

کنترل مقاوم H_∞

www.ketab.ir

حمیدرضا تقی‌راد

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

محمد فتحی و فرینا زمانی اسگویی



شماره ۵۵۵

سرشناسه: تقی‌راد، حمیدرضا، ۱۳۴۵ -

عنوان و نام پدیدآور: کنترل مقاوم H_∞ / نویسندگان حمیدرضا تقی‌راد، محمد فتحی، فریناز زمانی اسکویی.

وضعیت ویراست: ویراست ۲.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۴۰۳.

مشخصات ظاهری: ۴۵۳ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار.

فروست: انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۵۵۵.

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۵۲۳۴-۳۹-۰

ISBN: 978-622-5234-39-0

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: واژه‌نامه.

یادداشت: کتابنامه.

یادداشت: نمایه.

موضوع: کنترل مقاوم / Robust control

موضوع: مهندسی کنترل / Automatic control

شناسه افزوده: فتحی، محمد، ۱۳۶۳ -

شناسه افزوده: زمانی اسکویی، فریناز، ۱۳۶۳ -

رده بندی کنگره: TJ213

رده بندی دیویی: ۶۲۹/۸

شماره کتابشناسی ملی: ۹۸۰۵۹۹۷

<http://press.kntu.ac.ir>



ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: کنترل مقاوم H_∞

مؤلفان: حمیدرضا تقی راد، محمد فتحی، فریناز زمانی اسکویی

ویرایش: دوم

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: آبان ۱۴۰۳

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

چاپ و صحافی: گرنامی

قیمت: ۴۸۰,۰۰۰ تومان

(تمام حقوق برای ناشر محفوظ است)

خیابان میرداماد غربی - پلاک ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲
میدان ونک - خیابان ولی عصر (ع) - روبروی ساختمان اسکان - مرکز پخش و فروش انتشارات - تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷
رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش آنلاین): <http://press.kntu.ac.ir>

پیشگفتار

امروزه شاهد گسترش روز افزون سیستم‌های کنترل پیشرفته صنعتی در کشور هستیم. با توجه به اینکه کنترل مقاوم با داشتن پشتوانه قوی ریاضی و استفاده وسیع در کاربردهای صنعتی، بسیار مورد توجه محققین و متخصصین قرار گرفته است و سیستم‌های کنترل مقاوم به عنوان شاخه مهمی از گرایش کنترل در دانشگاه‌ها و صنعت شناخته می‌شود، آشنایی دانش پژوهان و متخصصین کشور با مبانی و مفاهیم این نوع سیستم‌های کنترل ضروری به نظر می‌رسد. با اینکه تحقیقات و گسترش فناوری در زمینه کنترل مقاوم در دانشگاه‌ها و بخش‌های گوناگونی از صنایع دنبال می‌شود، اما تا کنون هیچ کتاب درسی مرجع به زبان فارسی در این زمینه تدوین نشده است. تا نیاز آموزشی دانش پژوهان را با توجه به ویژگی‌های نظری و کاربردی این زمینه برآورده سازد. نگارش این کتاب در ابتدا از برداشته‌ها و دریافت‌های مستقیم مولف اول از آموزه‌های مرحوم پروفسور زیمنس است، که به عنوان پدر علم کنترل مقاوم در مجامع علمی دنیا شناخته می‌شود. تاثیر شگرفی که ایشان در توسعه این شاخه از علم کنترل داشته، بر محققین این زمینه پوشیده نیست، و در این کتاب سعی شده است در بخش‌های مربوط به توسعه مفاهیم کنترل مقاوم، تا حد ممکن گرمی نوای استاد به مخاطبین منتقل گردد. کتاب‌های زیادی در زمینه کنترل مقاوم در دسترس قرار گرفته است که هر یک از دیدگاه خاصی به بیان یکی از روش‌ها و بخشی از مفاهیم کنترل مقاوم پرداخته‌اند. علیرغم اینکه همه این کتاب‌ها در جایگاه خود بسیار مفید و با ارزش هستند، اما معمولاً کمتر با دیدگاه آموزشی بلکه بیشتر در راستای توسعه نظری این زمینه نگاشته شده‌اند. تجربه تدریس مداوم این درس در دانشگاه‌های ایران نشان می‌دهد، استفاده مستقل یکی از این کتاب‌ها به منظور آموزش روش‌های کاربردی کنترل مقاوم برای دانشجویان و محققین دلچسب نیست. گاهی این موضوع ممکن است حتی ایجاد سردرگمی در تولید تصویری منسجم از این زمینه مهندسی در مخاطب نماید و ارتباط لازم میان مفاهیم نظری و طراحی کاربردی کنترل‌کننده مقاوم را فراهم نیاورد. از طرفی غالب این کتاب‌ها مثال‌های یکپارچه‌ای برای فراگیری موضوع ارائه نمی‌دهند. این موضوع طی تدریس این درس به دانشجویان کارشناسی ارشد بیشتر نمایان شده است و اشتیاق دانشجویان برای حل مثال‌های کاربردی و انجام پروژه‌های درسی بیش از پیش احساس شده است.

در رویکرد کلی در تدوین کتاب آموزشی در زمینه کنترل مقاوم می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در رویکرد اول جمع‌آوری همه‌ی روش‌های کنترل مقاوم مانند H_∞ خطی و غیرخطی، سنتز μ ، شکل دهی حلقه، روش‌های خاریتانونف و QFT در یک مرجع واحد می‌تواند مد نظر قرار گیرد. با توجه به حجم بالای مطالب مربوط به هر یک از این روش‌ها و محدودیت حجم یک کتاب، امکان پرداختن به مفاهیم به صورت عمیق میسر نمی‌شود و لاجرم لازم است تنها به بیان کلیات روش‌های مختلف پرداخته شود. در رویکرد دوم که مد نظر این کتاب قرار گرفته است، ضمن اشاره کلی به روش‌های مختلف، تمرکز بر تدوین مفاهیم و گسترش روش‌های مبتنی بر طراحی کنترل‌کننده مقاوم H_∞ و سنتز μ قرار می‌گیرد. همچنین استفاده وسیع از نرم‌افزار متلب و به خصوص جعبه ابزار کنترل مقاوم در آن کمک خواهد نمود تا ضمن بسط مفاهیم ریاضی و نظری، دانش پژوهان را در استفاده از الگوریتم‌های آماده راهنمایی نموده و ایشان را با برنامه‌های آماده شده در این جعبه ابزار آشنا سازد.

بدین ترتیب این کتاب با نگارش مستقل بخش‌های مفهومی متأثر از آموزه‌های پروفسور زیمنس، ترجمه و تخلص برخی متون از مراجع و منابع مختلف، و توسعه برنامه‌های گوناگون در نرم‌افزار متلب و جعبه ابزار کنترل مقاوم، به رشته تحریر

کارشناسی ارشد قرار گیرد. هرچند این کتاب نیاز به کتاب‌هایی که در بخش مراجع معرفی شده‌اند را برطرف نمی‌سازد، اما می‌تواند به عنوان راهنمای کاملی مورد استفاده دانشجویان و اساتید ارجمند قرار گیرد. طیف دیگر از مخاطبین این کتاب کارشناسان محترمی هستند که در صنایع کشور مشغول به فعالیت بوده و علاقه‌مند به استفاده از روش‌های طراحی کنترل مقاوم در کاربردهای مورد نظر خود می‌باشند. این کتاب به عنوان تنها مرجع فارسی در این زمینه می‌تواند راهگشای این کارشناسان باشد.

این کتاب توسط همکاران و دانشجویان زیادی مورد بازبینی و تصحیح قرار گرفته است. علیرغم تلاش فراوان نسبت به تصحیح اشکالات، قطعاً همچنان اشکالات دیگری در آن وجود دارد، که باعث خوشحالی مولفین خواهد شد اگر این موارد به صورت الکترونیکی به آدرس taghirad@kntu.ac.ir گزارش شود. همچنین کلیه برنامه‌های مورد استفاده در این کتاب و موارد اصلاحی مورد اشاره در وب‌گاه کتاب به آدرس:

<http://aras.kntu.ac.ir/publications/books/robust>

به روز رسانی خواهد شد. دانشجویان و کارشناسان محترم می‌توانند با مراجعه به این پایگاه از کدهای نوشته شده در این کتاب بهره‌برداری نموده و ضمن فراگیری موضوعات درس امکان تمرین بیشتری را داشته باشند. کارشناسان صنایع نیز می‌توانند با استفاده از الگوی ارائه شده در این برنامه‌ها، با استفاده از ساختار آن و تغییر در جزئیات، به طراحی و تحلیل کنترل‌کننده‌های مناسب در کاربرد خود بپردازند. در پایان از کلیه کسانی که در تدوین کتاب و انجام اصلاحات لازم ما را یاری نموده‌اند بخصوص دکتر علی خاکی صدیق، دکتر مهسان توکلی، دکتر سجاد ازگلی، دکتر آلا شریعتی، مهندس حامد طلوعی، مهندس محمد مطهری، مهندس ایمان باقری، مهندس محمدرضا نیری، مهندس یاسر شیرمحمدی و مهندس ذکریا افشار تشکر و قدردانی می‌نماید.

امید است این مجموعه برای دانش‌پژوهان و کارشناسان صنعتی کشور مفید و موثر قرار گیرد.

فهرست عناوین

۱	مقدمه	۱۴
۱.۱	مدل سازی، نامعینی و قوام	۱۶
۱.۲	تابع تبدیل حساسیت	۱۹
۱.۳	مسئله عمومی تنظیم	۲۳
۱.۴	ترکیب فصل ها	۲۶
۲	مروری بر ریاضیات کنترل مقاوم	۲۹
۲.۱	مقدمه‌ی بر مقدار و بردار ویژه	۲۹
۲.۲	مقدمه‌ای بر نرم	۳۴
۲.۳	مقادیر تکین	۴۶
۲.۴	مقدمه‌ای بر فضاهای نرم دار	۵۲
۲.۵	جمع بندی فصل	۵۸
	تمرین ها	۵۹
۳	مدل سازی مسائل مقاوم	۶۳
۳.۱	مدل سازی سیستم های نامی	۶۳
۳.۲	تعریف ریاضی نامعینی	۶۴
۳.۳	پیکربندی استاندارد مسائل کنترل مقاوم	۷۶
۳.۴	جمع بندی فصل	۹۸
	تمرین ها	۹۹
۴	تحلیل پایداری و کارایی مقاوم	۱۰۵
۴.۱	پایداری داخلی در سیستم پسخور نامی استاندارد	۱۰۵
۴.۲	پایداری داخلی در سیستم پسخور دارای نامعینی	۱۱۰
۴.۳	کارایی نامی یک سیستم پسخور	۱۱۴
۴.۴	کارایی مقاوم یک سیستم پسخور	۱۱۶
۴.۵	پایداری و کارایی در سیستم پسخور بر مبنای توابع T و S	۱۱۶
۴.۶	پایداری و کارایی در سیستم پسخور استاندارد بر مبنای نرم بی نهایت	۱۲۲
۴.۷	پایداری و کارایی در سیستم پسخور استاندارد بر مبنای مقدار تکین ساختاریافته	۱۲۵
۴.۸	جمع بندی فصل	۱۳۹
	تمرین ها	۱۴۰

۳۲۳.....	۹.۲ طراحی کنترل‌کننده به روش سنتز H_1 با نامعینی حقیقی و موهومی
۳۲۹.....	۹.۳ مقایسه‌ی طراحی کنترل‌کننده با H_1 موهومی و H_1 مختلط
۳۳۳.....	۹.۴ طراحی کنترل‌کننده به روش H_1 با ساده‌سازی نامعینی‌ها
۳۳۸.....	۹.۵ جمع‌بندی فصل
۳۳۹.....	تمرین‌ها
۳۴۲.....	۱۰ کاهش مرتبه مدل
۳۴۳.....	۱۰.۱ برش و باقیمانده
۳۴۵.....	۱۰.۲ تحقق متوازن
۳۴۸.....	۱۰.۳ تخمین مقادیر نکین هنکل
۳۵۰.....	۱۰.۴ کاهش مرتبه مدل در نرم افزار متلب
۳۵۱.....	۱۰.۵ مثال جامع: کاهش مرتبه مدل
۳۵۷.....	۱۰.۶ مثال جامع: کاهش مرتبه‌ی کنترل‌کننده‌ها
۳۶۷.....	۱۰.۷ جمع‌بندی فصل
۳۶۸.....	تمرین‌ها
۳۷۰.....	۱۱ طراحی نمونه: کنترل‌عرضی - سمتی هواپیمای F-14
۳۷۲.....	۱۱.۱ مدل نامی هواپیما
۳۷۴.....	۱۱.۲ مشخصات کارایی مطلوب
۳۷۸.....	۱۱.۳ تبدیل مشخصات کارایی به توابع وزنی
۳۸۰.....	۱۱.۴ نامعینی در مدل
۳۸۱.....	۱۱.۵ ساخت مدل سیستم در حضور نامعینی
۳۸۲.....	۱۱.۶ طراحی کنترل‌کننده
۳۸۵.....	۱۱.۷ مقایسه‌ی کنترل‌کننده‌ها در فضای فرکانسی
۳۸۶.....	۱۱.۸ بررسی کارایی مقاوم کنترل‌کننده‌ها در فضای زمان
۳۸۸.....	۱۱.۹ جمع‌بندی فصل
۳۹۰.....	۱۲ طراحی نمونه: سیستم سه-اینرسی (SISO)
۳۹۱.....	۱۲.۱ معرفی سیستم
۴۰۰.....	۱۲.۲ شناسایی خطی سیستم غیرخطی
۴۰۶.....	۱۲.۳ انتخاب سیستم نامی و تابع وزنی نامعینی ضربی
۴۰۹.....	۱۲.۴ طراحی کنترل‌کننده‌ی بهینه H_{∞}
۴۱۸.....	۱۲.۵ طراحی کنترل‌کننده‌ی H_2/H_{∞}
۴۲۳.....	۱۲.۶ طراحی کنترل‌کننده توسط سنتز H_1
۴۲۹.....	۱۲.۷ مقایسه کنترل‌کننده‌های طراحی شده با تحلیل H_1
۴۳۱.....	۱۲.۸ جمع‌بندی فصل
۴۳۲.....	۱۳ طراحی نمونه: سیستم pH (MIMO)
۴۳۲.....	۱۳.۱ معرفی فرآیند pH

انتخاب سیستم نامی و تابع وزنی نامعینی ضربی	۱۳.۲	۴۴۴
طراحی کنترل‌کننده بهینه H_{∞} با هدف عملکرد مقاوم	۱۳.۳	۴۴۸
طراحی کنترل‌کننده H_2/H_{∞}	۱۳.۴	۴۶۰
طراحی کنترل‌کننده توسط سنتز μ	۱۳.۵	۴۶۵
مقایسه کنترل‌کننده‌های طراحی شده با تحلیل μ	۱۳.۶	۴۶۹
جمع‌بندی فصل	۱۳.۷	۴۷۱
کتاب‌نامه		۴۷۲
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی		۴۷۸
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی		۴۸۲
نمایه		۴۸۶