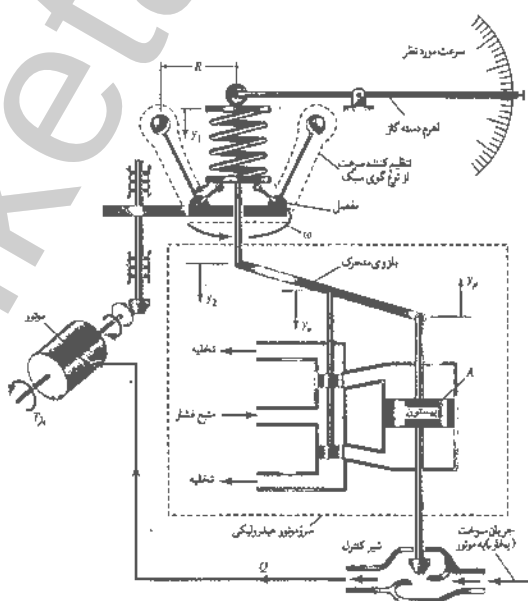


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کنترل و دینامیک سیستم

۱- ارونینی



دکتر مصطفی غیور
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی اصفهان

مهندس حشمت اله محمد خالو
کارشناس ارشد مکانیک

Umez- Eronini, Eronini

اومز اروینینی، اروینینی.

کنترل و دینامیک سیستم / [اروینینی اومز - اروینینی]؛ ترجمه مصطفی غیور، حشمت‌اله محمد خاتلو. -

اصفهان: انتشارات دانش پژوهان برین - انتشارات ارکان، ۱۳۸۲.

۹۶۸ ص.

ISBN : 964-7983-34-4

۷۴۵۰۰ ریال؛

فهرست‌نویسی بر اساس اطلاعات فیپا.

System dynamics and control,

عنوان اصلی:

۱. مهندسی کنترل. ۲. دینامیک -- الگوهای ریاضی. ۳. تجزیه و تحلیل سیستمها.

الف. غیور، مصطفی، ۱۳۳۰ - مترجم. ب. محمد خاتلو، حشمت‌اله، ۱۳۴۷ -

مترجم. ج. عنوان.

۶۲۹/۸

ککالف/۲۱۳ TJ

۸۳-۳۱۵۵۲ م

کتابخانه ملی ایران



انتشارات مؤسسه علمی
دانش پژوهان برین

نام کتاب	: کنترل و دینامیک سیستم
تألیف	: دکتر مصطفی غیور - مهندس حشمت‌اله محمد خاتلو
ویراستار ادبی	: محبوبه غدیری - فاطمه بکایی
ناشر	: انتشارات مؤسسه علمی دانش پژوهان برین - انتشارات ارکان
نوبت چاپ	: اول - بهار ۱۳۸۴
شمارگان	: ۱۵۰۰ جلد
حروفچینی و صفحه‌آرایی	: انتشارات مؤسسه دانش پژوهان برین
طرح جلد	: انتشارات مؤسسه دانش پژوهان برین
لیتوگرافی	: مهتاب
چاپ متن	: تندیس
چاپ جلد	: حافظ
صحافی	: آذین
قطع، شمارش صفحات	: وزیری، ۹۶۸ صفحه
بها	: ۷۴۵۰۰ ریال

ISBN : 964-7983-34-4

شابک: ۹۶۴-۷۹۸۳-۳۴-۴

اصفهان: خیابان میر، حدفاصل پل هوایی شیخ‌صدوق و چهارراه آب ۲۵۰، ساختمان اردیبهشت، طبقه دوم

تلفن: ۶۶۳۸۰۱۲، تلفکس: ۶۶۲۴۵۱۰ صندوق پستی: ۸۱۴۶۵-۸۹۴

www.daneshpajooan.com

info@daneshpajooan.com

«حق چاپ برای ناشر محفوظ است»

آشنایی با دانش پژوهان

مؤسسه علمی دانش پژوهان برین یک نهاد علمی خصوصی است که با اهداف انجام و گسترش فعالیتهای علمی و پژوهشی و ارائه خدمات به دانش پژوهان به ویژه قشر دانشگاهی فعالیت خود را از پاییز ۷۸ آغاز نموده است. این مؤسسه ارتقای دانش پژوهی را به عنوان ویژگی ممتاز جامعه‌ای پویا و پیشرو، سرلوح فعالیتهای خود قرار داده است.

مؤسسه علمی دانش پژوهان برین با توجه به اهداف آرمانی و سازمانی خود با استفاده از نیروی جوان و متخصص دارای تحصیلات عالی دانشگاهی از دانشگاههای معتبر داخلی و خارجی کشور و بهره‌گیری از همکاری و مشاوره اساتید دانشگاههای مختلف اقدام به سازماندهی فعالیتهای خود در قالب واحدهای زیر نموده است. **انتشارات:** با توجه به کادر علمی جوان و پرتوان مؤسسه و ارتباطات گسترده با اعضای هیأت علمی دانشگاهها این واحد با هدف گردآوری، تألیف، تدوین و ترجمه متون مورد نیاز در زمینه‌های فنی و مهندسی و علوم پایه به ویژه متون دانشگاهی و انجام کلیه امور چاپ و نشر این متون در قالب کتاب تشکیل شده است. تاکنون بیش از ۷۰ عنوان کتاب دانشگاهی توسط این انتشارات به چاپ رسیده است.

تحقیقات: جذب و هدایت استعدادهای بالقوه دانش پژوهان در قالب فعالیتهای علمی و پژوهشی از رسالتهای این واحد است. راهاندازی پایگاه اطلاعاتی مجلات علمی کشور، (www.barindex.ir) آماده‌سازی نرم‌افزار ویژه نشر الکترونیک، همکاری در راه‌اندازی شبکه کتاب ایران (www.irannetbook.com) و دهها فعالیت دیگر در زمینه فناوری اطلاعات (IT) از دستاوردهای این واحد می‌باشد.

آموزش: فعالیتهای آموزشی که از سال ۷۸ تاکنون انجام گرفته است شامل کلاسهای آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و کاردانی به کارشناسی، دوره‌های نرم‌افزارهای مهندسی، دوره‌های تخصصی TOEFL و IELTS بوده است. از سال ۱۳۸۳ فعالیتهای آموزشی موسسه جهت ایجاد یک مجتمع بزرگ آموزشی بصورت مستقل تحت عنوان مؤسسه فرهنگی هنری دانش پژوهان ادامه یافته است.

فعالیتهای جدید طرح‌ریزی شده در این قسمت شامل دوره‌های ترمیک زبان پسرانه و دخترانه، آموزش نرم‌افزارهای گرافیکی و عمومی، دوره‌های آموزشی ICDL و برگزاری آزمون آمادگی کارشناسی ارشد در سراسر کشور می‌باشد.

کتاب کنترل و دینامیک سیستم نمونه‌ای از کتابهای مجموعه دانش پژوهان است که حاصل تلاش آقایان دکتر مصطفی غیور و مهندس حشمت‌اله محمد خانلو می‌باشد. مؤسسه علمی دانش پژوهان برین سپاس و قدردانی خود را از این عزیزان ابراز می‌دارد.

بدیهی است شکوفایی حرکت دانش پژوهی و به سرمنزل رساندن اهداف مؤسسه همکاری و همراهی همه دانش پژوهانی که با این اهداف همسویی دارند را می‌طلبد بنابراین دانش پژوهان همواره آماده استقبال از پیشنهادات و نظرات همه دوستان می‌باشند.

مؤسسه علمی دانش پژوهان برین

زمستان ۸۳

www.daneshpajooohan.com

آدرس سایت وب:

info@daneshpajooohan.com

آدرس پست الکترونیک:

به نام خدا

مقدمه مترجمین

این کتاب ترجمه system dynamics and control اثر ارونی می باشد. این کتاب سه هدف عمده را دنبال می کند: هدف نخست گردآوری مجموعه ای از کنترل اتوماتیک و دینامیک سیستم در یک کتاب است. هدف دوم، تأکید بر نقش کلیدی مدل سازی سیستم دینامیکی، در بیشتر زمینه های مهندسی داشته و سیستم های مهندسی ظاهراً پیچیده و مبتنی بر واقعیت را بیان کرده و به موضوعات روزمره مهندسی می پردازد. هدف سوم کتاب، برجسته تر کردن مفاهیم مشخص و تمرین هایی دارد که در کار حرفه ای نقش اساسی دارند. این مفاهیم شامل: سیستم های الکترومکانیکی و طراحی سیستم های کنترلی با استفاده از رایانه های شخصی و بسته های محاسباتی، و تحقق سخت افزاری و نرم افزاری کنترل رایانه ای دیجیتالی و سیستم های اندازه گیری می باشد. این کتاب دارای سه قسمت مدل سازی فیزیکی، حل مدل و طراحی سیستم می باشد که برای دانشجویان سال سوم و سال آخر کارشناسی و دانشجویان سال اول دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، برق، و شیمی در نظر گرفته شده است.

فصل اول مثالهایی از موارد کاربردی کنترل اتوماتیک را بیان کرده و همچنین به فرآیند مدل سازی سیستم دینامیکی می پردازد. فصل ۲، جزئیات مدل سازی فیزیکی و موارد مقدماتی ساخت مدل را عنوان کرده و تقریبهای به کار رفته در ارائه متغیرهای فیزیکی را بیان می کند. فصل ۳، جزئیات روش مدل سازی حالت را بیان می کند. فصل مزبور مدل های ریاضی سیستم های مکانیکی، الکتریکی و سیالاتی (تراکم ناپذیر) را مورد بحث قرار می دهد. فصل ۴ با مدل هایی از سیستم های حرارتی و سیستم های مهندسی فرآیند ادامه می یابد. این فصل همچنین به طور خلاصه مدل های پارامتر-گسسته و مثالهایی از سیستم های غیرمهندسی را پوشش می دهد. فصل ۵ با مدل سازی ریاضی وسایل الکترومکانیکی ادامه می یابد. وسایل میکروماشینکاری شده، دسته مهم رویه افزایشی از چنین سیستم هایی هستند. فصل ۶ حل تحلیلی معادله مرتبه اول اسکالر و معادله حالت برداری و شبیه سازی رایانه ای دیجیتالی چنین سیستم هایی را در نظر می گیرد. فصل ۷ سیستم های اسکالر مرتبه دوم و بالاتر را مورد بحث قرار داده و پاسخهای آنها را به انواع ورودی ها در نظر می گیرد. روش های تبدیل از جمله: حل های تبدیل فوریه، لاپلاس و Z در فصل ۸ پی گیری می شوند. جبر نمودار بلوکی و تحلیل پاسخ فرکانسی که در ادامه از آنها در سیستم های کنترل پسخوردی تک حلقه ای و طراحی جبران ساز استفاده می شود، در فصل ۹ مورد بحث قرار می گیرند. همچنین روابط بین مدل های حالت و توابع تبدیل، تشریح صفحه فاز، رفتار خطی و غیرخطی، و مفاهیم کنترل پذیری و مشاهده پذیری در اینجا پوشش داده می شوند. فصل ۱۰ به تحلیل پایداری سیستم های دینامیکی خطی و برخی سیستم های غیرخطی زمان پیوسته و زمان گسسته می پردازد. طراحی سیستم کنترل اتوماتیک در فصل ۱۱ با تأکید بر شیوه های کلاسیک معرفی می شود. تنظیم کنترل کننده برای معیار عملکرد معلوم با استفاده از حل های موجود و شبیه سازی رایانه ای نیز در این فصل انجام می گیرد. فصل ۱۲ طراحی

در حوزه فرکانس را برای عملکرد مطلوب حلقه بسته با به کارگیری جبرانساز، مورد بحث قرار می دهد. فصلهای ۱۳، ۱۴ و ۱۵ متن اصلی به دلیل بالا بودن حجم کتاب، ترجمه نگردیده است که در آینده به صورت متمم برای علاقه مندان ترجمه خواهد شد.

در پایان از مسئولین محترم مؤسسه علمی دانش پژوهان برین به ویژه آقایان مهندس جوادیان مدیر عامل و مهندس مهران بکایی مدیریت واحد انتشارات که ما را در چاپ این اثر یاری کردند تشکر و قدردانی می کنیم. همچنین از خانمها فاطمه بکایی و محبوبه غدیری که ویراستاری بخشهایی از کتاب را به عهده داشتند و خانم مهری شهنواری که زحمت تایپ کتاب را به عهده گرفتند، و همچنین خانم مریم نصیری که با دقت و حوصله تنظیم تصاویر و طرح روی جلد را انجام دادند و همچنین خانم مرضیه عبادی نیک که کار صفحه آرای و تنظیم متن را با دقت شایان توجه انجام دادند، تشکر و قدردانی می نمایم.

در پایان از خوانندگان گرامی تقاضا می کنیم که در صورت مشاهده هرگونه اشکال احتمالی در کتاب و داشتن پیشنهاد، لطف فرموده آن را به آدرس دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مکانیک ارسال دارند.

غیور - محمد خانیلو

زمستان ۱۳۸۳

فهرست

عنوان	صفحه
قسمت I. مدل سازی فیزیکی و ایجاد مدل	۱
فصل ۱. مقدمه	۳
۱-۱) مفهوم سیستم های دینامیکی و استاتیکی	۴
عملگرهای اصلی دینامیک	۷
واحدها و ابعاد	۸
۲-۱) مفهوم کنترل پشخوردی (فیدبک دار)	۱۲
ساختمان کنترل پشخوردی	۱۳
انواع دیگر کنترل	۱۹
ماهیت حلقه: سیستم کنترلی پشخوردی	۲۰
ماهیت کنترل کننده	۲۱
۳-۱) تعریف یک سیستم	۲۵
هدف از مطالعه دینامیک	۲۵
مراحل مطالعه دینامیک	۲۵
معرفی نمودار بلوکی (جعبه ای)	۲۶
۴-۱) مرحله اول: مدلسازی فیزیکی	۳۱
مفهوم سیستمها: نمایش	۳۱
۵-۱) مسائل تمرینی	۳۳
فصل ۲. ویژگی های سیستم های دینامیکی و رفتار آنها	۳۹
۱-۲) معرفی اجزای رفتار مکانیکی	۴۰
وادیادگی و اینرسی	۴۰
فتر انتقالی	۴۰
جرم انتقالی	۴۳
اینرسی دورانی	۴۵

۴۸	میرایی مکانیکی
۵۱	انواع دیگری از مقاومت مکانیکی
۵۲	(۲-۲) برخی از اجزای رفتاری الکتریکی
۵۳	مقاومت ایده‌آل
۵۳	منابع ولتاژ و جریان
۵۳	خازن و القاکننده ایده‌آل
۵۵	(۳-۲) مثالهایی از مدل‌سازی فیزیکی
۵۵	سیستمهای مکانیکی ساده
۶۰	برخی مثالها از شبکه‌های الکتریکی
۶۵	ترکیبهای موازی و سری المانهای R ، C و L
۶۶	شبکه‌های عملی R ، RC و RCL
۷۴	(۴-۲) مرحله دوم: ساختن مدل: مقدمات
۷۴	تجزیه سیستم
۸۰	انباشتن، خطی‌سازی و تغییرناپذیری با زمان
۸۹	عدم اطمینان، داده‌های پیوسته و نمونه‌برداری شده
۹۰	(۵-۲) مسائل تمرینی
۱۱۱	فصل ۳. مدل‌های سیستم مهندسی در فضای حالت
۱۱۲	(۱-۳) روش فضای حالت
۱۱۲	مفهوم و تعریف حالت
۱۱۷	مراحل مدل‌سازی حالت
۱۱۹	تعیین متغیرهای حالت و علیت
۱۲۲	(۲-۳) سیستم‌های مکانیکی
۱۲۳	مثالهای یک‌بُعدی
۱۲۷	کابل‌ها: طول و کشیدگی
۱۳۱	مثال‌های چند بُعدی
۱۳۳	عمل ژيروسکوپ و ژيروسکوپ‌ها
۱۴۰	(۳-۳) سیستم‌های سیالاتی تراکم‌ناپذیر
۱۴۱	انقباض‌های کوتاه و بلند
۱۴۶	ذخیره سیال و اینرسی سیال

۱۴۸	.....	مثال‌هایی از سیستمهای سیال
۱۵۶	.....	۴-۳) سیستم‌های الکتریکی
۱۵۹	.....	برخی اجزای مدار الکترونیکی
۱۷۶	.....	مثال‌های اضافی در مهندسی برق
۱۸۶	.....	۵-۳) مسائل تمرینی
۲۰۹	.....	فصل ۴. مدل دیگر سیستم‌ها در فضای حالت
۲۱۰	.....	۱-۴) سیستم‌های حرارتی
۲۱۰	.....	هدایت، جابه‌جایی و تشعشع
۲۱۳	.....	ذخیره انرژی گرمایی
۲۱۴	.....	مثالهایی از سیستمهای حرارتی
۲۱۹	.....	۲-۴) سیستم‌های مهندسی
۲۲۰	.....	انتقال ماده ساده
۲۲۴	.....	سیستمهای تراکم‌پذیر، مختلط و واکنشی
۲۴۲	.....	۳-۴) مثال‌هایی از مدل‌های پارامتر گسترده
۲۴۲	.....	ارتعاشات طولی و پیچشی در میله‌های باریک
۲۴۴	.....	هدایت حرارت یک‌بُعدی
۲۴۵	.....	جایگزین‌های پارامتر متمرکز
۲۵۰	.....	۴-۴) مثال‌هایی از سیستم‌های غیرمهندسی
۲۵۵	.....	۵-۴) مسائل تمرینی
۲۶۵	.....	فصل ۵. مدل‌های سیستم عام و قیاسگر
۲۶۶	.....	۱-۵) مفهوم سیستم‌های انرژی‌دار
۲۶۶	.....	المانها و متغیرهای سیگنال تعمیم یافته
۲۷۰	.....	انرژی جنبشی و پتانسیل
۲۷۳	.....	ترانسفورماتورها و چرخنده‌ها، مبدلها، و مثالی از سیستمها
۲۸۴	.....	۲-۵) سیستم‌های الکترومکانیکی
۲۸۴	.....	مبدل‌های الکتریکی
۲۸۹	.....	معرفی اصول تبدیل انرژی الکترومکانیکی
۳۰۲	.....	کنترل موتور DC
۳۰۶	.....	مقدمه‌ای بر موتورها و محرکهای پله‌ای

۳۱۳	 (۳-۵) مثال‌های دیگر از سیستم‌های مجتمع ترکیبی
۳۱۳	 مبدلها در سیستمهای مکانیکی
۳۱۶	 مثالهای سیستم جامع
۳۲۷	 (۴-۵) معرفی وسایل میکروماشینی
۳۲۷	 میکرو حسگرها و محرکها
۳۴۷	 (۵-۵) مسائل تمرینی
۳۶۰	 مراجع قسمت I
۳۶۳	 قسمت II. حل مدل
۳۶۵	 فصل ۶. پاسخ سیستم‌های پارامتر متمرکز
۳۶۶	 (۱-۶) مرحله سوم: حل مدل
۳۶۶	 پاسخ آزاد، ثابت زمانی، و پایداری سیستمهای مرتبه اول
۳۷۲	 حرکت اجباری، خطی سازی و جمع آثار
۳۷۶	 پاسخ اجباری به برخی توابع ورودی ویژه
۳۸۲	 پاسخ ضربه و کانولوشن
۳۸۹	 (۲-۶) مروری بر اعداد مختلط و نمایش‌های آنها
۳۹۱	 صفحه مختلط
۳۹۲	 ترکیب نمایی
۳۹۴	 سینوسی‌ها و فازورها
۳۹۶	 (۳-۶) حل حوزه زمانی معادله حالت برداری
۳۹۷	 بردار حالت و معادله دیفرانسیلی یا (تفاضلی) برداری
۴۰۲	 قیاس سیستم مرتبه-اول و ماتریس انتقال حالت
۴۰۷	 مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و مودهای پاسخ
۴۱۳	 پاسخ اجباری و کاربرد تبدیل‌های خطی
۴۲۲	 (۴-۶) حل مدل زمان گسسته خطی
۴۲۲	 مودهای پاسخ
۴۲۴	 محاسبه پاسخ سیستم زمان-گسسته
۴۲۷	 (۵-۶) شبیه‌سازی رایانه‌ای دیجیتالی از سیستم‌های دینامیکی
۴۲۸	 معرفی تعدادی از بسته‌های ماث (ریاضی)

۴۳۱	حل رایانه‌ای دیجیتالی سیستمهای زمان-پیوسته
۴۴۶	۶-۶) مسائل تمرینی
۴۵۹	فصل ۷. حل سیستم‌های اسکالر
۴۶۰	۷-۱) پاسخ ایده‌آلی مرتبه-دوم
۴۶۲	پاسخ آزاد: فرکانس طبیعی و میرایی
۴۷۳	پاسخ اجباری به ورودی‌های خاص
۴۸۲	۷-۲) حل تبدیل فازوری و حالت دائمی سینوسی
۴۸۲	تبدیل فازوری
۴۸۵	توابع تبدیل فازوری: امیدانس / ادمیتانس
۴۸۷	تشدید، فاکتور کیفیت و پهنای باند
۴۹۴	۷-۳) معرفی ارتعاشات مکانیکی
۴۹۵	مثال‌های یک درجه آزادی
۵۰۳	حذف ارتعاش اضافی
۵۰۶	سیستمهای دو درجه آزادی: جاذب ارتعاشی
۵۱۶	۷-۴) پاسخ اجباری به ورودی‌های تناوبی و غیر سینوسی
۵۱۶	معرفی سری فوریه
۵۲۹	سری فوریه مختلط
۵۳۲	۷-۵) مسائل تمرینی
۵۴۹	فصل ۸. حل مجدد توسط تبدیل
۵۵۰	۸-۱) حل تبدیل فوریه
۵۵۳	خواص تبدیل فوریه
۵۶۰	پردازش سیگنال
۵۶۶	تبدیل فوریه گسسته و محاسبه با تبدیل فوریه سریع
۵۶۹	تبدیل فوریه گسسته
۵۷۳	۸-۲) معرفی روش تبدیل لاپلاس
۵۷۳	خواص تبدیل: قضایای مقدار-اولیه و نهایی
۵۷۹	توابع تبدیل، پاسخ ضربه، کانولوشن
۵۹۵	تبدیل معکوس و تجزیه به کسرهای جزء
۵۹۹	کاربرد تبدیل لاپلاس در سیستمهای متغیر با زمان و گسترده

۶۰۴	.....	۳-۸) حل حوزه لاپلاس معادله حالت برداری
۶۰۶	.....	بازبینی ماتریس انتقال حالت
۶۰۷	.....	تابع تبدیل ماتریسی
۶۱۰	.....	۴-۸) حل حوزه- Z سیستم‌های زمان-گسسته
۶۱۰	.....	معرفی تبدیل- z
۶۱۳	.....	توابع تبدیل پالس و راه‌حل‌های بازگشتی
۶۱۶	.....	تبدیل حوزه- z به حوزه-زمان گسسته
۶۱۹	.....	۵-۸) مسائل تمرینی

فصل ۹. نمایش سیستم‌های دینامیکی

۶۳۱	.....	۱-۹) نمودارهای بلوکی عملیاتی و جبر مربوطه به آنها
۶۳۴	.....	پس‌خورد اسکالر کانونی (متعارف)
۶۳۸	.....	کاربرد نمودار بلوکی در سیستمهایی با اجزای مختلط
۶۴۰	.....	کاربرد نمودار بلوکی در فرآیندهای واکنش معکوس
۶۴۳	.....	نمودارهای بلوکی تبدیل- z
۶۴۵	.....	۲-۹) شناسایی و پاسخ فرکانسی
۶۴۶	.....	تشخیص حوزه فرکانسی
۶۴۷	.....	نمودار بودی و نایکویست
۶۶۰	.....	محاسبه پاسخ فرکانسی
۶۶۵	.....	۳-۹) روابط بین توابع تبدیل و مدل‌های حالت
۶۶۶	.....	گرافهای جریان سیگنال
۶۷۱	.....	شکل همبسته
۶۷۵	.....	۴-۹) مفاهیم در فضای حالت
۶۷۶	.....	مسیرهای حالت برای سیستمهای مرتبه-اول
۶۸۱	.....	کاربرد برخی سیستمهای کنترل غیرخطی
۶۸۶	.....	کنترل‌پذیری و مشاهده‌پذیری سیستمهای دینامیکی
۶۹۸	.....	۵-۹) مسائل عملی

فصل ۱۰. پایداری سیستم‌های دینامیکی

۷۱۳	.....	۱-۱۰) مفاهیم پایداری در فضای حالت
۷۱۹	.....	پایداری از نقطه نظر لیاپانوف

۷۲۱	تحلیل پایداری با روش لیاپانوف
۷۲۶	۱۰-۲) پایداری و مکان مقدار ویژه
۷۲۶	روش مکان هندسی ریشه‌ها
۷۳۸	آزمایش پایداری راوٹ
۷۴۴	۱۰-۳) پایداری سیستم‌های زمان-گسسته
۷۴۶	پایداری توسط انتقال به صفحه s
۷۴۹	آزمایش پایداری جوری اینرس
۷۵۱	۱۰-۴) پایداری در حوزه فرکانس
۷۵۱	پاسخ فرکانسی حلقه- بسته
۷۵۸	پایداری نسبی و حاشیه‌های فاز و بهره
۷۶۴	معیار پایداری نایکوئیست
۷۶۶	۱۰-۵) پایداری و سیستم‌های غیرخطی
۷۶۸	تابع توضیحی و معیار کُچن بارگر
۷۷۵	پایداری سیکل حدی یک سیستم غیرخطی
۷۷۸	معیار دایره
۷۸۲	۱۰-۶) مسائل تمرینی
۷۹۷	مراجع مربوط به قسمت II
۷۹۹	قسمت III. طراحی سیستم
۸۰۱	فصل ۱۱. معرفی طراحی سیستم‌های کنترل اتوماتیک
۸۰۲	۱۱-۱) مرحله چهارم: طراحی
۸۰۲	کنترل پسخوردی تک- حلقه‌ای زمان- پیوسته
۸۰۵	پایداری و حساسیت
۸۰۹	طراحی و عملکرد پاسخ زمانی
۸۲۱	۱۱-۲) کنترل‌کننده‌های پسخوردی کلاسیک
۸۲۱	کنترل‌کننده‌ها با فرآیند یک، دو و سه مودی
۸۲۷	انتخاب کنترل‌کننده و تنظیم‌کنندگی
۸۳۱	طراحی یک سیستم غیرخطی به کمک رایانه
۸۳۷	۱۱-۳) مکان هندسی ریشه‌ها و طراحی با آزمایش راوٹ

۸۳۸	طراحی با استفاده از روش مکان هندسی ریشه‌ها
۸۴۴	کاربرد در زمان مرده و دیگر سیستم‌های غیرخطی
۸۴۸	تسلط (نفوذ) مرتبه - دوم
۸۵۳	طراحی با استفاده از معیار راوث
۸۵۷	۴-۱۱ مسائل تمرینی
۸۶۹	فصل ۱۲. طراحی در حوزه فرکانس
۸۷۰	۱-۱۲ طراحی برای عملکرد مشخص
۸۷۰	طراحی برای فرکانس / پهنای باند و اوج تشدید معلوم
۸۷۹	طراحی برپایه حاشیه بهره و فاز
۸۸۲	ارتباط بین پاسخ فرکانسی و گذرا
۸۹۵	۲-۱۲ طراحی با جبران‌سازی حوزه فرکانسی
۸۹۶	مسئله حذف صفر - قطب
۸۹۹	جبران‌سازی ضریب - بهره
۸۹۹	جبران‌سازی پیشفاز و پسفاز
۹۱۰	جبران‌سازی پسفاز - پیشفاز متوالی
۹۱۴	۳-۱۲ کنترل‌کننده‌های مود کلاسیک و مثال‌های غیرخطی
۹۱۵	جبران‌سازی تناسبی، تنظیم دوباره و مشتقی
۹۱۹	جبران‌سازی پس‌خورد سرعت
۹۲۴	۴-۱۲ مسائل تمرینی
۹۳۱	پیوست الف. پاسخ به مسائل منتخب