



قابل استفاده به عنوان مرجع کامل درس سیستم‌های کنترل خطی
مطابق با سرفصل‌های وزارت علوم تحقیقات و فناوری

مرجع کتاب

سیستم‌های کنترل خطی

مهندسی برق (کتاب گ'یش‌ها)

شامل:

- شرح کامل درس، منهجه
- استفاده از روابط منحصر به ف. و، اهردی جهت
- بالا بردن سرعت عمل درتس، بی
- سؤال‌های تألیفی، آزمون کا، س، ارشد
- سراسری، آزاد همراه با حل واقعاً تشریح
- سؤال‌های آزمون دکتری همراه با حل تشریح
- فصل ویژه طرح تام (تثبیت اهم مطالب)

مؤلف: محمدرضا متدین

مرکز نشر جهش

سرشناسه

: متدین، محمدرضا، ۱۳۵۲.

عنوان و نام پدیدآور : مرجع کامل سیستم‌های کنترل خطی: قابل استفاده به عنوان مرجع

کامل سیستم‌های کنترل خطی... شامل شرح کامل درس، نکات کلیدی.../ مؤلف محمدرضا متدین (چاهه).

مشخصات نشر

: تهران: مرکز نشر جهش: آویدنگار، ۱۳۹۳.

مشخصات ظاهری

: ۷۵۲ ص: مصور (رنگی)، جدول (رنگی)، نمودار (رنگی).

شابک

: ۳-۴۱۷-۱۷۸-۹۶۴-۹۷۸-۴۰۰۰۰۰ ریال.

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت

: چاپ نهم.

موضوع

: سیستم‌های کنترل خطی - راهنمای آموزشی (عالی)

موضوع

: سیستم‌های کنترل خطی - آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)

رده بندی کنگره

: ۱۳۹۳ س ۲ ب / TJ ۲۰

رده بندی دیویی

: ۶۲۹/۸۳۲۰۷۱۱

شماره کتابشناسی ملی: ۳۰۲۶۶۲۶



عنوان: مرجع کامل سیستم‌های کنترل خطی

مؤلف: محمدرضا متدین

ناشر: مرکز نشر جهش

مدیر مسئول: مهندس کاظم آرمان پور

ناشر همکار: آویدنگار

مدیر تولید: لیلا حیدری

ناظر چاپ و توزیع: سعید آرمان پور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

ویرایش: هفتم چاپ اول ویراست هفتم ۱۳۹۵

نوبت چاپ:

شابک: ۳-۴۱۷-۱۷۸-۹۶۴-۹۷۸

قیمت: ۴۰۰۰۰۰ ریال



مرکز پخش و توزیع:

۰۲۱-۶۶۹۳۰۶۳۱-۶۶۵۷۲۱۰۰

www.jaheshbook.com

کلیه حقوق این اثر متعلق به مرکز نشر جهش می باشد.

هر گونه 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 است

یکی از راه‌های کمال و تقرب به ذات اقدس الهی، علم و دانش است. علمی که به تعبیر استاد شهید مطهری - ز. ا. ع. - علمی است؛ علمی که انسان خداجو در آن نشانه‌های معبود را می‌جوید و می‌یابد و علمی که چه فزون‌تر می‌گردد، دارنده آن را به خدا نزدیک‌تر می‌کند.

مرکز نشر جهش در راستای توسع عدالت آموزش و گسترش دسترسی همه داوطلبان به منابع و سؤال‌های دروس امتحان، دغدغه‌ها، گذشته اقدامات و تلاش‌هایی را به‌عمل آورده که مورد استقبال و توجه صاحب‌نظران و رابطان مرتبط قرار گرفته است. از جمله این اقدامات می‌توان به انتشار کتاب‌های طبقه‌بندی شده که همراه شرح کامل دروس و ارائه نکات کلیدی و حل کاملاً تشریحی سؤال‌ها اشاره نمود.

کتاب مزبور مبتنی بر تجربیات چندین ساله در دانش‌های و مراکز آموزشی و به‌خصوص فعالیت‌های مستمر تدریس، تألیف و تحقیق در مؤسسه جهش می‌باشد. لذا با عنایت براینکه این مجموعه قبل از چاپ در کلاس‌های دانشگاه و مؤسسات آموزش عالی، ریس شده و با در نظر گرفتن نقاط قوت و ضعف داوطلبان تهیه شده است امید است راهنمای راه‌های شای داوطلبان در کلاس درس دانشگاه و آزمون کارشناسی ارشد و دکتری قرار گیرد.

از دانشجویان و داوطلبان گرامی، اساتید محترم دانشگاه‌ها و صاحب‌نظران، بمنتظران طار داریم نظرات و پیشنهادهای اصلاحی خود را با این مرکز نشر در میان گذارند تا اقدام لازم برای اصلاحات مورد نظر آنها به عمل آید.

به نام خدا

دانشی چون اندیشیدن و عبادتی چون انجام واجبات، و ایمانی چون جاهد و صبر و نویسنده‌ای چون فروتنی، و شرافتی چون دانش و غنی چون برابری، و پشتیبانی مطمئن تر از ثنوت کردن نیست.

نخستین بخش از کتاب

با درود فراوان و سپاس بیکران به درگاه خداوند سبحان و سلام و صلوات ایشان بر محمد و آلش که توفیق تهیه و تدوین چاپ (نهم) 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 محدوده محتوای کتاب درسی و بر اساس سرفصل‌های مصوب وزارت علوم باشد. با عنایت به استقبال گسترده دانشجویان و داوطلبان آزمون کارشناسی ارشد از این اثر در ویرایش جدید، ضمن برطرف نمودن نواقص و به‌روزرسانی مطالب، در تفهیم بهتر مطالب درسی سعی گردیده است.

از جمله ویژگی‌های مجموعه فوق

- * پیرنگ طبعه بندی مطالب با بیان ساده به همراه نکات کلیدی
- * استفاده از روش مبتنی بر راهبردی جهت بالا بردن سرعت عمل در تست‌زنی
- * بررسی کلیه کتب درسی جزوات کنکوری به همراه سؤالات آزمون‌های مختلف و تلفیق آنها در این مجموعه
- * کتاب خودآموز و کمک‌درس برای کلیه رایش‌هایی که درس سیستم‌های کنترل خطی دارند.
- * بررسی و پاسخ کلیه سؤالات در رشته‌های مهندسی، آزاد همراه با حل واقعاً تشریحی تا سال ۹۳
- * سؤالات تألیفی و سؤال‌های آزمون دکتری ۹۲ و ۹۳ همراه با حل تشریحی
- * فصل ویژه طرح تام (تثبیت اهم مضرب) شامل برجسته و پراهمیت
- * نظرخواهی و استمداد از اساتید مجرب در جهت بالا بردن سطح کیفی مجموعه
- * دقت بسیار در رسم شکل‌ها و منحنی‌ها به‌روزرسانی در نهشتن روابط و فرمول‌ها از دیگر محاسن این مجموعه می‌باشد.

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

سپاس و قدردانی

جای آن دارد که از مدیریت محترم و پرتلاش مرکز نشر جهش جناب آقای مهندس کاظم آرمان‌پور و همکارم عزیزم جناب آقای مهندس خداداد هلیلی همچنین سرکار خانم 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

سیستم‌های متناظر	۵۵
۱-۱-۱- معادله نویسی برای سیستم‌های سطح مایعی خطی	۵۹
سیستم‌های سطح مایعی سری بدون تداخل	۶۰
۱-۱-۲- معادله نویسی برای سیستم‌های گرمایی خطی	۶۱
سؤالات طبقه‌بندی شده فصل اول	۶۳
پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل اول	۷۷

فصل دوم فضای حالت در تحلیل سیستم‌ها

۱-۲- معادلات حالت برای سیستم خطی تغییرناپذیر با زمان ..	۹۳
۲-۲- ناپیکناپی دسته متغیرهای حالت	۹۸
۳-۲- تعیین معادله مشخصه سیستم به کمک معادلات حالت ..	۹۹
۴-۲- به دست آوردن تابع تبدیل حلقه بسته به کمک معادلات حالت	۱۰۳
۵-۲- نمایش SFG عوامل درجه اول در فضای حالت	۱۰۶
فرم سری	۱۰۶
فرم موازی	۱۰۷
۶-۲- معادله دیفرانسیل خطی مرتبه n ام در فضای حالت بدون مشتقات ورودی	۱۰۹
۷-۲- معادله دیفرانسیل خطی مرتبه n ام در فضای حالت با مشتقات ورودی	۱۱۱
۸-۲- فیدبک حالت	۱۱۵
۹-۲- تعیین معادلات حالت به کمک نمودار گذر سیگنال (SFG)	۱۱۷
۱۰-۲- تعیین معادلات حالت به کمک دیاگرام بلوکی سیستم ..	۱۲۰
۱-۲- با یک کامل سیستم خطی تغییرناپذیر با زمان با استفاده از ماتریس حالت	۱۲۰
تغییر پاسخ عامل سیستم به کمک ماتریس انتقال حالت	۱۲۱
ماتریس انتقال حالت برای سیستم‌های خطی تغییرپذیر با زمان ..	۱۲۳
۱۲-۲- سیستم کنترل پذیر، (Controllable Sys)	۱۲۷
۱۳-۲- سیستم رویت پذیر (Observable System)	۱۲۷
۱۴-۲- خطی سازی سیستم‌های غیرخطی حول نقطه تعادل	۱۲۸
سیستم خودگردان (نامتغیر با زمان)	۱۲۸
چند سیستم متداول غیرخطی	۱۲۹
رفتار کیفی در نزدیکی نقاط تعادل	۱۳۰
سؤالات طبقه‌بندی شده فصل دوم	۱۳۴
پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل دوم	۱۴۵

فصل سوم تحلیل خطای ماندگار سیستم‌ها

۱-۳- خطای حالت ماندگار	۱۵۹
۲-۳- تعیین خطای حالت ماندگار به کمک تابع تبدیل حلقه بسته	۱۶۹

فصل اول مفاهیم اولیه سیستم‌های کنترل

۱-۱- تعاریف اولیه	۹
سیستم کنترل حلقه باز	۱۰
سیستم کنترل حلقه بسته	۱۰
مقایسه سیستم‌های کنترل حلقه باز و حلقه بسته	۱۱
اصول طراحی سیستم‌های کنترل	۱۱
مسائل اصلی طراحی سیستم‌های کنترل	۱۱
۲-۱- خواص اساسی سیستم	۱۲
مدل ریاضی سیستم فیزیکی	۱۲
سیستم خطی	۱۲
سیستم تغییرناپذیر با زمان	۱۲
سیستم خطی و تغییرناپذیر با زمان	۱۲
(Linear invariant System)	۱۲
سیستم غیرخطی	۱۲
۳-۱- تبدیل لاپلاس	۱۳
تبدیل لاپلاس توابع پایه	۱۳
تعریف صفر، قطب و دیاگرام قطب	۱۴
خواص تبدیل لاپلاس	۱۵
تبدیل لاپلاس معکوس توابع گوی	۱۵
۴-۱- تابع تبدیل سیستم حلقه بسته	۲۱
رابطه میان تابع تبدیل و معادله دیفرانسیل	۲۵
معادله مشخصه (مهم)	۲۶
تابع تبدیل سیستم‌های چند متغیره	۲۶
تابع تبدیل عناصر زنجیره‌ای (پشت سر هم)	۲۹
۵-۱- نمودارهای بلوکی	۳۳
ساده کردن نمودار بلوکی	۳۳
۶-۱- نمودار گذر سیگنال (Signal Flow Graph)	۳۴
خواص نمودارهای گذر سیگنال	۳۴
قواعد حاکم بر نمودار گذر سیگنال	۳۴
نمودار بلوکی و گذر سیگنال هم ارز	۳۶
۷-۱- بهره میسون برای نمودارهای گذر سیگنال (مهم)	۳۷
۸-۱- کاربرد بهره میسون در سیستم‌های کنترل خطی	۴۰
میسون در نمودارهای بلوکی	۴۰
بهره میسون برای گره خروجی و گره غیر ورودی	۴۳
تعیین معادله دیفرانسیل خروجی نسبت به ورودی به کمک نمودار گذر سیگنال	۴۴
تعیین پاسخ حالت صفر به کمک نمودار بلوکی (نمودار گذر سیگنال)	۴۵
بررسی اثر اغتشاش به کمک بهره میسون	۴۷
تابع تبدیل سیستم‌های چند متغیره به کمک نمودار گذر سیگنال	۴۸
۹-۱- معادله نویسی برای شبکه‌های الکتریکی خطی	۴۹
عناصر مداری	۴۹
۱۰-۱- معادله نویسی برای سیستم‌های مکانیکی خطی	۵۱
عناصر سیستم جابه‌جایی مکانیکی	۵۱

۳-۳- تعیین خطای حالت ماندگار برای سیستم دارای تأخیر ...	۱۷۲
۴-۳- تعیین خطای حالت ماندگار به کمک معادلات حالت	۱۷۳
۵-۳- تعیین خطای حالت ماندگار به کمک منحنی مکان هندسی ریشه‌ها	۱۷۴
۶-۳- شاخص‌های عملکرد خطا	۱۷۵
سؤالات طبقه‌بندی شده فصل سوم	۱۷۷
پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل سوم	۱۸۸

فصل چهارم تحلیل پاسخ گذرای سیستم‌های کنترل

۱-۴- پاسخ سیستم مرتبه دوم استاندارد به ورودی پله	۲۰۴
۲-۴- مشخصات پاسخ گذرا	۲۰۶
۳-۴- اثر صفر در پاسخ سیستم مرتبه دوم با قطب‌های مختلط	۲۱۷
۴-۴- قطب‌های غالب، TS ، Re ، $DOMINANT CONTROL$	۲۲۱
۵-۴- پیک تشدید، فرکانس تشدید، ζ ، ω_n ، ω_d ، ω_c ، ω_{BW} ، ω_{TS}	۲۲۳
۶-۴- پاسخ سیستم مرتبه دوم به ورودی پله	۲۲۵
۷-۴- پاسخ سیستم مرتبه دوم به ورودی شیب	۲۳۱
۸-۴- تقریب زدن سیستم‌های مرتبه بالا به سیستم دوم	۲۳۱
مقدار تقریبی تأخیر انتقالی e^{-Ts}	۲۳۱
سؤالات طبقه‌بندی شده فصل چهارم	۲۳۶
پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل چهارم	۲۳۸

فصل پنجم بررسی پایداری سیستم به روش محک

۱-۵- تعریف پایداری	۲۶۷
۲-۵- انواع پایداری	۲۶۷
۳-۵- روش‌های معروف تعیین پایداری	۲۶۸
۴-۵- محک پایداری راث - هورویتز (Routh - Hurwitz)	۲۶۹
حالت‌های مختلف اولین ستون آرایه	۲۷۲
۵-۵- ارتباط بین ریشه‌های معادله مشخصه با جدول آرایه راث	۲۸۵
۶-۵- پایداری نسبی سیستم کنترلی	۲۸۷
۷-۵- ارتباط معیار راث - هورویتز با متغیرهای حالت	۲۸۸
۸-۵- ارتباط معیار راث - هورویتز با تابع تبدیل حلقه بسته	۲۹۱
۹-۵- بررسی ناحیه پایداری سیستم کنترل پارامتریک به کمک معیار راث - هورویتز	۲۹۲
۱۰-۵- تعیین پایداری به کمک معادله دیفرانسیل توصیفی سیستم	۲۹۷
سؤالات طبقه‌بندی شده فصل پنجم	۳۰۰
پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل پنجم	۳۱۳

فصل ششم بررسی پایداری به روش مکان هندسی

۱-۶- مفهوم مکان هندسی ریشه‌ها	۳۳۳
شرایط اندازه و زاویه	۳۳۴
۲-۶- مراحل ترسیم مکان هندسی ریشه‌ها	۳۳۶

تعیین نقطه شکست و هم‌مرسی	۳۴۶
۳-۶- رسم مکان هندسی ریشه‌ها برای $k < 0$	۳۶۰
معادله مشخصه	۳۶۰
قرار دادن صفر و قطب در صفحه s	۳۶۰
مکان ریشه‌ها روی محور حقیقی	۳۶۰
مجاورت مکان ریشه‌ها	۳۶۱
نقاط شکست و هم‌مرسی مکان ریشه‌ها	۳۶۱
زاویه خروج از قطب مختلط (ورود به صفر مختلط)	۳۶۱
۴-۶- رسم مکان ریشه‌ها برای سیستم با فیدبک مثبت به ازای $k > 0$	۳۶۲
۵-۶- حذف قطب‌های $G(s)$ با صفرهای پایدار $H(s)$	۳۶۳
۶-۶- رسم مکان ریشه‌های سیستم‌های غیرمینیم فاز	۳۶۴
۷-۶- حساسیت و مکان هندسی ریشه‌ها	۳۶۵
۸-۶- اثر افزودن صفر و قطب بر مکان هندسی ریشه‌ها	۳۶۶
سؤالات طبقه‌بندی شده فصل ششم	۳۶۷
پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل ششم	۳۸۹

فصل هفتم بررسی پایداری به روش دیاگرام بُد

۱-۷- تعیین پاسخ حالت دائمی سینوسی	۴۱۳
۲-۷- نمودارهای لگاریتمی	۴۱۶
۳-۷- دیاگرام بُد یا نمودار لگاریتمی	۴۱۶
فرم استاندارد تابع تبدیل جهت رسم دیاگرام بُد	۴۱۷
عوامل اصلی تشکیل دهنده نمودار بُد	۴۱۷
بهره k	۴۱۷
عوامل قطب و صفر در مبدأ $(j\omega)^{\pm n}$	۴۱۸
حاصل درجه اول (قطب ساده) $\frac{1}{1+j\omega T}$	۴۲۰
عامل درجه اول (صفر ساده) $1+j\omega T$	۴۲۱
عامل درجه دوم $\left[1+2\zeta\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^{-1}$	۴۲۲
عامل درجه دوم $\left[1+2\zeta\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)+\left(j\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]$	۴۲۴
۴-۷- دیاگرام بُد برای سیستم غیرمینیم فاز	۴۲۵
۵-۷- دیاگرام بُد برای سیستم تأخیری	۴۲۷
۶-۷- ارتباط دیاگرام بُد با معیار حاکمان ماندگار	۴۲۸
خطای حالت ماندگار سیستم تصدیف	۴۲۸
خطای حالت ماندگار به ورودی پله	۴۲۸
خطای حالت ماندگار سیستم نوع یک	۴۲۹
خطای حالت ماندگار به ورودی شیب $r(t) = ktu(t)$	۴۲۹
خطای حالت ماندگار سیستم نوع دوم	۴۳۳
۷-۷- دیاگرام بُد سیستم مرتبه دوم	۴۳۳
دو مثال پایانی	۴۴۰
سؤالات طبقه‌بندی شده فصل هفتم	۴۴۲
پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل هفتم	۴۵۶

فصل هشتم بررسی پایداری به روش نایکوئیست

۱-۸- نمودارهای قطبی	۴۶۵
رسم نمودار قطبی برای عوامل انتگرالی و مشتقی $(j\omega)^{\pm 1}$	۴۶۵
عوامل درجه اول $(1+j\omega T)^{\pm 1}$	۴۶۶

سؤالات طبقه‌بندی شده فصل نهم ۵۶۸
 پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل نهم ۵۸۲

فصل دهم طراحی جبران‌سازها

۱-۱۰ انواع جبران‌سازها ۵۹۹
 ۲-۱۰ روش‌های طراحی سیستم ۶۰۰
 ۳-۱۰ جبران‌ساز پیش‌فاز (Phase Lead) ۶۰۰
 طراحی جبران‌ساز پیش‌فاز با استفاده از دیاگرام بُد ۶۰۳
 طراحی جبران‌ساز پیش‌فاز با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها ۶۰۴
 کنترل کننده تناسبی - مشتقی (PD) ۶۰۵
 ویژگی‌های جبران‌ساز پیش‌فاز ۶۰۵
 ۴-۱۰ جبران‌ساز پس‌فاز (Phase Lag) ۶۰۷
 طراحی جبران‌ساز پس‌فاز با استفاده از دیاگرام بُد ۶۰۸
 طراحی جبران‌ساز پس‌فاز با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها ۶۰۹
 نقش جبران‌ساز پس‌فاز در ضریب خطای حالت ماندگار ۶۱۰
 کنترل کننده تناسبی - انتگرالی (PI) ۶۱۰
 ویژگی‌های جبران‌ساز پس‌فاز ۶۱۱
 ۵-۱۰ جبران‌ساز پس‌فاز - پیش‌فاز (Phase Lag - Phase Lead) ۶۱۲
 کنترل کننده سه گانه تناسبی - انتگرالی - مشتقی (PID) ۶۱۳

۶-۱۰ مقایسه جبران‌سازها ۶۱۵
 ویژگی‌های شبکه پیش‌فاز ۶۱۵
 ویژگی‌های شبکه پس‌فاز ۶۱۵
 ویژگی‌های شبکه پس‌فاز - پیش‌فاز ۶۱۶
 ۷-۱۰ طراحی برای پاسخ بی‌جهش ۶۱۸
 سؤالات طبقه‌بندی شده فصل دهم ۶۳۰
 پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل دهم ۶۴۲

فصل یازدهم تحلیل حساسیت

۱-۱۱ تعریف حساسیت (Sensitivity) ۶۵۷
 حساسیت در سیستم‌های حلقه باز ۶۵۸
 حساسیت در سیستم‌های حلقه بسته ۶۵۸
 ۲-۱۱ حساسیت و مکان‌های ریشه‌ها ۶۶۰
 ۳-۱۱ بررسی حساسیت در حوزه فرکانس ۶۶۰
 سؤالات طبقه‌بندی شده فصل یازدهم ۶۶۲
 پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل یازدهم ۶۶۶

فصل دوازدهم ویژه‌طرح نام

تقویت‌کننده مهم مطالب ۶۷۳
 سؤالات و پاسخ‌نامه آزمون دکتری ۹۱ ۶۹۱
 سؤالات و پاسخ‌نامه آزمون کارشناسی ارشد ۹۲ ۷۰۴
 سؤالات و پاسخ‌نامه آزمون دکتری ۹۲ ۷۱۵
 سؤالات و پاسخ‌نامه آزمون کارشناسی ارشد ۹۳ ۷۲۸
 سؤالات و پاسخ‌نامه آزمون دکتری ۹۳ ۷۳۹
 مراجع ۷۵۱

عوامل درجه دوم $1 \pm 2\zeta \left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right) + \left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right)^2$ ۴۶۷
 نمودار قطبی تأخیر انتقالی $e^{-j\omega T}$ ۴۷۰
 فرم کلی نمودارهای قطبی ۴۷۰
 ۲-۸ محک پایداری نایکوئیست ۴۷۷
 قضیه نگاشت (اصل آرگومان) ۴۷۷
 مسیر نایکوئیست ۴۷۹
 محک پایداری نایکوئیست ۴۸۰
 ارتباط نوع سیستم با مقدار چرخش مسیر حلقه بسته $(R=\infty)$ ۴۸۸
 نگاشت نیم دایره به شعاع E به صفحه $G(s)H(s)$ ۴۹۵
 محل تقاطع منحنی نایکوئیست با محور حقیقی ۴۹۸
 محل تقاطع منحنی نایکوئیست با محور موهومی ۵۰۱
 رسم دایره نایکوئیست برای k های منفی ($k < 0$) ۵۰۲
 ۳-۸ پی‌سی با ری مشروط به کمک دیاگرام نایکوئیست ۵۰۴
 ۴-۸ بررسی پایداری دایره در سیستم‌های چند حلقه‌ای ۵۰۶
 ۵-۸ ارتباط دیاگرام بورد، خطای حالت ماندگار ۵۰۷
 خطای حالت ماندگار برای سیستم‌های نوع صفر ۵۰۸
 ۶-۸ ارتباط دیاگرام بورد، پی‌سی، پاسخ حالت ماندگار ۵۰۸
 ۷-۸ بررسی حساسیت در سیستم‌های فرکانس ۵۱۰
 سؤالات طبقه‌بندی شده فصل دهم ۵۱۲
 پاسخنامه سؤالات طبقه‌بندی شده فصل دهم ۵۲۵

فصل نهم بررسی پایداری به کمک حد بهره و فاز

۱-۹ پایداری نسبی ۵۱۱
 حد بهره و حد فاز ۵۱۱
 تعیین حدود بهره و فاز به کمک دیاگرام نایکوئیست ۵۱۲
 تعیین حدود بهره و فاز به کمک دیاگرام بُد ۵۴۱
 تعیین حدود بهره و فاز به کمک نمودار نیکولز ۵۴۳
 تعیین حد بهره و حد فاز به کمک مکان هندسی ریشه‌ها ۵۴۴
 تعیین حد بهره و حد فاز به کمک تابع تبدیل ۵۴۵
 تعیین حد بهره به کمک محک رات - هورویتز (رابطه طلایی) ۵۴۸
 تعیین حدود بهره و فاز برای سیستم مرتبه دوم ۵۵۳
 ۲-۹ همبستگی میان پاسخ گذرا و پاسخ فرکانسی در سیستم مرتبه دوم ۵۵۴
 همبستگی (ارتباط) بین حد فاز (ϕ_{PM}) و نسبت میرایی (ζ) ۵۵۴
 همبستگی (ارتباط) بین مقدار ماکزیمم (M_p) و ماکزیمم جهش (MP) ۵۵۷
 همبستگی میان پاسخ گذرا و پاسخ فرکانسی در سیستم مرتبه بالا به ورودی پله ۵۵۸
 ۴-۹ پاسخ فرکانسی سیستم حلقه بسته ۵۵۸
 مکان هندسی اندازه ثابت پاسخ فرکانسی (دایره‌های M) ۵۵۹
 مکان هندسی فاز ثابت پاسخ فرکانسی (دایره‌های N) ۵۶۲
 ۵-۹ نمودار نیکولز ۵۶۲
 ۶-۹ پایداری سیستم‌های کنترل دارای تأخیر ۵۶۳