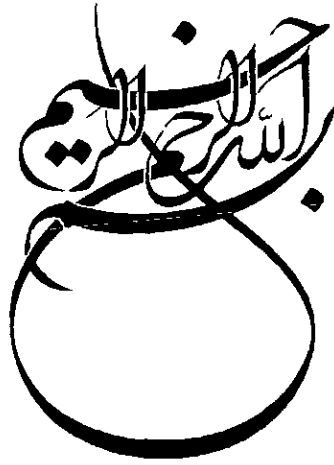




کنترل خـ

مؤلفین:

دکتر محمد رضا جاہد مطلق

دکتر بہروز رضایی

دکتر زہرا رحمانی

بسمه تعالی

|                      |                                                                   |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه              | : جاهد مطلق، محمدرضا، ۱۳۳۴ -                                      |
| عنوان و نام پدیدآور  | : کنترل خطی / مؤلف محمدرضا جاهد مطلق، زهرا رحمانی، بهروز رضایی.   |
| مشخصات نشر           | : تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، بسیج دانشجویی، ۱۳۹۲. |
| مشخصات ظاهری         | : [۶۲۴] ص: مصور، جدول.                                            |
| شابک                 | : ۳-۴۷-۶۹۲۷-۶۰۰-۹۷۸ : ۲۵۰۰۰۰ ریال                                 |
| وضعیت فهرست نویسی    | : فیبا                                                            |
| یادداشت              | : کتابنامه: ص. ۷۲۳.                                               |
| موضوع                | : سیستم‌های کنترل خطی -- راهنمای آموزشی (عالی)                    |
| موضوع                | : سیستم‌های کنترل خطی -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)               |
| شناسه افزوده         | : رحمانی، زهرا، ۱۳۵۵ -                                            |
| شناسه افزوده         | : رضایی، بهروز، ۱۳۵۲ -                                            |
| شناسه افزوده         | : دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، بسیج دانشجویی               |
| رده‌بندی کنگره       | : ۱۳۹۲ ک ۲ ج ۲۲۰/ TJ                                              |
| رده‌بندی دیویی       | : ۶۲۰/۸۸-۰۷                                                       |
| شماره کتاب‌شناسی ملی | : ۳۱۰۳۷                                                           |

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| نام کتاب      | : کنترل خطی                   |
| مؤلف          | : محمدرضا جاهد مطلق           |
| ناشر          | : سازمان بسیج دانشجویی        |
| با همکاری     | : مرکز خدمات آموزشی نصیر      |
| نوبت چاپ      | : اول                         |
| سال و محل نشر | : تهران، ۱۳۹۲                 |
| ناظر فنی چاپ  | : علی مختاری، مصطفی نجفی‌نژاد |
| صفحه‌آرایی    | : اکرم بحری                   |
| تیراژ         | : ۲۰۰۰ جلد                    |
| قیمت          | : ۲۵۰۰۰ تومان                 |
| شابک          | : ISBN ۹۷۸-۶۰۰-۶۹۲۷-۴۷-۳      |

© هرگونه چاپ و تکثیر از این اثر ممنوع و به موجب بند ۵ ماده ۲ قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان پیگرد قانونی دارد.  
نشانی: خیابان شریعتی، نرسیده به پل سید خندان، دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، مرکز خدمات آموزشی نصیر  
تلفن: ۸۸۴۶۶۹۳۵-۸۸۴۶۴۷۸۰

با توجه به میزان اهمیت کنترل خطی برای دانشجویان رشته مهندسی برق به ویژه گرایش کنترل و قرار گرفتن این درس به عنوان یکی از درس‌های کنکور کارشناسی ارشد و دکترای رشته مهندسی برق- کنترل، لزوم تهیه کتابی که به صورت کامل موضوعات و سرفصل‌های مربوطه را شامل گشته و در عین حال بسیار حجیم نباشد و خواننده را خسته نکند و به علاوه قسمت‌های مختلف را به صورت تشریحی، طبقه‌بندی شده و هدفمند در برگیرد، بیش از پیش احساس می‌گردد. از اینرو بر آن شدیم که کتابی در این زمینه تهیه نمائیم که در تمام موضوعات از تکامل کافی برخوردار باشد و به عنوان یک مرجع مناسب برای دانشجویان مورد استفاده قرار گیرد. از ویژگی‌های این کتاب تقسیم‌بندی صحیح موضوعات به شکلی هدفمند، کامل بودن نسبی مطالب و نیز حل تشریحی و دقیق به شیوه بسیار ساده و آموزنده است. این موضوعات از میان کتاب‌ها و مراجع ارزشمند این درس و جرات دانشجو تهیه شده‌اند. همچنین در هر فصل تست‌هایی آورده شده که خواننده پس از اینکه درک عمیق و تسلط کامل بر موضوع درس کسب نمود، می‌تواند از طریق پاسخ‌گویی به آنها توانایی‌های خود را محک بزند. این تست‌ها از منابع علمی کارشناسی ارشد رشته‌های مهندسی برق، مکانیک، شیمی و هسته‌ای انتخاب شده‌اند. در پایان کتاب، مجموعه‌ای از آزمون‌های سال‌های مختلف به همراه پاسخ تشریحی منحصر به فرد آورده شده است که به عنوان مطالب تکمیلی و به منظور کسب مهارت‌های تکمیلی توسط دانشجویان می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

مخاطبین اصلی این کتاب دانشجویان کارشناسی و کارشناسی ارشد جهت آمادگی برای شرکت در کنکور جهت ورود به مقاطع بالاتر می‌باشد. این کتاب همچنین به عنوان یک مرجع درس کنترل خطی برای دانشجویان مستعد می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

فرض بر این است که خواننده دانش لازم در حد متوسط در زمینه ریاضیات و معادلات دیفرانسیل و همچنین تا حد بسیار مقدماتی از دانش سیستم‌های کنترل برخوردار است و به کمک این کتاب می‌تواند به خوبی بر مطالب مربوطه به میزانی تسلط یابد که به راحتی از عهده تست‌های کنکور کارشناسی ارشد و دکترای برآید. البته ذکر این نکته ضروری است که درک عمیق و فراگیری هر دانشی مستلزم تلاش زود و مداوم است که در سایه ممارست و پشتکار فراوان حاصل می‌گردد.

در پایان لازم است از تمام صاحب‌نظران و اساتید رشته کنترل که بی‌شک این کتاب حاصل تلاش آنها نیز هست، و همچنین مسئولین محترم انتشارات نصیر که چاپ و نشر این کتاب را به عهده گرفتند، صمیمانه و خالصه خود باعث ارتقای این اثر شده‌اند، تشکر و قدردانی نمائیم و آن را به تمام دانش‌پژوهان این مرز و بوم تقدیم می‌نمائیم. امیدواریم کمبودها و نقایص این کتاب را که از دید مؤلفین پنهان مانده را از طریق انتشارات نصیر یادآوری نموده تا در چاپ‌های بعدی اصلاحات لازم به عمل آید. قبلاً از حسن همکاری شما کمال تشکر و قدردانی را داریم.

با تشکر

مؤلفین کتاب

## مقدمه ناشر

پس از انتشار کتاب‌های «مدارهای الکتریکی»، «الکترونیک ۲»، «تجزیه تحلیل سیستم‌ها»، «الکترومغناطیس» و «۵۰۰ تست تأییدی کنترل خطی» از مجموعه کتاب‌های رشته مهندسی برق «مرکز خدمات آموزشی نصیر»، بار دیگر توفیق یافتیم تا با انتشار کتاب «کنترل خطی» به قلم استاد توانا جناب آقای دکتر محمدرضا جاهد مطلق و همکارانش آقای دکتر بهروز رضایی و خانم دکتر زهرا رحمانی خدمت دیگری به دانشجویان عزیز ارائه نمائیم. کتاب پیش روی شما به گونه‌ای نگاشته شده که هم برای دانشجویان کارشناسی قابل استفاده بوده و هم برای داوطلبان آزمون کارشناسی ارشد مورد استفاده قرار می‌گیرد و از این نظر مجموعه‌ای کامل است که نیاز دانشجویان را به هر مرجع دیگری برطرف می‌سازد.

«مرکز خدمات آموزشی نصیر» وابسته به بسیج دانشجویی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، اولین مرکز آموزشی در حیطه‌ی آموزش آزمون‌های کارشناسی ارشد در کشور است که از شروع فعالیت‌های آن قریب به ۲۱ سال می‌گذرد این مرکز که در سال ۱۳۷۱ توسط دانشجویان بسیجی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی راه‌اندازی شد در طی این سال‌ها همواره در حال رشد و ترقی بوده است و علاوه بر گسترش حیطه فعالیت‌ها و گسترش کمی مخاطبان آن، کیفیت آموزش و سطح علمی آن همواره روند رو به رشدی را داشته است. با توجه به اینکه این مرکز زیرمجموعه بسیج دانشجویی می‌باشد، اصلی‌ترین هدف خود را خدمت‌رسانی، عدالت آموزشی و تقویت علمی دانشجویان قرار داده و از این جهت شاخص‌ترین مرکز آموزشی در میان مؤسسات مشابه است. و این حقیقت فراوانی است که یکی از اهداف این مرکز می‌باشد و از این جهت همواره به عنوان مرکزی خوش‌نام و موفق در میان اساتید و دانشجویان محترم مطرح بوده است. و به همین دلیل است که این مرکز خود نیز اغلب از دانشجویان دانشگاه‌های تهران هستند بیشترین ارتباط را با دانشجویان مخاطب این مرکز داشته‌اند. از نقطه نظرات آنان همواره استفاده نموده است. در زیر نکاتی برای آشنایی بیشتر شما مخاطب گرامی با این مرکز ذکر می‌شود:

۱. استفاده از اساتید مجرب و طراز اول دانشگاه تهران که به لحاظ علمی جزو سرآمدترین اساتید کشور می‌باشند از اصلی‌ترین نقاط قوت این مرکز است. اعتقاد این مرکز است که به این نقطه از موفقیت هرگز نائل نمی‌شدیم مگر با مساعدت و تلاش و همکاری صادقانه اساتید گرامی که بزرگ‌ترین انگیزه آنان نیز در این مسیر، هدف مقدس و والایی است که سرلوحه فعالیت‌های مرکز قرار گرفته است.

۲. رویکرد ما همواره افزایش سطحی کیفی فعالیت‌ها در سنین ارشد با کمترین هزینه می‌باشد که با تحقق این مهم، هدف اصلی ما که خدمت‌رسانی و ارتقاء هر چه بیشتر علمی دانشجویان این مرکز و بوم دربار عدالت آموزشی می‌باشد محقق می‌شود.

۳. با توجه به برگزاری ۲۱ سال کلاس‌های آموزشی و ۱۱ سال آزمون‌های تخصصی، تجربه گرانقدری اندوخته‌ایم که یکی از عوامل اصلی موفقیت روز افزون ما است. این تجربیات که در موارد بسیار مؤسسه‌ها نیز از آن استفاده کرده‌اند و از آن الگو گرفته‌اند، همواره این مرکز را در جایگاه پیشروترین مؤسسه آموزشی کارشناسی ارشد و دکتری قرار داده است.

۴. با توجه به اهداف ذکر شده، شهریه ارائه شده کمترین مقدار را در میان تمام مؤسسات مشابه دارا می‌باشد، که این اختلاف عمیق بعضاً باعث تعجب و ایجاد سؤال برای مخاطبان گردیده که تازه با این مرکز آشنا شده‌اند. ولی آشنایی بیشتر آنان با مجموعه راه را در جهت درک این پاسخ باز می‌نماید.

با توجه به سابقه درخشان این مرکز در طی این سال‌ها و ضعف موجود در زمینه کتاب‌های کارشناسی ارشد، به لحاظ کیفی، این مجموعه تصمیم بر آن گرفت که در این زمینه نیز وارد شده و افتخاری دیگر به افتخارات خود بیفزاید.

"مجموعه کتاب‌های کارشناسی ارشد نصیر" که از این پس به مرور در اختیار علاقمندان قرار خواهد گرفت، مجموعه‌ای بی‌نظیر با رویکردی نوین و ویژگی‌های منحصر به فرد می‌باشد به طوری که داوطلبان بعد از مراجعه به آن، نیازی به استفاده از منبع دیگری نخواهند داشت و نظر به همکاری اساتید گرانقدری که کوله‌باری از تجربه ارزشمند علمی را در سطح دانشگاه‌ها و کلاس‌های مرکز خدمات آموزشی نصیر با خود دارند و رعایت بالاترین کیفیت در صفحه آرایی و چاپ، دانشجویان عزیز لذت واقعی یادگیری را خواهند چشید. در این جا لازم است از زحمات فراوان استادان گرانقدر جناب آقای دکتر محمدرضا جاهد مطلق، دکتر بهروز رضایی و دکتر زهرا رحمانی در تألیف این اثر ارزشمند کمال قدردانی را بنمائیم. در پایان اجر معنوی فعالیت‌های این مرکز را تقدیم می‌کنیم به شهدای دفاع مقدس، این شمع‌های همیشه فروزان بشریت که با مقاومت مردانه خود حماسه‌ای جاوید آفرینند.

# فهرست مندرجات

|    |       |                                      |
|----|-------|--------------------------------------|
| ۷  | ۱     | مقدمه                                |
| ۷  | ۱.۱   | مقدمه                                |
| ۱۱ | ۲     | نمایش سیستم‌های حالت متغیر از زمان   |
| ۱۱ | ۱.۲   | مقدمه                                |
| ۱۲ | ۲.۲   | مدل سازی به کمک تابع تبدیل           |
| ۱۳ | ۳.۲   | مدل سازی به کمک معادلات دیفرانسیل    |
| ۱۴ | ۴.۲   | نمودارهای بلوکی                      |
| ۱۴ | ۱.۴.۲ | مقدمه                                |
| ۱۵ | ۲.۴.۲ | ساده سازی نمودارهای بلوکی            |
| ۱۸ | ۵.۲   | نمودار سیگنال گذر                    |
| ۱۹ | ۱.۵.۲ | فرمول بهره میسون                     |
| ۲۴ | ۶.۲   | مدل سازی در فضای حالت                |
| ۳۰ | ۷.۲   | تست‌های طبقه بندی شده ی فصل دوم      |
| ۳۵ | ۸.۲   | پاسخ تست‌های طبقه بندی شده ی فصل دوم |
| ۴۵ | ۳     | تحلیل سیستم‌های LTI در فضای حالت     |
| ۴۵ | ۱.۳   | مقدمه                                |
| ۴۶ | ۲.۳   | حل معادلات حالت                      |
| ۴۶ | ۱.۲.۳ | محاسبه ی ماتریس انتقال حالت          |
| ۴۹ | ۲.۲.۳ | خواص ماتریس انتقال حالت              |
| ۴۹ | ۳.۲.۳ | حل معادلات حالت با ورودی غیر صفر     |

|     |                                                                       |       |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| ۵۰  | فیدبک حالت                                                            | ۳.۳   |
| ۵۱  | تحقق در فضای حالت                                                     | ۴.۳   |
| ۵۷  | کنترل پذیری و رؤیت پذیری                                              | ۵.۳   |
| ۵۷  | کنترل پذیری کامل حالت                                                 | ۱.۵.۳ |
| ۵۷  | رؤیت پذیری کامل حالت                                                  | ۲.۵.۳ |
| ۵۸  | جداسازی حالت های کنترل پذیر و رؤیت پذیر                               | ۳.۵.۳ |
| ۶۱  | تست های طبقه بندی شده فصل سوم                                         | ۳     |
| ۶۸  | بخش تست های طبقه بندی شده فصل سوم                                     | ۳     |
| ۷۷  | پایداری                                                               | ۴     |
| ۷۷  | مقدمه                                                                 | ۱.۴   |
| ۷۸  | پایداری از طریق خروجی                                                 | ۲.۴   |
| ۷۸  | پایداری داخلی                                                         | ۳.۴   |
| ۸۰  | شرایط پایداری در سیستم های LTI                                        | ۴.۴   |
| ۸۱  | معیار پایداری روث - هرویتس                                            | ۵.۴   |
| ۸۱  | مقدمه                                                                 | ۱.۵.۴ |
| ۸۱  | روش روث - هرویتس                                                      | ۲.۵.۴ |
| ۹۰  | کاربرد روش روث - هرویتس در سیستم های                                  | ۳.۵.۴ |
| ۹۴  | بررسی پایداری به کمک خطی سازی                                         | ۶.۴   |
| ۹۴  | نقطه ی تعادل                                                          | ۱.۶.۴ |
| ۹۶  | خطی سازی                                                              | ۲.۶.۴ |
| ۹۸  | تست های طبقه بندی شده فصل چهارم                                       | ۷.۴   |
| ۱۰۶ | پاسخ تست های طبقه بندی شده فصل چهارم                                  | ۸.۴   |
| ۱۲۵ | تحلیل رفتار گذرا و دائمی سیستم های خطی نامتغیر با زمان در حوزه ی زمان | ۵     |
| ۱۲۶ | مقدمه                                                                 | ۱.۵   |
| ۱۲۶ | ویژگی های سیستم های دارای فیدبک                                       | ۲.۵   |
| ۱۲۶ | مقدمه                                                                 | ۱.۲.۵ |
| ۱۲۷ | حساسیت                                                                | ۲.۲.۵ |
| ۱۳۰ | پاسخ گذرا                                                             | ۳.۲.۵ |
| ۱۳۰ | اثر اغتشاش و نویز در سیستم های حلقه بسته                              | ۴.۲.۵ |

|     |                                                           |       |
|-----|-----------------------------------------------------------|-------|
| ۱۳۱ | تحلیل رفتار گذرای سیستم‌های خطی نامتغیر با زمان استاندارد | ۳.۵   |
| ۱۳۱ | مقدمه                                                     | ۱.۳.۵ |
| ۱۳۱ | ورودی‌های استاندارد                                       | ۲.۳.۵ |
| ۱۳۳ | معیارهای عملکرد پاسخ پله‌ی واحد در حوزه‌ی زمان            | ۳.۳.۵ |
| ۱۳۴ | سیستم مرتبه‌ی اول                                         | ۴.۳.۵ |
| ۱۳۵ | سیستم مرتبه‌ی دوم                                         | ۵.۳.۵ |
| ۱۴۳ | پاسخ ضربه                                                 | ۶.۳.۵ |
| ۱۴۶ | رفتار حالت ماندگار سیستم‌های خطی نامتغیر با زمان          | ۴.۵   |
| ۱۴۶ | مقدمه                                                     | ۱.۴.۵ |
| ۱۴۶ | سیستم‌های کنترل                                           | ۲.۴.۵ |
| ۱۴۷ | خطای حالت ماندگار                                         | ۳.۴.۵ |
| ۱۴۷ | خطای حالت ماندگار در سیستم با فیدبک واحد                  | ۴.۴.۵ |
| ۱۵۰ | خطای حالت ماندگار در سیستم دارای فیدبک غیرواحد            | ۵.۴.۵ |
| ۱۵۵ | ضرایب خطای رویایی                                         | ۶.۴.۵ |
| ۱۵۷ | سیستم‌های مرتبه‌ی بالاتر                                  | ۵.۵   |
| ۱۵۷ | مقدمه                                                     | ۱.۵.۵ |
| ۱۵۸ | افزودن قطب یا صفر به تابع تبدیل حلقه‌بسته                 | ۲.۵.۵ |
| ۱۶۰ | قطب‌های غالب (مسلط)                                       | ۳.۵.۵ |
| ۱۶۲ | جمع‌بندی اثر افزودن قطب و صفر به تابع تبدیل               | ۴.۵.۵ |
| ۱۶۲ | تقریب                                                     | ۵.۵.۵ |
| ۱۶۴ | تست‌های طبقه‌بندی شده                                     | ۶.۵   |
| ۱۶۴ | تست‌های طبقه‌بندی شده‌ی حساسیت                            | ۱.۶.۵ |
| ۱۶۶ | تست‌های طبقه‌بندی شده بخش پاسخ گذرا                       | ۲.۶.۵ |
| ۱۷۳ | تست‌های طبقه‌بندی شده‌ی پاسخ حالت دائمی                   | ۳.۶.۵ |
| ۱۸۲ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده‌ی فصل پنجم                     | ۷.۵   |
| ۱۸۲ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده‌ی حساسیت                       | ۱.۷.۵ |
| ۱۸۵ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده‌ی پاسخ گذرا                    | ۲.۷.۵ |
| ۲۰۰ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده پاسخ حالت دائمی                | ۳.۷.۵ |

|     |                                                                  |       |
|-----|------------------------------------------------------------------|-------|
| ۲۲۵ | الگوریتم ترسیم مکان هندسی ریشه‌ها                                | ۲.۶   |
| ۲۲۵ | الگوریتم ترسیم مکان برای $(k > 0)$                               | ۱.۲.۶ |
| ۲۳۶ | الگوریتم ترسیم مکان برای $k < 0$                                 | ۳.۶   |
| ۲۳۶ | نکات مهم در برخورد با تست‌های مکان هندسی                         | ۴.۶   |
| ۲۴۲ | به دست آوردن مشخصه‌های سیستم از روی مکان هندسی ریشه‌ها           | ۵.۶   |
| ۲۴۵ | تست‌های طبقه‌بندی شده‌ی ابزار گرافیکی تحلیل در حوزه‌ی زمان       | ۶.۶   |
| ۲۵۷ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده‌ی فصل ششم                             | ۷.۶   |
| ۲۷۳ | تحلیل در حوزه فرکانس و ابزار گرافیکی تحلیل                       | ۷     |
| ۲۷۳ | مقدمه                                                            | ۱.۷   |
| ۲۷۵ | نمودار قطب و معیار پایداری نایکوئیست                             | ۲.۷   |
| ۲۷۵ | مقدمه                                                            | ۱.۲.۷ |
| ۲۷۶ | ترسیم نمودار قطبی                                                | ۲.۲.۷ |
| ۲۹۰ | محک پایداری نایکوئیست                                            | ۳.۲.۷ |
| ۳۱۶ | تعیین تابع تبدیل از نمودار نایکوئیست                             | ۴.۲.۷ |
| ۳۲۱ | نمودارهای بود                                                    | ۳.۷   |
| ۳۲۱ | مقدمه                                                            | ۱.۳.۷ |
| ۳۲۱ | نمودارهای بود                                                    | ۲.۳.۷ |
| ۳۲۲ | رسم نمودار بود                                                   | ۳.۳.۷ |
| ۳۳۷ | پیک تشدید، فرکانس تشدید و پهنای باند سیستم مرتبه‌ی دوم استاندارد | ۴.۳.۷ |
| ۳۳۸ | تعیین ضرایب خطا به کمک نمودارهای بود                             | ۵.۳.۷ |
| ۳۳۹ | تعیین تابع تبدیل به کمک نمودار بود                               | ۶.۳.۷ |
| ۳۴۶ | پایداری نسبی                                                     | ۴.۷   |
| ۳۴۶ | حد فاز و حد بهره                                                 | ۱.۴.۷ |
| ۳۴۸ | تعیین حد بهره و حد فاز به کمک ابزارهای گرافیکی در حوزه‌ی فرکانس  | ۲.۴.۷ |
| ۳۵۵ | نمودار نیکولز                                                    | ۵.۷   |
| ۳۵۸ | تحلیل پاسخ حلقه بسته به کمک پاسخ حلقه باز                        | ۶.۷   |
| ۳۶۳ | تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هفتم                                   | ۷.۷   |
| ۳۶۳ | تست‌های طبقه‌بندی شده نایکوئیست                                  | ۱.۷.۷ |
| ۳۷۶ | تست‌های طبقه‌بندی شده بود                                        | ۲.۷.۷ |
| ۳۸۰ | تست‌های طبقه‌بندی شده پایداری نسبی                               | ۳.۷.۷ |



|     |                                         |       |
|-----|-----------------------------------------|-------|
| ۳۸۷ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هفتم     | ۸.۷   |
| ۳۸۷ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده نایکوئیست    | ۱.۸.۷ |
| ۴۰۰ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده بود          | ۲.۸.۷ |
| ۴۰۵ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده پایداری نسبی | ۳.۸.۷ |

|     |                                                              |       |
|-----|--------------------------------------------------------------|-------|
| ۴۱۵ | طراحی کنترل‌کننده‌ها                                         | ۸     |
| ۴۱۵ | مقدمه                                                        | ۱.۸   |
| ۴۱۶ | مشخصات عملکردی و اهداف طراحی                                 | ۲.۸   |
| ۴۱۶ | آرایش‌های مختلف کنترل‌کننده                                  | ۱.۱   |
| ۴۱۷ | انتخاب در طراحی                                              | ۲.۳.۸ |
| ۴۲۰ | انواع کنترل‌کننده                                            | ۳.۸   |
| ۴۲۰ | کنترل‌کننده‌های کلاسیک                                       | ۱.۳.۸ |
| ۴۲۳ | کنترل‌کننده‌های مبتنی                                        | ۲.۳.۸ |
| ۴۲۴ | ارتباط بین مشخصات عملکردی در حوزه‌ی زمان و فرکانس            | ۳.۳.۸ |
| ۴۲۶ | روند طراحی در حوزه‌ی زمان                                    | ۴.۸   |
| ۴۳۲ | روند طراحی در حوزه‌ی فرکانس                                  | ۵.۸   |
| ۴۳۸ | نکات مهم در طراحی کنترل‌کننده                                | ۶.۸   |
| ۴۴۱ | نکات مهم در طراحی جهت حفظ پایداری و آرایش پایداری نسبی سیستم | ۷.۸   |
| ۴۴۴ | تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هشتم                               | ۸.۸   |
| ۴۵۲ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده فصل هشتم                          | ۹.۸   |

|     |                             |       |
|-----|-----------------------------|-------|
| ۴۶۹ | مدل‌سازی سیستم‌های دینامیکی | ۹     |
| ۴۶۹ | مقدمه                       | ۱.۹   |
| ۴۶۹ | سیستم‌های الکتریکی          | ۲.۹   |
| ۴۷۱ | سیستم‌های مکانیکی           | ۳.۹   |
| ۴۷۱ | الف- حرکت انتقالی           | ۱.۳.۹ |
| ۴۷۲ | ب- حرکت گردشی               | ۲.۳.۹ |
| ۴۷۳ | سیستم‌های متناظر            | ۴.۹   |
| ۴۷۴ | تناظر جریان - نیرو          | ۱.۴.۹ |
| ۴۷۴ | تناظر ولتاژ - نیرو          | ۲.۴.۹ |
| ۴۷۸ | تست‌های طبقه‌بندی شده       | ۵.۹   |

۶ \_\_\_\_\_ کنترل خطی

۴۸۱ ..... پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده ۶.۹

۴۸۵ ۱۰ آزمون‌ها

۶۱۷ مراجع

www.ketab.ir