

پیشگفتار

در این کتاب روش‌های تحلیل و طراحی سیستم‌های کنترل خطی با نگرش مدرن ارائه شده است. این کتاب به عنوان مرجعی مناسب برای دانشجویان سال چهارم کارشناسی گرایش کنترل در مهندسی برق و یا سال اول کارشناسی ارشد در گرایش‌های مختلف مهندسی برق، مهندسی مکانیک و مهندسی فرآیندها پیشنهاد می‌شود. پیش‌نیاز لازم برای بهره‌برداری مناسب از مطالب این کتاب، درس‌های فیزیک مکانیک، فیزیک الکتریسیته، معادلات دیفرانسیل، مدارهای الکتریکی، جبر خطی و سیستم‌های کنترل خطی است. تحلیل سیستم‌های کنترل خطی و طراحی کنترل‌کننده مناسب برای آنها، بر پایه اصول ریاضی محکمی بنا شده است و در کاربردهای مختلف مهندسی مورد استفاده واقع می‌شود. از این رو در تدوین این کتاب، علاوه بر ارائه ریاضیات لازم به صورت دقیق، روند کاربردی روش‌ها با ارائه مثال‌های متنوع صنعتی در متن کتاب و مسائل آن تعقیب شده است. بخشی از مطالب این کتاب مستقیماً تألیف و بخش‌های دیگر از ترجمه، ترکیب و تلخیص مراجع مختلف به رشته تحریر در آمده است. موضوع این نگارش بیش از ده سال به صورت مستمر در درس کنترل مدرن دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ارائه شده و حجم فصول متناسب با نیاز برآزش شده است.

این کتاب به شرح زیر تدوین شده است. در فصل اول ضرورت و مشخصات سیستم‌های کنترل معرفی شده و با ارائه مثال‌های مختلف صنعتی و اجتماعی نیاز مبرم به استفاده از سیستم‌های کنترل تشریح گشته است. سپس عوامل اصلی سیستم‌های کنترل در قالب اجزای فیزیکی و مفهومی در این گونه سیستم‌ها معرفی شده و روش‌های طراحی عمومی سیستم‌های کنترل بیان شده است. با توجه به نحوه نگرش طراح به این مسائل، روش‌های طراحی به دو دسته کلاسیک و مدرن تقسیم شده‌اند. در پایان نحوه ارائه روش مدرن طراحی کنترل‌کننده به صورت خلاصه معرفی گردیده است. در فصل دوم با توجه به نیاز خواننده به مفاهیم ریاضیات پایه، مروری بر جبر خطی آورده شده است. این فصل جایگزین درس جبر خطی نبوده بلکه تنها موارد اصلی این حوزه که در روش‌های تحلیل و طراحی سیستم‌های کنترل مدرن مورد نیاز می‌باشد، یادآوری شده است.

در فصل سوم با عنایت به اینکه اولین مرحله در طراحی کنترل‌کننده، شناخت سیستم یا فرآیند می‌باشد، با استفاده از قوانین و اصول فیزیکی حاکم بر سیستم‌های الکتریکی، الکترومکانیکی، مکانیکی و هیدرولیکی دسته قابل توجهی از سیستم‌های صنعتی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و مدل آنها به فرم فضای حالت به دست آورده شده است. فرم فضای حالت با بهره‌گیری از متغیر حالت مبنای اصلی روش‌های مدرن تحلیل و طراحی در سیستم‌های کنترل می‌باشد. با توجه به خصوصیت متغیر حالت در فشرده‌سازی اطلاعات، اهمیت استفاده از آن در مدل‌سازی سیستم‌های خطی بیان شده است. در پایان این فصل مثال‌هایی از سیستم‌های مهم حرارتی، شیمیایی و الکترومغناطیسی در بخش مسائل این فصل معرفی می‌گردند و با ارائه اصول فیزیکی حاکم، به مدل-

سازی آنها خواهیم پرداخت. برای مدل‌سازی سیستم‌های مکانیکی روش لاگرانژ که مبتنی بر معادلات انرژی در این گونه سیستم‌ها است به عنوان روشی مؤثر معرفی شده است. همچنین روش عمومی خطی سازی سیستم‌های غیر خطی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در پایان این فصل با اشاره به این موضوع که کلیه مدل‌های به دست آمده تنها تقریبی غیر دقیق از سیستم واقعی می‌باشند، که ارتباط بین ورودی و خروجی را به فرم معادلات دیفرانسیل مشخص می‌سازند، توجه خواننده را به نامعینی در مدل‌سازی معطوف ساخته و انواع نامعینی‌های مدل‌سازی معرفی شده اند.

در فصل چهارم با هدف به دست آوردن پاسخ سیستم‌های خطی در اثر شرایط اولیه و ورودی معین، ویژگی‌های سیستم‌های خطی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بدین ترتیب پاسخ سیستم به دو بخش بدون ورودی و بدون شرایط اولیه تجزیه شده است و با توجه به اصل رویهم‌گذاری سیستم‌های خطی، پاسخ کامل سیستم با تعیین این دو جزء به صورت مستقل به دست آمده است. در این راستا ماتریس تبدیل حالت سیستم تعریف شده است. این نمایش نه تنها پاسخ کلیه سیستم‌های خطی را به صورت عمومی تعیین می‌کند، اهمیت بردار متغیر حالت را در فشرده سازی اطلاعات ورودی در خود نشان می‌دهد. در ادامه، خصوصیات اصلی ماتریس انتقال حالت و مشابهت آن با توابع نمائی نشان داده شده است و روشهای مختلف تعیین تحلیلی و عددی آن بررسی شده اند. در پایان این فصل نیز روش‌های نمایش سیستم به صورت غیر مزدوج یا قطری را که در تسریع عملیات عددی سیستم‌ها حایز اهمیت است، با معرفی تبدیل همانندی تشریح نموده و در حالت عمومی فرم بلوکی-جردن به دست آمده است.

در فصل پنجم مفاهیم کنترل پذیری، رویت پذیری، پایدار پذیری و آشکار پذیری تشریح شده اند. اپراتور کنترل پذیری در واقع به عنوان نگاشتی بین توابع بی نهایت بعدی ورودی و متغیر حالت n بعدی، فشرده سازی اطلاعات ورودی به مقدار اولیه متغیر حالت را به عهده داشته و در صورتی که رتبه این نگاشت کامل باشد سیستم کنترل پذیر نامیده می‌شود. به صورت دوگان، اپراتور رویت پذیری به عنوان نگاشتی خطی بین متغیر حالت n بعدی و خروجی بی نهایت بعدی سیستم، عمل کرده و خاصیت رویت پذیری در واقع تعداد و چیدمان سنسورهای لازم را به منظور تعیین وضعیت سیستم در بر می‌گیرد. این دو ویژگی قبل از طراحی هر نوع کنترل کننده مدرن برای سیستم‌های خطی بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد. با استفاده از تعاریف و قضایای مربوط به این ویژگی‌های، روشهای تحلیل کنترل پذیری و رویت پذیری در سیستم‌های خطی ارائه شده و ارتباط آن با وجود مودهای پنهان یا حذف صفر و قطب در نمایش ماتریس تبدیل سیستم به بحث کشیده شده است. در انتها با ارائه روشهای تجزیه سیستم به مودهای کنترل پذیر، رویت پذیر، کنترل ناپذیر و رویت ناپذیر نحوه تفکیک اجزاء سیستم به فرم کالمن تشریح شده است.

در فصل ششم با روش‌های تحقق سیستم‌های خطی و روش‌های تحلیل پایداری آنها آشنا می‌شویم. تحقق سیستم به معنای نمایش یک سیستم به فرم فضای حالت در صورت معین بودن فرم ماتریس تبدیل آن می‌باشد. از آنجایی که بر خلاف نمایش ماتریس تبدیل، فرم فضای حالت سیستم یکتا نمی‌باشد، تحقق‌های بسیاری برای یک ماتریس تبدیل قابل بیان است. از آن جمله تحقق‌های کنترل پذیری، رویت پذیری، رویت-

گر، کنترل‌گر و تحقق جردن می‌باشند که در این فصل تشریح شده‌اند، و به خصوصیات اصلی آنها اشاره شده است. فرم جامع تحقق در حالت چند ورودی-چند خروجی نیز در نهایت تشریح شده است.

تحلیل پایداری سیستم‌های کنترل شرط اولیه و مهم در طراحی هر نوع سیستم کنترلی می‌باشد. این مهم توسط قضایای مبسوط پایداری که در فصل ششم ارائه شده است، بررسی شده است. در ابتدا تعاریف پایداری سیستم‌های غیر خطی و خطی را طرف توجه قرار داده ایم و پس از ارائه قضیه مهم لیاپانوف در تحلیل پایداری سیستم‌های غیر خطی قضایای نتیجه شده برای سیستم‌های خطی ارائه شده است. پایداری داخلی که مهم‌ترین نوع پایداری سیستم‌های خطی می‌باشد، در انتها مورد تجزیه و تحلیل دقیق قرار گرفته است.

در فصل هفتم اصول طراحی فیدبک حالت با دو روش جایابی قطب و کنترل بهینه LQR ارائه شده است. در این فصل ابتدا اهداف عمومی طراحی کنترلر برای سیستم‌های صنعتی را بر شمرده، و حفظ پایداری سیستم به علاوه مسئله تنظیم و یا تعقیب، به صورت دقیق تعریف شده است. همچنین نشان داده شده است که مسئله تعقیب با تعمیم روش تنظیم قابل دستیابی است. لذا در ادامه، حل مسئله تنظیم توسط دو روش جایابی قطب و کنترلر بهینه LQR ارائه شده است و الگوریتم‌های مختلف حل عددی این مسائل نیز تشریح شده‌اند. در پایان این فصل به منظور بررسی روشهای رفع اغتشاش ثابت و متغیر در سیستم‌های کنترل به تعمیم روش فوق و اضافه نمودن ترم پیش‌خور رفع اغتشاش و همچنین فیدبک انتگرال حالت پرداخته شده است.

روش مدرن کنترل سیستم‌های صنعتی مبتنی بر فیدبک حالت می‌باشد. این در حالی است که معمولاً در این سیستم‌ها کلیه حالت‌های سیستم در دسترس نبوده و تنها خروجی‌های خاصی از سیستم مورد اندازه‌گیری واقع می‌شوند. در فصل هشتم ایده تخمین متغیرهای حالت با استفاده از خروجی‌های سیستم بسط داده شده است. رویکرد حالت به عنوان سیستم دینامیکی که مبتنی بر مشخصات سیستم و اطلاعات خروجی تشکیل می‌شود، نیاز طراح را به اندازه‌گیری کلیه متغیرهای حالت مرتفع می‌سازد و متغیرهای تخمین زده شده را در حلقه فیدبک استفاده می‌نماید. علی‌رغم اینکه رویت گر حالت بدین منظور در ادبیات کنترل مدرن معرفی شده است، به خاطر ویژگی‌های منحصر بفرد خود، مورد مقبولیت و استفاده در بسیاری از کاربردهای دیگری که به نوعی فیلترسازی یا پیش‌بینی مورد نیاز است، قرار گرفته است. خوشبختانه حل مسئله رویکرد حالت دوگان حل مسئله فیدبک حالت بوده، و کلیه روشهای تشریح شده در تعیین بهره فیدبک حالت، به صورت متناظر در حل مسئله رویکرد حالت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب روشهای جایابی قطب و رویکرد بهینه فیدبک حالت که به فیلتر کالمن مشهور است تشریح شده‌اند. در ادامه این فصل رویکردهای با کاهش مرتبه یا لوتنبرگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. و در پایان با ترکیب رویت گر حالت و فیدبک حالت ویژگی‌های استفاده از متغیر حالت تخمین زده شده در حلقه فیدبک بررسی شده است.

در کلیه بخش‌ها با ارائه مثالهای صنعتی نحوه عملی تنظیم کنترل کننده فیدبک حالت و بررسی عملکرد سیستم حلقه بسته با شبیه‌سازی‌های کامپیوتری محقق شده است و با ارائه مثالهای صنعتی همانند فصول قبل، نحوه تنظیم پارامترهای کنترل کننده و رویت گر و همچنین بررسی عملکرد سیستم حلقه بسته صورت پذیرفته است. در ویرایش حاضر این کتاب برنامه‌های مقدماتی و حرفه‌ای طراحی کنترل کننده‌ها و رویکردهای مدرن و شبیه سازی سیستم‌های خطی و غیر خطی در نرم افزار Matlab تدوین شده است. با توجه به ساختار تدوین شده در

این کتاب پیش بینی می‌شود دو طیف از مخاطبین علاقه مند به استفاده از این کتاب شوند. از یک طرف این کتاب به عنوان مرجع درسی دانشگاهی می‌تواند مورد استفاده دانشجویان مقطع کارشناسی و یا کارشناسی ارشد قرار گیرد. هرچند این کتاب نیاز به کتاب‌هایی که در بخش مراجع معرفی شده‌اند را مرتفع نمی‌سازد، اما می‌تواند به عنوان راهنمای کاملی مورد استفاده دانشجویان و اساتید ارجمند قرار گیرد.

طیف دیگر از مخاطبین این کتاب را کارشناسان محترمی تشکیل می‌دهند که در صنایع کشور مشغول به فعالیت بوده و علاقه‌مند به استفاده از روش‌های طراحی کنترل مدرن در کاربردهای مورد نظر خود می‌باشند. به منظور استفاده این عزیزان سعی شده است کلیه روش‌ها با مثال‌های صنعتی و برنامه‌های آماده شده تعقیب شود و امید است این کتاب به عنوان یک مرجع فارسی مناسب در این زمینه راهگشای متخصصین 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 اینجانب 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://saba.kntu.ac.ir/eecd/taghirad/ModernControl.html>

به روز رسانی خواهد شد. دانشجویان و متخصصین محترم می‌توانند با مراجعه به این پایگاه از کدهای نوشته شده در این کتاب بهره برداری 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 مرا یاری نموده‌اند به خصوص دکتر علی خاکی صدیق، دکتر سجاد ازگلی، دکتر محمد اعظم خسروی، مهندس علیرضا نوروززاده راوری، مهندس صمیم خسروی، مهندس بیتا فلاحی، مهندس کیوان محمدی و به ویژه سرکار خانم مهندس زهرا مروی که بدون کمک‌های ایشان این نسخه بدین شکل و در این زمان قابل ارائه نمی‌بود، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است این مجموعه برای دانش‌پژوهان و کارشناسان صنعتی کشور مفید واقع شود.

حمید رضا تقی راد

مهر ماه ۱۳۹۳

فهرست

پیشگفتار.....	أ
فهرست	ج
ماتریس ردیابی مسائل	ر
۱ مقدمه.....	۱
۱.۱ پیشگفتار	۱
۲.۱ عناصر فیزیکی سیستم‌های کنترل	۳
۳.۱ عناصر مفهومی سیستم‌های کنترل	۴
۴.۱ فرآیند طراحی کنترل کننده	۵
۵.۱ جمع بندی	۸
منابع و مراجع	۹
۲ مروری بر جبر خطی.....	۱۱
۱.۲ تعاریف	۱۱
۱.۱.۲ مزدوج و ترانهاده یک ماتریس	۱۲
۲.۱.۲ ماتریس ترانهاده مزدوج	۱۲
۳.۱.۲ ماتریسهای متعامد	۱۴
۴.۱.۲ ماتریس واحدی	۱۵
۵.۱.۲ ماتریس نرمال	۱۶
۶.۱.۲ جمع بندی	۱۶
۲.۲ دترمینان ماتریس ها	۱۷
۱.۲.۲ تعیین دترمینان یک ماتریس	۱۷
۲.۲.۲ خواص دترمینان ها	۱۷
۳.۲ وارون ماتریس ها	۱۸
۱.۳.۲ ماتریسهای ویژه و ناویژه	۱۸
۲.۳.۲ خواص وارون ماتریس	۱۹
۴.۲ مقدار و بردار ویژه یک ماتریس	۲۰
۵.۲ قواعد عملیات ماتریسی	۲۱
۱.۵.۲ ضرب یک ماتریس در عدد	۲۱
۲.۵.۲ ضرب دو ماتریس	۲۱

۲۲	..... مشتق گیری از ماتریس ها	۳.۵.۲
۲۲	..... مشتق گیری یک تابع اسکالر نسبت به یک بردار	۴.۵.۲
۲۳	..... ژاکوبین	۵.۵.۲
۲۴	..... منابع و مراجع	
۲۵	..... نمایش سیستم های خطی	۳
۲۵	..... مقدمه	۱.۳
۲۵	..... نمایش فضای حالت	۲.۳
۲۸	..... مدل سازی سیستم بر اساس اصول فیزیکی	۳.۳
۲۹	..... سیستم های الکتریکی	۱.۳.۳
۳۰	..... سیستم های الکترومکانیکی	۲.۳.۳
۳۴	..... سیستم های مکانیکی	۳.۳.۳
۴۲	..... سیستم های هیدرولیکی	۴.۳.۳
۴۵	..... مدل سازی بر اساس روش لاگرانژ	۴.۳
۵۳	..... خطی سازی ریاضی	۵.۳
۵۸	..... نامعینی مدل	۶.۳
۶۰	..... جمع بندی	۷.۳
۶۱	..... مسائل	۸.۳
۷۷	..... مسائل حل شده	۹.۳
۹۹	..... منابع و مراجع	
۱۰۱	..... نظریه سیستم های خطی	۴
۱۰۱	..... مقدمه	۱.۴
۱۰۱	..... خصوصیات سیستم های خطی	۲.۴
۱۰۳	..... حل معادلات حالت سیستم های LTI	۳.۴
۱۰۳	..... پاسخ همگن یا بدون ورودی و ماتریس انتقال حالت	۱.۳.۴
۱۰۵	..... پاسخ کامل معادلات حالت	۲.۳.۴
۱۰۸	..... روشهای تعیین ماتریس انتقال حالت	۴.۴
۱۰۸	..... روش تبدیل لاپلاس	۱.۴.۴
۱۱۰	..... مودهای دینامیکی	۲.۴.۴
۱۱۳	..... روش کیلی-همیلتون	۳.۴.۴
۱۱۵	..... روش سیلوستر	۴.۴.۴
۱۱۶	..... ماتریس تبدیل سیستم های خطی	۵.۴
۱۱۸	..... قطب ها و صفرهای انتقال	۶.۴

۱۲۱	تبدیل‌های همانندی	۷.۴
۱۲۳	قطری سازی معادلات حالت (فرم جردن)	۸.۴
۱۲۳	فرم قطری ماتریس	۱.۸.۴
۱۲۵	تبدیل ماتریس سیستم با مقادیر ویژه مختلط	۲.۸.۴
۱۲۷	فرم عمومی بلوکی - قطری جردن	۳.۸.۴
۱۳۱	جمع بندی	۹.۴
۱۳۲	مسائل	۱۰.۴
۱۴۱	مسائل حل شده	۱۱.۴
۱۷۰	منابع و مراجع	
۱۷۱	رویت پذیری و کنترل پذیری	۵
۱۷۱	رویت پذیری	۱.۵
۱۷۱	مقدمه	۱.۱.۵
۱۷۲	تعریف رویت پذیری	۲.۱.۵
۱۷۵	آزمون‌های رویت پذیری	۳.۱.۵
۱۸۱	زیر فضای رویت ناپذیر	۴.۱.۵
۱۸۴	آشکار پذیری	۵.۱.۵
۱۸۵	کنترل پذیری	۲.۵
۱۸۵	تعریف کنترل پذیری	۱.۲.۵
۱۸۶	حالت‌های کنترل ناپذیر و کنترل پذیری	۲.۲.۵
۱۸۶	آزمون‌های کنترل پذیری	۳.۲.۵
۱۸۸	پایدارپذیری	۴.۲.۵
۱۸۸	زیر فضای کنترل پذیر	۵.۲.۵
۱۸۹	تجزیه کالمن سیستم‌های LTI	۳.۵
۱۹۲	جمع بندی	۴.۵
۱۹۳	مسائل	۵.۵
۲۰۱	مسائل حل شده	۶.۵
۲۱۲	منابع و مراجع	
۲۱۳	تحقق و پایداری سیستم‌های خطی غیر متغیر با زمان	۶
۲۱۳	تحقق سیستم‌های خطی غیر متغیر با زمان	۱.۶
۲۱۴	تحقق کاهش ناپذیر	۲.۶
۲۱۷	تحقق سیستم‌های تک ورودی - تک خروجی	۳.۶
۲۱۸	تحقق کانونی کنترل کننده	۱.۳.۶

۲۱۹	تحقق کانونی رویت کننده	۲.۳.۶
۲۲۰	تحقق کانونی رویت پذیری	۳.۳.۶
۲۲۱	تحقق کانونی کنترل پذیری	۴.۳.۶
۲۲۴	تحقق کانونی جردن	۵.۳.۶
۲۲۶	تحقق سیستم‌های یک ورودی-چند خروجی	۴.۶
۲۲۸	تحقق سیستم‌های چند ورودی-تک خروجی	۵.۶
۲۲۹	تحقق سیستم‌های چند ورودی و چند خروجی	۶.۶
۲۳۳	پایداری سیستم‌های خطی غیر متغیر با زمان	۷.۶
۲۳۳	تعاریف پایداری	۱.۷.۶
۲۳۵	قضایای پایداری سیستم‌های خطی غیر متغیر با زمان	۲.۷.۶
۲۳۷	قضیه پایداری لیاپانوف و تحلیل پایداری سیستم‌های خطی نامتغیر با زمان	۳.۷.۶
۲۴۰	جمع بندی	۸.۶
۲۴۱	مسائل	۹.۶
۲۴۶	مسائل حل شده	۱۰.۶
۲۵۶	منابع و مراجع	
۲۵۷	فیدبک حالت	۷
۲۵۷	مقدمه	۱.۷
۲۵۷	خصوصیات فیدبک حالت	۲.۷
۲۶۳	طراحی کنترل کننده فیدبک حالت: جایابی قطب	۳.۷
۲۶۶	روش مستقیم برای تعیین ماتریس بهره فیدبک حالت	۱.۳.۷
۲۷۲	روش بس و گیورا	۲.۳.۷
۲۷۴	روش تبدیل همانندی	۳.۳.۷
۲۷۵	فرمول آکرمن	۴.۳.۷
۲۷۷	روش مین-مرداخ	۵.۳.۷
۲۷۹	جایابی قطب در سیستم‌های چند ورودی	۴.۷
۲۸۰	روش نگاشتی	۱.۴.۷
۲۸۳	روش طیفی	۲.۴.۷
۲۸۴	کنترل فیدبک حالت بهینه	۵.۷
۲۸۴	مقدمه	۱.۵.۷
۲۸۶	معادله ماتریسی لیاپانوف	۲.۵.۷
۲۹۰	طراحی کنترل کننده LQR	۳.۵.۷
۲۹۸	انتخاب مناسب ماتریس‌های وزنی	۴.۵.۷
۳۰۱	رفع اغتشاش و ورودی مرجع ثابت	۵.۵.۷

۳۱۶.....	۶.۷	فیدبک انتگرال حالت
۳۲۰.....	۷.۷	جمع بندی
۳۲۰.....	۸.۷	مسائل
۳۳۵.....	۹.۷	مسائل حل شده
۳۴۹.....		منابع و مراجع
۳۵۱.....	۸	رویتگر حالت.....
۳۵۱.....	۱.۸	مقدمه
۳۵۱.....	۲.۸	یک رویتگر مقدماتی
۳۵۲.....	۳.۸	رویتگر مرتبه- کامل
۳۵۸.....	۴.۸	رویتگر حالت بهینه (فیلتر کالمن)
۳۵۸.....	۱.۴.۸	طراحی رویتگر بهینه
۳۶۰.....	۲.۴.۸	فیلتر کالمن: نظریه ای موفق در کاربردهای مختلف
۳۶۴.....	۵.۸	رویتگر لوئنبرگر
۳۶۷.....	۶.۸	سیستم حلقه بسته فیدبک حالت - رویتگر حالت
۳۷۶.....	۷.۸	سیستم حلقه بسته فیدبک حالت - رویتگر حالت با اغتشاش ثابت نامعین
۳۷۸.....	۸.۸	جمع بندی
۳۷۹.....	۹.۸	مسائل
۳۸۹.....	۱۰.۸	مسائل حل شده
۳۹۷.....		منابع و مراجع
۳۹۹.....		واژه نامه انگلیسی به فارسی
۴۰۳.....		واژه نامه انگلیسی به فارسی
۴۰۷.....		فهرست راهنما

ماتریس ردیابی مسائل

درایه های این ماتریس نحوه تعقیب سیستم های صنعتی را که در فصل سوم به مدلسازی آنها پرداخته ایم را در فصول بعدی نشان می دهد.

عنوان سیستم	فصل سوم	فصل چهارم	فصل پنجم	فصل هفتم	فصل هشتم
موتور DC	مثال ۲-۳، مثال ۸-۳	مثال ۸-۴، مثال ۱۱-۴	مثال ۴-۵، مثال ۱۱-۵	مثال ۲-۷، ۱۳-۷، مثال ۱۵-۷، ۱۶-۷	مثال ۱-۸، مثال ۴-۸، ۶-۸
سیستم تعلیق فعال	مثال ۳-۳	-	مثال ۱-۵، مثال ۲-۵	مثال ۱۸-۷	-
آونگ وارون	مثال ۶-۳، مثال ۱۰-۳	مثال ۱۳-۴	-	مثال ۳-۷، مثال ۴-۷، مثال ۶-۷، ۱۴-۷	مثال ۳-۸، مثال ۵-۸
قطار	مثال ۴-۳	-	-	مثال ۱۷-۷	مثال ۲-۸
موتور DC و هامونیک درایو	۶-۳	۴۳-۴، ۳۰-۴	۱۰-۵	۲۷-۷، ۱۱-۷	۱۵-۸، ۱۰-۸، ۲۵-۸، ۲۴-۸
سرعت غلطک	۷-۳	۴۶-۴، ۳۱-۴	۱۱-۵	۳۷-۷، ۳۶-۷، ۲۸-۷	۲۶-۸، ۱۱-۸
غلظت مخزن	۹-۳، ۱۸-۳	۴۷-۴، ۳۲-۴	۱۲-۵	۳۸-۷، ۲۹-۷	
مبدل حرارتی	۱۹-۳، ۱۰-۳	۳۳-۴	۱۳-۵	۳۹-۷، ۱۲-۷	۴-۸، ۳-۸، ۲۷-۸
راکتور شیمیایی	۲۰-۳، ۱۱-۳	۴۴-۴، ۳۴-۴	۱۴-۵	۱۳-۷	۶-۸، ۵-۸، ۲۸-۸
جرثقیل سقفی	۲۴-۳، ۱۶-۳	۳۵-۴	۱۵-۵	۳۱-۷، ۱۵-۷	۲۹-۸، ۱۶-۸
بندباز	۲۵-۳، ۱۷-۳	۳۶-۴	۱۶-۵	۳۰-۷، ۱۴-۷	۳۰-۸، ۱۷-۸
آونگ وارون دوتایی	۲۶-۳	۳۷-۴	۱۷-۵	۳۲-۷، ۱۶-۷	۱۸-۸، ۱۲-۸، ۳۱-۸
سیستم تعلیق مغناطیسی	۲۷-۳	۳۸-۴	۱۸-۵	۳۳-۷	۲۰-۸، ۱۹-۸، ۳۳-۸، ۳۲-۸