۷ کنترل ولتاژ اینورترهای تشيد
۴۷۰	۲-۶-۹ تریستورهای کنترل فاز دوجهه	۴۰۵	۶-۷ اینورتر تشيد کلاس E
۴۷۱	۳-۶-۹ تریستورهای نامتقارن کلیدزنی سریع	۴۰۹	۷-۷ یکسوکننده تشيد کلاس E
	۴-۶-۹ یکسوکننده‌های کنترل شده سیلیکونی	۴۱۳	۸-۷ مبدل‌های تشيد کلیدزنی جریان صفر
۴۷۲	۹-۶-۹ فعل شونده با نور	۴۱۴	۱-۸-۷ مبدل‌های تشيد نوع L
۴۷۲	۵-۶-۹ تریستورهای دو جهته یا تریاک	۴۱۶	۲-۸-۷ اینورتر تشيد نوع M
۴۷۳	۶-۶-۹ تریستورهای هدایت معکوس	۴۱۸	۹-۷ مبدل‌های تشيد کلیدزنی ولتاژ صفر
۴۷۴	۷-۶-۹ تریستورهای خاموش شونده با گیت	۴۲۱	۱۰-۷ مقایسه میان مبدل‌های ZCS و مبدل‌های
۴۷۸	۸-۶-۹ تریستورهای کنترل شونده FET	۴۲۱	تشيد کلید زنی ولتاژ صفر
۴۷۹	۹-۶-۹ تریستورهای خاموش شونده با (MTOS)	۴۲۲	۱۱-۷ مبدل‌های تشيد کلیدزنی ولتاژ صفر دو ریسی
۴۸۰	۱۰-۶-۹ تریستورهای خاموش شونده با امیتر	۴۲۵	۱۲-۷ اینورترهای تشيد اتصال DC
	۱۱-۶-۹ تریستورهای با گیت مجتمع برای تغییر		
۴۸۲	چربیان تحریک		
۴۸۳	۱۲-۶-۹ تریستورهای کنترل شده از نوع (MCT)	فصل ۸ اینورترهای چندسطحی	
۴۸۶	۱۳-۶-۹ تریستورهای القا استاتیک	۱-۸ مقدمه	
۴۸۷	۱۴-۶-۹ مقایسه تریستورها	۲-۸ مفهوم چندسطحی	
۴۹۲	۷-۹ عملکرد سری تریستورها	۳-۸ انواع اینورترهای چندسطحی	
۴۹۶	۸-۹ عملکرد موازی تریستورها	۴-۸ اینورتر چندسطحی برش دیودی	
۴۹۶	۹-۹ حفاظت در برابر di/dt	۴۳۶	
۴۹۷	۱۰-۹ حفاظت در برابر dv/dt	۱-۴-۸ اصول کار	
۴۹۹	۱۱-۹ مدل SPICE تریستورها	۴۳۷	
		۲-۴-۸ ویژگی‌های اینورتر برش دیودی	
		۳-۴-۸ اینورتر دیود برشی بهبود یافته	
		۴-۸ اینورتر چندسطحی خازن شناور	
		۴۴۲	۵-۸ اینورتر چندسطحی خازن شناور
		۴۴۳	۱-۵-۸ اصول کارکرد
		۴۴۴	۲-۵-۸ ویژگی‌های اینورتر خازن شناور
		۴۴۵	۶-۸ اینورترهای چندسطحی آبشاری

۶۱۳-----۱۲-۱۱ اثرات اندوکتانس‌های منبع و بار	۴۹۹-----۱-۱۱-۹ مدل SPICE تریستور
	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 مدل DIAC
	۵۰۶-----۱۳-۹ مدارهای آش تریستور
	۵۰۹-----۱۴-۹ ترانزیستورهای تکپیوندی
	۵۱۲-----۱۵-۹ ترانزیستور تکپیوندی قابل برنامه‌ریزی
بخش ۵ حافظت‌ها و کارایی‌های الکترونیک قدرت	
فصل ۱۲ سیستم‌های انعطاف‌پذیر انتقال ولتاژ متناوب AC	
۶۲۱-----۱-۱۲ مقدمه	۵۲۱-----۱-۱۰ مقدمه
۶۲۲-----۲-۱۲ قاعده کلی انتقال توان	۵۲۲-----۲-۱۰ مبدل‌های کامل تک فاز
۶۲۳-----۳-۱۲ قاعده کلی جبران‌سازی شنت	۵۲۶-----۱-۲-۱۰ مبدل کامل تکفاز با بار RL
۶۲۵-----۴-۱۲ جبران‌سازهای شنت	۵۲۹-----۳-۱۰ مبدل‌های دوتایی تکفاز
۶۲۷-----۴-۱۲ راکتور تریستوری کنترل شده	۵۳۲-----۴-۱۰ مبدل‌های کامل سه فاز
۶۲۸-----۲-۴-۱۲ خازن تریستوری کلیدی	۵۳۶-----۱-۴-۱۰ مبدل کامل سه فاز با بار RL
۶۳۱-----۳-۴-۱۲ جبران‌ساز استاتیک VAR	۵۳۸-----۵-۱۰ مبدل‌های دوتایی سه فاز
۶۳۲-----۴-۴-۱۲ جبران‌ساز استاتیکی پیشرفته VAR	۵۴۱-----۶-۱۰ کنترل مدولاسیون پهنای باند
۶۳۳-----۵-۱۲ قاعده کلی جبران‌سازی سری	۵۴۲-----۱-۶-۱۰ کنترل PWM
۶۳۵-----۶-۱۲ جبران‌سازهای سری	۵۴۴-----۲-۶-۱۰ PWM سیونی تکفاز
۶۳۶-----۶-۱۲ خازن تریستوری کلیدی سری	۵۴۵-----۳-۶-۱۰ یکسوساز PWM سه فاز
۶۳۷-----۲-۶-۱۲ خازن کنترل شده تریستوری سری	۵۴۹-----۷-۱۰ مبدل‌های سری تکفاز
۶۳۷-----۳-۶-۱۲ خازن کنترل شده سری با کمتوسیون اجباری	۵۵۲-----۸-۱۰ مبدل‌های دوازده پالسی
۶۳۹-----۴-۶-۱۲ جبران‌ساز VAR استاتیک سری	۵۵۴-----۹-۱۰ طراحی مدارهای مبدل
۶۴۰-----۵-۶-۱۲ SSVC پیشرفته	۵۶۰-----۱۰-۱۰ اثرات اندوکتانس منبع و بار
۶۴۱-----۷-۱۲ قاعده اصلی جبران‌سازی زاویه فاز	فصل ۱۱ کنترل کننده‌های ولتاژ متناوب
۶۴۴-----۸-۱۲ جبران‌ساز زاویه فاز	۵۷۱-----۱-۱۱ مقدمه
۶۴۶-----۹-۱۲ کنترل کننده یکپارچه شار توان	۵۷۲-----۲-۱۱ پارامترهای عملکرد کنترل کننده ولتاژ متناوب
۶۴۶-----۱۰-۱۲ مقایسه جبران‌سازها	۵۷۳-----۳-۱۱ کنترل کننده‌های دوسویه تکفاز با بار مقاومتی
فصل ۱۳ منابع تغذیه	۵۷۴-----۴-۱۱ کنترل کننده‌های تکفاز با بار سلفی
۶۵۱-----۱-۱۳ مقدمه	۵۷۷-----۵-۱۱ کنترل کننده تمام موج
۶۵۱-----۲-۱۳ منابع تغذیه DC	۵۸۶-----۶-۱۱ کنترل کننده‌های دوسویه سه فاز با اتصال مثلث
۶۵۲-----۳-۱۳ منابع تغذیه dc تغییر حالتی	۵۸۶-----۷-۱۱ عرض کننده سر و سط ترانسفورماتور تکفاز
۶۵۲-----۴-۲-۱۳ مبدل فلام بک	۵۹۰-----۸-۱۱ سیکلوکانورترها
۶۵۳-----۵-۲-۱۳ مبدل مستقیم	۵۹۵-----۸-۱۱-۱ سیکلوکانورترهای تکفاز
۶۵۷-----۶-۲-۱۳ مبدل پوش پول	۵۹۹-----۲-۸-۱۱ سیکلوکانورترهای سه فاز
۶۶۲-----۷-۲-۱۳ مبدل نیمه پل	۶۰۰-----۳-۸-۱۱ کاهش هارمونیک‌های خروجی
۶۶۴-----۸-۲-۱۳ مبدل تمام پل	۶۰۲-----۹-۱۱ کنترل کننده‌های ولتاژ متناوب با کنترل PWM
۶۶۷-----۹-۲-۱۳ منابع تغذیه DC تشدید شده	۶۰۳-----۱۰-۱۱ مبدل ماتریسی
۶۷۰-----۱۰-۲-۱۳ منابع تغذیه دوسویه	۶۰۶-----۱۱-۱۱ طراحی مدارهای کنترل کننده ولتاژ متناوب
۶۷۰-----۱۳ منابع تغذیه AC	
۶۷۲-----۱۳ منابع تغذیه ac تغییر حالتی	
۶۷۴-----۲-۳-۱۳ منابع تغذیه ac تشدید	

۷۴۲-----۸-۷-۱۴ طراحی کنترل سرعت	۶۷۵-----۳-۳-۱۳ منابع تغذیه ac دوسویه
۷۴۶-----۹-۷-۱۴ درایو تغذیه شده با چاپر	۶۷۶-----۴-۱۳ تبدیلات چندمرحله‌ای
۷۴۷-----۱۰-۷-۱۴ کنترل حلقه فاز قفل شده	۶۷۶-----۵-۱۳ مدارهای کنترلی
۷۴۹-----۱۱-۷-۱۴ کنترل میکرکامپیوترا درایوهای DC	۶۷۹-----۶-۱۳ ملاحظات طراحی مغناطیسی
فصل ۱۵ درایورهای AC	فصل ۱۴ درایورهای DC
۷۵۹-----۱-۱۵ مقدمه	۶۹۳-----۱-۱۴ مقدمه
۷۶۰-----۲-۱۵ درایو موتور القایی	۶۹۴-----۲-۱۴ مشخصه‌های اصلی موتورهای DC
۷۶۳-----۱-۲-۱۵ مشخصات کارابی	۶۹۵-----۱-۲-۱۴ موتور DC تحریک جداگانه
۷۶۵-----۲-۲-۱۵ مشخصه گشتاور-سرعت	۶۹۵-----۲-۲-۱۴ موتور DC تحریک سری
۷۷۰-----۳-۲-۱۵ کنترل ولتاژ استاتور	۶۹۸-----۳-۲-۱۴ نسبت چرخ دنده
۷۷۵-----۴-۲-۱۵ کنترل ولتاژ روتور	۷۰۰-----۳-۲-۱۴ حالتهای کاری
۷۸۳-----۵-۲-۱۵ کنترل فرکانس	۷۰۲-----۴-۱۴ درایورهای تکفارز
۷۸۶-----۶-۲-۱۵ کنترل ولتاژ فرکانس	۷۰۴-----۱-۴-۱۴ درایورهای با مبدل نیمه تکفارز
۷۹۱-----۷-۲-۱۵ کنترل جریان	۷۰۶-----۲-۴-۱۴ درایورهای با مبدل کامل تکفارز
۷۹۶-----۸-۲-۱۵ کنترل سرعت-لغزش ثابت	۷۰۷-----۳-۴-۱۴ درایورهای با مبدل دوگانه تکفارز
۷۹۷-----۹-۲-۱۵ کنترل ولتاژ، جریان و فرکانس	۷۰۷-----۴-۵-۱۴ درایورهای سه‌فاز
۷۹۹-----۳-۴-۱۵ کنترل مدار بسته موتورهای القایی	۷۱۲-----۵-۱۴ درایورهای سه‌فاز
۸۰۲-----۴-۱۵ دیمانسیون متغیرهای کنترل	۷۱۲-----۱-۵-۱۴ درایورهای مبدل نیمه سه‌فاز
۸۰۴-----۵-۱۵ کنترل‌های برداری	۷۱۲-----۲-۵-۱۴ درایورهای مبدل کامل سه‌فاز
۸۰۵-----۱-۵-۱۵ اصول کلی کنترل برداری	۷۱۳-----۳-۵-۱۴ درایورهای با مبدل دوگانه سه‌فاز
۸۰۶-----۲-۵-۱۵ تبدیل محور مستقیم و متعامد	۷۱۶-----۶-۱۴ درایورهای چاپر
۸۱۲-----۳-۵-۱۵ کنترل برداری غیر مستقیم	۷۱۶-----۱-۶-۱۴ اساس کنترل توان
۸۱۵-----۴-۵-۱۵ کنترل بردار مستقیم	۷۱۸-----۲-۶-۱۴ اساس کنترل ترمز مولیدی
۸۱۷-----۶-۱۵ درایوهای موتور سنکرون	۷۲۱-----۳-۶-۱۴ اساس کنترل ترمز روئستائی
۸۱۸-----۱-۶-۱۵ موتورهای با روتور استوانه‌ای	۷۲۱-----۴-۶-۱۴ اصول کنترل ترمز ترکیبی مولیدی و روئستائی
۸۲۱-----۲-۶-۱۵ موتورهای قطب برجسته	۷۲۲-----۵-۶-۱۴ درایوهای چاپر دو پچهار رباعی
۸۲۳-----۳-۶-۱۵ موتورهای رلوکتانسی	۷۲۳-----۶-۶-۱۴ چاپرهای چندفارز
۸۲۴-----۴-۶-۱۵ موتورهای رلوکتانسی سوئیچی	۷۲۴-----۷-۶-۱۴ کنترل حلقه بسته درایوهای DC
۸۲۴-----۵-۶-۱۵ موتورهای با آهنربای دائمی	۷۲۷-----۱-۷-۱۴ تابع انتقال حلقه باز
۸۲۹-----۶-۶-۱۵ کنترل حلقه بسته موتورهای سنکرون	۷۲۷-----۲-۷-۱۴ تابع انتقال حلقه باز موتورهای تحریک جداگانه
۸۳۰-----۷-۶-۱۵ درایوهای موتور Ac و Dc بدون جاروبک	۷۲۸-----۳-۷-۱۴ تابع انتقال حلقه باز موتورهای تحریک جداگانه
۸۳۲-----۸-۱۵ طراحی کنترل سرعت برای درایوهای PMSM	۷۳۱-----۴-۷-۱۴ مدل‌های کنترل مبدل
۸۳۲-----۱-۷-۱۵ بلوک دیاگرام سیستم	۷۳۲-----۵-۷-۱۴ تابع انتقال حلقه بسته
۸۳۴-----۲-۷-۱۵ حلقه جریان	۷۳۴-----۶-۷-۱۴ کنترل جریان حلقه بسته
۸۳۵-----۳-۷-۱۵ کنترل سرعت	۷۳۷-----۷-۷-۱۴ طراحی کنترل جریان
۸۳۹-----۸-۱۵ کنترل موتور پله‌ای	۷۴۱-----۷-۷-۱۴ طراحی کنترل جریان
۸۳۹-----۱-۸-۱۵ موتورهای پله‌ای رلوکتانسی متغیر	
۸۴۲-----۲-۸-۱۵ موتورهای پله‌ای آهنربای دائم	
۸۴۵-----۹-۱۵ موتورهای القایی خطی	
۸۴۸-----۱۰-۱۵ IC ولتاژ بالا برای درایو موتورها	

فصل ۱۶	مقدمه‌ای بر انرژی‌های تجدیدپذیر
۹۱۰	۸۶۱ مقدمه
۹۱۱	۸۶۲-۲-۱۶ انرژی و توان
۹۱۲	۸۶۳-۳-۱۶ سیستم تولید انرژی تجدیدپذیر
۹۱۳	۸۶۴-۱-۳-۱۶ توربین
۹۱۵	۸۶۵-۲-۳-۱۶ سیکل حرارتی
۹۱۶	۸۶۶-۴-۱۶ سیستم‌های انرژی خورشیدی
۹۱۷	۸۶۷-۱-۴-۱۶ انرژی خورشیدی
۹۲۰	۸۶۸-۲-۴-۱۶ فوتولوئائیک
۹۲۱	۸۶۹-۳-۴-۱۶ سلول‌های فوتولوئائیک
فصل ۱۷	محافظت از قطعات و مدارها
۹۲۹	۸۷۰-۴-۴-۱۶ مدل‌های PV
۹۳۰	۸۷۱-۵-۴-۱۶ سیستم‌های فوتولوئائیک
۹۳۱	۸۷۲-۵-۴-۱۶ انرژی باد
۹۳۲	۸۷۳-۵-۴-۱۶ توربین های بادی
۹۳۳	۸۷۴-۱-۵-۱۶ منحنی توان
۹۳۴	۸۷۵-۳-۵-۱۶ کترل سرعت و گام
۹۳۵	۸۷۶-۴-۵-۱۶ میکروپردازهای انتخابی
۹۳۶	۸۷۷-۵-۵-۱۶ سیستم‌های انرژی بادی
۹۳۷	۸۷۸-۶-۵-۱۶ ژنراتورهای القایی دوباره تغذیه شده
۹۳۸	۸۷۹-۷-۵-۱۶ ژنراتورهای القایی قفس سنجابی
۹۳۹	۸۸۰-۸-۵-۱۶ ژنراتورهای سنکرون
۹۴۱	۸۸۱-۹-۵-۱۶ ژنراتور سنکرون آهنربای دائم
۹۴۲	۸۸۲-۱۰-۵-۱۶ ژنراتور رلوکتانس متغیر
۹۴۳	۸۸۳-۱۱-۵-۱۶ مقایسه پیکربندی‌های توانی
۹۴۴	۸۸۴-توانی های بادی
۹۴۵	۸۸۵-۶-۶-۱۶ انرژی اقیانوس
۹۴۶	۸۸۶-۱-۶-۱۶ انرژی موج
۹۴۷	۸۸۷-۲-۶-۱۶ مکانیزم تولید موج
۹۴۸	۸۸۸-۳-۶-۱۶ توان موج
۹۴۹	۸۸۹-۴-۶-۱۶ انرژی جذر و مد
۹۵۰	۸۹۰-۵-۶-۱۶ تبدیل انرژی گرمایی اقیانوس
۹۵۱	۸۹۱-۷-۱۶ انرژی برق آبی
۹۵۲	۸۹۲-۸-۷-۱۶ برق آبی مقیاس بزرگ
۹۵۳	۸۹۳-۹-۷-۱۶ برق آبی مقیاس کوچک
۹۵۴	۸۹۴-۱۰-۸-۱۶ سلول‌های سوختی
۹۵۵	۸۹۵-۱-۸-۹-۱۶ تولید هیدرولیک و سلول‌های سوختی
۹۵۶	۸۹۶-۲-۸-۹-۱۶ انواع سلول‌های سوختی
۹۵۷	۸۹۷-۳-۸-۹-۱۷ پیوستها
۹۵۸	۸۹۸-۴-۹-۱۷ پاسخ مسائل
۹۵۹	۸۹۹-۵-۹-۱۷ واژه‌نامه

فصل

مقدمه

پس از تکمیل این فصل، دانشجویان باید قادر به انجام موارد زیر باشند:

- تشریح اینکه الکترونیک قدرت چیست؟
- لیست کاربردهای الکترونیک قدرت.
- بیان مسیر تکاملی الکترونیک قدرت.
- لیست انواع اصلی مبدل‌های قدرت.
- لیست بخش‌های اصلی تجهیزات الکترونیک قدرت.
- لیست مشخصات ایده‌آل دستگاه‌های سوئیچ‌زنی قدرت.
- لیست مشخصات و ذکر خصوصیات دستگاه‌های سوئیچ‌زنی قدرت عملی.
- لیست انواع دستگاه‌های نیمه‌هادی قدرت.
- بیان مشخصات کترولی دستگاه‌های نیمه‌هادی قدرت.
- لیست انواع مازول‌های قدرت و المان‌های مازول‌های هوشمند.
- مشخصه‌های دیود و مدل‌های مداری آن را شرح دهنند.

نمادها و معانی آن‌ها

معنی	نمادها
به ترتیب بیان‌کننده‌ی فرکانس و دوره‌ی تناوب شکل موج است	f_s, T_s
مقدار مؤثر یک شکل موج	I_{RMS}
به ترتیب مقدار Dc و rms مؤلفه‌های یک شکل موج هستند.	$I_{\text{dc}}, I_{\text{rms}}$
به ترتیب بیان‌گر کل تلفات توان، توان در حالت روشن، توان کلیدزنی و توان تحریک گیت است.	$P_D, P_{\text{ON}}, P_{\text{SW}}, P_G$
زمان تأخیر، صعود، روشن بودن، ذخیره‌سازی، نزول و قطع شکل موج کلیدزنی است.	$t_d, t_r, t_n, t_s, t_f, t_o$
به ترتیب بیان‌گر تغذیه ورودی ac آنی و ولتاژ خروجی است.	v_s, v_0
ماکریم دامنه‌ی یک ولتاژ تغذیه‌ی سینوسی	V_m
ولتاژ تغذیه‌ی Dc	V_s
به ترتیب بیان‌گر سیگنال تحریک گیت / بیس آنی و dc یک تجهیز است.	v_g, V_G
به ترتیب بیان‌گر ولتاژ تحریک گیت آنی، گیت - منبع و بیس دستگاه‌های قدرت است.	v_G, v_{GS}, v_B
سیکل کاری یک سیگنال پالس	δ