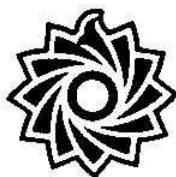


بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

شبیه‌سازی مدارهای الکترونیک قدرت با MATLAB-SimPower Systems

ترجمه و تألیف:

دکتر علی اکبر مطیع بیرجندی

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

مهندس زیداله بابایی

مهندس محمد مشتاقی

سر شناسنامه	: مطیع بیرجندی، علی اکبر، ۱۳۴۴-
عنوان و نام پدید آور	: شبیه سازی مدارهای الکترونیک قدرت با MATLAB-SimPower Systems / ترجمه و تألیف : علی اکبر مطیع بیرجندی، زیداله بابایی، محمد مشتاقی.
وضعیت ویراست	: [ویراست ۲]
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۶۲۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۴۶-۰
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: واژه نامه.
موضوع	: مدارهای الکترونیکی - شبیه سازی کامپیوتری
موضوع	: مدارهای الکترونیکی - طراحی - نرم افزار
شناسه افزوده	: بابایی، زیداله، ۱۳۶۲-
شناسه افزوده	: مشتاقی، محمد، ۱۳۷۰-
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ش ۲/م ۶/TK۷۸۶۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۸۱۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۰۰۰۸۴۶



دانشگاه تربیت دبیر رجائی

عنوان	: شبیه سازی مدارهای الکترونیک قدرت با MATLAB-SimPower Systems
ترجمه و تألیف	: دکتر علی اکبر مطیع بیرجندی، محمد هاشم عامی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، مهندس زیداله بابایی، مهندس محمد مشتاقی
ویراستار ادبی	: شهرام طهماسبی
نوبت چاپ	: اول- پاییز ۱۳۹۴
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی	: فراتش
چاپ	: فردوس
طراح جلد	: مهندس هادی عارفی
ناظر چاپ	: محمد معتمدی نژاد
کارشناس چاپ و صفحه آرا	: نیره فیروزی
کارشناسان	: طاهره کیا، علی رضایی اهوآوئی
شمارگان	: ۵۰۰ جلد
قیمت	: ۳۰,۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۴۶-۰
	ISBN: 978-600-6594-46-0

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و مترجمین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰.

۲۲۹۷۰۰۷۰، تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@srutu.edu، وب سایت: http://Publish.srutu.edu

پیشگفتار مؤلفین

با استفاده روزافزون کاربرد رایانه در علوم و خصوصاً علوم مهندسی، نرم‌افزارهای شبیه‌ساز در بین متخصصین به‌عنوان ابزار کار رواج پیدا کرده است. یکی از قوی‌ترین و معتبرترین نرم‌افزارهای تخصصی در زمینه تحلیل سیستم‌های الکتریکی که در رشته‌های مختلف کاربرد دارد، نرم‌افزار MATLAB می‌باشد. خوشبختانه در کشور ما نیز لزوم استفاده از این نرم‌افزار به خوبی مطرح و در برنامه آموزشی بعضی از دروس توسط استادان گنجاییده شده است. استفاده از آن نیز، استقبال دانشجویان و مهندسين طراح واقع شده است.

نرم‌افزار MATLAB، آرایه محیط شبیه‌سازی راحت و ساده در جعبه‌ابزار Simulink که از MATLAB به‌عنوان موتور محاسباتی استفاده می‌کند و نیز آرایه بلوک‌های تخصصی هر رشته توانسته علاقه وافر استادان، دانشجویان مهندسی و طراحان صنعتی را به خود جلب نماید. مجموعه بلوک‌هایی که در محیط Simulink استفاده می‌شوند، این امکان را می‌دهند که کاربر براحتی بتواند مدل موردنظر را با استفاده از روش ساده کلیک و کشیدن بلوک از کتابخانه به محیط شبیه‌سازی طرح نماید و به آسانی مدل را تحلیل نماید.

یکی از این مجموعه بلوک‌های آماده، بلوک‌هایی برای شبیه‌سازی سیستم‌های قدرت است که تحت نام SymPowerSystem (SPS) معرفی شده است. با توجه به آن که سیستم‌های قدرت امروزی تلفیقی به هم آمیخته با الکترونیک قدرت پیدا کرده‌اند، تولید و انتقال و حتی توزیع بدون استفاده از این ادوات الکترونیک قدرت میسر نمی‌باشد. چون درک دقیق عملکرد مدارهای الکترونیک قدرت در سیستم‌های انتقال و تولید و توزیع الکتریکی، احتیاج به شناخت سیستم‌های کنترل، رفتار مدارهای قدرت و ماشین‌های الکتریکی در شرایط پایداری و گذرا دارد در این محیط تمامی امکانات لازم برای طراحان و تحلیل‌گران فراهم شده است تا ضمن دیدن رفتار مدار در شرایط مختلف، با تغییر پارامترهای متفاوت مدار، به بررسی شکل‌موج‌های حاصل بپردازند.

در تنظیم کتاب سعی شده است تا براساس راهنمای متلب و مثال‌های آن و نیز تجربیات تدریس دروس تخصصی مرتبط، مطالب کنار هم قرار گیرند، به‌طوری‌که آنچه برای فراگیری مباحث به صورت کاربردی لازم است با تصویر مراحل مختلف و گام‌به‌گام به فراگیر منتقل شود و این در حالی است که در برخورد کاربردی با SPS از کیفیت علمی آموزش کاسته نشده و

حرفه‌ای‌ترین کاربردهای نرم‌افزار در زمینه‌های مباحث گذرا نیز جز به جز مورد بررسی قرار گرفته است.

کتاب حاضر که با استفاده از به روز ترین نسخه نرم‌افزار متلب (R2014a) نگارش یافته است، سعی دارد تا بیشترین بهره را از کوتاه‌ترین مسیر نصیب مخاطبان خود نماید. این کتاب چشم‌اندازی جدید پیش روی افرادی که تاکنون از SPS استفاده نکرده‌اند می‌گشاید و در عین حال دانشجویان رشته قدرت در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد را با مثال‌های کاملاً کاربردی آشنا می‌کند. (شایان ذکر است تا زمان نگارش کتاب، نسخه ۲۰۱۵ به‌دست مؤلفین نرسیده ولی پس از بررسی مشخص گردید مطالب کتاب، تفاوتی کمتر از ۱۰ درصد با نسخه جدید دارد).

در فصل اول کتاب به بحث پیرامون کلیات و مسایل مطروحه در زمینه استفاده از الکترونیک قدرت در سیستم‌های قدرت پرداخته شده و هم‌زمان نحوه تشکیل این مدارها در صفحه عملیاتی شبیه‌ساز آمده است. فصل دوم با معرفی امکاناتی از SPS در زمینه تحلیل سیستم‌های قدرت همراه با عناصر الکترونیک، قدرت، پرداخته شده است و شیوه‌های ساخت مدل و مجتمع کردن مدارات به صورت مرحله‌ای آورده شده است. فصل سوم نمونه‌هایی کاربردی که منطبق بر مثال‌های SPS است به صورت احاطی مرحله‌ای در اختیار قرار می‌دهد. فصل چهارم بلوک‌های آماده در این نرم‌افزار را معرفی می‌نماید. در فصل پنجم به توضیح فرامین آماده در این نرم‌افزار می‌پردازد که منطبق بر مرجع راهنمای SPSS است و در نهایت در فصل شش به بحث کاربردی استفاده از برنامه‌نویسی در سیمولینک (به زبان MATLAB و C/C++) پرداخته شده است.

امید است مخاطبین گرامی این کتاب، پیشنهادات خویش را به نویسنده منعکس کنند. (محتوای کتاب از اینجانبان دریغ نفرمایند (motibirjandi@srttu.edu)

علی‌اکبر مطیع بیرجندی

محمد مشتاقی - زیداله بابایی

پاییز ۱۳۹۴

فهرست

فصل اول: کلیات

۱	
۲	۱-۱- شبیه‌سازی یک مدار ساده
۲	۱-۱-۱- ساختن مدار الکتریکی توسط کتابخانه powerlib
۱۱	۱-۱-۲- ایجاد ارتباط بین مدار الکتریکی و Simulink
۱۷	۱-۱-۳- شبیه‌سازی مدار
۱۸	۱-۲- تحلیل یک مدار ساده
۱۸	۱-۲-۱- تحلیل حالت دائمی
۲۰	۱-۲-۲- تحلیل فرکانسی
۲۵	۱-۳- شبیه‌سازی حالت گذر
۳۲	۱-۳-۱- الگوریتم انتگرال‌گیر متغیر گام زمانی پیوسته
۳۵	۱-۴- آشنایی با الکترونیک قدرت
۳۶	۱-۴-۱- شبیه‌سازی شاخه TCR
۴۶	۱-۴-۲- شبیه‌سازی شاخه TSC
۴۸	۱-۴-۳- یک‌سوساز پل تک فاز تمام‌کنترلی
۵۱	۱-۴-۳-۱- تحلیل ریاضی
۵۳	۱-۴-۴- شبیه‌سازی مدار
۵۴	۱-۵- یک‌سوساز پل سه فاز تمام‌کنترلی
۵۴	۱-۵-۱- عملکرد مدار یک‌سوساز پل تمام‌کنترلی
۵۷	۱-۵-۲- سیگنال‌های سنکرون سازی
۵۹	۱-۵-۳- تحلیل ریاضی
۶۰	۱-۵-۳-۱- ولتاژ متوسط خروجی
۶۰	۱-۵-۳-۲- ولتاژ مؤثر خروجی
۶۱	۱-۵-۴- شبیه‌سازی پل تمام‌کنترلی
۶۱	۱-۵-۴-۱- شبیه‌سازی با استفاده از بلوک Thyristor
۶۵	۱-۵-۴-۲- شبیه‌سازی با استفاده از بلوک Universal Bridge
۶۷	۱-۶- شبیه‌سازی راه‌انداز موتور

۶۸	 ۱-۶-۱- ساخت شبیه‌سازی راه‌انداز موتور PWM
۶۸	 ۱-۶-۱-۱- گردآوری و ساختن بلوک موتور
۷۲	 ۱-۶-۱-۲- بارگذاری و راه‌اندازی موتور
۷۵	 ۱-۶-۱-۳- کنترل پل با استفاده از مولد پالس
۸۱	 ۱-۶-۱-۴- شبیه‌سازی راه‌انداز موتور PWM با الگوریتم انتگرال‌گیری پیوسته
۸۲	 ۱-۶-۲- استفاده از بلوک Multimeter
۸۵	 ۱-۶-۳- گسسته‌سازی راه‌انداز موتور
۸۷	 ۱-۷- آشنایی با روش شبیه‌سازی فازوری
۸۷	 ۱-۷-۱- چارچوب روش تحلیل فازوری استفاده کنیم
۸۸	 ۱-۷-۲- شبیه‌سازی فازور در مدار باحالت گذرا
۹۰	 ۱-۷-۲-۱- تحلیل فازی توسط بلوک powergui
۹۲	 ۱-۷-۲-۲- انتخاب نوع فازور سیگنال اندازه‌گیری شده
۹۷	 ۱-۸- سیستم‌های سه فاز و ماشین‌ها
۹۷	 ۱-۸-۱- شبکه‌های سه فاز با ماشین‌های الکترونیک
۱۰۴	 ۱-۸-۲- پخش بار و مقداردهی اولیه ماشین
۱۰۶	 ۱-۸-۲-۱- پخش بار بدون نوسان ماشین
۱۱۲	 ۱-۸-۲-۲- پخش بار با نوسان ماشین
۱۱۶	 ۱-۹- ساختن و سفارشی کردن مدل‌های غیرخطی
۱۱۷	 ۱-۹-۱- مدل‌سازی اندوکتانس غیرخطی
۱۲۳	 ۱-۹-۲- سفارشی کردن مدل غیرخطی
۱۲۴	 ۱-۹-۲-۱- آماده‌سازی بلوک
۱۲۹	 ۱-۹-۲-۲- ایجاد آیکون بلوک طراحی شده
۱۳۰	 ۱-۹-۲-۳- اضافه نمودن توضیحات در بلوک
۱۳۱	 ۱-۹-۳- مدل‌سازی مقاومت غیرخطی
۱۳۸	 ۱-۹-۴- سفارشی کردن یکسو ساز تک فاز تمام کنترلی (circuit5)
۱۴۱	 ۱-۹-۵- ایجاد کتابخانه شخصی
۱۴۲	 ۱-۹-۶- اتصال مدل با دیگر بلوک‌های غیرخطی

فصل دوم: معرفی امکاناتی از SPS

۱۴۷

- ۱۴۷ ۲-۱ SPS چگونه کار می کند
- ۱۵۱ ۲-۲ انتخاب روش انتگرال گیری: پیوسته یا گسسته
- ۱۵۱ ۲-۳ شبیه سازی با الگوریتم انتگرال گیری پیوسته
- ۱۵۱ ۲-۳-۱ انتخاب الگوریتم انتگرال گیری
- ۱۵۲ ۲-۳-۲ شبیه سازی سوئیچ ها و قطعات الکترونیک قدرت
- ۱۵۶ ۲-۴ شبیه سازی سیستم الکتریکی گسسته
- ۱۵۶ ۲-۵ افزایش سرعت شبیه سازی
- ۱۵۷ ۲-۶ ایجاد کتابخانه شخصی از مدل ها
- ۱۵۷ ۲-۷ تغییر پارامترهای مدار
- ۱۵۸ ۲-۷-۱ مثالی از اسکریپت MATLAB که بررسی پارامتری را انجام می دهد

۱۶۱

فصل سوم: کاربردهای نرم افزار

- ۱۶۱ ۳-۱ شبکه انتقال جبران شده سری
- ۱۶۱ ۳-۱-۱ تشریح شبکه انتقال
- ۱۶۵ ۳-۱-۱-۱ زیرسیستم جبران ساز سری ۱
- ۱۶۹ ۳-۱-۱-۲ مدل ترانسفورماتور قابل اشباع
- ۱۷۱ ۳-۱-۲ تنظیم پخش بار اولیه و به دست آوردن حالت پایدار
- ۱۷۵ ۳-۱-۳ عملکرد گذرا برای خطای خط
- ۱۷۶ ۳-۱-۳-۱ خطای زمین شدن خط اعمال شده به خط ۱
- ۱۷۹ ۳-۱-۳-۲ خطای زمین شدن سه فاز اعمال شده به خط ۱
- ۱۸۱ ۳-۱-۴ تحلیل فرکانسی
- ۱۸۷ ۳-۱-۵ عملکرد گذرای خطا در باس B2
- ۱۹۴ ۳-۲ راه اندازی موتور DC با تغذیه چاپری
- ۱۹۴ ۳-۲-۱ تشریح سیستم راه انداز
- ۱۹۷ ۳-۲-۲ مدل سازی راه انداز DC
- ۲۰۱ ۳-۲-۳ شبیه سازی راه انداز DC
- ۲۰۲ ۳-۲-۴ شروع راه اندازی

۲۰۳	 شکل موج‌های ولتاژ و جریان حالت دائم	۳-۲-۵
۲۰۴	 عملکرد تنظیم‌کننده سرعت دینامیکی	۳-۲-۶
۲۰۷	 راه‌انداز فرکانس متغیر موتور القایی	۳-۳
۲۰۷	 تشریح راه‌انداز موتور القایی	۳-۳-۱
۲۰۹	 راه‌انداز موتور القایی متمایل به میدان با سرعت متغیر	۳-۳-۲
۲۱۲	 مدل‌سازی راه‌انداز موتور القایی	۳-۳-۳
۲۱۷	 شبیه‌سازی راه‌انداز موتور القایی	۳-۳-۴
۲۱۸	 شروع راه‌اندازی	۳-۳-۵
۲۱۹	 شکل موج‌های ولتاژ و جریان حالت دائم	۳-۳-۶
۲۲۰	 عملکرد دینامیکی تنظیم‌کننده سرعت	۳-۳-۷
۲۲۳	 سیستم HVDC	۳-۴
۲۲۳	 تشریح سیستم انتقال HVDC	۳-۴-۱
۲۲۶	 پاسخ فرکانسی سیستم‌های DC, AC	۳-۴-۲
۲۳۰	 تشریح سیستم کنترل	۳-۴-۳
۲۳۰	 ورودی‌ها و خروجی‌ها	۳-۴-۳-۱
۲۳۱	 سنکرون سازی سیستم	۳-۴-۳-۲
۲۳۱	 مشخصه حالت دائم V-I	۳-۴-۳-۳
۲۳۲	 تابع VDCOL	۳-۴-۳-۴
۲۳۴	 جریان و ولتاژ تنظیم‌کننده	۳-۴-۳-۵
۲۳۵	 راه‌اندازی سیستم و حالت دائمی	۳-۴-۴
۲۴۱	 پاسخ پله جریان مرجع	۳-۴-۵
۲۴۳	 خطای خط DC	۳-۴-۶
۲۴۵	 خطای زمین شدن خط AC در یک‌سوساز	۳-۴-۷

۲۴۹ فصل چهارم: بلوک‌های آماده

۲۴۹	 طبقه‌بندی بلوک‌ها	۴-۱
۲۵۰	 ایجاد منابع الکتریکی	۴-۱-۱
۲۵۰	 ایجاد المان‌های مدار	۴-۱-۲

۲۵۲	 ۴-۱-۳- مدل سازی با المان های فازوری
۲۵۲	 ۴-۱-۴- ایجاد قطعات الکترونیک قدرت
۲۵۳	 ۴-۱-۵- مدل سازی ماشین های الکتریکی
۲۵۳	 ۴-۱-۶- اندازه گیری مدارات الکتریکی
۲۵۴	 ۴-۱-۷- تحلیل مدارات الکتریکی
۲۵۴	 ۴-۱-۸- بلوک های اضافی مفید
۲۵۴	 ۴-۱-۸-۱- اندازه گیری سیگنال
۲۵۴	 ۴-۱-۸-۲- منابع سیگنال و پالس
۲۵۵	 ۴-۲- فهرست الفبایی بلوک ها
۲۵۵	 abc_to dq0 Transformation
۲۵۹	 AC Current Source
۲۶۱	 Power
۲۶۴	 AC Voltage Source
۲۶۶	 asynchronous Machine PU Units
۲۷۷	 Breaker
۲۸۱	 Connection Port
۲۸۲	 Controlled Current Source
۲۸۵	 Controlled Voltage Source
۲۸۷	 Current Measurement
۲۸۹	 DC Machine
۲۹۵	 DC Voltage Source
۲۹۷	 Diode
۳۰۱	 Discrete System
۳۰۱	 Distributed Parameter Line
۳۰۷	 dq0_to_abc Transformation
۳۰۸	 Excitation System
۳۱۱	 Fourier
۳۱۳	 Generic Power System Stabilizer

۳۱۶	.....	Ground
۳۱۶	.....	GTO
۳۲۲	.....	Hydraulic Turbine and Governor
۳۲۷	.....	Ideal Switch
۳۳۱	.....	IGBT
۳۳۷	.....	Impedance Measurement
۳۳۸	.....	Linear Transformer
۳۴۲	.....	MOSFET
۳۴۸	.....	Multiband Power System Stabilizer
۳۵۵	.....	Multimeter
۳۵۹	.....	Multi-Winding Transformer
۳۶۶	.....	Mutual Inductance
۳۶۹	.....	Neutral
۳۷۱	.....	Parallel RLC Branch
۳۷۴	.....	Parallel RLC Load
۳۷۶	.....	Permanent Magnet Synchronous Machine
۳۸۱	.....	PI Section Line
۳۸۴	.....	Powergui
۳۹۹	.....	PWM Generator
۴۰۴	.....	RMS
۴۰۶	.....	Saturable Transformer
۴۱۶	.....	Series RLC Branch
۴۱۹	.....	Series RLC Load
۴۲۰	.....	Simplified Synchronous Machine
۴۲۷	.....	Static Var Compensator
۴۳۵	.....	Steam Turbine and Governor
۴۴۴	.....	Surge Arrester
۴۴۹	.....	synchronized 6-Pulse Generator

F55	Synchronized 12-Pulse Generator
F59	Synchronous Machine
F72	Three-Level Bridge
F79	Three-Phase Breaker
F82	Three-Phase Dynamic Load
F86	Three-Phase Fault
F9.	Three-Phase Harmonic Filter
F99	Three-Phase Mutual Inductance Z1-Z0
5.2	Three-Phase Parallel RLC Branch
5.4	Three-Phase Parallel RLC Load
5.6	Three-Phase Pi Section Line
5.8	Three-Phase Programmable Voltage Source
511	Three-Phase Sequence Analyzer
514	Three-Phase Series RLC Branch
515	Three-Phase Series RLC Load
517	Three-Phase Source
52.	Three-Phase Transformer 12 Terminals
521	Three-Phase Transformer (Two Windings)
526	Three-Phase Transformer (Three Windings)
53.	Three-Phase V-I Measurement
532	Thyristor
539	stair Generator
54.	Total Harmonic Distortion
541	Universal Bridge
549	Voltage Measurement
55.	Zigzag Phase-Shifting Transformer

فصل پنجم: فرامین آماده

۵۵۵	 power_analyze
۵۶۲	 power_init
۵۶۳	 power_statespace

فصل ششم: برنامه‌نویسی و سیمولینک

۵۸۱	Fcn بلوک ۱-۶
۵۸۲	 Interpreted MATLAB Function بلوک ۲-۶
۵۸۳	 MATLAB Function بلوک ۳-۶
۵۸۶	 Function (تابع اس) بلوک ۴-۶
۵۸۶	۱-۴-۶ پنجره مش‌صات بلوک
۵۸۷	۲-۴-۶ ریاضیات پشتیبان تابع اس
۵۸۸	۳-۴-۶ مراحل شبیه سازی
۵۸۸	۴-۴-۶ نحوه نوشتن تابع اس (الگوهای تابع اس)
۵۹۸	۵-۴-۶ مثال
۶۰۰	۵-۶ استخراج کدهای C و C++

فهرست منابع و مراجع

۶۰۵	
۶۰۷	پیوست: دستورات استفاده شده در کتاب
۶۰۷	 plot
۶۰۹	 subplot

فهرست واژگان

۶۱۳