

دینامیک سیستم‌های قدرت

(جلد دوم : مطالعات غیرخطی)

تألیف

دکتر سید محمد تقی بطحایی

(استاد و عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی)

سرشناسه	: بطحائی، سیدمحمدتقی، ۱۳۲۹ -
عنوان و نام پدیدآور	: دینامیک سیستم‌های قدرت / تالیف سیدمحمدتقی بطحائی.
مشخصات نشر	: تهران : قدیس، -۱۳۹۷
مشخصات ظاهری	: ج.
شابک	: دوره ۷-۹۵-۹۷۸-۶۰۰-۸۰۵۰-۹۴-۰ : ج. ۱ : ۹۷۸-۶۰۰-۸۰۵۰-۹۴-۰
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
مندرجات	: ج. ۱. مطالعات خطی. -
موضوع	: برق -- سیستم‌ها - پایداری ، Electric power system stability
موضوع	: برق -- سیستم‌ها - کنترل ، Electric power systems -- Control
موضوع	: تجزیه و تحلیل سیستم‌ها ، System analysis
رده‌بندی کنگر	: ۱۳۹۷ دعب/ ۱۰۱۰ TK
رده‌بندی دبیری	: ۶۲۱/۳۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۴۱۹۲۰



انتشارات قدیس

دینامیک سیستم‌های قدرت - جلد دوم - مطالعات غیر خطی

دکتر سید محمد تقی بطحایی

ناشر: قدیس

صفحه‌آرایی: ریسر

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: رادین، تبریز

نوبت و سال چاپ: اول، ۱۳۹۸

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۵۰۰۰ تومان

شابک دوره: ۹۷۸-۶۰۰-۸۰۵۰-۹۵-۷

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۷۲۳-۰۷-۷

حق چاپ محفوظ و منحصرأ مخصوص ناشر است.

دفتر مرکزی و مرکز پخش:

انتشارات قدیس: تهران، میدان انقلاب، خیابان ۱۲ فروردین، پایین‌تر از وحید نظری، نبش بن‌بست حقیقت، پلاک ۴

واحد ۵ تلفن: ۶۶۴۰۳۵۴۸ - ۶۶۴۱۱۳۸۱ - ۶۶۷۱۵۲۵۵

کتاب‌فروشی الیاس: تهران، میدان انقلاب، نبش خیابان ۱۲ فروردین، پلاک ۱۳۱۰ - تلفن: ۶۶۴۰۵۰۸۴

فهرست

فصل ۱ / مقدمه‌ای بر طراحی پایدارسازها در سیستم قدرت ۱۳

- ۱-۱ مقدمه ۱۳
- ۱-۱-۱ پایداری دائم ۱۵
- ۱-۱-۲ پایداری دینامیکی ۱۵
- ۱-۲-۱ انواع نوسانات در مطالعات دینامیکی ۱۵
- ۱-۳-۱ پایداری ریز ۱۷
- ۱-۴-۱ طبقه‌بندی پدیده‌های گذرا و دینامیکی در سیستم‌های قدرت ۱۸
- ۱-۴-۱-۱ پدیده‌های رودگذر فوق‌العاده سریع - Ultra fast Transient ۱۸
- ۱-۴-۱-۲ پدیده‌های زودگذر نیم سریع - Medium fast Transient ۱۹
- ۱-۴-۱-۳ پدیده‌های زودگذر آهسته - Slow Transient ۱۹
- ۲-۱ یادآوری کنترل سیستم‌های غیرخطی ۲۶
- ۲-۲-۱ المان‌های بدون حافظه (Memory less) ۲۷
- ۲-۲-۲ نوشتن معادلات دیفرانسیل غیرخطی به فرم معادلات حالت ۲۹
- ۲-۲-۳ چند تعریف مهم ۲۹
- ۲-۲-۴ روش‌های عددی حل معادلات دیفرانسیل غیرخطی در سیستم‌های قدرت ۳۱
- ۳-۱ توانایی روش‌های کنترل کلاسیک و مدرن و کنترل‌کننده‌های پیشرفته در طراحی پایدارسازها ۳۸
- ۳-۳-۱ کنترل‌کننده‌های کلاسیک و مدرن به‌عنوان پایدارسازهای دینامیکی ۳۹
- ۳-۱-۳-۱ کنترل‌کننده Lead-Lag ۳۹
- ۳-۱-۳-۲ کنترل‌کننده PID ۴۰
- ۳-۱-۳-۳ کنترل مدرن فیدبک حالت ۴۱

- ۴-۱-۳-۱ کنترل مدرن-کنترل بهینه ۴۴
- ۵-۱-۳-۱ کنترل کننده‌هایی که از ترکیب فیدبک حالت و رویت کننده‌های حالت به دست می‌آید ۴۷
- ۶-۱-۳-۱ فیلتر کالمن-یا رویت گر بهینه ۴۸
- ۲-۳-۱ کنترل کننده‌های پیشرفته در طراحی پایدارسازها ۵۴
- ۱-۲-۳-۱ کنترل کننده‌های تطبیقی ۵۴
- ۳-۱-۱ کنترل سیستم‌های غیرخطی به روش فیدبک خطی ساز ۸۱
- ۴-۱ مدل سازی، خطی و غیرخطی سیستم قدرت برای سیستم تک ماشینه و چند ماشینه ۸۴
- ۵-۱ بررسی کارهای گذشته در مطالعات بهبود پایداری گذرا و دینامیکی به روش پیشرفته ۱۰۳
- ۶-۱ نتیجه گیری ۱۰۶
- ۷-۱ تمرینات پایان فصل ۱۰۹

فصل ۲ / کاربرد تئوری خطی سازی سیستم های غیر خطی، به روش

- فیدبک خطی ساز در پایدارسازی سیستم‌های قدرت ۱۱۳
- ۱-۲ مقدمه و تعاریف ۱۱۳
- ۱-۱-۲ مقدمه ۱۱۳
- ۲-۱-۲ تعاریف ریاضی در هندسه دیفرانسیل : [۶۷، ۲۲] ۱۱۷
- ۲-۲ خطی سازی دقیق با فیدبک غیر خطی ۱۲۳
- ۱-۲-۲ خطی سازی دقیق با فیدبک غیرخطی از متغیرهای حالت ۱۲۳
- ۲-۲-۲ الگوریتم خطی سازی دقیق فیدبک از طریق ورودی سیستم و متغیرهای حالت ۱۲۴

۳-۲	خطی سازی فیدبک غیر خطی براساس ورودی به خروجی	۱۲۶
۱-۳-۲	الگوریتم خطی سازی ورودی خروجی	۱۲۸
۴-۲	محدودیت های خطی سازی فیدبک غیر خطی و تحقیقات جدید	۱۳۱
۵-۲	کاربرد کنترل کننده فیدبک خطی ساز در سیستم های قدرت	۱۳۲
۱-۵-۲	مدل سازی یک سیستم قدرت چندماشینه	۱۳۳
۶-۲	نتیجه گیری	۱۴۳
۷-۲	ملاحظات پایان فصل	۱۴۳

فصل ۳ / کاربردهای تئوری پیشرفته کنترل کننده تطبیقی چند متغیره با

۱۴۵	ساختار متغیر در سیستم های قدرت	۱۴۵
۱-۳	تئوری مقدماتی کنترل کننده تطبیقی ساختار متغیر برای سیستم های	
۱۴۵	تک ورودی	۱۴۵
۱-۱-۳	طراحی کنترل کننده با ساختار متغیر	۱۴۶
۲-۱-۳	تئوری مقدماتی طراحی کنترل کننده ساختار متغیر برای سیستم های تک ورودی با	
۱۶۱	متغیرهای فاز	۱۶۱
۱-۲-۱-۳	حالت اول پارامترها سیستم ثابت (غیر متغیر با زمان)	۱۶۱
۲-۲-۱-۳	حالت دوم پارامترهای سیستم متغیر با زمان باشد	۱۶۴
۲-۳	تئوری پیشرفته کنترل کننده تطبیقی چندمتغیره	۱۶۵
۱-۲-۳	طراحی سطح کلیدزنی و مد لغزان	۱۶۶
۲-۲-۳	طراحی ضریب بهره های فیدبک	۱۷۳
۳-۲-۳	شرایط رد اغتشاش و عدم حساس بودن به تغییرات پارامترهای سیستم	۱۷۶
۳-۳	کنترل کننده تطبیقی چندمتغیره با ساختار متغیر همراه با انتگرال گیر جهت	
۱۷۶	تعقیب نقطه تنظیم	۱۷۶
۱-۳-۳	مقدمه	۱۷۶

۱۷۷	۲-۳-۳ فرموله کردن مساله.....
۴-۳	کنترل کننده تطبیقی ساختار متغیر غیرمتمرکز برای سیستم‌های با مقیاس بزرگ.....
۱۸۱	۱-۴-۳ مقدمه.....
۱۸۲	۲-۴-۳ فرموله کردن مساله.....
۱۸۵	۴-۳ طراحی کنترل کننده تطبیقی ساختار متغیر غیرمتمرکز.....
۱۹۰	۴-۳-۳ نتیجه.....
۱۹۰	۵-۳ کاربرد کنترل کننده تطبیقی چندمتغیره با ساختار متغیر در سیستم‌های قدرت.....
۱۹۰	۱-۵-۳ سیستم تک ماشین به شین بی نهایت.....
۱۹۲	۱-۱-۵-۳ طراحی پایدار ساختار متغیر VSC برای سیستم تک ماشین.....
۱۹۴	۲-۱-۵-۳ آزمایش کنترل کننده ساختار متغیر روی میکروماشین.....
۱۹۶	۲-۵-۳ سیستم چندماشینه با کنترل غیرمتمرکز ساختار متغیر.....
۱۹۹	۱-۲-۵-۳ شبیه سازی برای یک سیستم نمونه.....
۲۰۷	۳-۵-۳ سیستم چندماشینه با کنترل غیرمتمرکز ساختار متغیر.....
۲۱۰	۶-۳ نتیجه گیری.....
۲۱۱	۷-۳ تمرینات پایان فصل.....

فصل ۴ / طراحی پایدار ساز غیر متمرکز ترکیبی (فیدبک خطی ساز -

۲۱۳	ساختار متغیر-هوشمند) در سیستم قدرت چند ماشین.....
۲۱۳	۱-۴ مقدمه.....
۲۱۴	۲-۴ فرمول کردن و ترکیب تئوری های فیدبک خطی ساز و ساختار متغیر جهت پایدار سازی.....
۲۱۵	پایدار سازی.....

- ۳-۴ حذف نوسانات Chattering توسط کنترل فازی ۲۱۹
- ۴-۴ شبیه‌سازی برای یک شبکه نمونه ۲۲۰
- ۴-۵ نتیجه‌گیری ۲۲۵
- ۴-۶ تمرینات پایان فصل ۲۲۵

فصل ۱ / نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۲۲۷

- ۱-۵ خلاصه و نتیجه‌گیری ۲۲۷
- ۲-۵ پیشنهاد برای ادامه کار ۲۳۱

ضمیمه‌ها ۲۳۳

- ضمیمه الف: معادل‌سازی دینامیکی شبکه خارجی سیستم قدرت ۲۳۳
- ضمیمه ب: پایدار ساز دینامیکی معمولی PSS و پایدار ساز گذرای تحریک اجباری معمولی DES ۲۴۹
- ضمیمه ج - ضرایب k_1 تا k_9 و R_1 تا R_3 مدل خازنی - اندامشینه ۲۵۳

منابع ۲۵۶

پیش گفتار

درس دینامیک سیستم‌های قدرت به نمایش هنرمندانه‌ای از رفتار دینامیکی و پایداری سیستم‌های قدرت می‌پردازد که از پیچیده‌ترین سیستم‌های دینامیکی هستند. درک دینامیک سیستم قدرت بدون فهم فیزیکی و اصول اساسی آن آسان نیست. این درس، قدم به قدم به آموزش رفتار دینامیکی و پایداری زاویه‌ای و پایداری ولتاژ در سیستم‌های قدرت برای دانشجویان و محققان جوانی که می‌خواهند به صنعت برق وارد شوند، می‌پردازد. این مجموعه حاصل جزایات درم اینجانب از سال‌های ۱۳۶۰ که به دانشگاه پیوستم و به مسائل دینامیکی سیستم‌های قدرت علاقه‌مند شدم، می‌باشد و مطالب درس به سه دسته اصلی تقسیم شده است:

در فصل اول، به‌طور خلاصه به معرفی کارهای انجام شده توسط محققین در زمینه بهبود پایداری و طراحی پایدارساز سیستم قدرت پرداخته و توانایی روش‌های کنترل خطی و غیرخطی و تطبیقی برای طراحی پایدارسازها را شرح می‌دهیم. ضمناً در این فصل مدل سازی خطی و غیرخطی سیستم قدرت برای سیستم تک‌ماشینه و چندماشینه که مورد استفاده در فصل‌های بعد می‌باشد را معرفی می‌نماییم.

در فصل دوم تئوری و کاربرد کنترل‌کننده‌های غیرخطی که با کمک هندسه دیفرانسیل با فیدبک خطی سازی سیستم را خطی کرده و توسط روش‌های کنترل گلابک می‌توان با جابجایی قطب‌ها پایداری سیستم را افزایش داد مورد بحث و بررسی قرار گرفته و با توجه به توانایی این کنترل‌کننده به طراحی پایدارساز غیرخطی جهت بهبود پایداری گذرا و دینامیک سیستم قدرت پرداخته و خواهیم دید که مدل خطی شده مستقل از نقطه کار و تداخل بین نیروگاه می‌باشد و مساله طراحی کنترل‌کننده پایدارساز برای یک سیستم قدرت n ماشینه به طراحی n کنترل‌کننده مقاوم برای n سیستم تک‌ماشینه تبدیل می‌گردد.

این کنترل‌کننده با اندازه‌گیری‌های محلی به تولید سیگنال‌های محلی پرداخته و در حقیقت به‌عنوان یک دکوپله‌ساز که اثر تداخل بین نیروگاهی را از بین می‌برد استفاده کرده‌ایم. با به‌کارگیری ترکیبی این کنترل‌کننده با کنترل‌کننده ساختارمتغیر عدم قطعیت‌های پارامتری که

به علت تغییرات ساختار شبکه در اغتشاشات قطع و وصل خط و غیره... رخ می دهند عملکرد مطمئن و مطلوبی را تضمین می نماید.

در فصل چهارم به طراحی پایدارساز سیستم قدرت برای بهبود پایداری دینامیکی و گذرا از ترکیب کنترل کننده های فیدبک خطی ساز و ساختارمتغیر استفاده شده با استفاده از تبدیل غیرخطی دیفومورفیسم سیستم معادلات غیرخطی حاکم بر یک سیستم ماشینیه که برای ماشین آم سیستم تعریف شده است تبدیل به فرم کانونیک در آمده و با استفاده از قانون خطی ساز فیدبک سیستم خطی به دست می آید. سپس با استفاده از تکنیک کنترل ساختارمتغیر که با تعیین رفتار از پیش مشخص شده (مانند مدل مرجع) به محاسبه سطوح سوئیچینگ را پرداخته و با استفاده از شرایط مد لغزان مولفه کنترل سوئیچینگ را به دست آورده و همراه با مولفه کنترل مدل کنترل کننده به تغییرات پارامتری سیستم غیرحساس و مطابق رفتار از پیش تعیین شده عمل می نماید با وزن دادن به مولفه های کنترل از طریق کنترل فازی می توان نقطه ضعف کنترل کنند ساختارمتغیر که chattering است جبران شده است. شبیه سازی برای یک سیستم سه ماشینیه و شبکه شانسی دهد که رفتار سیستم از سایر کنترل کننده ها قوی تر می باشد.

در پایان از مهندس محمود ملایو سفارنده که در ویرایش و تدوین این مجموعه اهتمام وافر ورزیدند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

دکتر سید محمد تقی بطحایی