

الکترونیک قدرت

(تحلیل و طراحی)

تألیف:

دکتر کریم عباس زاده

(دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

مهندس سام روزبهانی

(عضو جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی)

سرشناسه	: عباسزاده، کریم، ۱۳۴۰ -
عنوان و نام پدیدآور	: الکترونیک قدرت (تحلیل و طراحی) // تألیف کریم عباسزاده، سام روزبهانی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۸۰۱ ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ کد کتاب ۳۶۶.
شابک	: 978-600-6383-80-4 :
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
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	: ۱۳۹۳ ۷ الف ۷۵/۱۵ TK۷۸۸۱
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۶۲۸۶۴۱

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، سام روزبهانی

نوبت چاپ: اول

تاریخ چاپ: آذرماه ۱۳۹۳

تیراژ: ۲۰۰ جلد

قیمت: ۴۲۵۰۰ تومان

کد کتاب: ۳۶۶

ISBN: 978-600-6383-80-4

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۸۳-۸۰-۴

چاپ و لیتوگرافی: عرش دانش

صحافی: گرنامی

آدرس و تلفن مرکز پخش و فروش: خیابان ولیعصر (عج)، بالاتر از میدان ونک، تقاطع

میرداماد، روبروی ساختمان اسکان (۰۲۱-۸۸۷۷۲۲۷۷)

(حق چاپ برای ناشر محفوظ است)

فهرست

پیشگفتار

ی

فصل ۱: علم الکترونیک قدرت چیست؟

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..... ۴

۱-۴- اهمیت بازده در مبدل‌های الکترونیک قدرت..... ۷

فصل دوم: ادوات الکترونیک قدرت

۲-۱- مقدمه..... ۹

۲-۲- نیمه‌هادی‌ها..... ۱۰

۲-۲-۱- الکترون و حفره در نیمه‌هادی..... ۱۰

۲-۲-۲- نیمه‌هادی نوع P و N..... ۱۳

۲-۲-۳- پیوند P - N..... ۱۴

۲-۲-۴- اتصال پیوند P - N به ولتاژ خارجی..... ۱۵

۲-۳- دیود:..... ۱۷

۲-۳-۱- مشخصه دیود:..... ۱۸

۲-۳-۲- بررسی عملکرد حالت گذرای دیود:..... ۲۰

۲-۳-۳- انواع دیود:..... ۲۳

۲-۴- ترستورها:..... ۲۴

۲-۴-۱- ساختار فیزیکی و داخلی یکسو ساز کنترلی سیلیکونی SCR..... ۲۵

۲-۴-۲- مشخصه ولتاژ- جریان SCR..... ۳۱

۲-۴-۳- مشخصات ترستور..... ۳۲

۲-۴-۴- دیاک:..... ۳۳

۲-۴-۵- تریاک:..... ۳۴

۲-۴-۶- GTO..... ۳۶

۲-۴-۷- MCT (MOSFET Controlled Thyristor)..... ۳۸

۲-۵- ترانزیستورهای قدرت..... ۳۹

۲-۵-۱- ترانزیستور پیوندی دوقطبی (BJT)..... ۴۰

۲-۵-۲- ویژگی‌های ساختاری مربوط به BJT قدرت:..... ۴۱

۲-۵-۳- اصول عملکرد و مشخصه ولتاژ- جریان ترانزیستور BJT:..... ۴۲

۴۵	۲-۵-۴ طراحی مقاومت R_B جهت به اشباع بردن ترانزیستور BJT
۴۷	۵-۵-۲ تلفات ترانزیستور قدرت BJT
۵۵	۲-۶-۲ ماسفت
۵۵	۱-۶-۲ ساختمان فیزیکی ماسفت
۵۹	۲-۶-۲ مشخصه ترانزیستور ماسفت
۶۱	۳-۶-۲ دیود سورس-درین ترانزیستور ماسفت
۶۲	۴-۶-۲ بررسی عملکرد حالت گذرای ترانزیستور ماسفت
۶۴	۷-۲ ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده (IGBT)
۶۶	۲-۷-۱ ساختمان IGBT
۶۸	۲-۷-۲ بررسی عملکرد حالت گذرای IGBT
۷۰	۸-۲ مقایسه عناصر نیمه‌هادی‌های قدرت
۷۸	۹-۲ مشخصات نامی ادوات الکترونیک قدرت
۷۸	۱-۹-۲ مشخصات نامی ترانزیستور ماسفت
۸۱	۲-۹-۲ مقادیر مجاز ترانزیستور IGBT
۸۲	۲-۱۰ ملاحظات عملی در انتخاب ادوات نیمه‌هادی
۸۳	۲-۱۱ تقسیم بندی انواع کلیدها بر اساس مشخصه ولتاژ-جریان انواع کلیدها
۸۵	۱-۱۱-۲ کلیدهای تک ناحیه‌ای
۸۶	۲-۱۱-۲ کلید دو ناحیه‌ای با قابلیت عبور جریان دوطرفه
۸۸	۳-۱۱-۲ کلید دو ناحیه‌ای با قابلیت تحمل ولتاژ دوطرفه
۸۸	۴-۱۱-۲ کلیدهای چهار ناحیه‌ای
۹۵	فصل سوم: مبدل‌های DC-DC غیر ایزوله
۹۵	۱-۳ مقدمه
۹۹	۲-۳ مبدل DC - DC باک
۱۰۱	۲-۲-۳ تحلیل حالت ماندگار مبدل باک
۱۰۴	۳-۲-۳ محاسبه متوسط جریان سلف و دامنه ریپل جریان سلف در مبدل باک
۱۰۵	۴-۲-۳ محاسبه بهره ولتاژ خروجی در مبدل باک
۱۰۸	۵-۲-۳ محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی در مبدل باک
۱۱۷	۶-۲-۳ مدلسازی حالت ماندگار مبدل باک
۱۲۴	۷-۲-۳ عملکرد گسسته مبدل باک و تعیین مرز عملکرد پیوسته و گسسته
۱۳۳	۸-۲-۳ محاسبه بهره ولتاژ خروجی در عملکرد گسسته مبدل باک

۱۴۱	۹-۲-۳- طراحی مبدل باک:
۱۴۶	۳-۳- مبدل بوست
۱۴۶	۱-۳-۳- تحلیل حالت ماندگار مبدل بوست
۱۴۹	۲-۳-۳- محاسبه بهره ولتاژ خروجی در مبدل بوست
۱۵۲	۳-۳-۳- محاسبه متوسط جریان سلف و دامنه ریل جریان سلف در مبدل بوست
۱۵۵	۴-۳-۳- محاسبه دامنه ریل ولتاژ خروجی در مبدل بوست
۱۵۶	۵-۳-۳- محاسبه بهره مبدل بوست با در نظر گرفتن مقاومت سیم پیچی سلف
۱۶۲	۶-۳-۳- مدل ترانسفورمری dc مبدل بوست
۱۶۴	۷-۳-۳- بازده مبدل
۱۶۶	۸-۳-۳- محاسبه ی تلفات ادوات الکترونیک قدرت در مبدل بوست
۱۷۲	۹-۳-۳- تعیین مرز عملکرد پیوسته و گسسته مبدل بوست
۱۷۵	۱۰-۳-۳- محاسبه نسبت تبدیل ولتاژ خروجی به ورودی در عملکرد گسسته
۱۸۴	۱۱-۳-۳- طراحی مبدل بوست
۱۸۸	۴-۳- مبدل باک- بوست
۱۸۹	۲-۴-۳- تحلیل مبدل باک- بوست
۱۹۱	۳-۴-۳- محاسبه بهره ولتاژ مبدل باک- بوست در شرایط عملکرد پیوسته
۱۹۱	۴-۴-۳- محاسبه مقدار متوسط جریان سلف و حداکثر دامنه ریل جریان سلف
۱۹۲	۵-۴-۳- محاسبه حداکثر دامنه ریل ولتاژ خازن:
۱۹۶	۶-۴-۳- طراحی مبدل باک- بوست:
۱۹۷	۵-۳- مبدل کاک:
۱۹۸	۲-۵-۳- تحلیل مبدل کاک
۲۰۲	۳-۵-۳- محاسبه بهره ولتاژ خروجی مبدل کاک
۲۰۲	۴-۵-۳- محاسبه مولفه dc جریان سلفها و دامنه ریل جریان سلفها در مبدل کاک:
۲۰۵	۵-۵-۳- محاسبه دامنه ریل ولتاژ خازن ها
۲۰۷	۶-۵-۳- طراحی مبدل کاک:
۲۰۹	۶-۳- مبدل سپیک
۲۰۹	۱-۶-۳- تحلیل مبدل سپیک
۲۱۴	۲-۶-۳- محاسبه بهره ولتاژ خروجی مبدل سپیک
۲۱۴	۳-۶-۳- محاسبه مولفه dc جریان سلفها و دامنه ریل جریان سلفها در مبدل باک:
۲۱۶	۴-۶-۳- محاسبه دامنه ریل ولتاژ خازن ها:
۲۱۹	۷-۳- ایجاد تغییرات در مدار مبدل $DC-DC$
۲۱۹	۱-۷-۳- تعویض موقعیت منبع ولتاژ ورودی و بار
۲۲۱	۲-۷-۳- اتصال مبدلها به صورت پشت سر هم

۲۲۶	۳-۷-۳- کلیدزنی ترمینالهای منبع ولتاژ ورودی
۲۲۷	۳-۷-۴- اتصال تفاضلی بار
۲۳۴	۳-۸- معرفی انواع دیگری از مبدل‌های $DC-DC$
۲۴۱	۳-۹- تمرین:
۲۴۷	فصل چهارم: مبدل‌های $DC-DC$ ایزوله
۲۴۷	۴-۱- مقدمه
۲۴۷	۴-۲- استفاده از ترانزستور مایوردر مبدل های $DC-DC$
۲۵۱	۴-۳-۳- مبدل کاهنده ایزوله شده تمام پل
۲۵۲	۴-۳-۲- تحلیل مبدل کاهنده ایزوله شده تمام پل
۲۵۷	۴-۳-۴- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل کاهنده ایزوله شده تمام پل
۲۵۸	۴-۴- مبدل کاهنده ایزوله شده نیم پل
۲۶۰	۴-۵- مبدل مستقیم
۲۶۰	۴-۵-۱- تحلیل مبدل مستقیم
۲۶۵	۴-۵-۲- ملاحظات تنظیم زمان وظیفه مبدل مستقیم
۲۶۶	۴-۵-۳- محاسبه متوسط جریان سلف L و دامنه ریپل جریان آن:
۲۶۸	۴-۵-۴- محاسبه متوسط جریان سلف L و دامنه ریپل جریان آن:
۲۶۹	۴-۵-۵- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی
۲۶۹	۴-۵-۶- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل مستقیم
۲۷۳	۴-۵-۷- طراحی مبدل مستقیم
۲۷۴	۴-۶- مبدل مستقیم دو ترانزیستوری
۲۷۵	۴-۶-۱- تحلیل مبدل مستقیم دو ترانزیستوری
۲۷۸	۴-۷- مبدل پوش پول کاهنده
۲۸۰	۴-۷-۲- محاسبه متوسط جریان سلف L و دامنه ریپل جریان آن:
۲۸۲	۴-۷-۳- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی
۲۸۲	۴-۷-۴- محاسبه بهره ولتاژ مبدل پوش پول
۲۸۴	۴-۸- مبدل فلای بک
۲۸۵	۴-۹- تحلیل مبدل فلای بک
۲۹۰	۴-۹-۲- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل فلای بک
۲۹۱	۴-۹-۳- محاسبه متوسط جریان سلف مغناطیس کننده
۲۹۲	۴-۹-۴- محاسبه متوسط جریان ورودی
۲۹۲	۴-۹-۵- محاسبه دامنه ریپل ولتاژ خروجی
۲۹۳	۴-۹-۶- مدلسازی مبدل فلای بک

۲۹۵	۴-۹-۷- عملکرد گسسته مبدل فلای بک
۲۹۸	۴-۹-۸- طراحی مبدل فلای بک
۳۰۱	۴-۱۰-۱- مبدل افزایشده تمام پل ایزوله شده ترانسفورمری
۳۰۲	۴-۱۰-۲- تحلیل مبدل افزایشده تمام پل ایزوله شده ترانسفورمری
۳۰۴	۴-۱۰-۳- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل افزایشده تمام پل ایزوله شده ترانسفورمری
۳۰۶	۴-۱۱-۱- مبدل پوش پول افزایشده
۳۰۷	۴-۱۲-۱- مبدل سبیک ایزوله شده ترانسفورمری
۳۰۷	۴-۱۲-۱- تحلیل مبدل سبیک ایزوله شده ترانسفورمری
۳۰۸	۴-۱۲-۲- محاسبه ولتاژ خروجی مبدل سبیک ایزوله شده ترانسفورمری
۳۱۰	۴-۱۳-۱- مبدل کاک ایزوله شده
۳۱۱	۴-۱۴-۱- ارزیابی مبدل ها
۳۱۲	۴-۱۴-۱- تشبیهای الکتریکی و ضریب بهره‌وری کلید نیمه‌هادی
۳۱۵	۴-۱۵- طراحی مبدل های $DC-DC$ با در نظر گرفتن ملاحظات عملی
۳۲۲	۴-۱۶- تمرین:
۳۲۷	فصل پنجم: اینورتر
۳۲۷	۵-۱- مقدمه
۳۲۸	۵-۲- ایده ی کلی جهت ایجاد شکل موج AC از طریق شکل موج DC
۳۲۹	۵-۳- اینورتر تک فاز نیم پل
۳۲۹	۵-۳-۱- تحلیل اینورتر تک فاز نیم پل برای بار مقاومتی
۳۳۱	۵-۳-۲- تحلیل اینورتر تک فاز نیم پل برای بار سلفی
۳۳۴	۵-۳-۳- تعیین زمان قابلیت روشن شدن ترانزیستورها
۳۳۵	۵-۴- اینورتر تک فاز تمام پل
۳۳۶	۵-۴-۱- تحلیل اینورتر تک فاز تمام پل با بار سلفی-مقاومتی
۳۴۱	۵-۴-۲- کنترل ولتاژ اینورتر تک فاز تمام پل با روش شیفت فاز
۳۴۸	۵-۵- اینورتر پل سه فاز
۳۴۸	۵-۵-۱- اینورتر پل سه فاز شش پله‌ای
۳۴۹	۵-۵-۲- تحلیل مدار اینورتر سه فاز با عملکرد موج مربعی یا شش پله‌ای
۳۵۲	۵-۵-۳- محاسبه ولتاژهای فاز بار و خط اینورتر سه فاز
۳۵۷	۵-۵-۴- نحوه تعیین فرکانس ولتاژ خروجی اینورتر سه فاز و فرکانس کلیدزنی
۳۵۷	۵-۵-۵- تعیین محدوده ولتاژ و جریان ترانزیستورها
۳۶۱	۵-۶- اضافه کردن ترانسفورماتور ایزوله به اینورتر پل سه فاز
۳۶۲	۵-۶-۲- تحلیل مدار اینورتر پل سه فاز به همراه ترانزیستورماتور ایزوله

۳۶۵	۵-۶-۳- محاسبه ولتاژهای فاز خروجی اینورتر
۳۶۸	۵-۷- انواع روشهای PWM
۳۷۱	۵-۸- کلیدزنی اینورتر تک فاز تمام پل با روش PWM دو قطبی
۳۷۳	۵-۹- کلیدزنی اینورتر تک فاز تمام پل با روش PWM تک قطبی
۳۷۶	۵-۱۰- کلیدزنی اینورتر پل سه فاز با روش PWM سینوسی (SPWM)
۳۸۶	۵-۱۱- بررسی دامنه ولتاژ خروجی و هارمونیکها در انواع اینورتر
۳۸۶	۵-۱۱-۱- بررسی هارمونیکهای اینورتر تکفاز تمام پل دوبله‌ای
۳۸۶	۵-۱۱-۲- بررسی هارمونیکهای اینورتر سه‌فاز شش‌پله‌ای
۳۸۷	۵-۱۱-۳- بررسی هارمونیکهای اینورتر تکفاز تمام پل با کلید زنی PWM دوقطبی
۳۹۰	۵-۱۱-۴- بررسی هارمونیکهای اینورتر تکفاز تمام پل با کلید زنی PWM تک قطبی
۳۹۲	۵-۱۱-۵- بررسی هارمونیکهای اینورتر سه فاز با کلید زنی PWM
۳۹۳	۵-۱۲- PWM با هدف حذف یکسری از هارمونیکها
۳۹۹	۵-۱۳- PWM با کنترل جریان باند هیستریزس برای اینورتر تک فاز تمام پل
۴۰۲	۵-۱۴- مدولاسیون بردار فضایی SVM
۴۲۱	۵-۱۵- انواع ساختار اینورترهای چند سطحی
۴۲۱	۵-۱۵-۱- اینورتر چند سطحی با کلمپ دیودی
۴۲۴	۵-۱۵-۲- اینورتر چند سطحی با خازن معلق (شناور)
۴۲۷	۵-۱۵-۳- اینورتر چند سطحی با ساختار متوالی
۴۲۸	۵-۱۵-۴- بررسی بردارهای تولیدی توسط اینورتر سه سطحی NPC
۴۳۷	۵-۱۵-۵- بررسی مسئله انحراف ولتاژ خازنها در اینورتر سه سطحی
۴۳۸	۵-۱۶- تمرین
۴۴۱	فصل ششم: مبدل‌های رزونانسی
۴۴۱	۶-۱- مقدمه
۴۴۷	۶-۲- اینورتر سری رزونانسی
۴۵۱	۶-۳- مبدل $DC-DC$ رزونانسی سری
۴۵۳	۶-۳-۲- عملکرد فوق رزونانسی $\omega_s > \omega$
۴۵۸	۶-۳-۳- مبدل $dc-dc$ رزونانسی موازی
۴۶۳	۶-۴- کلید زنی نرم
۴۶۴	۶-۴-۱- کلیدزنی در جریان صفر مبدل تمام پل $dc-dc$ رزونانسی
۴۶۸	۶-۴-۲- بررسی معایب کلیدزنی در جریان صفر مبدل تمام پل رزونانسی
۴۶۹	۶-۴-۳- کلیدزنی در ولتاژ صفر مبدل تمام پل رزونانسی
۴۷۴	۶-۴-۴- معایب و مزایای کلید زنی در ولتاژ صفر

فصل هفتم: طراحی سلف و ترانسفورماتور مبدل‌های الکترونیک قدرت	۴۷۹
۱-۷- مقدمه:	۴۷۹
۲-۷- یادآوری مباحث پایه‌ای مغناطیس:	۴۸۰
۱-۲-۷- قانون مداری آمپر:	۴۸۱
۲-۲-۷- قانون فارادی:	۴۸۲
۳-۲-۷- قانون لنز:	۴۸۵
۴-۲-۷- قانون گوس:	۴۸۵
۳-۷- انواع مواد مغناطیسی و مشخصه مغناطیسی آنها:	۴۸۶
۴-۷- اندوکتانس (L) در یک مدار ساده مغناطیسی:	۴۹۰
۵-۷- ایجاد فاصله هوایی در هسته مغناطیسی:	۴۹۵
۲-۵-۷- تلفات هسته:	۵۰۲
۳-۵-۷- محاسبه تلفات ناشی از پی ماند مغناطیسی (هیسترزس):	۵۰۲
۴-۵-۷- محاسبه تلفات ناشی از جریان گردابی (فوکو):	۵۰۵
۶-۷- کلاس بندی هسته‌های مغناطیسی بر اساس تلفات هسته و حداکثر چگالی اشباع:	۵۰۷
۷-۷- محاسبه تلفات ناشی از سیم‌پیچی‌های مسی:	۵۰۸
۲-۷-۷- اثر پوستی:	۵۱۰
۳-۷-۷- اثر مجاورتی:	۵۱۳
۸-۷- کلاس بندی انواع ادوات مغناطیسی:	۵۱۸
۹-۷- طراحی سلف:	۵۲۹
۱-۹-۷- روش اول طراحی سلف:	۵۳۰
۲-۹-۷- روش دوم طراحی سلف:	۵۳۹
۱۰-۷- طراحی ترانسفورماتور:	۵۴۹
فصل هشتم: مبدل‌های DC-DC ترستوری	۵۶۵
۱-۸- مقدمه:	۵۶۵
۲-۸- تعریف کموتاسیون و انواع آن:	۵۶۷
۳-۸- کموتاسیون موازی توسط خازن:	۵۶۷
۲-۳-۸- تحلیل مدار:	۵۶۸
۴-۸- معایب روش کموتاسیون موازی توسط خازن:	۵۷۷
۲-۴-۸- بررسی زمانهای مهم در سیکل کاری:	۵۷۸
۳-۴-۸- تکمیل مدار:	۵۸۱
۴-۴-۸- استفاده از دیود D_{AR} :	۵۸۶
۵-۴-۸- تأثیر اضافه کردن المانهای جدید (D_p و L') روی عملکرد مدار:	۵۸۷

۵۹۰	۸-۴-۶- مشخصه‌ها
۵۹۱	۸-۵-۵- کموتاسیون موازی توسط مدار نوسانی
۵۹۲	۸-۵-۲- تحلیل و عملکرد مدار
۶۰۹	۸-۵-۳- وظیفه مدار میرا کننده $D_a R_a$ و انتخاب مقدار مقاومت R_a
۶۰۹	۸-۵-۴- عملکرد مبدل بدون مدار میر کننده
۶۱۴	۸-۵-۵- اندازه مقاومت R_a
۶۱۵	۸-۵-۶- اثرات مدار خاموش کننده تریتور
۶۱۹	۸-۶-۶- روش کموتاسیون سری
۶۱۹	۸-۶-۲- تحلیل و عملکرد
۶۲۷	۸-۶-۳- اثرات مدار کموتاسیون
۶۲۹	۸-۶-۴- مشخصه‌ها
۶۳۱	۸-۷-۷- مقایسه بین انواع روشهای کموتاسیون
۶۳۱	۸-۷-۱- معیار زمان بایاس معکوس
۶۳۲	۸-۷-۲- محدودیت کنترل دامنه ولتاژ خروجی
۶۳۳	۸-۷-۳- اضافه ولتاژ روی ادوات نیمه هادی
۶۳۴	۸-۷-۴- تلفات کموتاسیون
۶۳۵	۸-۷-۵- جمع بندی مقایسه بین سه روش کموتاسیون
۶۳۵	۸-۸-۸- ایجاد تغییرات در مدارات کموتاسیون مبدل کاهنده
۶۳۶	۸-۸-۱- تغییر ادوات الکترونیک قدرت
۶۴۷	۸-۸-۲- اعمال تغییرات در ساختار مدارات کموتاسیون
۶۵۴	۸-۹-۹- مدارات کموتاسیون مبدل‌های DC-DC افزایشنده
۶۵۵	۸-۹-۱- ارائه یک ایده کلی از نحوه عملکرد مبدل‌های DC-DC افزایشنده
۶۶۱	۸-۱۰-۱- روش کموتاسیون موازی با خازن در مبدل‌های DC-DC افزایشنده
۶۶۸	۸-۱۰-۲- روش کموتاسیون موازی با مدار نوسانگر و روش کموتاسیون سری
۶۷۰	۸-۱۰-۳- نکاتی در مورد تشابه مدارات کموتاسیون
۶۷۳	۸-۱۱-۱۱- معرفی مبدل‌های DC-DC با قابلیت عملکرد افزایشنده و کاهنده
۶۷۳	۸-۱۱-۱- مدار کموتاسیون نوع اول مبدل DC-DC با عملکرد افزایشنده و کاهنده
۶۷۴	۸-۱۱-۲- بررسی عملکرد کاهنده برای مبدل‌های DC-DC
۶۸۰	۸-۱۲- تمرین
۶۸۵	فصل نهم: مدارهای راه انداز
۶۸۵	۹-۱- مقدمه
۶۸۶	۹-۲- ویژگی‌های لازم مدارهای راه انداز ترانزیستورهای BJT قدرت

۶۸۸	۳-۹- مدارهای عملی راه‌انداز بیس ترانزیستور BJT
۶۹۰	۳-۳-۲- کنترل زمان خاموش شدن
۶۹۱	۳-۳-۳- روش نسبی کنترل جریان بیس
۶۹۲	۳-۳-۴- مدار بیس جهت جلوگیری اشباع بیش از حد ترانزیستور
۶۹۳	۳-۳-۵- مدار تکمیلی راه‌انداز ترانزیستور
۶۹۵	۳-۳-۶- لزوم ایزوله بودن مدار راه‌انداز از مدار سیگنال یا مدار قدرت
۶۹۶	۳-۳-۷- مدار محافظ در برابر اضافه جریان
۶۹۹	۳-۳-۸- اتصال دارلینگتون
۷۰۰	۳-۳-۹- ملاحظات عملی در طراحی مدارهای راه‌انداز ترانزیستور BJT
۷۰۱	۳-۴-۱- مدارهای راه‌اندازی مسافت p کانال
۷۰۳	۳-۴-۵- مدار راه‌انداز SCR, IGBT و دیاک
۷۰۷	۳-۴-۶- تمرین
۷۰۹	فصل دهم: مدارهای ضربه گیر
۷۰۹	۱۰-۱- مقدمه
۷۰۹	۱۰-۲- ارزیابی تلفات ناشی از کلید زنی ادوات نیمه‌هادی در مبدل کاهنده
۷۱۲	۱۰-۳- استفاده از مدار ضربه‌گیر در فاصله زمانی
۷۱۳	۱۰-۳-۲- ارزیابی تلفات کلید زنی مبدل کاهنده
۷۱۵	۱۰-۳-۳- معایب مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۳)
۷۱۷	۱۰-۳-۴- محاسبه کل تلفات مبدل شکل (۱۰-۳)
۷۱۹	۱۰-۳-۵- ارزیابی انرژی کلید زنی در مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۳)
۷۲۴	۱۰-۴- استفاده از مدار ضربه‌گیر در فاصله زمانی خاموش شدن کلید در مبدل کاهنده
۷۲۴	۱۰-۴-۲- ارزیابی تلفات کلید زنی
۷۳۱	۱۰-۴-۳- معایب مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۴)
۷۳۳	۱۰-۴-۴- محاسبه کل تلفات مبدل شکل (۱۰-۴)
۷۳۵	۱۰-۴-۵- ارزیابی انرژی کلید زنی در مدار ضربه‌گیر بخش (۱۰-۴)
۷۳۶	۱۰-۵- ترکیب دو مدار ضربه‌گیر بدون ارزیابی انرژی
۷۳۷	۱۰-۵-۱- تحلیل مدار ضربه‌گیر ترکیبی
۷۴۷	۱۰-۵-۲- مشخصه‌ها
۷۴۹	۱۰-۶- تمرین
۷۵۳	مراجع
۷۵۵	پیوست
۷۷۹	واژه‌نامه

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 الکتریکی می‌باشد. 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 متغیر 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) و جریان 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 اعم از انرژی الکتریکی (DC) با دامنه و فرکانس ثابت و یا متغیر و همچنین انرژی الکتریکی (AC) با دامنه و فرکانس ثابت یا متغیر می‌باشد. به همین خاطر در این شرایط نیز لزوم استفاده از مبدل، برای تبدیل انرژی الکتریکی از یک شکل به شکل دیگر وجود دارد. علم الکترونیک قدرت به طراحی و ساخت این مبدل‌ها می‌پردازد. به عبارت بهتر اگر بخواهیم الکترونیک قدرت را در یک جمله 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. پیشنهاد طراحی و ساخت مبدل‌های الکترونیک قدرت علوم دیگری از قبیل تئوری مدار، تئوری کنترل، الکترونیک الکترومغناطیس، میکروکنترلر و تحلیل حرارتی می‌باشند.

تجربه سالها تدریس درس سه واحدی الکترونیک قدرت، 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 تألیف کرده و در اختیار جامعه دانشگاهی قرار دهیم. کار تألیف این کتاب حدود شش سال طول کشیده و جهت انجام آن از مراجع متعددی بهره گیری شده است. 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 شده است. 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 شده است. در فصل دوم، ادوات مورد استفاده در مبدل‌های الکترونیک قدرت به همراه ویژگی‌های هریک بررسی شده است. ادوات الکترونیک قدرت در واقع قلب سیستم‌های الکترونیک قدرت محسوب می‌شوند. ادوات الکترونیک قدرت در انواع مبدل‌های 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 شده است. از ویژگی‌های اصلی این فصل تحلیل و طراحی انواع مبدل‌های DC-DC بصورت گام به گام می‌باشد، بطوریکه در تمامی این مبدل‌ها به تحلیل، تعیین بهره، تعیین دامنه رپل ولتاژ خروجی، تعیین دامنه رپل جریان، تعیین شرایط عملکرد پیوسته و گسسته و روش طراحی آنها پرداخته شده است. مبدل‌هایی که در این فصول بررسی شده‌اند شامل باک، بوست، باک-بوست، کاک، سیمپل، پل کاهنده و افزایشنده، 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 شده است. سپس روش‌های کلیدزنی مدولاسیون عرض پالس، مدولاسیون بردار فضایی، مقایسه دامنه ولتاژ خروجی و مقایسه هارمونیک‌های آنها بررسی شده است. در فصل ششم به تحلیل مبدل‌های رزونانسی DC-DC و اینورتر رزونانسی به روش فازوری پرداخته شده است. همچنین در این فصل روش‌های کلیدزنی در ولتاژ صفر و کلیدزنی در جریان صفر به صورت گام به گام تشریح شده است. در فصل هفتم به طراحی سلف و ترانسفورماتور مبدل‌های الکترونیک قدرت پرداخته شده است. به عبارت دیگر الگوریتم طراحی سلف‌ها و ترانسفورماتورهای فرکانس بالا در این فصل ارائه شده است. با توجه به اینکه مدارهای مربوط به کموتاسیون مبدل‌های DC-DC تریستوری، علاوه بر قدیمی بودن، همچنان کاربردی می‌باشد، در فصل هشتم به تحلیل و روش کموتاسیون آنها پرداخته شده است. در فصول 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 میکرو کنترلرها ایجاد می‌کنند. اما میکرو کنترلرها به دلیل وجود محدودیت 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 میکرو کنترلر و نهایتاً 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 و علی‌الخصوص دانشجویان گرامی، خواهشمندیم هرگونه اصلاح و یا پیشنهاد خود را جهت پربار شدن 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 امکان‌پذیر 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 و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

سام روزبهانی، samroozbehani@jdnasir.ac.ir

(عضو گروه پژوهشی ماشین‌های الکتریکی جهاد دانشگاهی واحد خواجه نصیرالدین طوسی)