



مدل سازی و کنترل مبدل های الکترونیک قدرت

با مثال های کاربردی

تألیف

صدیق پاشا، یولیان مونته آئو، آنتونیو یولیانو براتکو

ترجمه:

دکتر حسین قلی زاده نرم

(دانشیار گروه کنترل دانشگاه صنعتی شاهرود)

مهندس سید سراج حمیدی

مهندس فریده محمدحسینی

سرشناسه : پاشا، صدیق
 عنوان و نام پدیدآور : مدل سازی و کنترل مبدل های الکترونیک قدرت با مثال های کاربردی /
 تألیف صدیق پاشا، یولیان مونته آنو، آنتونتا یولیاننا براتکو؛ ترجمه حسین
 قلی زاده نرم، سید سراج حمیدی، فریده محمدحسینی.
 مشخصات نشر : شاهرود: دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۷.
 مشخصات ظاهری : ۵۵۲ ص. مصور، جدول، نمودار.
 شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۷۱۵۳-۵۹-۸
 فهرست نویسی : فیپا
 یادداشت : عنوان اصلی: Power Electronic Converters Modeling and
 Control with Case Studies, 2014
 موضوع : مبدل های جریان برق
 رده بندی کنگره : ۱۳۹۷ م ۲۴ پ / TK۲۷۹۶
 رده بندی دیوید : ۶۲۱/۳۱۳
 شماره کتابخانه ملی : ۵۳۴۵۷۱۰



انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود

عنوان: مدل سازی و کنترل مبدل های الکترونیک قدرت با مثال های کاربردی
 مؤلفان: صدیق پاشا، یولیان مونته آنو و آنتونتا یولیاننا براتکو
 مترجمان: دکتر حسین قلی زاده نرم، مهندس سید سراج حمیدی و مهندس فریده محمدحسینی
 ویراستار علمی: دکتر علیرضا الفی
 ویراستار ادبی: خانم صدیقه غلامیان
 ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود
 تاریخ و نوبت چاپ: ۱۳۹۷ - اول
 شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
 بها: ۴۰۰۰۰ تومان
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۱۵۳-۵۹-۸
 چاپ و صحافی: چاپ و نشر هم میهن
 نشانی و تلفن: شاهرود، بلوار دانشگاه، دانشگاه صنعتی شاهرود؛ ۰۳۳۱-۳۲۳۰۰۲۳
 فروش آنلاین کتاب: <https://shahroodut.ac.ir/fa/book/>
 حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیش‌گفتار مؤلفان.

امروزه، الکترونیک قدرت پیشرفته به مقصده عطف، جاییدی در پردازش انرژی الکتریکی تبدیل شده است. علاوه بر این، کنترل سیستم‌های الکترونیک قدرت در بهره‌برداری مناسب از سیستم‌های قدرت ضروری هستند. در دهه‌های اخیر، نظریه سیستم‌های کنترل و پردازش سیگنال، عوامل جهت‌دهنده پژوهش و فناوری در زمینه الکترونیک قدرت بوده‌اند. در ادامه این روند روبه‌رشد، کتاب حاضر با بهره‌گیری از نظریه سیستم‌های کنترل در حوزه الکترونیک قدرت، به عنوان مرجعی برای دانشجویان و متخصصان سیستم‌های قدرت ارائه می‌شود. خوانندگان این کتاب با ابزار به دست آوردن مدل‌ها و ساختارهای کنترل برای طیف گسترده‌ای از مبدل‌ها، سوئیچینگ (با هر دو بخش DC و AC) آشنا می‌شود. این کتاب، علاوه بر معرفی روش‌های کنترل خطی که از دهه ۱۹۸۰ تاکنون از کنترل‌کننده‌های تناسبی-انتگرالی بهره برده است، کنترل غیرخطی پیوسته یا ساختار متغیر پیشرفته‌تر را نیز پوشش می‌دهد.

کتاب مدل‌سازی و کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت: با مثال‌های کاربردی برگرفته از درس «مدل‌سازی و کنترل ساختارهای الکترونیک قدرت» است که پروفسور صدیق پاشا از سال ۱۹۹۴ آن را به دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق در مؤسسه فناوری گرونوبل و دانشگاه ژوزف فوریه فرانسه ارائه می‌کند. محتوای کتاب با موضوعات و بررسی‌های موردی

برآمده از کارهای پژوهشی و پایان‌نامه‌های آزمایشگاه مهندسی برق گرونوبل فرانسه در زمینه کنترل مبدل‌های سوئیچینگ و تبدیل انرژی تجدیدپذیر غنی شده است. تشویق‌های پروفسور ژان پل گوته، مدیرکل سابق مدرسه عالی ملی هنر و صنایع فرانسه آغازگر تألیف این کتاب بوده است.

مباحث اصلی کتاب، نقطه اشتراک الکترونیک قدرت، سیستم‌های کنترل و پردازش سیگنال است که تاحدی برخی حوزه‌های الکترونیک صنعتی را نیز پوشش می‌دهد. فرض می‌شود دانشجویان، مفاهیم پایه‌ای رشته‌های مذکور آشنا هستند. با به‌کارگیری مثال‌های کاربردی، مسائل از هر دو جنبه نظری و عملی بررسی خواهد شد. در بررسی‌های موردی، مسائل واقعی و کامل‌ترین راه‌ن‌ها بیان می‌شود. شبیه‌سازی‌ها و توضیحات نیز برای شناخت بیش‌تر رفتار مبدل سوئیچینگ در عمل، در اختیار کنتزلی حلقه‌بسته ارائه شده است.

در کتاب، تلاش شده است تا، از مراجع غنی و شناخته‌شده استفاده شود، عبارات کلیدی یکنواخت باشد، بررسی‌های موردی ارائه گردد و دیدگاه‌ها، نمادگذاری‌ها و سبک نگارش یکپارچه شود تا هم برای مهندسان قدرت و هم مهندسان کنترل قابل فهم باشد.

گفتمان این کتاب به‌شدت تحت تأثیر تجربه دکتر یولیان مونته‌آنو و دکتر آنتونتا یولیانا براتکو، دانشجویان و همکاران پروفسور امیل چه‌آنکا در دانشگاه دانوب پایین گالاتسی رومانی بوده است. در اینجا از پیشنهاد‌های ایشان که الهام‌بخش این اثر علمی بسیاری از روش‌های کنترل بوده قدردانی می‌کنیم.

از پروفسور لئوپولدو گارسیا فرانگلو، استاد دانشگاه سویای اسپانیا به‌دلیل ارزیابی و تأیید این کتاب تشکر می‌کنیم. هم‌چنین از پروفسور ژان پیر رونیون استاد مؤسسه علمی گرونوبل فرانسه به‌خاطر نظرات و پیشنهاد‌های مفیدشان که موجب بهبود کیفیت کتاب شد سپاس‌گزاریم.

صدیق پاشا

یولیان مونته‌آنو

آنتونتا یولیانا براتکو

گرونوبل، فرانسه

ژانویه ۲۰۱۳

فهرست مطالب

ث	پیش‌گفتار مترجمان
ج	پیش‌گفتار مؤلفان
۱	۱ مقدمه
۱	۱.۱ نقش مبدل‌های الکترونیک قدرت در سیستم‌های قدرت
۳	۲.۱ الزامات مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل مبدل‌های قدرت
۵	۳.۱ موضوعات و ساختار کتاب
۶	مراجع
۹	۲ مقدمه‌ای بر مدل‌سازی مبدل‌های الکترونیک قدرت
۹	۱.۲ مدل‌ها
۹	۱.۱.۲ مدل چیست؟
۱۰	۲.۱.۲ محورهای مدل‌سازی
۱۱	۲.۲ انواع مدل‌ها

۱۳	مدل‌های سوئیچی	۱.۲.۲
۱۵	مدل‌های نمونه برداری	۲.۲.۲
۱۶	مدل‌های میانگین	۳.۲.۲
۱۷	مدل‌های سیگنال بزرگ و سیگنال کوچک	۴.۲.۲
۱۸	محاسبه مدل حالت ماندگار	۱.۴.۲.۲
۱۸	تشکیل مدل سیگنال کوچک	۲.۴.۲.۲
۲۱	مدل‌های رفتاری	۵.۲.۲
۲۲	مثال‌ها	۶.۲.۲
۲۵	کاربرد مدل‌ها	۳.۲
۲۵	ارتباط بین مدل‌های مختلف	۱.۳.۲
۲۷	ارتباط بین مدل‌سازی و کنترل	۲.۳.۲
۲۷	کاربردهای دیگر مدل‌ها	۳.۳.۲
۲۷	نتیجه‌گیری	۴.۲
۲۷	مراجع	

۳۱	مدل سوئیچی	۳
۳۲	مدل‌سازی ریاضی	۱.۳
۳۲	چارچوب ریاضی عمومی	۱.۱.۳
۳۴	شکل دوخطی	۲.۳
۳۶	روش مدل‌سازی	۳.۳
۳۶	فرضیات اساسی؛ متغیرهای حالت	۱.۳.۳
۳۶	الگوریتم کلی	۲.۳.۳
۳۸	مثال‌ها	۳.۳.۳
۴۷	مطالعه موردی؛ یک سوساز منبع ولتاژ سه فاز	۴.۳
۵۶	نتیجه‌گیری	۵.۳
۵۶	مسائل	

۶۳	مراجع
۶۷	۴ مدل میانگین کلاسیک
۶۸	۱.۴ مقدمه
۶۸	۲.۴ تعاریف و مبانی
۶۹	۱.۲.۴ میانگین لغزشی
۷۰	۲.۲.۴ میانگین متغیر حالت
۷۱	۲.۲.۴ میانگین یک کلید
۷۲	۴.۲.۴ میانگین مدار الکترونیک قدرت کامل
۷۳	۳.۴ روش‌های میانگین‌گیری
۷۳	۱.۳.۴ رویکرد ترکیبی
۷۵	۲.۳.۴ رویکرد تطبیقی
۷۶	۴.۴ تحلیل خطاهای میانگین‌گیری
۷۶	۱.۴.۴ مدل نمونه‌برداری دقیق
۷۹	۲.۴.۴ رابطه بین مدل نمونه‌برداری دقیق و مدل میانگین دقیق
۸۲	۵.۴ میانگین سیگنال کوچک
۸۳	۱.۵.۴ مدل میانگین سیگنال کوچک پیوسته
۸۴	۲.۵.۴ مدل سیگنال کوچک نمونه‌برداری
۸۴	۳.۵.۴ مثال
۸۷	۶.۴ مطالعه موردی؛ مبدل کاهنده-افزاینده
۹۷	۷.۴ مزایا و محدودیت‌های مدل میانگین؛ نتیجه‌گیری
۱۰۰	مسائل
۱۱۵	مراجع
۱۱۹	۵ مدل میانگین تعمیم‌یافته
۱۲۰	۱.۵ مقدمه
۱۲۱	۲.۵ اصول

۱۲۱	۱.۲.۵	اصول پایه
۱۲۳	۲.۲.۵	ارتباط با مدل هارمونیک مرتبه اول
۱۲۴	۳.۲.۵	ارتباط با مدل میانگین کلاسیک
۱۲۵	۳.۵	مثال‌ها
۱۲۵	۱.۳.۵	یک متغیر حالت
۱۲۶	۲.۳.۵	مدار پسو
۱۲۷	۳.۳.۵	یک مدار تزویج شده
۱۲۹	۴.۳.۵	توابع سوئیچینگ
۱۲۹	۱.۴.۳.۵	توابع سوئیچینگ وابسته به زمان
۱۲۹	۴.۴.۳.۵	توابع سوئیچینگ وابسته به متغیر حالت
۱۳۰	۳.۴.۱.۵	توابع سوئیچینگ وابسته به متغیرهای حالت و زمان
۱۳۰	۵.۳.۵	توابع سوئیچینگ، چندسطحی
۱۳۱	۴.۵	روش میانگین‌گیری
۱۳۱	۱.۴.۵	رویکرد تحلیلی
۱۳۲	۲.۴.۵	رویکرد ترسیمی
۱۳۳	۵.۵	رابطه مدل میانگین تعمیم‌یافته و شکل موج‌های راقع
۱۳۴	۱.۵.۵	استخراج سیگنال متغیر با زمان حقیقی از مدل تعمیم‌یافته
۱۳۵	۲.۵.۵	استخراج مدل تعمیم‌یافته از سیگنال متغیر زمان حقیقی
۱۳۵	۱.۲.۵.۵	استخراج بخش حقیقی؛ $x_1 = \text{Re}(\langle y \rangle_1)$
۱۳۶	۲.۲.۵.۵	استخراج بخش موهومی؛ $x_2 = \text{Im}(\langle y \rangle_1)$
۱۳۶	۶.۵	محاسبه مؤلفه‌های اکتیو و راکتیو متغیرهای AC با مدل تعمیم‌یافته
۱۴۲	۷.۵	مطالعات موردی
۱۴۳	۱.۷.۵	اینورتر منبع جریان برای گرمایش القایی
۱۴۳	۱.۱.۷.۵	روش تحلیلی
۱۴۵	۲.۱.۷.۵	روش ترسیمی
۱۴۷	۲.۷.۵	مدل تشدید سری

۳.۷.۵	محدودیت‌های مدل میانگین تعمیم یافته؛ مثال	۱۵۱
۴.۷.۵	مبدل‌های کنترل شده با PWM	۱۵۶
۱.۴.۷.۵	مبدل تک فاز	۱۵۶
۲.۴.۷.۵	مبدل سه فاز	۱۵۹
۸.۵	نتیجه‌گیری	۱۶۶
	مسائل	۱۶۷
	پيوست	۱۷۳
	مراجع	۱۷۶
۶	مدل میانگین مدل یافته	۱۷۹
۱.۶	مقدمه	۱۸۰
۲.۶	اصول اساسی	۱۸۰
۳.۶	روش کلی	۱۸۳
۱.۳.۶	مثال متغیرهای متناوب: ۱. رتر منبع جریان برای گرمایش القایی	۱۸۴
۲.۳.۶	مثال حالت هدایت ناپیوسته؛ مبدل کاهنده-افزاینده	۱۸۸
۴.۶	مطالعات موردی	۱۹۲
۱.۴.۶	مدل سازی راکتور کنترل شده تریستوری	۱۹۲
۲.۴.۶	مبدل افزایشده DC/DC در حالت هدایت ناپیوسته	۱۹۷
۵.۶	نتیجه‌گیری	۲۰۳
	مسائل	۲۰۴
	مراجع	۲۱۰
۷	اصول کلی کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت	۲۱۳
۱.۷	اهداف کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت	۲۱۳
۲.۷	مباحث ویژه در کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت	۲۱۶
۳.۷	انواع مختلف کنترل	۲۱۹
۴.۷	نتیجه‌گیری	۲۲۲

۲۲۲ مراجع

۸ روش‌های کنترل خطی مبدل‌های DC/DC

۲۲۵ ۱.۸ مدل‌های میانگین خطی شده؛ اهداف کنترل و روش‌های طراحی

۲۲۶ ۲.۸ کنترل مستقیم خروجی

۲۲۷ ۱.۲.۸ فرضیات و الگوریتم طراحی

۲۲۸ ۲.۲.۸ مثال یک مبدل کاهنده-افزاینده

۲۳۰ ۳.۸ کنترل غیرمستقیم خروجی؛ ساختار کنترل آشناری دوحلقه‌ای

۲۳۴ ۱.۳.۸ فرضیات و الگوریتم طراحی

۲۳۵ ۲.۳.۸ مثال مبدل DC/DC با جریان دوسویه

۲۴۱ ۳.۳.۸ کنترل آشناری دوحلقه‌ای مبدل‌های DC/DC ناکمینه‌فاز

۲۴۶ ۴.۸ کنترل مبدل با جبران دینامیک، به روش جایابی قطب

۲۵۱ ۱.۴.۸ فرضیات و الگوریتم طراحی

۲۵۱ ۲.۴.۸ مثالی از یک مبدل کاهنده

۲۵۶ ۵.۸ کنترل دیجیتال

۲۵۸ ۱.۵.۸ روش‌های طراحی کنترل دیجیتال

۲۵۹ ۲.۵.۸ کنترل دیجیتال یک مبدل افزایشنده C/1، 1/1 و فتوولتائیک

۲۶۲ ۶.۸ مطالعات موردی

۲۶۵ ۱.۶.۸ کنترل مستقیم ولتاژ خروجی مبدل افزایشنده با سترز پیش‌فاز-پس‌فاز

۲۶۵ ۲.۶.۸ کنترل مستقیم ولتاژ خروجی مبدل افزایشنده با جایابی قطب

۲۷۲ ۷.۸ نتیجه‌گیری

۲۷۷ مسائل

۲۷۸ مراجع

۹ رویکردهای کنترل خطی مبدل‌های قدرت AC/DC و DC/AC

۲۹۱ ۱.۹ مباحث مقدماتی

۲۹۱ ۲.۹ کنترل در قاب dq چرخان

۲۹۹	۱.۲.۹	مبدل AC/DC تک فاز متصل به شبکه
۳۰۵	۳.۹	کنترل کننده های تشدید
۳۰۵	۱.۳.۹	لزوم کنترل تشدید
۳۰۷	۲.۳.۹	اصول کنترل تناسبی- تشدید
۳۱۲	۳.۳.۹	روش های طراحی
۳۱۲	۱.۳.۳.۹	شکل دهی حلقه
۳۱۵	۲.۳.۳.۹	جایابی قطب
۳۱۶	۳.۳.۳.۹	روش چند جمله ای ناسلین
۳۲۱	۴.۳.۹	چند ایی یاده سازی
۳۲۴	۵.۳.۹	استوار کردن کرا، کننده های تشدید در قاب کنترل dq ساکن ترکیبی
۳۲۶	۶.۳.۹	مثال؛ اینوت سه فاز متصل به شبکه
۳۳۱	۴.۹	کنترل مبدل های تمام موج
۳۳۹	۵.۹	مطالعه موردی؛ کنترل dq یک اینوتر PWN سه فاز متصل به شبکه
۳۴۰	۱.۵.۹	مدل سازی سیستم
۳۴۱	۲.۵.۹	نکاتی درباره ساختار کنترل
۳۴۲	۳.۵.۹	طراحی کنترل کننده های حلقه داخلی (جریان)
۳۴۴	۴.۵.۹	نتایج شبیه سازی حلقه داخلی
۳۴۵	۵.۵.۹	طراحی کنترل کننده حلقه بیرونی (ولتاژ)
۳۴۸	۶.۵.۹	نتایج شبیه سازی حلقه بیرونی
۳۵۰	۶.۹	نتیجه گیری
۳۵۱		مسائل
۳۶۱		مراجع

۳۶۷	۱۰	مرور کلی ابزار ریاضی کنترل غیر خطی
۳۶۷	۱.۱۰	مفاهیم پایه
۳۶۸	۱.۱.۱۰	هندسه دیفرانسیلی

۳۷۲	۲.۱.۱۰ درجه نسبی و دینامیک صفر
۳۷۵	۳.۱.۱۰ رویکرد لیاپانوف
۳۷۵	۲.۱۰ مروری بر روش‌های کنترل غیرخطی مبدل‌های الکترونیک قدرت
۳۷۷	مراجع

۱۱ اعمال کنترل خطی سازی فیدبک به مبدل‌های الکترونیک قدرت

۳۸۱	۱۱ اصول خطی سازی با فیدبک
۳۸۲	۱.۱.۱۱ بیان مسئله
۳۸۲	۱.۱.۱۱ نتایج اصلی
۳۸۶	۲.۱۱ کاربرد مدل‌های الکترونیک قدرت
۳۸۶	۱.۲.۱۱ رابطه قانون کنترل خطی سازی فیدبک
۳۸۸	۲.۲.۱۱ رویکرد طراحی عملی
۳۹۰	۳.۲.۱۱ مثال‌ها؛ مبدل DC/DC رایزنده و مبدل DC/DC کاهنده
۳۹۴	۴.۲.۱۱ عدم قطعیت‌های پارامتری
۳۹۵	۳.۱۱ مطالعه موردی؛ کنترل خطی سازی فیدبک مدل فیلتری
۳۹۶	۱.۳.۱۱ طراحی فیدبک خطی ساز
۳۹۹	۲.۳.۱۱ تحلیل حلقه بیرونی
۴۰۱	۳.۳.۱۱ طراحی PI حلقه بیرونی بدون در نظر گرفتن صفر سمت راست
۴۰۳	۴.۳.۱۱ طراحی PI حلقه بیرونی با در نظر گرفتن صفر سمت راست
۴۰۵	۴.۱۱ نتیجه‌گیری
۴۰۶	مسائل
۴۱۵	مراجع

۱۲ کنترل مبتنی بر انرژی مبدل‌های الکترونیک قدرت

۴۲۰	۱.۱۲ تعاریف پایه
۴۲۱	۲.۱۲ کنترل پایدار ساز مبدل‌های الکترونیک قدرت
۴۲۳	۱.۲.۱۲ سیستم غیرخطی عمومی

۴۲۵	سیستم خطی شده	۲.۲.۱۲
۴۲۷	الگوریتم طراحی کنترل پایدارساز	۳.۲.۱۲
۴۲۹	مثال: طراحی کنترل پایدارساز برای مبدل DC/DC افزایشدهنده	۴.۲.۱۲
۴۲۹	طراحی کنترل پایدارساز پایه	۱.۴.۲.۱۲
۴۳۳	ارزیابی عملکرد دینامیکی	۲.۴.۲.۱۲
۴۳۳	اشباع ورودی کنترل	۳.۴.۲.۱۲
۴۳۵	کنترل پایدارساز تطبیقی	۴.۴.۲.۱۲
۴۳۶	رویکردهای کنترل انفعالی؛ نمایش اویلر-لاگرانژ سیستمهای دینامیکی	۳.۱۲
۴۳۷	شکل اصلی اویلر-لاگرانژ برای سیستمهای مکانیکی	۱.۳.۱۲
۴۳۸	تطبیق فرم اویلر-لاگرانژ با مبدل های الکترونیک قدرت	۲.۳.۱۲
۴۴۰	نمایش مبدل های الکترونیک قدرت به صورت سیستمهای غیرفعال	۳.۳.۱۲
۴۴۲	مثالهایی از مدل سازی مبدل در فرم اویلر-لاگرانژ	۴.۳.۱۲
۴۴۴	کنترل انفعالی مبدل های الکترونیک قدرت	۴.۱۲
۴۴۴	مبانی نظری	۱.۴.۱۲
۴۴۸	محدودیت های کنترل انفعالی	۲.۴.۱۲
۴۴۸	تخمین پارامتر؛ کنترل انفعالی تطبیقی	۳.۴.۱۲
۴۴۹	الگوریتم طراحی کنترل انفعالی	۴.۴.۱۲
۴۴۹	مثال: کنترل انفعالی مبدل DC/DC افزایشدهنده	۵.۴.۱۲
۴۵۰	طراحی کنترل پایه	۱.۵.۴.۱۲
۴۵۳	کران های ضرایب تزریق میرایی	۲.۵.۴.۱۲
۴۵۵	تحلیل پایداری سیگنال کوچک حلقه بسته	۳.۵.۴.۱۲
۴۵۷	تخمین پارامتر	۴.۵.۴.۱۲
۴۵۸	مطالعه موردی؛ کنترل انفعالی مبدل کاهنده-افزاینده	۵.۱۲
۴۵۹	طراحی کنترل انفعالی پایه	۱.۵.۱۲
۴۶۲	تنظیم تزریق میرایی	۲.۵.۱۲
۴۶۳	بررسی پایداری سیگنال کوچک سیستم حلقه بسته	۳.۵.۱۲

۴۶۷	طراحی کنترل انفعالی تطبیقی
۴۶۹	۵.۵.۱۲ نتایج شبیه سازی عددی
۴۷۳	۶.۱۲ نتیجه گیری
۴۷۶	مسائل
۴۸۲	مراجع
۴۸۷	۱۳ کنترل ساختار متغیر مبدل های الکترونیک قدرت
۴۸۸	۱.۱۳ مقدمه
۴۸۸	۲.۱۳ سطح لغزش
۴۹۱	۳.۱۳ نتایج بررسی عمومی
۴۹۲	۱.۳.۱۳ دستیابی پذیری سطح لغزش؛ شرط تقاطع پذیری
۴۹۴	۲.۳.۱۳ کنترل معادل
۴۹۶	۳.۳.۱۳ دینامیک سطح لغزش
۴۹۶	۴.۱۳ طراحی کنترل ساختار متغیر
۴۹۶	۱.۴.۱۳ الگوریتم عمومی
۴۹۶	۲.۴.۱۳ مثال کاربردی
۵۰۰	۳.۴.۱۳ رویکرد طراحی عملی
۵۰۲	۱.۳.۴.۱۳ شرط تقاطع پذیری
۵۰۲	۲.۳.۴.۱۳ کنترل معادل
۵۰۲	۳.۳.۴.۱۳ دینامیک روی سطح لغزش
۵۰۳	۵.۱۳ مباحث تکمیلی
۵۰۳	۱.۵.۱۳ سطوح سوئیچینگ متغیر با زمان
۵۰۴	۲.۵.۱۳ انتخاب سطح سوئیچینگ
۵۰۶	۳.۵.۱۳ انتخاب توابع سوئیچینگ
۵۰۸	۴.۵.۱۳ محدودیت فرکانس سوئیچینگ
۵۱۲	۶.۱۳ مطالعات موردی

۵۱۳	۱.۶.۱۳ کنترل ساختارمتغیر مبدل افزایشده اصلاح ضریب توان تک فاز . . .
۵۲۴	۲.۶.۱۳ کنترل ساختارمتغیر یک سوساز سه فاز (سیستم چندمتغیره) . . .
۵۲۵	۱.۲.۶.۱۳ مدل سازی
۵۲۶	۲.۲.۶.۱۳ طراحی کنترل ساختارمتغیر
۵۳۰	۳.۲.۶.۱۳ نمودار کنترل سراسری
۵۳۱	۷.۱۳ نتیجه گیری
۵۳۳	مسائل
۵۴۴	مراجع
۵۴۹	نتیجه گیری کلی
۵۵۰	مراجع