الکترونیک قدرت

(تحلیل و طراحی)

تألیف:

دکتر کریم عباس‌زاده

(دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

مهندس سام روزبهانی

(عضو هیات علمی جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی)

www.ketab.ir

سرشناسه	: عباس‌زاده، کریم، ۱۳۴۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: الکترونیک قدرت (تحلیل و طراحی)/ تالیف کریم عباس‌زاده، سام روزبهانی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۷۴۷ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ کد کتاب ۳۶۶.
شابک	: 978-600-6383-80-4 :
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۸۱۶.
موضوع	: الکترونیک نیرو
موضوع	: مبدل‌های جریان برق
شناسه افزوده	: روزبهانی، سام، ۱۳۶۴ -
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. انتشارات
رده بندی کنگره	TKV۸۸۱/۱۵/ع۲الف۷ ۱۳۹۳
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۶۷۸۰۴۱

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی http://publication.kntu.ac.ir

نام کتاب: الکترونیک قدرت (تحلیل و طراحی)

مؤلفین: دکتر کریم عباس‌زاده ، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مهندس سام روزبهانی عضو هیئت علمی جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی

نوبت چاپ: دوم

تاریخ چاپ: اردیبهشت ۱۳۹۴

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۸۰۰۰ تومان

کد کتاب: ۳۶۶

شابک: ۴-۸۰-۶۳۸۳-۶۰۰-۹۷۸ ISBN: 978- 600-6383- 80-4

صحافی: گرنامی چاپ و لیتوگرافی: عرش دانش

آدرس و تلفن مرکز پخش و فروش: خیابان ولیعصر(عج)، بالاتر از میدان ونک، تقاطع میرداماد، روبروی ساختمان اسکان (۸۸۷۷۲۲۷۷-۰۲۱)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

www.ketab.ir

فهرست

پیشگفتار ..... ک

فصل ۱: علم الکترونیک قدرت چیست؟ ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- در هر مبدل الکترونیک قدرت از چه ادوات الکتریکی و الکترونیکی استفاده می‌شود؟ ۳

۱-۳- تقسیم‌بندی مبدل‌های الکترونیک قدرت از لحاظ توان و کاربرد ۳

۱-۴- اهمیت بازده در مبدل‌های الکترونیک قدرت ۶

فصل دوم: ادوات الکترونیک قدرت ۹

۲-۱- مقدمه ۹

۲-۲- نیمه‌هادی‌ها ۱۰

۲-۲-۱- الکترون و حفره در نیمه‌هادی ۱۰

۲-۲-۲- نیمه‌هادی نوع N و P ۱۲

۲-۲-۳- پیوند P – N ۱۳

۲-۲-۴- اتصال پیوند P – N به ولتاژ خارجی ۱۴

۲-۳- دیود: ۱۶

۲-۳-۱- مشخصه دیود: ۱۶

۲-۳-۲- بررسی عملکرد حالت گذرای دیود: ۱۹

۲-۳-۳- انواع دیود: ۲۲

۲-۴- تریستورها: ۲۳

۲-۴-۱- ساختار فیزیکی و داخلی یکسو ساز کنترلی سیلیکونی SCR ۲۳

۲-۴-۲- مشخصه ولتاژ- جریان SCR: ۲۹

۲-۴-۳- مشخصات تریستور ۳۰

۲-۴-۴- دیاک: ۳۱

۲-۴-۵- تریاک: ۳۲

۲-۴-۶- GTO: ۳۳

۲-۴-۷- MCT (MOSFET Controlled Thyristor) ۳۵

۲-۵- ترانزیستورهای قدرت ۳۶

۲-۵-۱- ترانزیستور پیوندی دوقطبی(BJT) ۳۷

۲-۵-۲- ویژگی‌های ساختاری مربوط به BJT قدرت: ۳۸

www.ketab.ir

۲-۵-۳- اصول عملکرد و مشخصه ولتاژ- جریان ترانزیستور BJT ۳۹
۲-۵-۴ طراحی مقاومت R_B جهت به اشباع بردن ترانزیستور BJT ۴۲
۲-۵-۵- تلفات ترانزیستور قدرت BJT ۴۴
۲-۶- ماسفت ۵۲
۲-۶-۱- ساختمان فیزیکی ماسفت ۵۲
۲-۶-۲- مشخصه ترانزیستور ماسفت ۵۵
۲-۶-۳- دیود سورس- درین ترانزیستور ماسفت ۵۷
۲-۶-۴- بررسی عملکرد حالت گذرای ترانزیستور ماسفت ۵۸
۲-۷- ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده(IGBT) ۶۰
۲-۷-۱ ساختمان IGBT ۶۱
۲-۷-۲- بررسی عملکرد حالت گذرای IGBT ۶۳
۲-۸- مقایسه عناصر نیمه‌هادی قدرت ۶۵
۲-۹- مشخصات نامی ادوات الکترونیک قدرت ۷۳
۲-۹-۱- مشخصات نامی ترانزیستور ماسفت ۷۳
۲-۹-۲- مقادیر مجاز ترانزیستور IGBT ۷۵
۲-۱۰- ملاحظات عملی در انتخاب ادوات نیمه‌هادی ۷۷
۲-۱۱- تقسیم بندی انواع کلیدها بر اساس مشخصه ولتاژ- جریان انواع کلیدها: ۷۸
۲-۱۱-۱ کلیدهای تک ناحیه‌ای: ۷۹
۲-۱۱-۲ کلید دو ناحیه‌ای با قابلیت عبور جریان دو طرفه ۸۰
۲-۱۱-۳- کلید دو ناحیه‌ای با قابلیت تحمل ولتاژ دوطرفه ۸۱
۲-۱۱-۴- کلیدهای چهار ناحیه ای: ۸۲

فصل سوم: مبدلهای DC-DC غیر ایزوله ۸۹
۳-۱- مقدمه ۸۹
۳-۲- مبدل $DC-DC$ باک ۹۲
۳-۲-۲- تحلیل حالت ماندگار مبدل باک ۹۴
۳-۲-۳ محاسبه متوسط جریان سلف و دامنه ریپل جریان سلف در مبدل باک ۹۶
۳-۲-۴- محاسبه بهره ولتاژ خروجی در مبدل باک ۹۹
۳-۲-۵- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی در مبدل باک ۱۰۲
۳-۲-۶- مدلسازی حالت ماندگار مبدل باک ۱۰۹
۳-۲-۷ عملکرد گسسته مبدل باک و تعیین مرز عملکرد پیوسته و گسسته ۱۱۶

www.ketab.ir

۳-۲-۸- محاسبه بهره ولتاژ خروجی درعملکرد گسسته مبدل باک ۱۲۴
۳-۲-۹- طراحی مبدل باک: ۱۳۲
۳-۳- مبدل بوست ۱۳۷
۳-۳-۱- تحلیل حالت ماندگار مبدل بوست ۱۳۷
۳-۳-۲- محاسبه بهره ولتاژ خروجی در مبدل بوست ۱۴۰
۳-۳-۳- محاسبه متوسط جریان سلف و دامنه ریپل جریان سلف در مبدل بوست ۱۴۲
۳-۳-۴- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی در مبدل بوست ۱۴۵
۳-۳-۵- محاسبه بهره مبدل بوست با در نظر گرفتن مقاومت سیم پیچی سلف ۱۴۶
۳-۳-۶- مدل ترانسفورمری dc مبدل بوست ۱۵۲
۳-۳-۷- بازده مبدل ۱۵۴
۳-۳-۸- محاسبه ی تلفات ادوات الکترونیک قدرت در مبدل بوست ۱۵۵
۳-۳-۹- تعیین مرز عملکرد پیوسته و گسسته مبدل بوست ۱۶۱
۳-۳-۱۰- محاسبه نسبت تبدیل ولتاژ خروجی به ورودی درعملکرد گسسته ۱۶۳
۳-۳-۱۱- طراحی مبدل بوست ۱۷۱
۳-۴- مبدل باک- بوست ۱۷۵
۳-۴-۱- تحلیل مبدل باک- بوست ۱۷۵
۳-۴-۲- محاسبه بهره ولتاژ مبدل باک-بوست در شرایط عملکرد پیوسته ۱۷۷
۳-۴-۳- محاسبه مقدار متوسط جریان سلف و حداکثر دامنه ریپل جریان سلف ۱۷۸
۳-۴-۴- محاسبه حداکثر دامنه ریپل ولتاژ خازن: ۱۷۹
۳-۴-۵- طراحی مبدل باک- بوست: ۱۸۲
۳-۵- مبدل کاک: ۱۸۳
۳-۵-۲- تحلیل مبدل کاک ۱۸۴
۳-۵-۳- محاسبه بهره ولتاژ خروجی مبدل کاک ۱۸۶
۳-۵-۴- محاسبه مولفه dc جریان سلفها و دامنه ریپل جریان سلف در مبدل کاک: ۱۸۸
۳-۵-۵- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خازن‌ها ۱۹۰
۳-۵-۶- طراحی مبدل کاک: ۱۹۲
۳-۶- مبدل سپیک ۱۹۴
۳-۶-۱- تحلیل مبدل سپیک ۱۹۵
۳-۶-۲- محاسبه بهره ولتاژ خروجی مبدل سپیک ۱۹۷
۳-۶-۳- محاسبه مولفه dcجریان سلف‌ها و دامنه ریپل جریان سلفها در مبدل باک: ۱۹۹
۳-۶-۴- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خازن‌ها ۲۰۰
۳-۷- ایجاد تغییرات در مدار مبدل DC-DC ۲۰۳

www.ketab.ir

۳-۷-۱- تعویض موقعیت منبع ولتاژ ورودی و بار ۲۰۳
۳-۷-۲- اتصال مبدلها به صورت پشت سر هم ۲۰۵
۳-۷-۳- کلیدزنی ترمینالهای منبع ولتاژ ورودی ۲۰۹
۳-۷-۴- اتصال تفاضلی بار ۲۱۰
۳-۸- معرفی انواع دیگری از مبدلهای $DC-DC$ ۲۱۶
۳-۹- تمرین: ۲۲۳

فصل چهارم : مبدلهای DC-DC ایزوله ۲۲۹
۴-۱- مقدمه ۲۲۹
۴-۲- استفاده از ترانسفورماتوردر مبدل های $DC-DC$ ۲۲۹
۴-۳- مبدل کاهنده ایزوله شده تمام پل ۲۳۳
۴-۳-۱- تحلیل مبدل کاهنده ایزوله شده تمام پل ۲۳۳
۴-۳-۲- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل کاهنده ایزوله شده تمام پل ۲۳۸
۴-۴- مبدل کاهنده ایزوله شده نیم پل ۲۳۹
۴-۵- مبدل مستقیم ۲۴۰
۴-۵-۱- تحلیل مبدل مستقیم ۲۴۰
۴-۵-۲- ملاحظات تنظیم زمان وظیفه مبدل مستقیم ۲۴۶
۴-۵-۳- محاسبه متوسط جریان سلف L و دامنه ریپل جریان آن: ۲۴۷
۴-۵-۴- محاسبه متوسط جریان سلف L_M و دامنه ریپل جریان آن: ۲۴۹
۴-۵-۵- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی ۲۴۹
۴-۵-۶- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل مستقیم ۲۴۹
۴-۵-۷- طراحی مبدل مستقیم ۲۵۴
۴-۶- مبدل مستقیم دو ترانزیستوری ۲۵۵
۴-۶-۱- تحلیل مبدل مستقیم دو ترانزیستوری ۲۵۵
۴-۷- مبدل پوش پول کاهنده ۲۵۸
۴-۷-۱- محاسبه متوسط جریان سلف L و دامنه ریپل جریان آن: ۲۵۸
۴-۷-۲- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی ۲۶۱
۴-۷-۳- محاسبه بهره ولتاژ مبدل پوش پول ۲۶۱
۴-۸- مبدل فلای بک ۲۶۳
۴-۸-۱- تحلیل مبدل فلای بک ۲۶۳
۴-۸-۲- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل فلای بک ۲۶۵
۴-۸-۳- محاسبه متوسط جریان سلف مغناطیس کننده ۲۶۸

www.ketab.ir

۴-۸-۴- محاسبه متوسط جریان ورودی ۲۶۹
۴-۸-۵- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی ۲۶۹
۴-۸-۶- مدلسازی مبدل فلای بک ۲۷۱
۴-۸-۷- عملکرد گسسته مبدل فلای بک ۲۷۲
۴-۸-۸- طراحی مبدل فلای بک : ۲۷۶
۴-۹- مبدل افزاینده تمام پل ایزوله شده ترانسفورمری ۲۷۹
۴-۹-۲- تحلیل مبدل افزاینده تمام پل ایزوله شده ترانسفورمری ۲۸۰
۴-۹-۳- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل افزاینده تمام پل ایزوله شده ترانسفورمری ۲۸۲
۴-۱۰- مبدل پوش پول افزاینده ۲۸۳
۴-۱۱- مبدل سپیک ایزوله شده ترانسفورمری ۲۸۴
۴-۱۱-۱- تحلیل مبدل سپیک ایزوله شده ترانسفورمری ۲۸۵
۴-۱۱-۲- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل سپیک ایزوله شده ترانسفورمری ۲۸۵
۴-۱۲- مبدل کاک ایزوله شده ۲۸۸
۴-۱۳- ارزیابی مبدل ها ۲۸۹
۴-۱۳-۱- تنشهای الکتریکی و ضریب بهره‌وری کلید نیمه‌هادی ۲۸۹
۴-۱۴- طراحی مبدل ها ی DC-DC با در نظر گرفتن ملاحظات عملی ۲۹۳
۴-۱۵- تمرین: ۲۹۸

فصل پنجم: اینورتر ۳۰۳
۵-۱- مقدمه ۳۰۳
۵-۲- ایده ی کلی جهت ایجاد شکل موج AC از طریق شکل موج DC ۳۰۴
۵-۳- اینورترتک فاز نیم پل ۳۰۵
۵-۳-۱- تحلیل اینورتر تک فاز نیم پل برای بار مقاومتی ۳۰۵
۵-۳-۲- تحلیل اینورتر تک فاز نیم پل برای بار سلفی ۳۰۵
۵-۳-۳- تعیین زمان قابلیت روشن شدن ترانزیستورها ۳۰۹
۵-۴- اینورتر تک فاز تمام پل ۳۱۰
۵-۴-۱- تحلیل اینورتر تک فاز تمام پل با بار سلفی- مقاومتی ۳۱۱
۵-۴-۲- کنترل ولتاژ اینورترتک فاز تمام پل با روش شیفت فاز ۳۱۶
۵-۵- اینورتر پل سه فاز ۳۲۲
۵-۵-۱- اینورتر پل سه فاز شش پله‌ای ۳۲۲
۵-۵-۲- تحلیل مدار اینورتر سه فاز با عملکرد موج مربعی یا شش پله‌ای ۳۲۳
۵-۵-۳- محاسبه ولتاژهای فاز بار و خط اینورتر سه فاز ۳۲۶

www.ketab.ir

۵-۵-۴- نحوه تعیین فرکانس ولتاژ خروجی اینورتر سه فاز وفرکانس کلیدزنی ۳۳۱
۵-۵-۵- تعیین محدوده ولتاژ و جریان ترانزیستورها ۳۳۱
۵-۶- اضافه کردن ترانسفورماتور ایزوله به اینورتر پل سه فاز ۳۳۵
۵-۶-۲- تحلیل مدار اینورتر پل سه فاز به همراه ترانزستورماتور ایزوله ۳۳۵
۵-۶-۳- محاسبه ولتاژهای فاز خروجی اینورتر ۳۳۸
۵-۷- انواع روشهای PWM ۳۴۱
۵-۸- کلیدزنی اینورتر تـــک فاز تمام پل با روش PWM دو قطبی ۳۴۴
۵-۹- کلیدزنی اینورتر تک فاز تمام پل با روش PWM تک قطبی ۳۴۶
۵-۱۰- کلیدزنی اینورتر پل سه فاز با روش PWM سینوسی (SPWM): ۳۴۸
۵-۱۱- بررسی دامنه ولتاژ خروجی و هارمونیکها در انواع اینورتر ۳۵۷
۵-۱۱-۱- بررسی هارمونیکهای اینورتر تکفاز تمام پل دوپله‌ای : ۳۵۷
۵-۱۱-۲- بررسی هارمونیکهای اینورتر سهفاز شش‌پله‌ای: ۳۵۸
۵-۱۱-۳- بررسی هارمونیکهای اینورتر تکفاز تمام پل با کلید زنی PWM دوقطبی: ۳۵۸
۵-۱۱-۴- بررسی هارمونیکهای اینورتر تکفاز تمام پل با کلید زنی PWM تک قطبی: ۳۶۱
۵-۱۱-۵- بررسی هارمونیکهای اینورتر سه‌فاز با کلید زنی PWM ۳۶۲
۵-۱۲-PWM با هدف حذف یکسری از هارمونیکها ۳۶۳
۵-۱۳-PWM با کنترل جریان باند هیسترزیس برای اینورتر تک فاز تمام پل ۳۷۰
۵-۱۴- مدولاسیون بردار فضایی SVM ۳۷۲
۵-۱۵- انواع ساختار اینورترهای چند سطحی ۳۹۰
۵-۱۵-۱- اینورتر چند سطحی با کلمپ دیودی ۳۹۱
۵-۱۵-۲- بررسی بردارهای تولیدی توسط اینورتر سه سطحی NPC ۳۹۳
۵-۱۵-۳- بررسی مسئله انحراف ولتاژ خازنها در اینورتر سه سطحی ۴۰۲
۵-۱۵-۴- اینورتر چند سطحی با خازن معلق (شناور) ۴۰۲
۵-۱۵-۵- اینورتر چند سطحی با ساختار متوالی ۴۰۵
۵-۱۶- تمرین: ۴۱۰

فصل ششم: مبدلهای رزونانسی ۴۱۳
۶-۱- مقدمه ۴۱۳
۶-۲- اینورتر سری رزونانسی: ۴۱۸
۶-۳- مبدل $DC-DC$ رزونانسی سری: ۴۲۲
۶-۳-۱- عملکرد فوق رزونانسی $\omega_S > \omega$: ۴۲۲
۶-۴- مبدل DC-DC رزونانسی موازی ۴۲۸

www.ketab.ir

۶-۵- کلید زنی نرم ۴۳۳
۶-۵-۱- کلیدزنی در جریان صفر مبدل تمام پل $dc-dc$ رزونانسی ۴۳۳
۶-۵-۲- بررسی معایب کلیدزنی در جریان صفر مبدل تمام پل رزونانسی: ۴۳۷
۶-۵-۳- کلیدزنی در ولتاژ صفر مبدل تمام پل رزونانسی: ۴۳۸
۶-۵-۴- معایب و مزایای کلید زنی در ولتاژ صفر: ۴۴۲

فصل هفتم : طراحی سلف و تراسفورماتور مبدلهای الکترونیک قدرت ۴۴۷
۷-۱- مقدمه: ۴۴۷
۷-۲- یادآوری مباحث پایه‌ای مغناطیس: ۴۴۸
۷-۲-۱- قانون مداری آمپر: ۴۴۸
۷-۲-۲- قانون فارادی ۴۵۱
۷-۲-۳- قانون لنز ۴۵۲
۷-۲-۴- قانون گوس ۴۵۳
۷-۳- انواع مواد مغناطیسی و مشخصه مغناطیسی آنها: ۴۵۳
۷-۴- اندوکتانس (L) در یک مدار ساده مغناطیسی ۴۵۶
۷-۵- ایجاد فاصله هوایی در هسته مغناطیسی ۴۶۱
۷-۵-۲- تلفات هسته ۴۶۸
۷-۵-۳- محاسبه تلفات ناشی از پس ماند مغناطیسی(هیسترزیس) ۴۶۸
۷-۵-۴- محاسبه تلفات ناشی از جریان گردابی (ادی کارنت) ۴۷۱
۷-۶- کلاس بندی هسته‌های مغناطیسی بر اساس تلفات هسته و حداکثر چگالی اشباع ۴۷۲
۷-۷- محاسبه تلفات ناشی از سیم‌پیچی‌های مسی ۴۷۴
۷-۷-۲- اثر پوستی ۴۷۵
۷-۷-۳- اثر مجاورتی ۴۷۸
۷-۸- کلاس بندی انواع ادوات مغناطیسی ۴۸۳
۷-۹- طراحی سلف ۴۹۳
۷-۹-۱- روش اول طراحی سلف ۴۹۳
۷-۹-۲- روش دوم طراحی سلف ۵۰۳
۷-۱۰- طراحی ترانسفورماتور ۵۱۲

فصل هشتم: مبدلهای DC-DC تریستوری ۵۲۷
۸-۱- مقدمه ۵۲۷

www.ketab.ir

۸-۲- تعریف کموتانسیون و انواع آن ۵۲۸
۸-۳- کموتاسیون موازی توسط خازن ۵۲۹
۸-۳-۲- تحلیل مدار ۵۳۰
۸-۳-۳- معایب روش کموتاسیون موازی با خازن ۵۳۸
۸-۳-۴- بررسی زمانهای مهم در سیکل کاری ۵۳۹
۸-۳-۵- تکمیل مدار ۵۴۲
۸-۳-۶- استفاده از دیود D_{AR} : ۵۴۶
۸-۳-۷- تأثیر اضافه کردن المانهای جدید (D_r و L') روی عملکرد مدار ۵۴۶
۸-۳-۸- مشخصه‌ها ۵۴۹
۸-۴- کموتاسیون موازی توسط مدار نوسانی ۵۵۱
۸-۴-۲- تحلیل و عملکرد مدار ۵۵۱
۸-۴-۳- وظیفه مدار میرا کننده $D_a R_a$ و انتخاب مقدار مقاومت R_a ۵۶۷
۸-۴-۴- عملکرد مبدل کموتاسیون با مدار میرا کننده ۵۶۷
۸-۴-۵- اندازه مقاومت R_a ۵۷۱
۸-۴-۶- اثرات مدار خاموش کننده ترانزیستور ۵۷۲
۸-۵- روش کموتاسیون سری ۵۷۶
۸-۵-۲- تحلیل و عملکرد ۵۷۶
۸-۵-۳- اثرات مدار کموتاسیون ۵۸۴
۸-۵-۴- مشخصه‌ها ۵۸۶
۸-۶- مقایسه بین انواع روشهای کموتاسیون ۵۸۶
۸-۶-۲- معیار زمان بایاس معکوس ۵۸۸
۸-۶-۳- محدودیت کنترل دامنه ولتاژ خروجی ۵۸۸
۸-۶-۴- اضافه ولتاژ روی ادوات نیمه هادی: ۵۸۹
۸-۶-۵- تلفات کموتاسیون ۵۹۰
۸-۶-۶- جمع بندی مقایسه بین سه روش کموتاسیون ۵۹۱
۸-۷- ایجاد تغییرات در مدارات کموتاسیون مبدل کاهنده ۵۹۱
۸-۷-۱- تغییر ادوات الکترونیک قدرت ۵۹۲
۸-۷-۲- اعمال تغییرات در ساختار مدارات کموتاسیون ۶۰۱
۸-۸- مدارات کموتاسیون مبدلهای DC-DC افزاینده ۶۰۵
۸-۹-۱- ارائه یک ایده‌ی کلی از نحوه‌ی عملکرد مبدلهای DC-DC افزاینده ۶۰۸
۸-۱۰- روش کموتاسیون موازی با خازن در مبدلهای DC-DC افزاینده ۶۰۸
۸-۱۰-۲- روش کموتاسیون موازی با مدار نوسانگر و روش کموتاسیون سری ۶۱۴

www.ketab.ir

۸-۱۰-۳- نکاتی در مورد تشابه مدارات کموتاسیون: ۶۲۰
۸-۱۱- معرفی مبدلهای DC-DC با قابلیت عملکرد افزاینده و کاهنده ۶۲۲
۸-۱۱-۱- مدار کموتاسیون نوع اول مبدل DC-DC با عملکرد افزاینده و کاهنده ۶۲۳
۸-۱۱-۲- بررسی عملکرد کاهنده برای مبدلهای DC-DC ۶۲۵
۸-۱۲- تمرین: ۶۳۰

فصل نهم: مدارهای راه انداز ۶۳۵
۹-۱- مقدمه ۶۳۵
۹-۲- ویژگی‌های لازم مدارهای راه‌انداز ترانزیستورهای BJT قدرت ۶۳۵
۹-۳- مدارهای عملی راه‌انداز بیس ترانزیستور BJT ۶۳۸
۹-۳-۲- کنترل زمان خاموش شدن ۶۳۹
۹-۳-۳- روش نسبی کنترل جریان بیس ۶۴۰
۹-۳-۴- مدار بیس جهت جلوگیری اشباع بیش از حد ترانزیستور: ۶۴۰
۹-۳-۵- مدار تکمیلی راه‌انداز ترانزیستور ۶۴۲
۹-۳-۶- لزوم ایزوله بردن مدار راه‌انداز از مدار سیگنال یا مدار قدرت ۶۴۳
۹-۳-۷- مدار محافظ در برابر اضافه جریان: ۶۴۵
۹-۳-۸- اتصال دارلینگتون ۶۴۷
۹-۳-۹- ملاحظات عملی در طراحی مدارهای راه‌انداز ترانزیستور BJT ۶۴۸
۹-۴- مدارهای راه‌اندازی ماسفت p کانال: ۶۴۹
۹-۵- مدار راه‌انداز IGBT ، SCR و دیاک ۶۵۱
۹-۶- تمرین: ۶۵۵

فصل دهم: مدارهای ضربه گیر ۶۵۷
۱۰-۱- مقدمه ۶۵۷
۱۰-۲- ارزیابی تلفات ناشی از کلید زنی ادوات نیمه‌هادی در مبدل کاهنده: ۶۵۷
۱۰-۳- استفاده از مدار ضربه‌گیر در فاصله زمانی ۶۶۰
۱۰-۳-۲- ارزیابی تلفات کلید زنی مبدل کاهنده ۶۶۱
۱۰-۳-۳- معایب مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۳) : ۶۶۲
۱۰-۳-۴- محاسبه کل تلفات مبدل شکل (۱۰-۳): ۶۶۵
۱۰-۳-۵- بازیابی انرژی کلید زنی در مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۳): ۶۶۶
۱۰-۴- استفاده از مدار ضربه‌گیر در فاصله زمانی خاموش شدن کلید در مبدل کاهنده: ۶۷۰
۱۰-۴-۲- ارزیابی تلفات کلید زنی ۶۷۱

www.ketab.ir

۱۰-۴-۳- معایب مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۴) : ۶۷۶
۱۰-۴-۴- محاسبه کل تلفات مبدل شکل (۱۰-۴): ۶۷۹
۱۰-۴-۵- بازیابی انرژی کلید زنی در مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۴): ۶۸۰
۱۰-۵- ترکیب دو مدار ضربه‌گیر بدون بازیابی انرژی: ۶۸۲
۱۰-۵-۱- تحلیل مدار ضربه‌گیر ترکیبی: ۶۸۲
۱۰-۵-۲- مشخصه‌ها: ۶۹۲
۱۰-۶- تمرین ۶۹۴
مراجع ۶۹۷
پیوست ۶۹۹
واژه‌نامه ۷۲۳

www.ketab.ir

پیشگفتار:

اهمیت استفاده از مبدلهای الکترونیک قدرت از دو منظر تولید و مصرف انرژی الکتریکی، قابل اهمیت می‌باشد. از منظر اول، یکی از معیارهای توسعه اقتصادی جوامع صنعتی، میزان تولید انرژی الکتریکی‌می باشد. تا سالهای نه چندان دور، سوخت‌های فسیلی نظیر نفت، گاز، ذغال سنگ، به عنوان تامین کننده اصلی، جهت تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده بشر بوده‌اند. اما با کاهش منابع انرژی، ازدیاد جمعیت، پیشرفت تکنولوژی و گران شدن قیمت نفت، استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نیز روند رو به رشدی داشته است. از مشکلات اصلی بهره برداری از انرژی‌های تجدید پذیر متغییر بودن توان تولیدی، سطح ولتاژ و فرکانس آنها می‌باشد. به همین خاطر لزوم استفاده از مبدل، در خروجی سیستم‌های تجدیدپذیر جهت تولید توان الکتریکی با کیفیت مناسب وجود دارد. از منظر دوم نیز، انرژی الکتریکی عموماً به دو شکل جریان مستقیم (DC) وجریان متناوب(AC) مصرف می‌شود. نیروگاه‌های برق وظیفه تولید انرژی (AC) با سطح ولتاژ ثابت و فرکانس ثابت را بر عهده دارند. این در حالی است که انرژی الکتریکی با سطوح مختلف ولتاژ و فرکانس در کاربردهای مختلف مورد نیاز می‌باشد. به عبارت بهتر در مصارف مختلف انرژی الکتریکی (خانگی، تجاری، صنعتی، کشاورزی) نیاز به شکل‌های مختلف انرژی الکتریکی أعم از انرژی الکتریکی (DC) با دامنه و فرکانس ثابت و یا متغیر و همچنین انرژی الکتریکی (AC) با دامنه و فرکانس ثابت یا متغییر می‌باشد. به همین خاطر در این شرایط نیز لزوم استفاده از مبدل، برای تبدیل انرژی الکتریکی از یک شکل‌به‌شکل دیگر وجود دارد. علم الکترونیک قدرت به طراحی و ساخت این مبدل‌ها می-پردازد. به عبارت بهتر اگر بخواهیم الکترونیک قدرت را به اختصار تعریف کنیم، باید گفت:

الکترونیک قدرت علمی است که در آن مباحث مربوط به ساخت مبدل‌ها با استفاده از مدارها و کلیدهای الکترونیک قدرت به منظور تبدیل انرژی الکتریکی از یک نوع به یک نوع دیگر ارائه می‌شود. پیشنیاز طراحی و ساخت مبدل‌های الکترونیک قدرت علوم دیگری از قبیل تئوری مدار، تئوری کنترل، الکترونیک، الکترومغناطیس، میکروکنترلرو تحلیل حرارتی می‌باشند.

تجربه سالها تدریس درس سه واحدی الکترونیک قدرت۱، در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در دانشگاه‌های دولتی و آزاد اسلامی از یک طرف و از طرف دیگر نبود مرجع مناسب جهت پوشش دادن کلیه سرفصل‌های مصوب شورای عالی انقلاب فرهنگی در یک کتاب، ما را بر آن داشت که کتابی را با این عنوان تالیف کرده و در اختیار جامعه دانشگاهی قرار دهیم. کار تالیف این کتاب حدود شش سال طول کشیده و جهت انجام آن از مراجع متعددی استفاده شده است.

www.ketab.ir

هدف اصلی این کتاب تحلیل و طراحی مبدلهای الکترونیک قدرت بصورت گام به گام و با زبان ساده و روان می‌باشد. بطوریکه می‌توان گفت تحلیل کلیه مبدلها بصورت گام به گام و با زبانی ساده، به عنوان روشی نوین در آموزش این درس سه واحدی می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های این کتاب، خودآموز بودن آن است و برای اکثریت مبدلها، تعدادی مسائل حل شده (تحلیل و یا طراحی) در نظر گرفته شده‌است. همچنین با توجه به اینکه این درس جزو منابع کنکور دکتری برق- قدرت محسوب می‌شود، سوالات سه سال اخیر به همراه پاسخ تشریحی آنها، نیز در این کتاب ارائه شده است.

در فصل اول این کتاب به تعریف، اهمیت و کاربردهای مبدل‌های الکترونیک قدرت پرداخته شده‌است. در فصل دوم، ادوات مورد استفاده در مبدل‌های الکترونیک قدرت به همراه ویژگی‌های هریک بررسی شده‌اند. ادوات الکترونیک قدرت در واقع قلب سیستم‌های الکترونیک قدرت محسوب می‌شوند. ادوات الکترونیک قدرت در انواع مبدل‌ها نقش کلید را بازی می‌کنند. در هر مبدل الکترونیک قدرت هدف این است که با روشن و خاموش کردن ادوات الکترونیک قدرت به ازای توان الکتریکی معین در ورودی، توان الکتریکی مطلوب در خروجی ایجاد شود. در فصول سوم و چهارم به تحلیل و طراحی مبدل‌های DC-DC ایزوله و غیرایزوله پرداخته شده‌است. از ویژگی‌های اصلی این دو فصل تحلیل و طراحی انواع مبدل‌های DC-DC بصورت گام به گام می‌باشد، طوریکه در تمامی این مبدل‌ها به تحلیل، تعیین بهره، تعیین دامنه ریپل ولتاژ خروجی، تعیین دامنه ریپل جریان، تعیین شرایط عملکرد پیوسته و گسسته و روش طراحی آنها پرداخته شده‌است. مبدل‌هایی که در این فصول بررسی شده‌اند شامل باک، بوست، باک-بوست، کاک، سپیک، پل کاهنده و افزاینده، فلای‌بک، مستقیم، پوش پول و... می‌باشند. در فصل پنجم تحلیل مبدلهای DC-AC صورت گرفته است. در این فصل ابتدا به تحلیل انواع اینورترهای تک فاز و سه فاز پرداخته شده‌است. سپس روش‌های کلیدزنی مدولاسیون عرض پالس، مدولاسیون بردار فضایی، مقایسه دامنه ولتاژ خروجی و مقایسه هارمونیکی آنها بررسی شده‌است. در فصل ششم به تحلیل مبدلهای رزونانسیDC-DC و اینورتررزونانسی به روش فازوری پرداخته شده‌است. در این فصل روش‌های کلیدزنی در ولتاژ صفر و کلیدزنی در جریان صفر به صورت گام به گام تشریح شده‌است. در فصل هفتم به طراحی سلف و ترانسفورماتور مبدلهای الکترونیک قدرت پرداخته شده‌است. به عبارت دیگر الگوریتم طراحی سلف‌ها و ترانسفورماتورهای فرکانس بالا در این فصل ارائه شده‌است. با توجه به اینکه مدارهای مربوط به کموتاسیون مبدلهای DC-DC تریستوری، علی رغم قدیمی بودن، همچنان کاربردی می‌باشد، در فصل هشتم به تحلیل و روش کموتاسیون آنها پرداخته شده‌است. درفصول نهم و دهم، هدف معرفی مدارات راه‌انداز و مدارات ضربه گیر ادوات الکترونیک قدرت می‌باشد. در مبدل‌های الکترونیک قدرت فرمان‌های قطع و وصل ادوات را میکروکنترلرها ایجاد می‌کنند. اما میکروکنترلرها به دلیل وجود محدودیت

www.ketab.ir

در میزان ولتاژ و جریان دهی، به طور مستقیم به ادوات نیمه‌هادی اتصال نمی‌یابند. به همین دلیل لزوم استفاده از مدارهای واسطه جهت دریافت فرمان در میکروکنترلر و نهایتا ایجاد سیگنال مناسب برای قطع و وصل ادوات وجود دارد. همچنین استفاده از مدارهای ضربه‌گیر جهت کاهش تلفات کلید زنی ادوات الکترونیک قدرت همواره لازم می‌باشد.

هرچند برای بازخوانی و ویرایش متن کتاب در طول این مدت، زمان زیادی صرف شده‌است، اما از خوانندگان عزیز وعلی الخصوص دانشجویان گرامی، خواهشمندیم هرگونه اصلاح و یا پیشنهاد خود را جهت پربارشدن چاپهای بعدی کتاب برای مولفان ارسال نمایند. جا دارد از زحمات آقای **محمدرضا روزبهانی** دانشجوی کارشناسی مهندسی برق که در ویرایش و ترسیم شکل‌های کتاب زحمات زیادی را متقبل گردیدند، تشکر و قدردانی نماییم. همچنین از آنجایی که انجام چنین کاری بدون همراهی و تشویق خانواده مولفان امکان پذیر نمی‌باشد، لذا از ایشان به جهت صبر و همراهی ایشان نیز تشکر می‌نماییم. در پایان جا دارد از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و حوزه معاونت پژوهشی جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی، به خاطر حمایت‌های ایشان جهت تالیف این کتاب نهایت تشکر و قدردانی به جا آورده شود.

با سپاس

کریم عباس‌زاده، abbaszadeh@eetd.kntu.ac.ir

(دانشیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

سام روزبهانی، samroozbehani@jdnasir.ac.ir

(عضو هیات علمی جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی)

www.ketab.ir