

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سیستم‌های کنترل خطی

محمدرضا متدین (چاهه)

عقيل احمدی

سرشناسه:	متدین، محمدرضا، ۱۳۵۲.
عنوان و نام پدیدآور:	سیستم‌های کنترل خطی / محمدرضا متدین (چاهه)، عقیل احمدی.
مشخصات ناشر:	تهران: مرکز نشر جهش، ۱۳۸۶
شابک:	۷۲۰۰۰ ریال ۶-۲۹-۹۹۷۸-۹۶۴-۹۷۸
مشخصات ظاهری:	۵۲۰ ص.: نمودار.
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیا
موضوع:	سیستم‌های کنترل خطی - راهنمای آموزشی (عالی). / دانشگاه‌ها و مدارس عالی - ایران - آزمون‌ها / سیستم‌های کنترل خطی - آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی).
شناسه افزوده:	احمدی، عقیل
رده‌بندی کنگره:	س ۹ م ۲ / TJ۲۲۰
رده‌بندی دیویی:	۶۲۹/۸۲۲۰۷۱۱
شماره کتابشناسی ملی:	۸۴۰۴۶۶۶۹ م



سیستم‌های کنترل خطی

محمدرضا متدین (چاهه) - عقیل احمدی

ناشر	مرکز نشر جهش
مدیر تولید	سعید آرمان‌پور
حروف‌چینی	بخش فنی جهش
لیتوگرافی	سعید
چاپ	کیمیا
نوبت چاپ	اول ۱۳۸۶
شمارگان	۱۰۰۰ جلد
قیمت	۷۲۰۰ تومان
شابک	ISBN:978-964-9978-29-1

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر برای مرکز نشر جهش محفوظ است و هرگونه استفاده غیرقانونی اعم از بازنویسی، خلاصه‌نویسی و هرگونه تکثیر دیگری (کلی و جزئی) بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع و قابل تعقیب و پیگرد قانونی خواهد بود.

تهران: میدان توحید، خیابان نصرت شرقی، ساختمان ۲۹۰ - تلفن: ۶۶۹۳۰۶۳۱-۶۶۹۰۱۷۹۲

📖 یادداشت مؤلف

با درود فراوان و سپاس بیکران به درگاه خداوند یکتا که توفیق تهیه و تدوین این کتاب را به من عطا نمود. کتابی که هم اکنون در اختیار دارید ثمره تلاش های مستمر و پیگیر اینجانب در ارائه مجموعه ای می باشد که بتواند گره گشای مشکلات دانش پژوهان عزیز در امر یادگیری صحیح و آسان مفاهیم اساسی درس کنترل خطی در محدوده ی محتوای کتاب درسی باشد.

در تالیف کتاب ویژگی هایی در نظر گرفته شده که برای استفاده بهتر از کتاب تاکید داریم مطالب زیر را حتماً بخوانید. ساختار هر فصل از سه قسمت اساسی تشکیل شده است.

📖 متن اصلی که شامل

🔹 خلاصه درس، بیان روابط و مطالب مهم، پیوستگی به همراه طبقه بندی موضوعات ارائه شده

🔹 مثال های استفاده شده در داخل متن همگی تست های مرتبط با موضوع و دارای این ویژگی است که هم جالب و تا حد امکان جدید هستند.

🔹 جاهایی از فصل که احساس شده است دانشجویان عزیز نیاز به درک مطلب بیشتر دارند و طراحان سوال معمولاً تمایل دارند از این قسمت ها سوال طرح کنند (مثلاً بحث رسم مکان هندسی ریشه ها، رسم دیاگرام بود و نایکونیست برای سیستم های غیرمینیم فاز) سعی شده با مثال های تألیفی (و به تعداد زیاد) ابهام احتمالی دانشجویان رفع گردد.

🔹 حالت های مختلف یک موضوع که احتمال دارد مجدداً از آن سوال طرح گردد، مورد بررسی بیشتر قرار گرفته

📖 حل سئوالات چهارگزینه ای در این قسمت سعی شده است

🔹 سئوالات کنکور سراسری مهندسی برق، هسته ای، مکانیک، ابزار دقیق و سال های اخیر دانشگاه آزاد اسلامی مورد استفاده قرار گیرد.

🔹 حل بیش از ۴۰۰ تست با راه حل تشریحی و در صورت امکان راه حل تستی به آنها اضافه شده است.

🔹 تست ها به ترتیب از جدید به قدیم تنظیم شده اند.

🔹 از حل سئوالات تکراری جلوگیری شده است.

🔹 هرچه به سمت سئوالات قدیمی تر می رویم حل کوتاه تر و از نوشتن مطالب تکراری در حل مسئله جلوگیری شده است.

به خاطر بسپارید که در سال های اخیر سئوالات، بیشتر مفهومی شده اند. از طرفی تست های مشابه در گروهی دیگر تکرار می گردند. بین تست های سراسری گروه برق و هسته ای این موضوع بیشتر دیده می شود.

در قسمت آزمون پایانی سعی شده است

از سئوالات قدیمی گروه‌های مختلف به منظور تمرین (نه چندان سخت) استفاده شده است. کلید در پایان هر آزمون داده است. در صورتی که پاسخ گزینه‌ای داخل کلید زده نشده باشد به معنای این است که هیچ‌کدام از گزینه‌ها صحیح نمی‌باشند.

ویژگی‌های مجموعه فوق

- ❖ پیوستگی و طبقه‌بندی مطالب با بیان ساده به همراه نکات کلیدی
- ❖ استفاده از روابط منحصر به فرد و راهبردی جهت بالا بردن سرعت عمل در تست‌زنی
- ❖ بررسی کلیه کتب درسی و جزوات کنکوری به همراه سئوالات آزمونهای مختلف و تلفیق آنها در این مجموعه
- ❖ کتاب کمک درسی برای کلیه گرایش‌هایی که درس سیستم‌های کنترل خطی دارند.
- ❖ بررسی و پاسخ کلیه سئوالات آزمونهای مختلف تا پایان سال ۸۶
- ❖ نظر خواهی و استمداد از اساتید مجرب در جهت بالا بردن سطح کیفی مجموعه
- ❖ دقت بسیار در رسم شکل‌ها و منحنی‌ها، استفاده از فونت شاد به همراه دقت در نوشتن روابط و فرمولها از دیگر محاسن این مجموعه می‌باشد.

علیرغم تمام تلاش و جدیتی که در کار تهیه و تألیف این کتاب معمول شده است. از اساتید و صاحب نظران و دانش پژوهان عزیز مستدعی است اشتباهات و نواقص احتمالی کتاب را گوشزد تا در چاپهای بعدی اصلاح گردد. امید است که این خدمت ناچیز بتواند سهمی در موفقیت شما عزیزان در عبور از گذرگاه کنکور داشته باشد.

سپاس و قدردانی

جای آن دارد که از مدیریت محترم و پرتلاش موسسه دانش پژوهان فردا (جهش) جناب مهندس کاظم آرمان‌پور و همکاری صمیمانه استاد ارجمند دکتر محمدرضا جاهد مطلق که در جهت بهبود سطح کیفی این کتاب نقش بسزایی را ایفا نموده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

و تقدیم به

پدر و مادر فداکار و همسر مهربانم که پیوسته مشوق من در تهیه این کتاب بوده‌اند.

محمدرضا متدین - اردیبهشت ماه ۱۳۸۶

- ۲-۲. نایکتایی دسته متغیرهای حالت ۴۹
- ۳-۲. بدست آوردن قطب های سیستم به کمک ۲
- معادلات حالت ۵۱
- ۴-۲. بدست آوردن تابع تبدیل توسط معادلات حالت ۵۲
- ۵-۲. نمایش SFG عوامل درجه اول در فضای حالت ۵۴
- فرم سری ۵۴
- فرم موالی ۵۶
- ۶-۲. معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه n ام بدون ۵۷
- مشقات ورودی
- ۷-۲. معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه n ام با
- مشقات ورودی ۵۹
- ۸-۲. فیدبک حالت ۶۰
- ۹-۲. تعیین معادلات حالت به کمک SFG ۶۲
- ۱۰-۲. پاسخ کامل سیستم خطی تغییرناپذیر با زمان، با
- استفاده از معادلات حالت ۶۴
- ماتریس انتقال حالت $\phi(s)$ ۶۴
- تعیین پاسخ کامل سیستم به کمک $\phi(s)$ ۶۵
- تعیین $\phi(s)$ برای شبکه های تغییرپذیر با زمان ۶۶
- ۱۱-۲. سیستم کنترل پذیر ۶۷
- ۱۲-۲. سیستم رویت پذیر ۶۸
- ۱۳-۲. حل سوالات چهار گزینه ای ۸۰
- ۱۴-۲. آزمون پایانی فضای حالت ۸۵

فصل ۱۳ تحلیل خطا

۳. مقدمه ۹۰
- ۱-۳. خطای حالت ماندگار ۹۰
- نوع سیستم کنترل ۹۰
- خطای حالت ماندگار سیستمی با ورودی پله ۹۱
- خطای حالت ماندگار سیستمی با ورودی شیب ۹۲
- خطای حالت ماندگار سیستمی با ورودی سهموی ۹۲
- ۲-۳. تعیین خطای حالت ماندگار برای سیستم های
- دارای تأخیر ۱۰۰
- ۳-۳. تعیین خطای حالت ماندگار به کمک معادلات حالت ۱۰۱

فصل ۱۴ تابع تبدیل و نمودار گذر سیگنال

۱. مقدمه ۲
- ۱-۱. تابع تبدیل ۲
- ۲-۱. رابطه میان تابع تبدیل و معادله دیفرانسیل ۲
- پاسخ ضربه ۳
- معادله مشخصه ۴
- ۳-۱. تابع تبدیل سیستم های چند متغیره ۴
- تابع تبدیل عناصر رنجیره ای ۷
- ۴-۱. نمودارهای بلوکی ۷
- انواع نمودار بلوکی ۸
- ساده کردن نمودار بلوکی ۹
- ۵-۱. نمودار گذر سیگنال ۱۱
- قواعد حاکم بر نمودار گذر سیگنال ۱۱
- نمودار بلوکی و گذر سیگنال هم ارز ۱۳
- ۶-۱. بهره میسون برای نمودارهای گذر سیگنال ۱۴
- ۷-۱. کاربرد بهره میسون در سیستم های کنترل ... ۱۶
- میسون در نمودارهای بلوکی ۱۶
- میسون برای گره خروجی و گره ورودی ۱۷
- تعیین معادله دیفرانسیل خروجی نسبت به
- ورودی به کمک نمودار گذر سیگنال ۱۷
- تعیین پاسخ حالت صفر به کمک گذر سیگنال ۱۹
- بررسی اثر اغتشاش به کمک بهره میسون ۲۰
- تابع تبدیل سیستم های چند متغیره به کمک
- نمودار گذر سیگنال ۲۱
- ۸-۱. معادله نویسی برای سیستم های مکانیکی ۲۲
- ۹-۱. معادله نویسی برای سیستم های مایعی خطی ۲۴
- ۱۰-۱. معادله نویسی برای سیستم های گرمایی خطی ۲۵
- ۱۱-۱. حل سوالات چهار گزینه ای ۲۷
- ۱۲-۱. آزمون پایانی تابع تبدیل و گذر سیگنال ۴۳

فصل ۱۵ فضای حالت

۲. مقدمه ۴۷
- ۱-۲. تعیین معادلات حالت برای شبکه های خطی ۴۸

- ۱۹۷ ۶-۵. ارتباط معیار راث با متغیرهای حالت
- ۱۹۸ ۷-۵. ارتباط معیار راث- هورویتز با تابع تبدیل ...
- ۸-۵. بررسی ناحیه پایداری سیستم کنترل پارامتریک
- ۲۰۰ به کمک معیار راث- هورویتز
- ۲۰۱ ۹-۵. تعیین پایداری به کمک معادله دیفرانسیل ...
- ۲۰۴ ۱۰-۵. حل سئوالات چهارگزینه‌ای
- ۲۲۳ ۱۱-۵. آزمون پایانی بررسی پایداری به روش راث

- ۳-۴. تعیین خطای حالت ماندگار به کمک مکان

- ۱۰۲ هندسی ریشه‌ها
- ۱۰۳ ۵-۳. شاخص‌های عملکرد خطا
- ۱۰۳ انواع شاخص‌های عملکرد خطا
- ۱۰۵ ۳-۶. حل سئوالات چهارگزینه‌ای
- ۱۲۵ ۷-۳. آزمون پایانی تابع تبدیل و گذر سیگنال

فصل ۴ تحلیل پاسخ گذرا

- ۱۳۰ ۴. سیستم‌های مرتبه دوم
- ۱۳۰ پاسخ سیستم مرتبه دوم به ورودی پله
- ۱۳۳ مشخصات پاسخ گذرا
- ۱۴۰ ۴-۱. اثر صفر بر پاسخ سیستم مرتبه دوم
- ۱۴۵ قطب‌های غالب
- ۱۴۵ نسبت میرایی نسبی
- ۱۴۵ بیک تشدید، فرکانس تشدید و پهنای باند
- ۱۴۶ سیستم مرتبه دوم
- ۱۴۷ ۴-۲. پاسخ سیستم مرتبه دوم به ورودی ضربه
- ۱۵۰ ۴-۳. پاسخ سیستم مرتبه دوم به ورودی شیب
- ۱۵۰ ۴-۴. تقریب رذن سیستم‌های مرتبه بالا به سیستم مرتبه پایین تر
- ۱۵۴ مقدار تقریبی تأخیر انتقالی
- ۱۵۵ ۴-۵. حل سئوالات چهارگزینه‌ای
- ۱۷۷ ۴-۶. آزمون پایانی تحلیل پاسخ گذرا

فصل ۵ بررسی پایداری سیستم‌ها به روش مکان هندسی ریشه‌ها

- ۲۳۰ ۶. مقدمه
- ۲۳۰ ۶-۱. مفهوم مکان هندسی ریشه‌ها
- ۲۳۱ ۶-۲. مراحل ترسیم مکان هندسی ریشه‌ها
- ۲۳۳ مکان ریشه‌ها روی محور حقیقی
- ۲۳۴ مجانب‌های مکان ریشه‌ها
- ۲۳۵ نقاط شکست و هم‌رسی مکان ریشه‌ها
- ۲۳۸ محل تقاطع مکان ریشه‌ها با محور موهومی
- ۲۳۹ زاویه خروج از قطب مختلط و زاویه ورود به صفر مختلط
- ۲۴۲ ۶-۳. رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای $k < 0$
- ۲۴۴ ۶-۴. حذف قطب‌های $G(s)$ با صفرهای پایدار $H(s)$
- ۲۴۵ ۶-۵. رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای سیستم‌های غیرمیلیم فاز
- ۲۴۷ ۶-۶. حساسیت و مکان هندسی ریشه‌ها
- ۲۴۸ ۶-۷. اثر افزودن صفر و قطب بر مکان هندسی ریشه‌ها
- ۲۴۹ ۶-۸. حل سئوالات چهارگزینه‌ای
- ۲۴۹ ۶-۹. آزمون پایانی بررسی پایداری سیستم‌ها به روش مکان هندسی ریشه‌ها

فصل ۵ بررسی پایداری سیستم‌ها به کمک محک راث- هورویتز

- ۲۸۲ ۷. مقدمه
- ۲۸۲ ۷-۱. تعیین پاسخ حالت دائمی سینوسی
- ۲۸۴ ۷-۲. نمودارهای لگاریتمی

- ۱۸۴ ۵. مقدمه
- ۱۸۴ ۵-۱. تعریف پایداری
- ۱۸۴ ۵-۲. انواع پایداری
- ۱۸۵ ۵-۳. روش‌های معروف تعیین پایداری
- ۱۸۶ ۵-۴. محک پایداری راث- هورویتز
- ۱۸۷ حالت‌های مختلف اولین ستون آرایه
- ۱۹۶ ۵-۵. پایداری نسبی سیستم‌های کنترل

- ۳-۷. دیاگرام بود یا نمودار لگاریتمی ۲۸۴
- عوامل اصلی تشکیل دهنده نمودار بود ۲۸۵
- بهره ۲۸۵
- عوامل قطب و صفر در مبدأ ۲۸۶
- عامل درجه اول (قطب ساده) ۲۸۷
- عامل درجه اول (صفر ساده) ۲۸۸
- عوامل درجه دوم (قطب مختلط) ۲۸۹
- عوامل درجه دوم (صفر مختلط) ۲۹۰
- ۴-۷. دیاگرام بود برای سیستم‌های غیر میلیم فار ۲۹۱
- ۵-۷. دیاگرام بود برای سیستم‌های تأخیری ۲۹۳
- ۶-۷. ارتباط دیاگرام بود با خطای حالت ماندگار ۲۹۳
- خطای حالت ماندگار سیستم‌های نوع صفر ۲۹۳
- خطای حالت ماندگار سیستم‌های نوع ۱ ۲۹۴
- خطای حالت ماندگار سیستم‌های نوع ۲ ۲۹۵
- ۷-۷. دیاگرام بود سیستم‌های مرتبه دوم ۲۹۷
- ۸-۷. حل سئوالات چهارگزینه‌ای ۳۰۰
- ۹-۷. آزمون پایانی بررسی پایداری سیستم‌ها به روش دیاگرام بود ۳۱۶
- ۳۷۴ ۹. مقدمه
- ۳۷۴ ۹-۱. پایداری نسبی
- ۳۷۴ حد بهره و حد فاز
- ۳۷۶ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نایکویست
- ۳۷۷ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نمودار بود
- ۳۷۸ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نمودار نیکولز
- ۳۷۹ تعیین حدود بهره و فاز به کمک مکان‌ریشه‌ها
- ۳۸۰ تعیین حدود بهره و فاز به کمک تابع تبدیل
- ۳۸۳ تعیین حدود بهره و فاز به کمک محک رات
- ۳۸۴ تعیین حدود بهره و فاز برای سیستم مرتبه ۲
- ۳۸۴ در سیستم مرتبه دوم
- ۳۸۴ ارتباط حد فاز ϕ_{PM} با نسبت میرایی ζ
- ۳۸۵ ارتباط ماکزیم M_r با ماکزیم جهش M_p
- ۳-۹. همبستگی میان پاسخ گذرا و پاسخ فرکانسی
- ۳۸۷ در سیستم مرتبه بالا به ورودی پله
- ۳۸۷ ۹-۴. پاسخ فرکانسی سیستم حلقه بسته
- ۳۸۷ مکان هندسی اندازه ثابت (دایره‌های M)
- ۲۸۴ ۳-۷. دیاگرام بود یا نمودار لگاریتمی
- عوامل اصلی تشکیل دهنده نمودار بود
- بهره
- عوامل قطب و صفر در مبدأ
- عامل درجه اول (قطب ساده)
- عامل درجه اول (صفر ساده)
- عوامل درجه دوم (قطب مختلط)
- عوامل درجه دوم (صفر مختلط)
- ۴-۷. دیاگرام بود برای سیستم‌های غیر میلیم فار
- ۵-۷. دیاگرام بود برای سیستم‌های تأخیری
- ۶-۷. ارتباط دیاگرام بود با خطای حالت ماندگار
- خطای حالت ماندگار سیستم‌های نوع صفر
- خطای حالت ماندگار سیستم‌های نوع ۱
- خطای حالت ماندگار سیستم‌های نوع ۲
- ۷-۷. دیاگرام بود سیستم‌های مرتبه دوم
- ۸-۷. حل سئوالات چهارگزینه‌ای
- ۹-۷. آزمون پایانی بررسی پایداری سیستم‌ها به روش دیاگرام بود
- ۳۱۶
- ۳۷۴ ۹. مقدمه
- ۳۷۴ ۹-۱. پایداری نسبی
- ۳۷۴ حد بهره و حد فاز
- ۳۷۶ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نایکویست
- ۳۷۷ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نمودار بود
- ۳۷۸ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نمودار نیکولز
- ۳۷۹ تعیین حدود بهره و فاز به کمک مکان‌ریشه‌ها
- ۳۸۰ تعیین حدود بهره و فاز به کمک تابع تبدیل
- ۳۸۳ تعیین حدود بهره و فاز به کمک محک رات
- ۳۸۴ تعیین حدود بهره و فاز برای سیستم مرتبه ۲
- ۳۸۴ در سیستم مرتبه دوم
- ۳۸۴ ارتباط حد فاز ϕ_{PM} با نسبت میرایی ζ
- ۳۸۵ ارتباط ماکزیم M_r با ماکزیم جهش M_p
- ۳-۹. همبستگی میان پاسخ گذرا و پاسخ فرکانسی
- ۳۸۷ در سیستم مرتبه بالا به ورودی پله
- ۳۸۷ ۹-۴. پاسخ فرکانسی سیستم حلقه بسته
- ۳۸۷ مکان هندسی اندازه ثابت (دایره‌های M)

۴۶۶	۱۱. مقدمه	۳۹۰	□ مکان هندسی فاز ثابت (دایره های N)
۴۶۶	۱-۱۱. تعریف حساسیت	۳۹۰	۵-۹. نمودار نیکولز
۴۶۶	۲-۱۱. حساسیت در سیستم های حلقه باز	۳۹۱	۶-۹. پایداری سیستم های کنترل دارای تأخیر
۴۶۷	۳-۱۱. حساسیت در سیستم های حلقه بسته	۳۹۳	۷-۹. حل سئوالات چهار گزینه ای
۴۶۹	۴-۱۱. حساسیت و مکان هندسی ریشه ها	۴۱۱	۸-۹. آزمون پایانی بررسی پایداری نسبی سیستم ها
۴۶۹	۵-۱۱. حساسیت در حوزه فرکانس		به کمک حد بهره و حد فاز
۴۷۰	۶-۱۱. حل سئوالات چهار گزینه ای		

فصل ۱۰ طراحی جبران سازها

۴۱۶	۱۰. مقدمه
۴۱۶	۱-۱۰. انواع جبران سازها
۴۱۷	۲-۱۰. روش های طراحی سیستم ها
۴۱۷	۳-۱۰. جبران ساز پیش فاز
۴۲۰	□ طراحی جبران ساز پیش فاز به کمک بود
۴۲۱	□ طراحی جبران ساز پیش فاز با مکان ریشه ها
۴۲۲	□ کنترل کننده تناسبی - مشتقی
۴۲۳	□ ویژگی های جبران ساز پیش فاز
۴۲۴	۴-۱۰. جبران ساز پس فاز
۴۲۵	□ طراحی جبران ساز پس فاز به کمک بود
۴۲۶	□ طراحی جبران ساز پس فاز به مکان ریشه ها
۴۲۷	□ نقش جبران ساز پس فاز در ضریب خطای ماندگار
۴۲۷	□ کنترل کننده تناسبی - انتگرالی
۴۲۸	□ ویژگی های جبران ساز پس فاز
۴۲۹	۵-۱۰. جبران ساز پس فاز - پیش فاز
۴۳۰	□ کنترل کننده تناسبی - انتگرالی - مشتقی
۴۳۲	۶-۱۰. مقایسه جبران سازها
۴۳۲	□ ویژگی های شبکه پیش فاز
۴۳۲	□ ویژگی های شبکه پس فاز
۴۳۳	□ ویژگی های شبکه پس فاز - پیش فاز
۴۳۳	۷-۱۰. طراحی برای پاسخ بی جهش
۴۳۶	۸-۱۰. حل سئوالات چهار گزینه ای

فصل ۱۱ حساسیت

فصل ۱۲ نکات درسی

۴۸۰	□ خلاصه درس (به صورت فشرده)
-----	-----------------------------

فصل ۱۳ آزمون درس کنترل خطی سال ۸۶

۴۸۸	□ آزمون سراسری ارشد برق سال ۸۶
۴۹۹	□ آزمون سراسری ارشد مکانیک سال ۸۶
۵۰۵	□ مراجع