



سیستم های کنترل خطی

قابل استفاده به عنوان مرجع کامل درس سیستم های کنترل خطی
مطابق با سرفصل های وزارت علوم تحقیقات و فناوری

شامل :

- < شرح کامل درس
- < حل تشریحی کلبه آزمون های کارشناسی ارشد تا سال ۱۳۹۰
- < تست های تألیفی با پاسخ کاملاً تشریحی
- < استفاده از روابط منحصر به فرد و راهبردی جهت بالا بردن سرعت عمل در تست زنی

محمدرضا متدین (چاهه)

مرکز نشر جهش

۱۳۹۰

سرشناسه	: متدین، محمدرضا، ۱۳۵۲-
عنوان و نام پدیدآور	: سیستم های کنترل خطی... / محمدرضا متدین (چاهه).
وضعیت ویراست	: ویراست ۴
مشخصات نشر	: تهران: مرکز نشر جهش: آوید نگار، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ۵۷۲ ص.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۱۷۸-۲۵۹-۹: ۱۴۸۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیا
یادداشت	: ویرایش اول کتاب حاضر با تالیف محمدرضا متدین (چاهه) و عقیل احمدی منتشر شده است.
یادداشت	: چاپ چهارم.
موضوع	: سیستم های کنترل خطی - - راهنمای آموزشی (عالی).
موضوع	: سیستم های کنترل خطی - - آزمون ها و تمرین ها (عالی).
موضوع	: دانشگاه ها و مدارس عالی - - ایران - آزمون ها.
زده بندی کنده	: ۱۳۹۰ س ۲ م / TJ۲۲۰/
زده بندی دیویی	: ۶۲۹/۸۳۲۰۷۱۱:
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۲۰۸۳۹۲



Jah/esh

ناشر: مرکز نشر جهش

مدیر مسئول: مهندس کاظم آرمان پور

عنوان: سیستم های کنترل خطی

ناشر همکار: آوید نگار

مؤلف: محمدرضا متدین

نظارت بر آماده سازی: لیلا حیدری

ناظر چاپ و توزیع: سعید آرمان پور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

ویرایش: چهارم

نوبت چاپ: چهارم (۱۳۹۰)

قیمت: ۱۴۸۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۷۸-۲۵۹-۹

مرکز بخش و توزیع:

۰۲۱-۶۶۹۳۰۶۳۱-۶۶۵۷۲۱۰۰-۶۶۹۱۹۰۷۳

www.jahesh.ac.ir

کلیه حقوق این اثر متعلق به مرکز نشر جهش می باشد.
هرگونه چاپ و تکثیر کل یا قسمتی از محتویات اثر به هر صورت اعم از فتوکپی، برداشت به صورت دست نویس و غیره بدون اجازه کتبی مرکز نشر جهش ممنوع است و متخلفان به موجب قانون حمایت از ناشران تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

یاد خدا آرام بخش قلب هاست

یکی از راه های کمال و تقرب به ذات اقدس الهی، علم و دانش است. علمی که به تعبیر استاد شهید مطهری -ربایی عقل است؛ علمی که انسان خداجو در آن نشانه های معبود را می جوید و می یابد و علمی که هر چه فزونتر می گردد، دارنده آن را به خدا نزدیکتر می کند.

مرکز نشر جهش در راستای توسعه عدالت آموزش و گسترش دسترسی همه داوطلبان به منابع و سؤال های دروس امتحانی در چند سال گذشته اقدامات و تلاش هایی را به عمل آورده که مورد استقبال و توجه صاحب نظران و داوطلبان ذیربط قرار گرفته است. از جمله این اقدامات می توان به انتشار کتاب های طبقه بندی شده که همراه با تشریح کامل دروس و ارائه نکات کلیدی و حل کاملاً تشریحی سؤال ها اشاره نمود.

کتاب مزبور مبتنی بر تجربیات چندین ساله در دانشگاه ها و مراکز آموزشی و به خصوص فعالیت های مستمر تدریس، تألیف و تحقیق در مؤسسه جهش می باشد. لذا با عنایت بر اینکه این مجموعه قبل از چاپ در کلاس های دانشگاه و مؤسسه آموزش عالی جهش تدریس شده و با در نظر گرفتن نقاط قوت و ضعف داوطلبان تهیه شده است امید است راهنما و راه گشای داوطلبان در کلاس درس دانشگاه و آزمون کارشناسی ارشد قرار گیرد.

از دانشجویان و داوطلبان گرامی، اساتید محترم دانشگاه ها و صاحب نظران ارجمند انتظار داریم نظرات و پیشنهادهای اصلاحی خود را با ذکر دوره یا موارد با این مرکز نشر در میان گذارند تا اقدام لازم برای اعمال اصلاحات مورد نظر آنها به عمل آید.

📖 یادداشت مؤلف

با صلوات بر محمد و آل محمد (ص)

با درود فراوان و سپاس بیکران به درگاه خداوند یکتا که توفیق تهیه و تدوین چاپ (چهارم) این کتاب را به من عطا نمود. کتابی که هم اکنون در اختیار دارید ثمره تلاش‌های مستمر و پیگیری چندین ساله اینجانب در ارائه مجموعه‌ای می‌باشد که بتواند گره‌گشای مشکلات دانش‌پژوهان عزیز در امر یادگیری صحیح و آسان مفاهیم اساسی درس کنترل خطی در محدوده‌ی محتوای کتاب درسی باشد. با عنایت به استقبال گسترده دانشجویان و داوطلبان آزمون کارشناسی ارشد از چاپ‌های قبلی، در ویرایش جدید ضمن رفع نواقص و به روز نمودن سئوالات، مطالب درسی براساس مصوب وزارت علوم و آزمون کارشناسی ارشد تألیف و تدوین گردیده است.

📖 ویژگی‌های مجموعه فوق

- 🔹 پیوستگی و طبقه‌بندی مطالب بآین ساده به همراه نکات کلیدی
 - 🔹 استفاده از روابط منحصر به فرد و یادگیری جهت بالا بردن سرعت عمل در تست زنی
 - 🔹 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 با سال ۹۰
 - 🔹 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 راهنمایی‌های استاد گرانقدر جناب آقای دکتر جاهد مطلق و مدیریت محترم و پرتلاش مرکز نشر جهش جناب آقای مهندس کاظم آرمان‌پور، سرکار خانم لیلا حیدری و کلیه عزیزانی که در مراحل مختلف چاپ کتاب همکاری صمیمانه و نقش بسزایی در شکل‌گیری مجموعه فوق داشته‌اند، کمال تشکر را داشته باشم.

📖 و تقدیم به

پدر و مادر فداکار، همسر مهربان و فرزند دلبندم (علی) که پیوسته مشوق من در تهیه این کتاب بوده‌اند.

محمدرضا متدین - بهار ۱۳۹۰

۲-۲. نایکتایی دسته متغیرهای حالت	۵۳
۳-۲. بدست آوردن قطب های سیستم به کمک	
معادلات حالت	۵۵
۴-۲. بدست آوردن تابع تبدیل توسط معادلات حالت	۵۶
۵-۲. نمایش SFG عوامل درجه اول در فضای حالت	۵۸
فرم سری	۵۸
فرم موازی	۶۰
۶-۲. معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه n ام بدون	
مشقات ورودی	۶۱
۷-۲. معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه n ام با	
مشقات ورودی	۶۳
۸-۲. فیدبک حالت	۶۴
۹-۲. تعیین معادلات حالت به کمک SFG	۶۶
۱۰-۲. پاسخ کامل سیستم خطی تغییرناپذیر با زمان، با	
استفاده از معادلات حالت	۶۸
ماتریس انتقال حالت $\phi(s)$	۶۸
تعیین پاسخ کامل سیستم به کمک $\phi(s)$	۶۹
تعیین $\phi(s)$ برای شبکه های تغییرپذیر با زمان	۷۰
۱۱-۲. سیستم کنترل پذیر	۷۱
۱۲-۲. سیستم رویت پذیر	۷۲
۱۳-۲. حل سوالات چهارگزینه ای	۷۴
۱۴-۲. آزمون پایانی فضای حالت	۹۴

فصل ۳، تحلیل خطا

۳. مقدمه	۱۰۰
۱-۳. خطای حالت ماندگار	۱۰۰
نوع سیستم کنترل	۱۰۰
خطای حالت ماندگار سیستمی با ورودی پله	۱۰۱
خطای حالت ماندگار سیستمی با ورودی شیب	۱۰۲
خطای حالت ماندگار سیستمی با ورودی سهمی	۱۰۲
۲-۳. تعیین خطای حالت ماندگار برای سیستم های	
دارای تأخیر	۱۱۰

فصل ۱، 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 زنجیره ای	۷
۴-۱. نمودارهای بلوکی	۸
انواع نمودار بلوکی	۸
ساده کردن نمودار بلوکی	۱۰
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 چهارگزینه ای	۲۷
۱۲-۱. آزمون پایانی تابع تبدیل و گذر سیگنال	۴۶

فصل ۲، فضای حالت

۲. مقدمه	۵۲
۱-۲. معادلات حالت برای سیستم های خطی	۵۲

۳-۳. تعیین خطای حالت ماندگار به کمک معادلات حالت..... ۱۱۱	۴-۵. محک پایداری راث- هورویتز..... ۲۰۲
۴-۳. تعیین خطای حالت ماندگار به کمک مکان هندسی ریشه ها..... ۱۱۲	۵-۵. پایداری نسبی سیستم های کنترل..... ۲۱۲
۵-۳. شاخص های عملکرد خطا..... ۱۱۳	۶-۵. ارتباط معیار راث با متغیرهای حالت..... ۲۱۳
۶-۳. حل سئوالات چهارگزینه ای..... ۱۱۵	۷-۵. ارتباط معیار راث- هورویتز با تابع تبدیل..... ۲۱۴
۷-۳. آزمون پایانی تحلیل خطا..... ۱۳۸	۸-۵. بررسی ناحیه پایداری سیستم کنترل پارامتریک به کمک معیار راث- هورویتز..... ۲۱۶
	۹-۵. تعیین پایداری به کمک معادله دیفرانسیل..... ۲۱۷
	۱۰-۵. حل سئوالات چهارگزینه ای..... ۲۲۰
	۱۱-۵. آزمون پایانی بررسی پایداری به روش راث..... ۲۴۲

فصل ۴. تحلیل پاسخ گذرا

۴. سیستم های مرتبه دوم..... ۱۴۴	۶. مقدمه..... ۲۴۸
۴-۱. اثر صفر بر پاسخ سیستم مرتبه دوم..... ۱۵۲	۱-۶. مفهوم مکان هندسی ریشه ها..... ۲۴۸
۴-۲. پاسخ سیستم مرتبه دوم به ورودی پله..... ۱۴۴	۲-۶. مراحل ترسیم مکان هندسی ریشه ها..... ۲۴۹
۴-۳. پاسخ سیستم مرتبه دوم به ورودی شیب..... ۱۶۴	۳-۶. رسم مکان هندسی ریشه ها برای $k < 0$ ۲۶۰
۴-۴. تقریب رذن سیستم های مرتبه بالا به سیستم مرتبه پایین تر..... ۱۶۵	۴-۶. حذف قطب های $G(s)$ از فرکانس های پایداری $H(s)$ ۲۶۲
۴-۵. حل سئوالات چهارگزینه ای..... ۱۶۹	۵-۶. رسم مکان هندسی ریشه ها برای سیستم های غیرمینیم فاز..... ۲۶۳
۴-۶. آزمون پایانی تحلیل پاسخ گذرا..... ۱۹۳	۶-۶. حساسیت و مکان هندسی ریشه ها..... ۲۶۵

فصل ۵. بررسی پایداری سیستم ها به کمک محک راث هورویتز

۵. مقدمه..... ۲۰۰	۱-۵. تعریف پایداری..... ۲۰۰
۲-۵. انواع پایداری..... ۲۰۰	۳-۵. روش های معروف تعیین پایداری..... ۲۰۱

فصل ۶. بررسی پایداری سیستم ها به روش مکان هندسی ریشه ها

۲-۸. محک پایداری نایکوئیست.....	۳۵۶
❏ قضیه نگاشت (اصل آرگومان).....	۳۵۷
❏ مسیر نایکوئیست.....	۳۵۸
❏ محک پایداری نایکوئیست.....	۳۵۸
❏ ارتباط نوع سیستم با مقدار چرخش مسیر	
حلقه بسته.....	۳۶۱
❏ نگاشت نیم دایره.....	۳۶۶
❏ محل تقاطع منحنی نایکوئیست با محور حقیقی.....	۳۶۸
❏ رسم دیاگرام نایکوئیست برای $k < 1$	۳۶۹
۳-۸. بررسی پایداری مشروط به کمک نایکوئیست.....	۳۷۰
۴-۸. بررسی پایداری داخلی در سیستم های چند	
حلقه ای.....	۳۷۱
۵-۸. ارتباط دیاگرام نایکوئیست با خطای حالت	
ماندگار.....	۳۷۳
❏ خطای حالت ماندگار سیستم های نوع صفر.....	۳۷۳
۶-۸. ارتباط دیاگرام نایکوئیست با پاسخ حالت ماندگار.....	۳۷۴
۷-۸. حل سئوالات چهارگزینه ای.....	۳۷۶
۸-۸. آزمون پایانی بررسی پایداری سیستم ها به	
روش دیاگرام نایکوئیست.....	۳۹۸

فصل ۹. بررسی پایداری نسبی سیستم ها به کمک

حد بهره و حد فاز

۹. مقدمه.....	۴۰۴
۱-۹. پایداری نسبی.....	۴۰۴
❏ حد بهره و حد فاز.....	۴۰۴
❏ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نایکوئیست.....	۴۰۶
❏ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نمودار بُد.....	۴۰۷
❏ تعیین حدود بهره و فاز به کمک نمودار بکولز.....	۴۰۸
❏ تعیین حدود بهره و فاز به کمک مکان ریشه ها.....	۴۰۹
❏ تعیین حدود بهره و فاز به کمک تابع تبدیل.....	۴۱۰
❏ تعیین حدود بهره و فاز به کمک محک رات.....	۴۱۳
❏ تعیین حدود بهره و فاز برای سیستم مرتبه ۲.....	۴۱۴

فصل ۱۰. بررسی پایداری سیستم ها به روش

دیاگرام بُد

۷. مقدمه.....	۳۰۶
۱-۷. تعیین پاسخ حالت دائمی سینوسی.....	۳۰۶
۲-۷. نمودارهای لگاریتمی.....	۳۰۸
۳-۷. دیاگرام بُد یا نمودار لگاریتمی.....	۳۰۸
❏ عوامل اصلی تشکیل دهنده نمودار بُد.....	۳۰۹
❏ بهره k	۳۰۹
❏ عوامل قطب و صفر در مبدأ.....	۳۱۰
❏ عامل درجه اول (قطب ساده).....	۳۱۱
❏ عامل درجه اول (صفر ساده).....	۳۱۲
❏ عوامل درجه دوم (قطب مختلط).....	۳۱۳
❏ عوامل درجه دوم (صفر مختلط).....	۳۱۴
۴-۷. دیاگرام بُد برای سیستم های غیرمینیم فاز.....	۳۱۵
۵-۷. دیاگرام بُد برای سیستم های تأخیری.....	۳۱۷
۶-۷. ارتباط دیاگرام بُد با خطای حالت ماندگار.....	۳۱۷
❏ خطای حالت ماندگار سیستم های نوع صفر.....	۳۱۷
❏ خطای حالت ماندگار سیستم های نوع ۱.....	۳۱۸
❏ خطای حالت ماندگار سیستم های نوع ۲.....	۳۱۹
۷-۷. دیاگرام بُد سیستم های مرتبه دوم.....	۳۲۱
۸-۷. حل سئوالات چهارگزینه ای.....	۳۲۴
۹-۷. آزمون پایانی بررسی پایداری سیستم ها به	
روش دیاگرام بُد.....	۳۴۲

فصل ۱۱. بررسی پایداری سیستم ها به روش

دیاگرام نایکوئیست

۸. مقدمه.....	۳۴۸
۱-۸. نمودارهای قطبی.....	۳۴۸
❏ نمودار قطبی برای عوامل انتگرالی و مشتقی.....	۳۴۸
❏ نمودار قطبی برای عوامل درجه اول.....	۳۴۹
❏ نمودار قطبی برای عوامل درجه دوم.....	۳۵۰
❏ فرم کلی نمودارهای قطبی.....	۳۵۳

۴۶۶.....۶-۱۰. مقایسه جبران سازها.....	۲-۹. همبستگی میان پاسخ گذرا و پاسخ فرکانسی در
۴۶۶.....ویژگی های شبکه پیش فاز.....	سیستم مرتبه دوم.....
۴۶۶.....ویژگی های شبکه پس فاز.....	۴۱۴.....ارتباط حد فاز ϕ_{PM} با نسبت میرایی ζ
۴۶۷.....ویژگی های شبکه پس فاز- پیش فاز.....	۴۱۵.....ارتباط ماکزیمم M_r با ماکزیمم جهش M_p
۴۶۷.....۷-۱۰. طراحی برای پاسخ بی جهش.....	۳-۹. همبستگی میان پاسخ گذرا و پاسخ فرکانسی در
۴۷۰.....۸-۱۰. حل سئوالات چهار گزینه ای.....	سیستم مرتبه بالا به ورودی پله.....

فصل ۱۱، حساسیت

۵۰۴.....۱۱. مقدمه.....	۴۲۰.....مکان هندسی فاز ثابت (دایره های N).....
۵۰۴.....۱-۱۱. تعریف حساسیت.....	۵-۹. نمودار نیکول.....
۵۰۴.....۲-۱۱. حساسیت در سیستم های حلقه باز.....	۶-۹. پایداری سیستم های کنترل دارای تأخیر.....
۵۰۵.....۳-۱۱. حساسیت در سیستم های حلقه بسته.....	۷-۹. حل سئوالات چهار گزینه ای.....
۵۰۷.....۴-۱۱. حساسیت و مکان هندسی ریشه ها.....	۸-۹. آزمون پایانی بررسی پایداری نسبی سیستم ها به
۵۰۷.....۵-۱۱. حساسیت در حوزه فرکانس.....	کمک حد بهره و حد فاز.....
۵۰۸.....۶-۱۱. حل سئوالات چهار گزینه ای.....	

فصل ۱۰، طراحی جبران سازها

۴۵۰.....۱۰. مقدمه.....	۴۵۰.....۱-۱۰. انواع جبران سازها.....
۴۵۰.....۲-۱۰. روش های طراحی سیستم ها.....	۴۵۱.....۳-۱۰. جبران ساز پیش فاز.....
۴۵۱.....طراحی جبران ساز پیش فاز به کمک پد.....	۴۵۴.....طراحی جبران ساز پیش فاز با مکان ریشه ها.....
۴۵۵.....کنترل کننده تناسبی- مشتقی PD	۴۵۶.....ویژگی های جبران ساز پیش فاز.....
۴۵۷.....۴-۱۰. جبران ساز پس فاز.....	۴۵۸.....طراحی جبران ساز پس فاز به کمک پد.....
۴۵۹.....طراحی جبران ساز پس فاز به مکان ریشه ها.....	۴۶۰.....نقش جبران ساز پس فاز در ضریب خطای

ماندگار.....

۴۶۱.....کنترل کننده تناسبی- انتگرالی PI	۴۶۱.....ویژگی های جبران ساز پس فاز.....
۴۶۲.....۵-۱۰. جبران ساز پس فاز- پیش فاز.....	۴۶۳.....کنترل کننده تناسبی- انتگرالی- مشتقی PID

فصل ۱۲، آزمون های درس کنترل خطی

۵۲۵.....سئوالات آزمون سراسری ۸۹.....
۵۳۱.....حل سئوالات آزمون سراسری ۸۹.....
۵۳۸.....سئوالات آزمون آزاد ۸۹.....
۵۴۵.....حل سئوالات آزمون آزاد ۸۹.....
۵۵۲.....سئوالات آزمون سراسری ۹۰.....
۵۵۸.....حل سئوالات آزمون سراسری ۹۰.....
۵۶۳.....مراجعه.....