

دینامیک سیستم‌های قدرت

(جلد اول : مطالعات خطی)

تألیف

دکتر سید محمد تقی بدیع‌الهی

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

سرشناسه	: بطحائی، سیدمحمدتقی، ۱۳۲۹ -
عنوان و نام پدیدآور	: دینامیک سیستم‌های قدرت / تألیف سیدمحمدتقی بطحائی.
مشخصات نشر	: تهران : قدیس، ۱۳۹۷
مشخصات ظاهری	: ج.
شابک	: دوره 7-95-600-978 : ج ۱ 0-94-8050-600-978 :
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
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 کنگره	: ۱۳۹۷ دعب/۱۰ TK۱۰۱۰
رده‌بندی دیوئی	: ۶۲۱/۳۱
شماره کتابشناس ملی	: ۵۴۱۹۲۰۵



انتشارات قدیس

دینامیک سیستم‌های قدرت (جلد اول - مطالعات خطی)

دکتر سید محمد تقی بطحایی

ناشر: قدیس

صفحه‌آرایی: کیانقش (اسدی)

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: رادین، گلبرگ

نوبت و سال چاپ: اول، ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۳۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۰۵۰-۹۴-۰

حق چاپ محفوظ و منحصراً مخصوص ناشر است.

دفتر مرکزی و مرکز پخش:

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

پلاک ۴ واحد ۵ تلفن: ۶۶۴۰۳۵۴۸ - ۶۶۴۱۱۳۸۱ - ۶۶۷۱۵۲۵۵

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

فهرست

فصل ۱ / مفاهیم مقدماتی ۱۱

۱-۱- سیستم‌های خطی و پایداری آن ۱۱

۱-۱-۱- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ۱۳

۱-۱-۲- معیارهای پایداری در سیستم‌های خطی ۱۵

۱-۱-۳- زینتن معادلات دیفرانسیل غیرخطی به فرم فضای حالت ۱۶

۱-۱-۴- خطی‌سازی سیستم‌های غیرخطی ۱۸

۱-۵- خطی‌سازی مدل غیر خطی تجهیزات سیستم قدرت ۱۸

۱-۵-۱- مدل تحلیلی شرایط به موتور dc تحریک مستقل جهت خطی‌سازی ۲۰

۱-۶- مسایل پایان فصل ۲۳

فصل ۲ / معرفی مسائل دینامیک شبکه‌ای قدرت ۲۵

۱-۲- تعاریف پایداری ۲۵

۱-۱-۲- نوسانات فرکانس پایین ۲۵

۲-۱-۲- پایداری دینامیکی و گذرا ۲۶

۳-۱-۲- نوسانات پیچشی و تشدید زیر سنکرون SS ۳۴

۴-۱-۲- ناپایداری ولتاژ ۳۴

۲-۲- طبقه‌بندی پدیده‌های گذرا و دینامیکی در سیستم قدرت ۳۷

۳-۲- مسایل پایان فصل ۳۸

فصل ۳ / مدل‌سازی اجزای سیستم قدرت ۳۹

۱-۳- ماشین سنکرون ۳۹

۱-۱-۳- مدل ریاضی ماشین سنکرون و معادلات ولتاژ ۴۰

۲-۱-۳- مدل پارک ماشین سنکرون و معادلات ولتاژ ۴۲

۳-۱-۳- مدل مکانیکی ماشین سنکرون ۴۴

۲-۳- سیستم تحریک ۴۴

۱-۲-۳- بررسی دینامیکی سیستم‌های تحریک بدون جاروبک ۴۵

۴۶	۳-۲-۲- بررسی تاثیر سیستم تحریک در پایداری مولد
۴۸	۳-۲-۳- بررسی حلقه‌ی کنترل ولتاژ مولد dc تحریک مستقل با جبران سازها
۴۸	۳-۳- مدل سازی گاورنر
۴۹	۳-۴- مدل سازی توربین
۵۰	۳-۵- مدل توربوژنراتور متصل به شین بی نهایت
۵۲	۳-۶- میکروماشین جهت مطالعات دینامیکی
۵۳	۳-۶-۱- دینامیک ولتاژ سازی در محتصات دو محوری و سه محوری
۵۶	۳-۷- مدل خطی هفرون فیلپس ماشین سنکرون
۵۸	۳-۷-۱- حالت بدون تحریک
۵۹	۳-۷-۱- حالت حضور تحریک درجه یک
۶۰	۳-۸- معادلات سیستم تک ماشینه
۶۱	۳-۹- طراحی PSS برای یک سیستم تک ماشینه
۶۴	۳-۹-۱- مدل طراحی
۶۵	۳-۱۰- یادآوری تقویت کنندگی عملی AMP-OP و تحقق PSS آنالوگ به کمک آن
۶۶	۳-۱۰-۱- ساخت انواع سویت سرها با AMP-OP
۶۸	۳-۱۰-۲- ساخت انواع کنترل کننده‌ها با AMP-OP
۷۱	۳-۱۱- گشتاور الکتریکی در مدل هفرون
۷۲	۳-۱۲- قضیه‌ی لیاپانوف
۷۳	۳-۱۲-۱- روش کرازوفسکی
۷۴	۳-۱۲-۲- انرژی تابع
۷۸	۳-۱۳- طراحی PSS به روش مدل مرجع با قانون تطابق لیاپانوف
۷۸	۳-۱۴- روش کنترل پذیر کردن یک سیستم غیر قابل کنترل
۸۱	۳-۱۵- طراحی PSS به روش Linear Optimal Control (LOC)
۸۴	۳-۱۶- فیلتر کالمن (Filter Kalman) و کاربرد آن در صنعت برق
۸۶	۳-۱۶-۱- تخمین گر حالت سیستم دینامیکی همراه با نویز
۸۷	۳-۱۶-۲- کنترل کننده‌ی Linear Qudratic Gaussian (LQG)
۸۸	۳-۱۷- مسایل حل شده‌ی فصل
۱۰۳	۳-۱۸- مسایل پایان فصل

فصل ۴ / دینامیک شبکه‌های قدرت چند ماشینه ۱۰۷

۱۰۷	۴-۱- روش‌های خطی سازی سیستم چند ماشینه
-----	--

- ۱-۱-۴ خطی سازی حول نقطه‌ی کار ۱۰۷
- ۱-۱-۴-۲-۲ تعمیم مدل هفرون فلیپس در سیستم‌های چند ماشینه ۱۰۹
- ۲-۲-۴ مدل ماتریسی هفرون فلیپس ۱۱۱
- ۳-۲-۴ جابجایی PSS در سیستم چند ماشینه ۱۱۱
- ۴-۴-۴ مسایل حل شده‌ی فصل ۱۱۲
- ۵-۴-۴ مسایل پایان فصل ۱۲۰

- فصل ۵ / ۱: معطاف‌پذیر کردن سیستم قدرت** ۱۲۱
- ۱-۱-۱ روش‌های پیشرفته جهت انعطاف‌پذیر کردن سیستم قدرت ۱۲۱
- ۱-۱-۵ مدل خط بلند و بدون تلفات ۱۲۲
- ۳-۵-۳ تأثیر جبران رهای غیرفعال و فعال در مشخصه‌ی خطوط انتقال ۱۲۳
- ۱-۳-۵-۱ جبران ازرم غیرفعال ۱۲۴
- ۲-۳-۵-۲ جبران سازی فوال ۱۲۴
- ۳-۳-۵-۳ ساختار و ویژگی‌های انواع ادوات FACTS نسل جدید ۱۲۷
- ۴-۵-۴ مدل خطی و غیرخطی سیستم یک ماشینه‌ی متصل به شین بی نهایت با اضافه شدن عناصر جبران ساز کنترل‌پذیر ۱۲۸
- ۵-۵-۵ کاربرد دینامیک سیستم قدرت در حوزه‌ها ۱۳۱
- ۱-۵-۵-۱ دینامیک و اجزای خودروی دیرپد رقی V.E.H ۱۳۱
- ۶-۵-۶ مسایل پایان فصل ۱۳۲

- فصل ۶ / مطالعات دینامیکی عناصر الکترونیک قدرت در سیستم قدرت** ۱۳۵
- ۱-۶-۱ انواع جریان‌های الکتریکی ۱۳۶
- ۲-۶-۲ دیود خلا ۱۳۶
- ۳-۶-۳ دیود P-N ۱۳۹
- ۴-۶-۴ آشنایی با ادوات FACTS ۱۴۱
- ۱-۴-۶-۱ مقدمه ۱۴۱
- ۲-۴-۶-۲ شارش توان در سیستم انتقال ۱۴۱
- ۳-۴-۶-۳ کنترل شارش توان در خط انتقال سیستم جریان متناوب ۱۴۲
- ۴-۴-۶-۴ جبران سازی توان راکتیو در خطوط انتقال جریان متناوب ۱۴۳
- ۵-۴-۶-۵ مقدمه‌ای در مورد کنترل کننده‌های مبتنی بر مبدل‌های منبع ولتاژ ۱۴۴
- ۶-۴-۶-۶ مدل عمومی ادوات FACTS ۱۴۶

۱۴۸.....	۵-۶- معرفی انواع ادوات FACTS
۱۴۸.....	۱-۵-۶ مقدمه
۱۵۲.....	۲-۵-۶ خازن سری کنترل شده با تریستور (TCSC)
۱۵۳.....	۳-۵-۶ ترانسفورماتور استاتیک شیف فاز (SPST)
۱۵۵.....	۴-۵-۶ جبران ساز سنکرون استاتیک (STATCOM)
۱۵۶.....	۵-۵-۶ تحلیل و فرمولاسیون STATCOM :
۱۵۹.....	۶-۵-۶ جبران ساز سنکرون استاتیک سری (SSSC)
۱۶۱.....	۷-۵-۶ کنترل کننده ی یکپارچه ی شارش توان (UPFC) :
۱۶۲.....	۸-۵-۶ کنترل کننده ی شارش توان بین خطوط (IPFC)
۱۶۳.....	۶-۶-۱ سازی دینامیکی ادوات FACTS
۱۶۳.....	۱-۶-۶-۱
۱۶۴.....	۲-۶-۶ مدل پارچه ی هفرون-فیلیس [۳]، در حضور ادوات FACTS
۱۶۴.....	۳-۶-۶ سیستم های مابین در حضور SVC ، TCSC و PST
۱۶۷.....	۴-۶-۶ سیستم تک ماشینی همراه UPFC
۱۷۱.....	۵-۶-۶ مدل دینامیکی سیستم تک ماشینی متصل به شین بینهایت در حضور STATCOM
۱۷۳.....	۶-۶-۶ مدل دینامیکی سیستم تک ماشینی متصل به شین بینهایت در حضور SSSC
۱۷۴.....	۷-۶-۶ مدل دینامیکی سیستم تک ماشینی متصل به شین بینهایت در حضور IPFC
۱۷۷.....	۷-۶-۷ مسایل حل شده ی فصل
۱۸۶.....	۸-۶-۸ مسایل پایان فصل
۱۹۰.....	منابع

پیش‌گفتار

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 جزوه‌ای است که در طی اینجانب از سال‌های ۱۳۶۰ که به دانشگاه پیوستم و به مسائل دینامیکی سیستم‌های قدرت علاقه‌مند شدم، می‌باشد و مطالب درس به سه دسته‌ی اصلی تقسیم شده است:

بخش اول، پیش‌نیازهای لازم برای مطالعه دینامیک سیستم قدرت را مرور می‌کند.

بخش دوم به توضیح پدیده‌های اساسی سیستم قدرت با استفاده از مدل کلاسیک سیستم تک-ماشینه‌ی متصل به شین بی‌نهایت پرداخته است.

بخش سوم، مطالب پیشرفته‌تر مربوط به مدل‌سازی دینامیکی سیستم‌های قدرت چندماشینه‌ی بزرگ را مورد مطالعه قرار داده است. در پایان از سرکار خانم مهندس مرضیه خسروی و سرکار خانم مهندس ندا عباس‌زاده که در جمع‌آوری و تدوین این مجموعه اهتمام وافر ورزیدند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

دکتر سید محمد تقی بطحایی