



دانشگاه تهران

مبدل‌های توان بالای الکترونیک قدرت

درایوهای AC

(ویرایش دوم)

مؤلفین: بین وو-م . نریمانی

مترجمین

دکتر سید مسعود برکاتی

مهندس بهرنگ عزیزی قناد

ویراستار

دکتر قدیر عزیزی قناد

سرشناسه : وو، بین، ۱۹۵۷-م. Wu, B. (Bin)

عنوان و نام پدیدآور: مبدل های توان بالای الکترونیک قدرت و درایوهای AC (ویرایش دوم) / مولفین: بین وو. م. نریمانی، مترجمین: سید مسعود برکاتی/بهرنگ عزیزی قناد/ ویراستار: قدیر عزیزی قناد.

مشخصات نشر: زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۷
مشخصات ظاهری: ۶۶۳، مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار، وزیری.
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۴۵-۶۹-۴

وضعیت فهرست نویسی: فیفا

یادداشت: کتابخانه

موضوع: مبدل های جریان برق

شناسه افزوده: برکاتی، سید مسعود، ۱۳۴۷

شناسه افزوده: نریمانی، مهدی، ۱۳۵۰

شناسه افزوده: عزیزی قناد، بهرنگ، ۱۳۶۰

شناسه افزوده: عزیزی قناد، سید، ۱۳۷۰، ویراستار.

شناسه افزوده: دانشگاه سیستان و بلوچستان، مرکز چاپ و نشر

شناسه افزوده: University of Sistan and Baluchestan

رده بندی کنگره: الف ۱۳۹۶/۹م ۲۷۹۶/۲۷

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۳

شماره کتابشناسی ملی: ۵۱۲۰۶۵۳



دانشگاه سیستان و بلوچستان

ناشر: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان

مبدل های توان بالای الکترونیک قدرت و درایوهای AC

مترجمان: دکتر سید مسعود برکاتی، مهندس بهرنگ عزیزی قناد

چاپ: چاپخانه المهدی دانشگاه سیستان و بلوچستان

نوبت چاپ: اول، ۹۷، قیمت: ۶۰/۰۰۰ تومان، شمارگان: ۱۰۰۰

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۴۵-۶۹-۴

تمام حقوق چاپ و نشر این اثر طبق قرارداد محفوظ است، هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ممنوع است، متخلفان به موجب قانون حمایت از حقوق مولفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	ش
مقدمه مولفان.....	ض
مقدمه مترجمان.....	غ
مجوز ترجمه از نویسندگان کتاب.....	ق
بخش ۱: مقدمه.....	۱
فصل اول: مقدمه.....	۲
۱,۱ نگاهی کلی بر دریاهای توان بالا.....	۲
۱,۲ چالش‌ها و الزامات، فصل.....	۶
۱,۲,۱ الزامات سمت سطح.....	۶
۱,۲,۲ چالش‌های سمت موتور.....	۷
۱,۲,۳ محدودیت‌های عناصر و ادوات کلیدزنی.....	۱۰
۱,۲,۴ الزامات سیستم درایو.....	۱۱
۱,۳ آرایش مبدل‌ها.....	۱۱
۱,۴ درایوهای صنعتی ولتاژ متوسط.....	۱۵
۱,۵ خلاصه.....	۲۱
مراجع.....	۲۱
ضمیمه.....	۲۳
فصل دوم: ادوات نیمه هادی توان بالا.....	۲۴
۲,۱ مقدمه.....	۲۴
۲,۲ ادوات کلیدزنی توان بالا.....	۲۶
۲,۲,۱ دیودها.....	۲۶
۲,۲,۲ تایریستورها یا یکسوکننده‌های کنترل‌شونده سیلیکونی (SCR).....	۲۸
۲,۲,۳ تایریستور خاموش‌شونده از طریق گیت (GTO).....	۳۱

۲۲،۴	نایریستور با کموتاسیون گیت GCT	۳۴
۲۲،۵	ترانزیستورهای دوقطبی با گیت عایق شده (IGBT)	۳۸
۲۲،۶	دیگر ادوات کلیدزنی	۴۳
۲،۳	کار ادوات با اتصال متوالی	۴۳
۲،۳،۱	علل اصلی عدم تعادل ولتاژ	۴۴
۲،۳،۲	یکسان سازی ولتاژ برای GCT ها	۴۵
۲،۳،۳	یکسان سازی ولتاژ IGBT ها	۴۸
۲،۴	خلاصه	۴۹
	مراجع	۵۱
بخش ۲:	یکسوکننده‌های چندپالسه دیودی و نایریستوری	۵۳
فصل سوم:	یکد وکننده‌های چند پالسه دیودی	۵۴
۳،۱	مقدمه	۵۴
۳،۲	یکسوکننده‌های دیودی ۶ پالسه	۵۶
۳،۲،۱	مقدمه	۵۶
۳،۲،۲	بار خازنی	۵۸
۳،۲،۳	تعریف THD و PF	۶۴
۳،۲،۴	سیستم به‌واحد	۶۶
۳،۲،۵	THD و PF در یکسوکننده ۶ پالسه دیودی	۶۷
۳،۳	یکسوکننده‌های چندپالسه دیودی نوع متوالی	۷۰
۳،۳،۱	یکسوکننده‌های ۱۲ پالسه دیودی نوع متوالی	۷۰
۳،۳،۲	یکسوکننده‌های نوع متوالی ۱۸ پالسه	۷۷
۳،۳،۳	یکسوکننده دیودی ۲۴ پالسه نوع متوالی	۸۰
۳،۴	یکسوکننده‌های چندپالسه دیودی نوع جداگانه	۸۲
۳،۴،۱	یکسوکننده دیودی ۱۲ پالسه از نوع جداگانه	۸۲
۳،۴،۲	یکسوکننده‌های دیودی ۱۸ و ۲۴ پالسه نوع جداگانه	۸۸
۳،۵	خلاصه	۹۱
	مراجع	۹۲

فصل چهارم: یکسوکننده‌های چندپالسه تایریستوری..... ۹۳

۴,۱ مقدمه..... ۹۳

۴,۲ یکسوکننده‌های تایریستوری ۶ پالسه..... ۹۴

۴,۲,۱ یکسوکننده شش پالسه ایده آل..... ۹۵

۴,۲,۲ اثر القاگری خط..... ۱۰۰

۴,۲,۳ ضریب توان و THD..... ۱۰۵

۴,۳ یکسوکننده ۱۲ پالسه تایریستوری..... ۱۰۸

۴,۳,۱ یکسوکننده ۱۲ پالسه ایده‌آل..... ۱۰۹

۴,۳,۲ اثر القاگری‌های خط و پراکندگی..... ۱۱۲

۴,۳,۴ THD و PF..... ۱۱۲

۴,۴ یکسوکننده‌های تایریستوری ۱۸ و ۲۴ پالسه..... ۱۱۴

۴,۵ خلاصه..... ۱۱۷

مراجع..... ۱۱۸

فصل پنجم: ترانسفورماتورهای تغییر دهنده فاز..... ۱۱۹

۵,۱ مقدمه..... ۱۱۹

۵,۲ ترانسفورماتورهای تغییردهنده فاز Δ/Z ۱۲۰۵,۲,۱ ترانسفورماتورای $Y/Z-1$ ۱۲۰۵,۲,۲ ترانسفورماتورهای $Y/Z-2$ ۱۲۳۵,۳ ترانسفورماتورهای Δ/Z ۱۲۵

۵,۴ حذف جریان‌های هارمونیکي..... ۱۲۸

۵,۴,۱ جابجایی فاز در جریان‌های هارمونیکي..... ۱۲۸

۵,۴,۲ حذف هارمونیک..... ۱۳۰

۵,۵ خلاصه..... ۱۳۲

بخش ۳: مبدل‌های منبع ولتاژ چند سطحی..... ۱۳۳

فصل ششم: اینورترهای منبع ولتاژ دوسطحی..... ۱۳۴

۶,۱ مقدمه..... ۱۳۴

۶,۲ PWM سینوسی..... ۱۳۵

۱۳۵	۶,۲,۱	روش مدولاسیون
۱۳۹	۶,۲,۲	محتویات هارمونیک
۱۴۱	۶,۲,۳	فوق مدولاسیون
۱۴۱	۶,۲,۴	PWM با تزریق هارمونیک سوم
۱۴۳	۶,۳	مدولاسیون بردار فضایی
۱۴۴	۶,۳,۱	حالات کلیدزنی
۱۴۵	۶,۳,۲	بردارهای فضایی
۱۴۹	۶,۳,۳	محاسبه زمان سکون
۱۵۲	۶,۳,۴	شاخص مدولاسیون
۱۵۴	۶,۱	توالی کلیدزنی
۱۵۷	۶,۳,۶	بررسی طیف هارمونیک
۱۶۰	۶,۳,۷	حذف هارمونیهای مرتبه زوج
۱۶۴	۶,۳,۸	مدولاسیون نا بوست بردار فضایی
۱۶۸	۶,۴	خلاصه
۱۷۰		مراجع
۱۷۱		فصل هفتم: اینورترهای چندسطحی پل ۱ ابعادی
۱۷۱	۷,۱	مقدمه
۱۷۲	۷,۲	اینورتر پل H
۱۷۳	۷,۲,۱	مدولاسیون عرض پالس دوقطبی
۱۷۵	۷,۲,۲	مدولاسیون عرض پالس (PWM) تکقطبی
۱۷۸	۷,۳	آرایشهای اینورتر چندسطحی
۱۷۸	۷,۳,۱	اینورتر CHB با ولتاژ دائم برابر
۱۸۱	۷,۳,۲	پل های H با ولتاژهای دائم نابرابر
۱۸۵	۷,۴	روشهای PWM بر پایه موج حامل
۱۸۵	۷,۴,۱	مدولاسیون با جابجائی فاز و امواج حامل متعدد
۱۹۰	۷,۴,۲	مدولاسیون با جابجائی سطح و امواج حامل متعدد
۱۹۷	۷,۴,۳	مقایسه بین روش های PWM با جابجائی فاز و با جابجائی سطح
۱۹۹	۷,۵	مدولاسیون پلکانی
۲۰۲	۷,۶	خلاصه

۲۰۴	مراجع
۲۰۵	فصل هشتم: اینورتر چندسطحی با بست (مهار) دیودی
۲۰۵	۸.۱ مقدمه
۲۰۶	۸.۲ اینورتر سه سطحی
۲۰۶	۸.۲.۱ آرایش مبدل
۲۰۷	۸.۲.۲ حالت کلیدزنی
۲۰۹	۸.۲.۳ کموتاسیون
۲۱۴	۸.۳ مدولاسیون بردار فضایی
۲۱۴	۸.۳.۱ بردارهای فضایی ایستا
۲۱۷	۸.۳.۲ محاسبه زمان سکون
۲۲۱	۸.۳.۳ تباط بین موقعیت $\bar{V}_{ref}$ و زمان های سکون
۲۲۲	۸.۳.۴ طراحی وایر کلیدزنی
۲۲۹	۸.۳.۵ شکل موج ال خازنی اینورتر و محتویات هارمونیک
۲۳۲	۸.۳.۶ حذف هارمونیک متباین
۲۳۵	۸.۴ کنترل ولتاژ نقطه خنثی
۲۳۵	۸.۴.۱ علل انحراف ولتاژ نقطه خنثی
۲۳۶	۸.۴.۲ تأثیر عملکرد موتوری و ژنراتوری
۲۳۷	۸.۴.۳ کنترل با بازخورد ولتاژ نقطه خنثی
۲۳۹	۸.۵ الگوریتم های دیگر برای مدولاسیون بردار فضایی
۲۴۰	۸.۵.۱ مدولاسیون بردار فضایی ناپیوسته
۲۴۰	۸.۵.۲ SVM براساس الگوریتم دوسطحی
۲۴۱	۸.۶ اینورترهای با بست دیودی و تعداد سطح بیشتر
۲۴۱	۸.۶.۱ اینورترهای با بست دیودی چهار و پنج سطحی
۲۴۴	۸.۶.۲ PWM بر پایه موج حامل
۲۴۹	۸.۷ خلاصه
۲۵۰	مراجع
۲۵۲	ضمائم

فصل نهم : انواع دیگر اینورترهای چندسطحی منبع ولتاژ.....	۲۵۵
۹.۱ مقدمه.....	۲۵۵
۹.۲ اینورتر خازن شناور چندسطحی.....	۲۵۶
۹.۲.۱ آرایش اینورتر.....	۲۵۶
۹.۲.۲ روش‌های مدولاسیون.....	۲۵۷
۹.۳ اینورتر با نقطه خنثی تثبیت‌شده فعال.....	۲۶۰
۹.۳.۱ آرایش اینورتر.....	۲۶۰
۹.۳.۲ حالت‌های کلیدزنی.....	۲۶۱
۹.۳.۳ اصول توزیع تلفات کلید.....	۲۶۴
۹.۳.۴ روش‌ها - مدولاسیون و توزیع تلفات عناصر.....	۲۶۶
۹.۳.۵ اینورتر پهن‌سطحی ANPC.....	۲۶۹
۹.۴ اینورتر با نقطه خنثی هدایت شده.....	۲۷۳
۹.۴.۱ آرایش مبدل.....	۲۷۳
۹.۴.۲ حالت‌های کلیدزنی.....	۲۷۴
۹.۴.۳ روش‌های مدولاسیون و کنترل ولتاژ نقطه خنثی.....	۲۷۷
۹.۵ اینورتر تودرتو با نقطه خنثی تثبیت‌شده.....	۲۷۸
۹.۵.۱ آرایش اینورتر.....	۲۷۸
۹.۵.۲ حالت‌های کلیدزنی.....	۲۷۹
۹.۵.۳ اساس کنترل ولتاژ خازن شناور.....	۲۸۱
۹.۵.۴ روش‌های مدولاسیون با کنترل تعادل ولتاژ خازن.....	۲۸۳
۹.۵.۵ اینورترهای NNPC با تعداد سطوح بالاتر.....	۲۸۹
۹.۶ مبدل چند سطحی مدولار.....	۲۹۰
۹.۶.۱ آرایش اینورتر.....	۲۹۰
۹.۶.۲ حالت‌های کلیدزنی و ولتاژ بازو.....	۲۹۴
۹.۶.۳ روش مدولاسیون.....	۲۹۶
۹.۶.۴ متعادل کردن ولتاژ خازن‌های شناور در MMCها.....	۲۹۹
۹.۶.۵ ریل‌های ولتاژ خازن و جریان‌های چرخشی.....	۳۰۸
۹.۷ خلاصه.....	۳۱۰
مراجع.....	۳۱۱

فصل دهم: اینورترهای PWM منبع جریان..... ۳۱۳

۱۰.۱ مقدمه..... ۳۱۳

۱۰.۲ اینورتر منبع جریان PWM..... ۳۱۴

۱۰.۲.۱ مدولاسیون دوزنقه‌ای..... ۳۱۷

۱۰.۲.۲ حذف هارمونیک انتخابی (SHE)..... ۳۲۲

۱۰.۳ مدولاسیون بردار فضایی..... ۳۲۸

۱۰.۳.۲ بردارهای فضایی..... ۳۲۹

۱۰.۳.۳ محاسبه زمان سکون..... ۳۳۳

۱۰.۳.۴ توانی کلیدزنی..... ۳۳۶

۱۰.۳.۵ محتویات هارمونیک..... ۳۴۰

۱۰.۳.۶ مقایسه VM، TPWM و SHE..... ۳۴۱

۱۰.۴ اینورترهای منبع جریان موازی..... ۳۴۱

۱۰.۴.۱ ساختار اینورتر..... ۳۴۱

۱۰.۴.۲ مدولاسیون بردار فضایی برای اینورترهای موازی..... ۳۴۳

۱۰.۴.۳ اثر بردارهای متوسط روی جریان‌های دائم..... ۳۴۵

۱۰.۴.۴ کنترل تعادل جریان دائم..... ۳۴۷

۱۰.۴.۵ بررسی تجربی..... ۳۴۹

۱۰.۵ اینورترهای با کموتاسیون بار (LCI)..... ۳۵۱

۱۰.۶ خلاصه..... ۳۵۲

مراجع..... ۳۵۳

فصل یازدهم: یکسوکننده‌های PWM منبع جریان..... ۳۵۵

۱۱.۱ مقدمه..... ۳۵۵

۱۱.۲ یکسوکننده منبع جریان تک‌پل..... ۳۵۶

۱۱.۲.۱ مقدمه..... ۳۵۶

۱۱.۲.۲ حذف هارمونیک انتخابی..... ۳۵۷

۱۱.۲.۳ ولتاژ دائم خروجی یکسوکننده..... ۳۶۵

۱۱.۲.۴ مدولاسیون بردار فضایی..... ۳۶۶

۱۱.۳ یکسوکننده منبع جریان با پل دوگانه..... ۳۶۷

۳۶۷	۱۱,۳,۱ مقدمه
۳۶۸	۱۱,۳,۲ روش‌های PWM
۳۷۱	۱۱,۳,۳ محتویات هارمونیک
۳۷۳	۱۱,۴ کنترل ضریب توان
۳۷۳	۱۱,۴,۱ مقدمه
۳۷۴	۱۱,۴,۲ کنترل همزمان α و m
۳۷۹	۱۱,۴,۳ پرو فایل ضریب توان
۳۸۲	۱۱,۵ کنترل میرا سازی فعال
۳۸۲	۱۱,۵,۱ مقدمه
۳۸۲	۱۱,۵,۲ حالات تشدید متوالی و موازی
۳۸۳	۱۱,۵,۳ اصول میرا سازی فعال
۳۸۷	۱۱,۵,۴ حذف تشدید LC
۳۹۰	۱۱,۵,۵ کاهش هارمونیک
۳۹۴	۱۱,۵,۶ انتخاب مقادیر مدار فعال
۳۹۴	۱۱,۶ خلاصه
۳۹۵	مراجع
۳۹۹	بخش ۵: درایوهای AC توان بالا
۴۰۰	فصل دوازدهم: درایوهای تغذیه شده با اینورتر - جمع و تثنائ
۴۰۰	۱۲,۱ مقدمه
۴۰۰	۱۲,۲ درایوهای ولتاژ متوسط بر پایه VSI دوسطحی
۴۰۱	۱۲,۲,۱ مبنای ساختاری (سنگ بنای) مبدل قدرت
۴۰۳	۱۲,۲,۲ درایو VSI دوسطحی با ورودی غیر فعال
۴۰۸	۱۲,۳ درایوهای تغذیه شده با اینورتر با نقطه خنثی تثبیت شده (NPC)
۴۰۸	۱۲,۳,۱ درایوهای با اینورتر NPC بر پایه GCT
۴۱۳	۱۲,۳,۲ درایوهای با اینورتر NPC بر پایه IGBT
۴۱۴	۱۲,۴ درایو تغذیه شده با اینورتر پل H آبشار شده چندسطحی (CHB)
۴۱۵	۱۲,۴,۱ درایوهای تغذیه شده با اینورتر CHB برای موتورهای ۴۱۶۰۷/۲۳۰۰V
۴۱۹	۱۲,۴,۲ درایو با اینورتر CHB برای موتورهای ۶/۶kV و ۱۱/۸V

۴۲۰	۱۲,۵ درایو تغذیه شده با اینورتر NPC / پل H
۴۲۲	۱۲,۶ درایو تغذیه شده با اینورتر ANPC
۴۲۲	۱۲,۶,۱ درایو تغذیه شده با اینورتر ANPC سه سطحی
۴۲۴	۱۲,۶,۲ درایو تغذیه شده با اینورتر ANPC پنج سطحی
۴۲۴	۱۲,۷ درایو تغذیه شده با اینورتر MCM
۴۲۶	۱۲,۸ درایوهای کلاس ۱۰ کیلوولتی با مبدل های چند سطحی
۴۲۸	۱۲,۹ خلاصه
۴۲۹	مراجع
۴۳۱	فصل سوم: درایوهای تغذیه شده با اینورتر منبع جریان
۴۳۱	۱۳,۱ مقدمه
۴۳۲	۱۳,۲ درایوهای CSI یکسوکننده های PWM
۴۳۲	۱۳,۲,۱ درایوهای CSI با یکسوکننده های PWM تکپل
۴۳۹	۱۳,۲,۲ درایو CSI برای موتورهای خاص
۴۴۰	۱۳,۲,۳ درایوهای CSI یکسوکننده PWM با پل دوگانه
۴۴۱	۱۳,۳ درایو CSI بدون ترانسفورماتور جهت موتورهای متناوب استاندارد
۴۴۱	۱۳,۳,۱ آرایش درایو CSI
۴۴۳	۱۳,۴ درایو CSI با یکسوکننده SCR چند پالسه
۴۴۳	۱۳,۴,۱ درایو SCI با یکسوکننده SCR ۱۸ پالسه
۴۴۴	۱۳,۴,۲ درایو CSI ارزان با یکسوکننده SCR ۶ پالسه
۴۴۴	۱۳,۵ درایوهای LCI برای موتورهای سنکرون
۴۴۵	۱۳,۵,۱ درایوهای LCI با ورودی ۱۲ پالسه و خروجی ۶ پالسه
۴۴۶	۱۳,۵,۲ درایوهای LCI با ورودی ۱۲ پالسه و خروجی ۱۲ پالسه
۴۴۷	۱۳,۶ خلاصه
۴۴۸	مراجع
۴۴۹	فصل چهاردهم: کنترل درایوهای موتور القائی
۴۴۹	۱۴,۱ مقدمه
۴۵۰	۱۴,۲ تبدیل دستگاه مختصات مرجع
۴۵۱	۱۴,۲,۱ تبدیل دستگاه مختصات abc/dq

۴۵۴	 تبدیل ایستای $abc/\alpha\beta$
۴۵۵	 مدل‌های دینامیکی موتور القائی
۴۵۵	 مدل بردار فضایی موتور
۴۵۷	 مدل موتور در محورهای dq
۴۵۹	 مشخصه‌های حالت گذرای موتور القائی
۴۶۵	 میانی کنترل در راستای میدان (FOC)
۴۶۵	 جهت دهی میدان
۴۶۷	 بلوک دیاگرام عمومی برای FOC
۴۶۹	 کنترل مستقیم در راستای میدان
۴۶۹	 بلوک دیاگرام سیستم
۴۷۰	 محاسبه شار استاتور موتور
۴۷۴	 کنترل غیر مستقیم در راستای میدان
۴۷۷	 FOC برای درانسی تغذیه شده با CSI
۴۸۰	 کنترل مستقیم گشتاور
۴۸۱	 اصول کنترل مستقیم گشتاور
۴۸۳	 منطق کلیدزنی
۴۸۸	 محاسبه شار استاتور و گشتاور
۴۸۸	 شبیه‌سازی درایو DTC
۴۹۰	 مقایسه بین روش‌های DTC و FOC
۴۹۱	 خلاصه
۴۹۲	 مراجع
۴۹۳	 فصل پانزدهم: کنترل درایوهای موتور سنکرون
۴۹۳	 ۱۵،۱ مقدمه
۴۹۴	 ۱۵،۲ مدل سازی موتور سنکرون
۴۹۴	 ۱۵،۲،۱ ساختار
۴۹۷	 ۱۵،۲،۲ مدل دینامیکی موتور سنکرون (SM)
۵۰۱	 ۱۵،۲،۳ مدار معادل‌های حالت مانا
۵۰۲	 ۱۵،۳ درایو موتور سنکرون تغذیه شده با مبدل منبع ولتاژ با کنترل ZDC
۵۰۲	 ۱۵،۳،۱ مقدمه

۵۰۳.....	۱۵,۳,۲ اصول کنترل ZDC.....
۵۰۵.....	۱۵,۳,۳ پیاده‌سازی کنترل ZDC در درایو موتور سنکرون تغذیه‌شده با VSC.....
۵۱۰.....	۱۵,۳,۴ تحلیل حالت گذرا.....
۵۱۴.....	۱۵,۴ درایو موتور سنکرون تغذیه‌شده با VSC با کنترل MTPA.....
۵۱۴.....	۱۵,۴,۱ مقدمه.....
۵۱۵.....	۱۵,۴,۲ اصول کنترل MTPA.....
۵۱۸.....	۱۵,۴,۳ پیاده‌سازی کنترل MTPA در درایو موتور سنکرون تغذیه‌شده با VSC.....
۵۲۰.....	۱۵,۴,۴ تحلیل حالت گذرا.....
۵۲۰.....	۱۵,۵ درایو موتور سنکرون تغذیه شده با VSC با روش DTC.....
۵۲۰.....	۱۵,۵,۱ مقدمه.....
۵۲۱.....	۱۵,۵,۲ اصول روش DTC.....
۵۲۹.....	۱۵,۵,۳ پیاده‌سازی کنترل DTC برای درایو موتور سنکرون تغذیه شده با VSC.....
۵۳۱.....	۱۵,۵,۴ تحلیل حالت گذرا.....
۵۳۴.....	۱۵,۶ کنترل درایو موتور سنکرون تغذیه شده با مبدل CSC.....
۵۳۴.....	۱۵,۶,۱ مقدمه.....
۵۳۶.....	۱۵,۶,۲ درایو موتور سنکرون تغذیه شده با CSC کنترل‌شده به روش ZDC.....
۵۴۲.....	۱۵,۶,۳ تحلیل حالت گذرای درایو موتور سنکرون تغذیه‌شده با CSC با کنترل ZDC.....
۵۴۶.....	۱۵,۶,۴ درایو موتور سنکرون تغذیه‌شده با مبدل منبع جریان با کنترل MTPA.....
۵۴۸.....	۱۵,۷ خلاصه.....
۵۴۹.....	مراجع.....
۵۵۰.....	ضمیمه.....
۵۵۱.....	فصل شانزدهم: درایوهای ولتاژ متوسط تغذیه شده با مبدل ماتریسی.....
۵۵۱.....	۱۶,۱ مقدمه.....
۵۵۳.....	۱۶,۲ مبدل ماتریسی کلاسیک (MC).....
۵۵۳.....	۱۶,۲,۱ آرایش مبدل ماتریسی کلاسیک.....
۵۵۵.....	۱۶,۲,۲ محدودیت‌های کلیدزنی و تحلیل شکل موج‌ها.....
۵۶۰.....	۱۶,۳ مبدل ماتریسی سه مَدولی.....
۵۶۱.....	۱۶,۳,۱ مَدول مَدول ماتریسی (۳×۱) سه فاز به تک فاز.....
۵۶۴.....	۱۶,۳,۲ ساختار مبدل ماتریسی سه مَدوله.....

۵۶۵	 شکل موج های ورودی و خروجی
۵۶۹	 مبدل ماتریسی آبخاری شده چند مَدوله (CMC)
۵۷۱	 ساختار CMC نُه-مَدوله
۵۷۲	 شکل موج های ورودی و خروجی
۵۷۷	 درایو ولتاژ متوسط تغذیه شده با CMC چند مَدوله
۵۸۰	 خلاصه
۵۸۱	 مراجع
۵۸۳	 فصل هفدهم: درایوهای ولتاژ متوسط بدون ترانسفورماتور
۵۸۳	 ۱۷,۱ مقدمه
۵۸۴	 ۱۷,۲ شکلات مربوط به ولتاژ مَد مشترک و روش معمول حل آن
۵۸۴	 ۱۷,۲,۱ تعریف ولتاژهای مَد مشترک
۵۸۶	 ۱۷,۲,۲ شکل موج ولتاژ مَد مشترک
۵۸۸	 ۱۷,۲,۳ راه حل متداول
۵۹۰	 ۱۷,۳ کاهش ولتاژ مَد مشترک در بخش منبع ولتاژی چند سطحی
۵۹۱	 ۱۷,۳,۱ مدولاسیون بردار فضایی برای کاهش ولتاژ مَد مشترک
۵۹۳	 ۱۷,۳,۲ روش اول کاهش ولتاژ مَد مشترک (RCM1)
۵۹۷	 ۱۷,۳,۳ روش دوم کاهش ولتاژ مَد مشترک (RCM2)
۶۰۱	 ۱۷,۳,۴ کاهش ولتاژ مَد مشترک در مبدل منبع ولتاژ n سطحی
۶۰۹	 ۱۷,۴ درایوهای فاقد ترانسفورماتور با مبدل منبع ولتاژ چند سطحی
۶۰۹	 ۱۷,۴,۱ حذف ولتاژهای مَد مشترک با روش کلیدزنی مبدل های منبع ولتاژ
۶۱۱	 ۱۷,۴,۲ حذف ولتاژ مَد مشترک بوسیله صافی های مَد مشترک
۶۱۶	 ۱۷,۴,۳ روش ترکیبی صافی های مَد مشترک و روش های کاهش ولتاژ مَد مشترک
۶۱۹	 ۱۷,۵ درایوهای فاقد ترانسفورماتور تغذیه شده با اینورتر منبع جریان (CSI-FED)
۶۱۹	 ۱۷,۵,۱ راه حل متداول
۶۲۱	 ۱۷,۵,۲ مسدود کننده DC یکپارچه برای حذف ولتاژ مَد مشترک
۶۲۶	 ۱۷,۶ خلاصه
۶۲۷	 مراجع
۶۲۸	 مخفف ها
۶۳۲	 ضمیمه

پیشگفتار

چهار چیز بر صاحبان خرد از امت من واجب است:

شنیدن دانش، ثبت آن، انتشار آن و بکار بستن آن. پیامبر اکرم(ص)

با عنایت به نقش انرژی الکتریکی در ایجاد زیرساخت‌های مناسب برای توسعه کشور، توجه به بخش تحقیقات و به روز رسانی اطلاعات و دانش متخصصین این حوزه امری ضروری و مهم است. ارتقاء کیفیت دسترسی به انرژی برق مورد نیاز هموطنان و رسیدن به استانداردهای بین‌المللی، مستلزم انجام تحقیقات علمی گسترده‌ای می‌باشد.

در راستای تامین انرژی برق از منابع تجدید پذیر و بدون آلودگی‌های زیست محیطی، استفاده از نیروگاه‌های برق خورشیدی رسانی سایر منابع تجدید پذیر در صنعت برق، گسترش روز افرونی یافته است. استفاده از برق تولیدی از این نوع نیروگاه‌ها یا سایر منابع تولید پراکنده بدون مبدل‌های الکترونیک قدرت امکان پذیر نمی‌باشد. از طرف دیگر استفاده از این مبدل‌ها در صنعت برق در حال گسترش روزافزون می‌باشد. برای جابجایی به این نیاز، گرایش الکترونیک قدرت در دانشگاه‌ها و در بخش تحقیقات صنعت برق مورد توجه قرار گرفته است. لذا دانشگاه سیستان و بلوچستان و شرکت برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان در راستای مدیریت دانش و استفاده از تخصص همکاران خویش و همچنین تولید محتوا به منظور افزایش توان علمی تخصصی، سعی نموده است با برقراری ارتباط مناسب میان صنعت و دانشگاه، در این مسیر گام بردارند.

ترجمه کتاب حاضر تلاشی در همین راستا می‌باشد که با تصویب شورای انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان و کمیته مرکزی تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان و با همت آقای دکتر سید مسعود برکاتی (عضو هیات علمی دانشگاه و عضو کمیته مرکزی تحقیقات شرکت برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان) و همکار ایشان آقای مهندس بهرنگ عزیزی قناد،

انجام پذیرفته است. امیدواریم این کتاب نقش موثری در آشنایی دانشجویان و همکاران دانشگاه و صنعت برق با مبدل‌های توان بالای الکترونیک قدرت داشته باشد.

در پایان لازم می‌دانیم از تلاش‌های صادقانه آقای مهندس شهریار در معاونت پژوهشی دانشگاه و آقای مهندس محمدرضا کیخا مدیر دفتر تحقیقات شرکت سهامی برق منطقه ای سیستان و بلوچستان سیاست‌گذاری و این تالیف را به کلیه محققان و تلاشگران سخت‌کوش صنعت برق و دانشگاه تقدیم نماییم.

انشاء الله گامی هر چند کوچک در جهت رشد صنعت برق کشور برداشته باشیم.

مهندس محبعلی قزاق جاهد

دکتر د محمد کردی

مدیر عامل و رئیس هیات مدیره

معاون پژوهشی و فناوری

شرکت سهامی برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان

دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه مولفان

از سال ۲۰۰۶ که ویرایش اول این کتاب منتشر شده تا کنون پیشرفت‌های جدیدی در زمینه فناوری‌های ولتاژ متوسط توان بالا صورت گرفته است. ویرایش دوم کتاب با اضافه کردن سه فصل جدید و همچنین بازنگری در دو فصل موجود، این پیشرفت را مدنظر قرار داده است.

فصل‌های جدید عبارتند از: بیان پانزدهم، کنترل درایوهای موتور سنکرون، که در آن روش‌های کنترلی متعددی برای درایوهای موتور سنکرون ارائه شده‌اند؛ فصل شانزدهم درایوهای تغذیه شده با مبدل ماتریسی، که در آن مبدل‌های ماتریس آشپاری چند مَدوله که برای درایوهای ولتاژ متوسط ساخته شده‌اند ارزیابی می‌گردند؛ و فصل هفدهم درایوهای ولتاژ متوسط بدون ترانسفورماتور که در آن فناوری‌های حذف ترانسفورماتورهای جدا (ایزوله) کننده در درایو ولتاژ متوسط بررسی می‌شوند. دو فصل نیز، صورت گسترده مورد بازنگری قرار گرفته‌اند که شامل فصل نهم (سایر اینورترهای منبع ولتاژ چندسطحی) و فصل دوازدهم (درایوهای تغذیه شده با اینورتر منبع ولتاژ) می‌باشند که تعدادی از ساختارهای مبدل و پیکربندی‌های درایو، که اخیراً توسعه یافته‌اند، به این دو فصل اضافه شده‌اند.

ویرایش دوم کتاب شامل ۶ بخش در قالب هفده فصل می‌باشد. بخش ۱ (مقدمه) از دو فصل تشکیل شده است. فصل اول بررسی اجمالی از مبدل‌های توان بالا، پیکربندی‌های

درایوها و کاربردهای رایج آن‌ها را ارائه می‌دهد. فصل دوم ادوات نیمه هادی توان بالا را معرفی می‌نماید.

بخش ۲ (یکسوکننده‌های چندپالسه دیودی و SCR) شامل سه فصل در مورد یکسوکننده‌های چندپالسه است که به‌طورگسترده، به‌عنوان مبدل‌های ورودی، در درایوهای توان بالا به‌کار می‌روند. فصل سوم به یکسوکننده‌های دیودی چندپالسه می‌پردازد. فصل چهارم یکسوکننده‌های SCR چندپالسه را تشریح می‌کند. فصل پنجم ترانسفورماتورهای جابجایی فاز را، که در یکسوکننده‌های چندپالسه استفاده می‌شوند، معرفی می‌کند.

بخش ۳ (مبدل‌های منبع ولتاژ چندسطحی) از چهار فصل تشکیل شده است که در مورد تعدادی از مبدل‌های منبع ولتاژ توان بالا بحث می‌کند. فصل ششم، روش‌های مدولاسیون برای اینوترترهای چندسطحی را معرفی می‌نماید که در واقع زمینه را برای درک روش‌های مدولاسیون در اینوترترهای چندسطحی مساعد می‌کند. فصل هفتم، بر روی اینوترترهای پل H آشنایی شده تم‌کن‌ها، فصل هشتم ارزیابی دقیقی از اینوترترهای چندسطحی با نقطه خنثی تثبیت شده را ارائه می‌دهد. فصل نهم نیز سایر آرایش‌های مبدل‌های چندسطحی که به تازگی برای درایوهای ولتاژ متوسط پیشنهاد شده‌اند را معرفی می‌کند.

بخش ۴ (مبدل‌های منبع جریان PWM) شامل دو فصل در مورد مبدل‌های منبع جریان PWM توان بالا است. فصل دهم بر روش‌های کلیدزنی برای اینوترترهای منبع جریان تأکید دارد، در حالی‌که در فصل ۱۱ به تشریح بیشتر کنترل‌های ضریب توان و میرایی فعال، در یکسوکننده‌های منبع جریان، می‌پردازد.

بخش ۵ (درایوهای AC توان بالا) از چهار فصل پیرامون سیستم‌های درایو توان بالا تشکیل شده است. فصل دوازدهم پیکربندی‌های درایوهای ولتاژ متوسط تغذیه شده با اینوترترهای منبع ولتاژ را ارائه می‌دهد، در حالیکه فصل سیزدهم در ارتباط با درایوهای مبتنی بر اینوترتر منبع جریان بحث می‌کند. در فصل چهاردهم روش‌های کنترلی

پیشرفته ای برای درایوهای ولتاژ متوسط موتور القایی نظیر کنترل همسو با میدان و کنترل مستقیم گشتاور معرفی می‌گردند. فصل پانزدهم راجع به روش‌های کنترلی پیشرفته برای درایوهای ولتاژ متوسط موتور سنکرون مانند کنترل حداکثر نسبت گشتاور به جریان و کنترل مستقیم گشتاور بحث می‌کند.

بخش ۶ (مباحث ویژه در ارتباط با درایوهای ولتاژ متوسط) دارای دو فصل پیرامون درایوهای ولتاژ متوسط شاخص می‌باشد. فصل شانزدهم بر روی ساختارهای مبدل ماتریسی انرژی شده چندمُدوله و درایوهای تغذیه شده با مبدل ماتریسی تاکید دارد. فصل دهم پیکربندی‌های درایو ولتاژ متوسط بدون ترانسفورماتور را برای درایوهای تغذیه شده توسط اینورتر منبع جریان و اینورتر منبع ولتاژ معرفی می‌کند.

ویرایش دوم کتاب جدید بین فناوری موجود را ارائه داده و جداول و نمودارهایی را برای کمک به طراحی ارائه می‌کند. همچنین مسائل و مشکلات عملی و روش‌های مقابله با آنها مد نظر گرفته شده‌اند و مودمان، مهم توسط شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و نیز نتایج آزمایشگاهی نشان داده می‌شوند.

کتاب حاضر می‌تواند به عنوان یک مرجع برای محققان دانشگاهی و یا مهندسين عملی و سایر متخصصین مورد استفاده قرار گیرد. این کتاب همچنین مفاهیم فنی مورد نیاز را فراهم آورده و می‌تواند به عنوان یک کتاب درسی برای دوره‌های تحصیلات تکمیلی در الکترونیک قدرت و درایوهای الکتریکی به کار رود.

در پایان می‌خواهیم تشکر صمیمانه خود را از همکارانمان در شرکت اتوماسیون راکول کانادا، به‌ویژه آقای دکتر نوید زرگری^۲ به‌خاطر بیش از بیست سال همکاری تحقیقاتی در زمینه توسعه فناوری‌های پیشرفته درایوهای ولتاژ متوسط ابراز نماییم. از محققین دوره یساکترا و دانشجویان تحصیلات تکمیلی خود در آزمایشگاه تحقیقات و کاربردهای درایوهای الکتریکی دانشگاه رایرسون^۲ کانادا به‌خاطر کمک‌هایشان در تهیه

پیش نویس این کتاب تشکر می نماییم. تشکر مخصوص خود را از دکتر جاچا ونگ^۱ و دکتر کیا تیان^۲ به دلیل کمک ارزنده شان در آماده سازی فصل های ۱۶ و ۱۷ ابراز می داریم. همچنین تشکر ویژه ای از ویراستار موسسه انتشارات وایلی-آی تری پلی^۳ خانم ماری هاجر^۴، به خاطر کمک های ارزشمند و پشتیبانی شان داریم. در آخر قدردانی عمیق خویش را به دستیاران برنامه هیات تحریریه وایلی^۵، آقای بردی چین^۶ و خانم دیوایا نارایانام^۷ به خاطر کمک های مشفقانه شان اعلام می داریم.

بین وو

مهدی نریمانی

تورنتو - کانادا

می ۲۰۱۶

مقدمه مترجمان

یکی از مهمترین چالش‌های دهه‌های پایانی قرن بیستم و آغاز هزاره سوم، افزایش مصرف انرژی و کاهش منابع طبیعی تولید کننده آن می‌باشد. در این راستا فن‌آوری‌های متعددی در رشته‌های مختلف مهندسی با هدف کاهش انرژی مصرفی مورد توجه قرار گرفته‌اند. علاوه بر مصارف روزمره خانگی و تجاری، سهم صنایع در مصرف انرژی بسیار قابل توجه است. در اکثر صنایع، بیشترین سهم مصرف انرژی به موتورهای الکتریکی مورد استفاده در فرایندهای آن صنعت اختصاص دارد. بنابراین کنترل بهینه عملکرد این موتورها به صورت درایو^۱ی الکتریکی یا درایو^۱ می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش انرژی مصرفی صنایع داشته باشد. علاوه بر این، کنترل عملکرد موتورها، موجب افزایش دقت کارکرد آنها شده و در نتیجه، کارایی سیستم بهبود می‌یابد.

در صنایع بزرگ مانند صنایع فولاد، پتروشیمی، نفت و گاز موتورهای با توان بالا^۲ علاوه بر عهده‌دار بودن وظیفه به حرکت درآوردن سیستم‌های اصلی فرایند تولید، کاربردهای متنوعی مانند ایجاد نیروی درایو برای فن‌ها، کمپرها و کمپرسورها را نیز دارند و عموماً در سطوح ولتاژی متوسط^۳ عمل می‌نمایند. از این رو به دلیل نقش ویژه موتورهای توان بالا، استفاده از درایوها در این موارد ضروری و در کاهش انرژی مصرفی بسیار تأثیر گذار است. به دلیل اهمیت این موضوع و بزرگی عدد مصرف انرژی، فن‌آوری‌های تولید این نوع درایوها با سرعت قابل توجهی در حال پیشرفت هستند. این کتاب نیز به این موضوع مهم می‌پردازد و از جمله معدود کتاب‌هایی است که به صورت اختصاصی مفاهیم موجود در فن‌آوری درایوهای توان بالا را مورد بررسی قرار می‌دهند.

نویسنده‌های این کتاب آقایان پروفیسور بین وو و دکتر مهدی نریمانی می‌باشند. آقای پروفیسور وو علاوه بر استادی دانشگاه، با توجه به پشتوانه تجارب صنعتی و مشاوره‌های خود، در بخش صنعت درایوهای توان بالا به‌عنوان چهره‌ای شناخته شده در سطح بین الملل مطرح می‌باشد. از آنجا که ما مترجمین این کتاب، در مقطعی در دانشگاه رایرسون تورنتو، فرصت مغتنم بهره‌گیری از دانش و تجارب نامبرده را داشته و معتقدیم مطالب کتاب حاضر بسیار ارزشمند برای محققان در این حوزه می‌باشد، با موافقت ایشان، تصمیم به ترجمه این کتاب به زبان فارسی گرفتیم که حاصل آن کتاب پیش رو می‌باشد. همانطور که در متن کتاب مشخص است، تمامی شکل‌ها، جداول و فرمول‌ها نسخه اصلی می‌باشند (که توسط نویسندگان در اختیار ما گذاشته شد)، و سعی شده تمامی متون داخل آن‌ها به فارسی برگردانده شود.

امیدواریم که ترجمه فارسی این کتاب بتواند مورد استفاده فعالان رشته‌های مرتبط قرار گیرد و پاسخ‌های مورد نیاز در این زمینه را در اختیار آنها قرار دهد. از آنجائیکه اطمینان داریم این ترجمه خالی از اشکال نمی‌باشد، نظرات اصلاحی اساتید، صاحب‌نظران، دانشجویان گرانقدر را مستاقانه بپذیرا می‌باشیم تا در ویرایش‌های بعدی کتاب از آنها استفاده نماییم. آرزو داریم که با ترجمه این کتاب توانسته باشیم سهم کوچکی در ارتقاء دانش کشور ایفا نماییم.

در پایان مترجمان لازم میدانند از استاد ارجمند آقای دکتر قناری عزیز قنادر که زحمت ویراستاری کتاب را به‌خوبی به‌عهده داشتند نهایت سپاس را داشته باشند. همچنین از دانشجویان تحصیلات تکمیلی، آقایان مهندس محمد طاهر پوراری و مهندس امیر شهدادی که کمک شایانی در این کار داشتند قدردانی می‌نماییم.

سید مسعود برکاتی

بهرنگ عزیزی قنادر

اسفند ماه ۱۳۹۷