



دانشگاه پیام نور

سیستم‌های کنترل خطی

(رشته مهندسی برق)

www.ketab.ir

محمد حسن منصوری ابراهیم صحافی زاده

سرشناسه	:	منصوری، محمدحسن
عنوان و نام پدید آور	:	سیستم‌های کنترل خطی / مولفان محمدحسن منصوری، ابراهیم صحافی‌زاده.
مشخصات نشر	:	تهران: دانشگاه پیام‌نور، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	:	دوازده، ۳۴۱ ص.
فروست	:	دانشگاه پیام نور؛ ۲۲۲۶. گروه برق؛ ۱/۷
شابک	:	978 - 964 - 14 - 0273 - 2
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا.
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	متلب.
موضوع	:	سیستم‌های کنترل خطی - آموزش برنامه‌ای.
موضوع	:	آموزش از راه دور - ایران.
شناسه افزوده	:	صحافی‌زاده، ابراهیم، ۱۳۵۸ -
شناسه افزوده	:	دانشگاه پیام نور
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۴ م ۹۸۰/الف LC۵۸۰۸
رده بندی دیویی	:	۳۷۸/۷۵۰
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۷۸/۷۵۰



دانشگاه پیام نور

سیستم‌های کنترل خطی

مولفان: محمدحسن منصوری، ابراهیم صحافی‌زاده

ویراستار علمی: دکتر فرهنگ

تهیه و تولید: دفتر تدوین و تولید کتب و منابع آموزشی

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز چاپ و توزیع دانشگاه پیام نور

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

نوبت و تاریخ چاپ: چاپ اول فروردین ۱۳۹۵

شابک: ۲ - ۰۲۷۳ - ۱۴ - ۹۶۴ - ۹۷۸

ISBN: 978 - 964 - 14 - 0273 - 2

فروش این کتاب فقط از طریق نمایندگی‌های دانشگاه پیام نور مجاز می باشد و فروش

آن در سایر مراکز فروش کتاب موجب تعقیب قانونی فروشنده خواهد گردید

(کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر محفوظ و متعلق به دانشگاه پیام نور است. تولید، کپی یا خلاصه‌برداری، نشر و ترجمه، چاپ، افست، توزیع گسترده، تهیه CD و... این اثر یا بخشی از آن اعم از متن، طرح پست و روی جلد و... بدون اخذ مجوز کتبی از معاونت فناوری و پژوهش دانشگاه خلاف مقررات و تعرض به حقوق مادی و معنوی دانشگاه است. متخلفین وفق قانون حمایت از مولفان و مصنفان و هنرمندان دارای مسئولیت حقوقی و کیفری بوده و تحت پیگرد قرار می گیرند.)

قیمت: ۸۹۰۰۰ ریال

فهرست

پیشگفتار

یازده

فصل اول: آنالیز پایه سیستم های کنترل خطی

هدف کلی

اهداف یادگیری

مقدمه

۱-۱ مفاهیم و تعاریف اولیه در سیستم های کنترل خطی

۲-۱ تبدیل لاپلاس

۱-۲-۱ خواص تبدیل لاپلاس

۲-۲-۱ عکس تبدیل لاپلاس

۳-۱ کاربردهای تبدیل لاپلاس

۴-۱ نمایش جعبه ای سیستم ها

۵-۱ روش های ساده سازی در نمودار جعبه ای

۶-۱ گراف (نمودار) عبور سیگنال

۷-۱ فضای حالت

۱-۷-۱ شکل ماتریس معادلات حالت

۲-۷-۱ تعیین تابع تبدیل با استفاده از معادلات حالت و برعکس

۳-۷-۱ حل معادلات حالت

۴-۷-۱ فیدبک حالت

۸-۱ کاربرد متلب

خودآزمایی تشریحی

فصل دوم: مدل سازی فرایندهای خطی

هدف کلی

اهداف یادگیری

مقدمه

۴۸	۱-۲ سامانه‌های مکانیکی
۴۸	۱-۱-۲ حرکت انتقالی
۵۲	۲-۱-۲ سیستم مکانیکی گردشی
۵۴	۲-۲ سامانه‌های الکتریکی
۵۸	۳-۲ تناظر بین سیستم‌های الکتریکی و مکانیکی
۵۸	۱-۳-۲ تناظر نیرو - ولتاژ
۶۰	۲-۳-۲ تناظر نیرو - جریان
۶۲	خودآزمایی تشریحی

فصل دوم: بررسی انواع کنترل‌کننده‌ها

۶۵	هدف کلی
۶۵	اهداف یادگیری
۶۵	مقدمه
۶۶	۱-۳ انواع کنترل‌کننده‌های صنعتی
۶۷	۱-۱-۳ کنترل‌کننده دوارضیتی روشن - خاموش (ON-OFF)
۶۸	۲-۱-۳ کنترل‌کننده تناسبی (I)
۷۰	۳-۱-۳ کنترل‌کننده سببی مشتق‌گیر (PD)
۷۲	۴-۱-۳ کنترل‌کننده تناسبی - انتگرال‌گیر (PI)
۷۳	۵-۱-۳ کنترل‌کننده تناسبی - انتگرال‌گیر - مشتق‌گیر (PID)
۷۴	۲-۳ مقایسه انواع کنترل‌کننده‌های خطی
۷۶	۳-۳ بررسی اثرات فیدبک بر یک سیستم کنترلی
۷۶	۱-۳-۳ کاهش ثابت زمانی
۷۷	۲-۳-۳ کاهش در تغییرات پارامترهای سیستم
۷۸	۳-۳-۳ افزایش بهره حلقه
۷۸	۴-۳ کاربرد متلب
۸۱	خودآزمایی تشریحی

فصل چهارم: تجزیه و تحلیل حالت دائمی و گذرا و پایداری سیستم‌ها

۸۵	هدف کلی
۸۵	اهداف یادگیری
۸۵	مقدمه
۸۶	۱-۴ پاسخ سیستم به ورودی‌های استاندارد
۸۷	۱-۱-۴ ورودی‌های استاندارد
۸۸	۲-۱-۴ پاسخ یک سیستم با استفاده از تابع تبدیل
۸۹	۲-۴ سیستم‌های مرتبه اول نمونه
۹۰	۱-۲-۴ پاسخ سیستم مرتبه اول نمونه به ورودی ضربه واحد

۹۱	۲-۲-۴ پاسخ سیستم مرتبه اول نمونه به ورودی پله واحد
۹۲	۳-۲-۴ پاسخ سیستم مرتبه اول نمونه به ورودی شیب واحد
۹۳	۳-۴ سیستم‌های مرتبه دوم نمونه
۹۴	۱-۳-۴ پاسخ سیستم مرتبه دو نمونه به ورودی‌های پله واحد و ضربه واحد
۹۹	۲-۳-۴ مشخصات پاسخ پله یک سیستم مرتبه دو در حالت زیرمیرا
۱۰۸	۳-۳-۴ تقریب سیستم مرتبه دو فوق میرا با سیستم مرتبه اول
۱۱۰	۴-۴ تحلیل پایداری
۱۱۳	۱-۴-۴ معیار پایداری روث
۱۲۳	۲-۴-۴ پایداری نسبی
۱۲۵	۵-۴ خطای حالت دائم
۱۲۶	۱-۵-۴ خطای حالت دائم در یک سیستم کنترلی حلقه باز
۱۲۶	۲-۵-۴ خطای حالت دائم در یک سیستم کنترلی حلقه بسته
۱۳۱	۶-۴ کاربرد متاب
۱۳۴	خودآزمایی تشریحی

فصل پنجم: آنالیز مکان هندسی ریشه‌ها

۱۴۱	هدف کلی
۱۴۱	اهداف یادگیری
۱۴۱	مقدمه
۱۴۳	۱-۵ مکان هندسی ریشه‌ها
۱۴۳	۲-۵ شرایط اندازه و فاز
۱۴۸	۳-۵ رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای سیستم‌های مرتبه اول و دوم
۱۵۲	۴-۵ قواعد کلی برای رسم مکان هندسی ریشه‌ها
۱۷۸	۵-۵ مکان هندسی ریشه‌ها برای یک سیستم با تأخیر زمانی
۱۸۲	۶-۵ رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای سیستم‌هایی با فیدبک مثبت
۱۸۴	۷-۵ کاربرد متلب
۱۸۶	خودآزمایی تشریحی

فصل ششم: آنالیز پاسخ فرکانسی

۱۸۹	هدف کلی
۱۸۹	اهداف یادگیری
۱۹۰	مقدمه
۱۹۰	۱-۶ پاسخ حالت دائمی به ورودی سینوسی
۱۹۲	۲-۶ دیاگرام بُد
۱۹۵	۱-۲-۶ دیاگرام بُد برای توابع تبدیل اساسی
۲۰۹	۲-۲-۶ دیاگرام بُد سیستم‌های تأخیری

۲۰۹	۳-۲-۶ مراحل ترسیم دیاگرام بُد با توابع تبدیل کلی
۲۱۳	۴-۲-۶ ویژگی‌های دیاگرام بُد سیستم‌های می نیم‌فاز و نامی نیم‌فاز
۲۱۵	۵-۲-۶ تعیین تابع تبدیل با استفاده از دیاگرام بُد
۲۲۰	۳-۶ نمودار قطبی (نایکویست)
۲۲۱	۱-۳-۶ نمودار قطبی عامل‌های مشتق گیر و انتگرال گیر
۲۲۲	۲-۳-۶ نمودار قطبی عامل‌های مرتبه اول
۲۲۳	۳-۳-۶ نمودار قطبی عامل‌های مرتبه دو
۲۲۵	۴-۳-۶ نمودار قطبی سیستم‌های تأخیری
۲۲۶	۵-۳-۶ ترسیم نمودار قطبی انواع توابع تبدیل
۲۳۱	۴-۶ میار پایداری نایکویست
۲۴۲	۵-۶ نمودار نیکولز
۲۴۴	۶-۶ حاشه بهره و حاشیه فاز
۲۴۷	۷-۶ پاسخ فرکانسی سیستم‌های حلقه بسته
۲۴۸	۱-۷-۶ مکان هندسی برای مقادیر ثابت اندازه تابع تبدیل حلقه بسته (M)
۲۵۰	۲-۷-۶ مکان هندسی برای مقادیر ثابت فاز تابع تبدیل حلقه بسته ($N=1+G$)
۲۵۳	۳-۷-۶ چارت نیکولز
۲۵۷	۸-۶ کاربرد متلب
۲۶۴	خودآزمایی تشریحی

فصل هفتم: جبران‌سازها

۲۶۹	هدف کلی
۲۶۹	اهداف یادگیری
۲۶۹	مقدمه
۲۷۰	۱-۷ اصول کار جبران‌سازها
۲۷۴	۲-۷ جبران‌ساز پیش‌فاز
۲۷۸	۱-۲-۷ طراحی جبران‌ساز پیش‌فاز به کمک پاسخ فرکانسی
۲۸۲	۲-۲-۷ طراحی جبران‌ساز پیش‌فاز به کمک مکان هندسی ریشه‌ها
۲۸۸	۳-۷ جبران‌ساز پس‌فاز
۲۹۱	۱-۳-۷ طراحی جبران‌ساز پس‌فاز به کمک پاسخ فرکانسی
۲۹۴	۲-۳-۷ طراحی جبران‌ساز پس‌فاز به کمک مکان هندسی ریشه‌ها
۲۹۸	۴-۷ جبران‌ساز پس‌فاز - پیش‌فاز
۳۰۲	۱-۴-۷ طراحی جبران‌ساز پس‌فاز - پیش‌فاز به کمک پاسخ فرکانسی
۳۰۴	۲-۴-۷ طراحی جبران‌ساز پس‌فاز - پیش‌فاز به کمک مکان هندسی ریشه‌ها
۳۰۹	خودآزمایی تشریحی

۳۱۳	فصل هشتم: حساسیت
۳۱۳	هدف کلی
۳۱۳	اهداف یادگیری
۳۱۳	مقدمه
۳۱۴	۱-۸ تعریف حساسیت
۳۱۷	۲-۸ بررسی حساسیت در انواع سیستم‌ها
۳۱۷	۱-۲-۸ سیستم حلقه باز
۳۱۷	۲-۲-۸ سیستم حلقه بسته با فیدبک واحد
۳۱۸	۳-۲-۸ سیستم حلقه بسته با فیدبک غیر واحد
۳۲۲	۳-۸ حساسیت و مکان هندسی ریشه‌ها
۳۲۸	خودآزمایی تشریحی
۳۳۱	پیوست‌ها
۳۳۲	پیوست ۱: تبدیل لاپلاس
۳۳۵	پیوست ۲: خواص تبدیل لاپلاس
۳۳۷	پیوست ۳: مدارهای تقویت کننده انواع کنترل‌کننده‌ها و جبران‌سازها
۳۳۸	پیوست ۴: مکان هندسی ریشه‌ها برای بعضی از توابع تبدیل نمونه با فیدبک منفی (—) و فیدبک مثبت (—)
۳۳۹	پیوست ۵: نمودار قطبی بعضی از توابع تبدیل نمونه
۳۴۰	پیوست ۶: نمودار لگاریتم دامنه برحسب فرکانس (ردار نیکولز) بعضی از توابع تبدیل
۳۴۱	منابع

پیشگفتار

خداوند بزرگ را شکر می‌گویم که توفیق، عنایت فرمود تا با تدوین کتاب سیستم‌های کنترل خطی به‌سوان منبع علمی دانشجویان دانشگاه پیام‌نور، بتوانیم سهم کوچکی در ارائه خدمت به جامعه دانشجویی کشور داشته باشیم. کتاب پیشرو مجموعه‌ای است با هشت فصل که به‌طور جامع، دلیل تمام مفاهیم موردنظر در سرفصل درس سیستم‌های کنترل خطی را پوشش داده است. در همه فصول سعی شده است که مفاهیم درسی به ساده‌ترین زبان ممکن بیان شود و با ارائه شکل و مثال‌های آموزنده، درک مفاهیم آسان‌تر شود. ترتیب مفاهیم نیز به‌گونه‌ای است که هر مفهوم، پس از نیاز مفاهیم بعدی باشد تا امکان جمع‌بندی و برقراری ارتباط بین مفاهیم آموخته شده، فراهم گردد.

همه مثال‌ها و تمرین‌های کتاب، حاصل تجربه چندین ساله تدریس و تألیف کتاب سیستم‌های کنترل خطی بوده و بیشتر شکل‌های کتاب نیز به‌وسیله برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب^۱ ترسیم شده است. در پایان بعضی از فصل‌ها، بخشی به‌عنوان آشنایی با متلب همراه با یک مثال عملی به‌وسیله برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب گنجانده شده است تا دانشجویان نحوه کاربرد این نرم‌افزار در سیستم‌های کنترل خطی آشنا شود. به‌این‌صورت این قسمت صرفاً در حد آشنایی دانشجویان با نرم‌افزار متلب بوده و لازم است دانشجویان برای یادگیری و برنامه‌نویسی با این نرم‌افزار به کتاب‌های برنامه‌نویسی و آموزش متلب مراجعه کنند.

۱. نرم‌افزار متلب (MATLAB): نام این نرم‌افزار از عبارت انگلیسی MATrix LABoratory گرفته شده است و هدف اولیه آن قادر ساختن مهندسیین به حل مسائل با عملیات ماتریسی بدون نیاز به نوشتن برنامه‌هایی به زبان Fortran یا C بوده به‌طوری‌که در حال حاضر این نرم‌افزار به ابزاری بر قدرت برای ترسیم داده‌ها، برنامه‌نویسی و انجام محاسبات مهندسی تبدیل شده است.

لازم به ذکر است کلیه حقوق این اثر متعلق به مؤلفین بوده و تألیف حل المسائل این کتاب و هرگونه استفاده از شکل‌ها، مثال‌ها یا مطالب کتاب و همچنین انتشار فایل‌های فصل‌های مختلف کتاب تنها با کسب اجازه از مؤلفین مجاز است.

در پایان از تمام دوستانی که در تألیف این اثر همکاری داشتند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. بدیهی است این کتاب مانند هر اثر دیگری خالی از اشکال و لغزش نخواهد بود لذا از استادان بزرگوار و دانشجویان عزیز تقاضا داریم نظرات اصلاحی خود را با ما در میان بگذارند تا در چاپ‌های بعدی مورد استفاده و توجه قرار گیرد.

ابراهیم صحافی‌زاده

sahafizadeh@eng.ui.ac.ir

محمدحسن منصوری

mansouri_elec2014@yahoo.com