

۱۳۱۵۸۳۹

الکترونیک قدرت

دنیل هارت

مترجم: عرفان یزدانی

هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر- مترجم ممنوع است متخلفان به موجب قانون حمایت از حقوق مولفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

سرشناسه	: هارت، دانیل دبلیو.
عنوان	: Hart, Daniel W
نام پدیدآور	: الکترونیک قدرت/ دنیل هارت؛ مترجم عرفان یزدانی.
مشخصات نشر	: تهران: عرفان یزدانی، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۵۰۰ ص.: مصور.
شابک	: 978-600-0422-41-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Power electronics, c2011.
یادداشت	: مایه.
موضوع	: الکترونیک نیرو
شناسه افزوده	: زدان، عرفان، ۱۳۵۳ -، مترجم
رده بندی کنگره	: TK۷۸۸۱/۱۵/۵۲ الف۸۱۳۶
رده بندی دیویی	: ۶۰۰/۳۱۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۰۲۹۸۰

عنوان: الکترونیک قدرت

ناشر: عرفان یزدانی

مترجم: عرفان یزدانی

تیراژ: ۲۵۰۰

تعداد صفحات: ۵۰۰

نوبت چاپ: اول

سال نشر: ۱۳۹۳

قطع اثر: وزیری

بها: ۳۳۰۰۰ تومان

ISBN: 978-600-04-2241-7

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۰۴-۲۲۴۱-۷

تلفن فروش و توزیع: ۰۹۳۹۲۶۵۳۰۸۸-۰۹۲۱۲۳۴۹۵۷۷ فکس: ۰۲۱-۸۹۷۷۸۰۸۹

ایمیل: modern.techbooks@yahoo.com

پیشگفتار مترجم

الکترونیک قدرت از مباحث مهم و پر کاربرد رشته مهندسی برق می باشد که نقش عمده ای در توسعه و پیشرفت فناوری های نوین دارد. بکار گیری دانش علوم مختلف در ساختار این زمینه مهندسی و موارد استفاده آن در شاخه های علمی دیگر بیانگر اهمیت این حوزه در میان دیگر موضوعات فنی مهندسی می باشد. از آنجاییکه پیشرفت در این زمینه به بار سریع بوده و قابلیت های آن هر روز نمود بیشتری پیدا می کنند، بنابراین آگاهی دانش پژوهان از جدید ترین مباحث این رشته اجتناب ناپذیر است. یکی از مواردی که در الکترونیک قدرت اهمیت حیاتی دارد ارائه طراحی های بهینه در این حوزه است که اهمیت استفاده از طراحی و شبیه سازی کامپیوتری را بیش از پیش نشان می دهد. روشی منحصر بفرد این کتاب پوشش کلیه موضوعات الکترونیک قدرت علاوه بر تحلیل دقیق و جامع کامپیوتری می باشد. ارائه تحلیل و شبیه سازی کامل کامپیوتری همراه با تحلیل های نظری باعث ایجاد اشتیاق خواننده به این مطلب نسبتاً مشکل مهندسی شده زیرا جنبه عملی موضوعات نظری را بیشتر روشن نموده و درک آن ها را تسهیل می کند. قابلیت های فراوان نرم افزارهای شبیه سازی کامپیوتری 'خلاقیت طراحان این حوزه را بشدت افزایش داده و زمینه ظهور نوآوری در این حوزه را فراهم می نماید. لذا توصیه می شود شبیه سازی ها بدقت مطالعه شده و با استفاده از ویژگی های نرم افزار شبیه ساز، مدارهای ابتکاری دیگر با مدارهای موجود در این کتاب مقایسه شده و نهایتاً درک عینی از نقاط قوت و ضعف هر طراحی فراهم گردد. در پایان از کلیه عزیزانی که از همراهی و حمایتشان در انجام این پروژه بهره مند بوده ام قدردانی می نمایم.

عرفان یزدانی

دیماه ۱۳۹۳

پیشگفتار

این کتاب مقدمه ای بر الکترونیک قدرت است که عمدتاً برای دانشجویان کارشناسی مهندسی برق تدارک دیده شده است. فرض بر این است که دانشجو با تکنیک های عمومی تحلیل مدار که معمولاً در سال دوم تحصیل آموزش داده می شود، آشنایی دارد. دانشجو با ادوات و المان های الکترونیکی مانند دیودها و ترانزیستورها آشنا باشد ولی تأکید این کتاب بجای ادوات المان های الکترونیکی، بر عملکرد و توپولوژی های مدار متمرکز است. درک روابط ولتاژ-جریان المان های خطی ضروری است و آشنایی با مفهوم سری فوریه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. عموماً مباحث ارائه شده در این کتاب برای دانشجوین سال های سوم و چهارم کارشناسی مناسب است هر چند موضوعاتی پیشرفته تر جهت مقاطع بالاتر ارائه شده است.

این کتاب برای یک ترم درس الکترونیک قدرت طراحی شده است که گزینش و حذف موضوعات بر عهده مدرس می باشد. کتاب انعطاف پذیری خود را نسبت به موضوعات حفظ نموده است. توصیه می شود که در ابتدای ترم، بسته به سطح معلومات دانشجویان، فصل ۲ با جزییات کامل تدریس شود. فصل های ۶ و ۷ در رابطه با مبدل های dc به dc و منابع تغذیه dc را می توان قبل از فصل های ۳، ۴، و ۵ در مورد یکسوسازها و کنترل کننده های ولتاژ، تدریس نمود. ترتیب تدریس بصورت فصل های ۱ و ۲ (مقدمه؛ محاسبات توان)، ۶ و ۷ (مبدل های dc به dc ؛ منابع تغذیه dc)، ۸ (اینورترها)، ۳، ۴، و ۵ (یکسوسازها و کنترل کننده های ولتاژ) و گزینشی از مباحث فصل ۹ (مبدل های تشدید) و ۱۰ (مدارات اسنابر راه اندازها، و گرماگیرها)، شیوه ای است که توسط نگارنده اتخاذ می شود. برخی مباحث پیشرفته مانند بخش کنترل در فصل ۷ را می توان برای دوره های مقدماتی حذف نمود.

دانشجو باید از همه نرم افزارهای موجود برای یافتن جواب معادلاتی که مدارهای الکترونیک قدرت را توصیف می نمایند، بهره گیرد. این نرم افزارهای محاسباتی شامل نرم افزارهایی که دارای قابلیت محاسبه انتگرال و ریشه های معادلات می باشند تا نرم افزارهای قدرتمندی مانند MATLAB, Maple, Mathcad, Mathematica و ... را در بر می گیرد. استفاده از روش های عددی در این کتاب توصیه می شود. انتخاب آن ها بستگی به دسترسی دانشجویان به این نرم افزارها و میزان مهارتشان در کار با این نرم افزارها دارد.

بخش عمده این کتاب شامل شبیه سازی توسط PSpice بعنوان مکملی برای روش جواب های تحلیلی مدارها می باشد. آشنا با تجربه کار با PSpice مفید است اما ضروری نیست. مدرسان می توانند نرم افزارهای شبیه ساز دیگری نظیر PSIM یا NI Multisim را بجای PSpice به دانشجویان توصیه نمایند. قرار نیست شبیه سازی جایگزین دیگر روش های عددی شود. اعتقاد نگارنده بر این است که استفاده از شبیه سازی کامپیوتری برای بررسی رفتار مدارهای "الکترونیک قدرت جنبه آموزشی دیگری برای دانشجو فراهم می کند که صرفاً از طریق بررسی روابط و معادلات امکان پذیر نمی باشد. مشاهده شکل موج های ولتاژ و جریان توسط شبیه سازی کامپیوتری، با برخی اهداف تجربه کار آزمایشگاهی همخوانی دارد. در یک شبیه سازی کامپیوتری همه ولتاژها و جریان های مدار قابل بررسی هستند که معرّف کارایی بیشتری نسبت به آزمایشگاه سخت افزاری دارد. در شبیه سازی کامپیوتری ایجاد تغییرات بیشتری در بارها و عملکرد مدار بواسطه ایجاد تغییر در امان ها یا پارامترهای عملیاتی مدار نسبت به آزمایشگاه امکانپذیر است. نتیجه می شود دانشجویان از مهارت ها و دید مهندسی خود تا آنجا که ممکن است برای بهبود شبیه سازی استفاده نمایند. در پایان از کلیه عزیزانی که برای تهیه این مجموعه تلاش نموده اند سپاسگزاری می نمایم.

دنیل هارت

دانشگاه والپریسو آریزونا

خلاصه فهرست

فصل 1

مقدمه ۱۵

فصل 8

اینورترها ۳۴۷

فصل 2

محاسبات توان ۳۵

فصل 9

مبدل های تشدید ۴۰۵

فصل 3

یکسوسازهای نیم موج ۷

فصل 10

مدارهای راه انداز، مدارهای اسنابر،

و گرماگیرها ۴۴۷

فصل 4

یکسوسازهای تمام-موج ۱۷۷

ضمیمه A سری فوریه برخی شکل موج

های متداول ۴۸۱

فصل 5

کنترل کننده های ولتاژ AC ۱۸۹

ضمیمه B متوسط گیری فضای حالت

۴۱۷

فصل 6

مبدل های DC-به-DC ۲۱۵

روابط پرکاربرد الکترونیک قدرت

۴۹۳

فصل 7

منابع تغذیه DC ۲۸۳

فهرست موضوعی ۴۹۵

فهرست

فصل 1

مقدمه

1.1 الکترونیک قدرت ۱۵

1.2 طبقه بندی مبدل ها ۱۵

1.3 مفاهیم الکترونیک قدرت ۱۷

1.4 سویچ های الکترونیکی ۱۹

دیود

ترانزیستورها ۲۱

ترانزیستورها ۲۲

1.5 انتخاب سویچ ۲۵

1.6 SPICE, PSpice ۲۷

CAPTURE ۲۷

1.7 سویچ ها در PSpice ۲۷

سویچ کنترل شونده با ولتاژ ۲۷

ترانزیستورها ۳۰

دیودها ۳۱

ترستورها (SCRها) ۳۱

مشکلات همگرایی در PSpice ۳۲

1.8 فهرست مراجع ۳۳

مسائل ۳۳

فصل 3

یکسوسازهای نیم هادی ۷۹

3.1 مقدمه ۷۹

3.2 بار مقاومتی ۷۹

ایجاد مولفه DC با استفاده از یک سویچ

الکترونیکی ۷۹

3.3 بار از نوع مقاومت - القاگر ۸۱

3.4 شبیه سازی با استفاده از PSpice

۸۵

استفاده از نرم افزار شبیه ساز برای

محاسبات عددی ۸۵

فصل 2

محاسبات توان ۳۵

2.1 مقدمه ۳۵

2.2 توان و انرژی ۳۵

توان لحظه ای ۳۵

انرژی ۳۶

توان متوسط ۳۶

بار RL ۱۳۱

هارمونیک های منبع ۱۳۴

شبیه سازی با $PSpice$ ۱۳۴

بار شامل R و L و منبع DC ۱۳۶

فیلتر خروجی خازنی ۱۳۸

دو برابر کننده های ولتاژ ۱۴۱

خروجی فیلتر شده با فیلتر LC ۱۴۲

4.3 یکسوسازهای تمام-موج کنترل شونده

۱۴۷

بار مقاومتی ۱۴۸

بار RL در حالت جریان گسسته ۱۵۰

بار RL جریان پیوسته ۱۵۲

شبیه سازی یکسوسازهای تمام-موج

کنترل شونده با $PSpice$ ۱۵۵

یکسوسازهای کنترل شونده با بار شامل R

L و منبع dc ۱۵۷

مبدل تکفاز کنترل شونده بعنوان اینورتر

۱۵۸

4.4 یکسوسازهای سه فاز ۱۶۱

4.5 یکسوسازهای کنترل شونده سه فاز

۱۶۴

یکسوسازهای دوازده پالسه ۱۶۸

مبدل سه فاز را عملکرد اینورتری ۱۷۰

4.6 انتقال توان DC ۱۷۱

4.7 کموتاسیون: تأثیر اندوکتانس منبع

۱۷۷

یکسوساز تکفاز پل ۱۷۷

یکسوساز سه فاز ۱۷۸

4.8 خلاصه ۱۸۰

4.9 فهرست مراجع ۱۸۰

مسائل ۱۸۱

فصل 5

کنترل کننده های ولتاژ AC

3.5 بار شامل منبع DC ، R ، و L ۸۹

تحويل توان به منبع DC از منبع

AC ۸۹

3.6 بار شامل منبع و القاگر ۹۳

استفاده از القاگر برای محدود کردن

جریان ۹۳

3.7 دیود هرزگرد ۹۵

ایجاد یک جریان DC ۹۵

کاهش هارمونیک های جریان بار ۱۰۰

3.8 یکسوساز نیم-موج با فیلتر خازنی ۱۰۲

ایجاد ولتاژ AC از یک منبع AC ۱۰۲

3.9 یکسوساز نیم-موج کنترل شونده ۱۰۸

بار مقاومتی ۱۰۸

بار RL ۱۱۰

بار شامل R و L و منبع dc ۱۱۳

3.10 تحلیل یکسوساز کنترل شده با

$PSpice$ ۱۱۴

مدلسازی SCR در $PSpice$ ۱۱۴

3.11 کموتاسیون ۱۱۷

اثرات القاگر منبع ۱۱۷

3.12 خلاصه ۱۱۹

3.13 فهرست مراجع ۱۲۰

مسائل ۱۲۱

فصل 4

یکسوسازهای تمام-موج ۱۲۷

4.1 مقدمه ۱۲۷

4.2 یکسوسازهای تمام-موج تکفاز ۱۲۷

یکسوساز پل ۱۲۷

یکسوساز ترانسفورماتوری با سر وسط

۱۳۰

بار مقاومتر ۱۳۰

6.6 مبدل باک-بوست (BUCK-)

۲۳۹ (BOOST)

روابط ولتاژ و جریان ۲۳۹

نوسان ولتاژ خروجی ۲۴۳

6.7 مبدل چوک (C'UK) ۲۴۴

6.8 مبدل القای اولیه تک پایانه ای

۲۴۸ (SEPIC)

6.9 مبدل های تفکیک شده

۲۵۵ (INTERLEAVED)

6.10 سوئیچ های غیر ایده آل و بازده مبدل

۲۵۶

اقت ولتاژ دو سر سوئیچ ها ۲۵۶

تلفات سوئیچینگ ۲۵۷

6.11 عملکرد جریان گسسته ۲۵۸

مبدل باک با جریان گسسته ۲۵۸

مبدل بوست با جریان گسسته ۲۶۱

6.12 مبدل های سوئیچ خازنی ۲۶۴

مبدل سوئیچ خازنی افزایشی (بوست)

۲۶۴

مبدل سوئیچ خازنی معکوس کننده ۲۶۶

مبدل سوئیچ خازنی کاهش ۲۶۷

6.13 شبیه سازی مبدل های DC-به-DC

توسط PSpice ۲۶۸

مدل سوئیچ در PSpice ۲۶۸

مدل مداری متون کیری شده ۲۷۱

6.14 خلاصه ۲۷۵

6.15 فهرست مراجع ۲۷۶

مسائل ۲۷۶

فصل 7

منابع تغذیه DC ۲۸۳

7.1 مقدمه ۲۸۳

7.2 مدل های ترانسفورماتور ۲۸۳

5.1 مقدمه ۱۸۹

5.2 کنترل کننده ولتاژ ac تکفاز ۱۸۹

عملکرد مقدماتی ۱۸۹

کنترل کننده تکفاز با بار مقاومتی ۱۹۱

کنترل کننده تکفاز با بار RL ۱۹۴

شبیه سازی کنترل کننده های ولتاژ ac

تکفاز، با استفاده از PSpice ۱۹۸

5.3 کنترل کننده های ولتاژ سه فاز ۲۰۱

بار مقاومتی با اتصال ستاره Y ۲۰۱

بار RL، ارایش ستاره (Y) ۲۰۵

بار مقاومتی با اتصال مثلث (Δ) ۲۰۷

5.4 کنترل سرعت موتورهای ۲۰۹

5.5 کنترل ایستای (استاتیک) V_R ۲۱۰

5.6 خلاصه ۲۱۱

5.7 فهرست مراجع ۲۱۱

مسائل ۲۱۱

فصل 6

مبدل های DC-به-DC ۲۱۵

6.1 رگولاتورهای ولتاژ خطی ۲۱۵

6.2 مبدل سوئیچینگ ساده ۲۱۶

6.3 مبدل باک (کاهش) BUCK ۲۱۷

روابط ولتاژ و جریان ۲۱۷

نوسان ولتاژ خروجی ۲۲۲

مقاومت خازن--تأثیر بر نوسان ولتاژ

خروجی ۲۲۴

یکسوسازی همزمان برای مبدل باک ۲۲۵

6.4 ملاحظات طراحی ۲۲۶

6.5 مبدل بوست (BOOST) ۲۳۰

روابط ولتاژ و جریان ۲۳۰

نوسان ولتاژ خروجی ۲۳۴

مقاومت القاگر ۲۳۷

7.3 مبدل فلای بک (FLYBACK) ۲۸۴

حالت جریان پیوسته ۲۸۴

مبدل فلای بک در حالت جریان گسسته

۲۹۲

خلاصه عملکرد مبدل فلای بک ۲۹۴

7.4 مبدل مستقیم ۲۹۵

خلاصه عملکرد مبدل مستقیم ۳۰۰

7.5 مبدل مستقیم دو سر (دو سویچ) ۳۰۲

7.6 مبدا پوش پول ۳۰۴

خلاصه عملکرد پوش-پول ۳۰۷

7.7 مبدل های L C به DC تمام-پل

(FULL BRIDGE) دو-م-پل

(HALF BRIDGE) ۳۰۸

7.8 مبدل های تغذیه شونده با

جریان CURRENT-FED

(CONVERTERS) ۳۰۸

7.9 مبدل های چند خروجی ۳۱۴

7.10 انتخاب مبدل ۳۱۵

7.11 تصحیح ضریب توان ۳۱۶

7.12 شبیه سازی منابع تغذیه DC توسط

PSPICE ۳۱۸

7.13 کنترل منبع تغذیه ۳۲۰

پایداری حلقه کنترل ۳۲۱

تحلیل سیگنال کوچک ۳۲۲

تابع انتقال سویچ ۳۲۲

تابع تبدیل (انتقال) فیلتر ۳۲۳

تابع تبدیل مدولاسیون عرض پالس ۳۲۴

تقویت کننده خطای نوع 2 با جبران

سازی ۳۲۴

طراحی تقویت کننده خطای جبران شده

نوع 2 ۳۲۸

شبیه سازی Pspice کنترل فیدبک

۳۳۱

تقویت کننده خطای جبران سازی نوع 3

۳۳۲

طراحی تقویت کننده خطای جبران ساز

نوع 3 ۳۳۴

چانمایی دستی صفرها و قطب ها در

تقویت کننده نوع ۳ ۳۳۸

7.14 مدارهای کنترل PWM ۳۳۹

7.15 فیلتر خط AC ۳۴۰

7.16 منبع تغذیه DC کامل ۳۴۰

7.17 فهرست مراجع ۳۴۱

مسائل ۳۴۲

فصل 8

اینورترها ۳۴۷

8.1 مقدمه ۳۴۷

8.2 مبدل تمام-پل ۳۴۷

8.3 اینورتر موج مربعی ۳۴۸

8.4 تحلیل سری فوریه ۳۵۳

8.5 اعلا هارمونیک کل ۳۵۵

8.6 شبیه سازی اینورترهای موج مربعی

توسط Pspice ۳۵۶

8.7 کنترل هارمونیک اندازه ۳۵۸

8.8 اینورتر نیم-پل ۳۶۳

8.9 اینورتر چند خروجی ۳۶۴

مبدل های چند سطحی با منابع DC

مستقل ۳۶۵

یکسان سازی توان متوسط منبع، با

استفاده از الگوی مبادله ۳۶۹

اینورترهای چند-خروجی با دیودهای

محدود کننده (Diode-Clamped)

۳۷۰

8.10 خروجی مدوله شده عرض پالس ۳۷۳

سویچینگ دو قطبی ۳۷۳

9.4 اینورتر تشدید سری ۴۱۸

تلفات سویچینگ ۴۲۰

کنترل دامنه ۴۲۰

9.5 مبدل DC-به-DC تشدید سری ۴۲۴

عملکرد مقدماتی ۴۲۴

عملکرد به ازای $\omega_s > \omega_0$ ۴۲۴

عملکرد به ازای $\omega_0/2 < \omega_s < \omega_0$ ۴۲۹

عملکرد به ازای $\omega_s < \omega_0/2$ ۴۳۰

انواع مبدل های dc-به-dc تشدید سری

۴۳۱

9.6 مبدل dc-به-dc تشدید موازی ۴۳۱

9.7 مبدل dc-به-dc تشدید سری-موازی

۴۳۵

9.8 ارزیابی مبدل های تشدید ۴۳۷

9.9 مبدل تشدید با لینک dc ۴۳۸

9.10 خلاصه ۴۴۲

9.11 فهرست مراجع ۴۴۲

مسائل ۴۴۳

فصل ۱۰

مدارهای راه انداز، مدارهای

اسنابر و ۱۰.۴.۱

۱۰.۱ مقدمه ۴۴۷

10.2 مدارهای راه انداز MOSFET و

۴۴۷ IGBT

راه اندازهای سمت پایین ۴۴۷

راه اندازهای سمت بالا ۴۵۰

10.3 مدارهای راه انداز ترانزیستوری دو

قطبی ۴۵۳

10.4 مدارهای راه انداز ترایستوری ۴۵۷

10.5 مدارهای اسنابر ترانزیستوری ۴۵۸

10.6 مدارهای اسنابر بازیابی انرژی ۴۶۷

10.7 مدارهای اسنابر ترایستور ۴۶۸

8.11 تعاریف و ملاحظات PWM ۳۷۶

8.12 هارمونیک های PWM ۳۷۷

سویچینگ دو قطبی ۳۷۷

سویچینگ تک قطبی ۳۸۲

8.13 تقویت کننده های صوتی کلاس D

۳۸۲

8.14 شبیه سازی اینورترهای مدوله شده

عرض پالس ۳۸۳

PWM دو قطبی ۳۸۳

WM تک قطبی ۳۸۶

8.15 اینورتر سه فاز ۳۸۹

اینورتر شش فاز ۳۸۹

اینورترهای سه فاز ۳۹۲

اینورترهای سه فاز خروجی ۳۹۴

8.16 شبیه سازی اینورترهای سه فاز توسط

PSpice ۳۹۴

اینورترهای سه فاز شش مرحله ای ۳۹۴

اینورترهای سه فاز PWM ۳۹۵

8.17 کنترل سرعت موتور القایی ۳۹۵

8.18 خلاصه ۳۹۸

8.19 فهرست مراجع ۳۹۹

مسائل ۳۹۹

فصل ۹

مبدل های تشدید ۴۰۵

9.1 مقدمه ۴۰۵

9.2 مبدل تشدید سویچ: سویچینگ

جریان صفر ۴۰۵

عملکرد مقدماتی ۴۰۵

ولتاژ خروجی ۴۰۹

9.3 مبدل سویچ تشدید: سویچینگ ولتاژ

صفر ۴۱۲

عملکرد مقدماتی ۴۱۲

ولتاژ خروجی ۴۱۶

10.8 گرماگیرها و مدیریت گرما ۴۶۹

دماهای حالت دائمی ۴۶۹

دماهای متغیر با زمان ۴۷۲

10.9 خلاصه ۴۷۵

10.10 فهرست مراجع ۴۷۶

مسائل ۴۷۶

ضمیمه A سری فوریه برخی

شکل موج های متداول ۴۸۱

ضمیمه B متوسط گیری فضای

حالت ۴۸۷

روابط پر کاربرد در الک رونیکی

قدرت ۴۹۳

فهرست موضوعی ۴۹۵

www.ketab.ir