



کنترل خط

مؤلف:

موسی آیتی

سرشناسه	: آیتی، موسی، ۱۳۶۳.
عنوان و نام پدیدآور	: کنترل خطی/مؤلف موسی آیتی؛ [با همکاری] مرکز خدمات آموزشی نصیر.
مشخصات نشر	: تهران: سازمان بسیج دانشجویی، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۳۲۲ص، : مصور، جدول، نمودار
شابک	: ۸-۸۶-۸۲۹۰-۹۶۴-۹۷۸.
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
موضوع	: سیستم‌های کنترل خطی - راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: سیستم‌های کنترل خطی - آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
موضوع	: سیستم‌های کنترل خطی - مسائل، تمرین‌ها و غیره (عالی)
موضوع	: دانشگاه‌ها و مدارس عالی - ایران - آزمون‌ها
شناسه افزوده	: سازمان بسیج دانشجویی
شناسه افزوده	: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. بسیج دانشجویی، مرکز خدمات آموزشی نصیر
رده‌بندی دیگری	: ۱۳۹۱ ک ۹ ۲۲۰/۱۹ TJ
رده‌بندی دیویی	: ۸۳۲
شماره کتابشناسی	: ۹۴۰۶

نام کتاب	: کنترل خطی
مؤلف	: موسی آیتی
ناشر	: سازمان بسیج دانشجویی با همکاری مرکز خدمات آموزشی نصیر
نوبت چاپ	: اول
سال و محل نشر	: تهران، ۱۳۹۱
مدیر تألیف	: علی مختاری
ناظر فنی چاپ	: علی مختاری
حروفچینی و صفحه‌آرایی	: الیاس مهدی‌پور
تیراژ	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۱۹۰۰۰ تومان
شابک	: ۸-۸۶-۸۲۹۰-۹۶۴-۹۷۸

* 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

«مرکز خدمات آموزشی نصیر» وابسته به بسیج دانشجویی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، اولین مرکز آموزشی در حیطه‌ی آمادگی آزمون‌های کارشناسی ارشد در کشور است که از شروع فعالیت‌های آن قریب به بیست سال می‌گذرد. این مرکز که در سال ۱۳۸۱ توسط دانشجویان بسیجی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی راه‌اندازی شد در طی این سال‌ها همواره در حال رشد، ترقی و تعالی بوده است و علاوه بر توسعه حیطه فعالیت‌ها و گسترش کمتی مخاطبان، کیفیت آموزش و سطح علمی آن همواره روند رو به رشدی داشته است. با توجه به این که این مرکز زیرمجموعه بسیج دانشجویی می‌باشد، اصلی‌ترین هدف خود را خدمت‌رسانی، عدالت آموزشی و ارتقاء علمی دانشجویان قرار داده است و از این جهت شاخص‌ترین مرکز آموزشی در میان مؤسسات مشابه است. این بیعت فراتر از یک ادعا می‌باشد؛ از این رو همواره به عنوان مرکزی خوش‌نام و موفق در میان اساتید و دانشجویان محترم مطرح بوده است. توجه چهار مسئولین کلیدی این مرکز خود نیز اغلب از دانشجویان دانشگاه‌های تهران هستند؛ بیشترین ارتباط را با دانشجویان مخاطب دارند. همواره از نظرات آنان استفاده می‌کنند. در زیر نکاتی برای آشنایی بیشتر شما مخاطب گرامی با این مرکز ذکر می‌شود:

(۱) استفاده از اساتید برجسته و طراز اول دانشگاه‌های تهران که به لحاظ علمی جزو سرآمدترین اساتید کشور می‌باشند؛ از اصلی‌ترین نقاط قوت این مرکز است. ایجاد ما این است که به این هدف مقدس و والا و این موفقیت هرگز نائل نمی‌شدیم مگر با مساعدت و تمهیدات همکاری استادفانه اساتید گران‌قدر که در این راه، تمامی پتانسیل و انگیزه‌ی خود را سرلوحه‌ی فعالیت‌های مرکز قرار داده‌اند.

(۲) رویکرد ما همواره افزایش سطح کیفی فعالیت‌ها در بین ارائه آن با کمترین هزینه می‌باشد که با تحقق آن هدف اصلی ما که خدمت‌رسانی و ارتقاء هرچه بیشتر علمی دانشجویان این مرکز و بوم در کنار عدالت آموزشی می‌باشد محقق می‌شود.

(۳) با توجه به برگزاری ۲۰ سال کلاس‌های آموزشی و ۱۰ سال آزمون‌های آزمایشی، تجربه‌ی گران‌بهایی اندوخته‌ایم که یکی از عوامل اصلی موفقیت روزافزون ما است. این تجربیات و سایر مؤسسات نیز در پاره‌ای از موارد از آن استفاده کرده و الگو گرفته‌اند، همواره مرکز خدمات آموزشی نصیر را به جایگاه پیشروترین مؤسسه آموزشی کارشناسی ارشد قرار داده است.

(۴) با توجه به اهداف مذکور هزینه خدمات ارائه شده کمترین مقدار را در میان مؤسسات مشابه دارا می‌باشد، که این اختلاف عمیق بعضاً باعث تعجب و ایجاد سؤال برای مخاطبانی که تازه با این مرکز آشنا شده‌اند ولی پس از آشنایی بیشتر با این مجموعه پاسخ سؤال خود را دریافت نموده‌اند.

با عطف به سابقه درخشان این مرکز در طی این سال‌ها و ضعف موجود در زمینه‌ی کتاب‌های کارشناسی ارشد به لحاظ کیفی، این مجموعه تصمیم 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 تدریج در اختیار علاقمندان قرار خواهد گرفت، مجموعه‌ای بی‌نظیر با رویکردی نوین و ویژگی‌های منحصر به فرد به‌طوری که داوطلبان بعد از مراجعه به آن نیازی به استفاده از منابع دیگر نخواهند داشت. نظر به همکاری دانشجویان و نخبگان گران‌قدری که با خود کوله‌باری از تجربه ارزشمند علمی و سطح دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی را دارند و رعایت بالاترین کیفیت در صفحه‌آرایی و چاپ، دانشجویان عزیز لذت واقعی یادگیری را خواهند چشید.

در پایان اجر معنوی فعالیت‌های این مرکز را به شهدای دفاع مقدس، این شمع‌های همیشه فروزان بشریت که با مقاومت مردانه خود حماسه‌ای جاوید آفریدند. تقدیم می‌کنیم.

فهرست مطالب

۱.....	فصل اول: مقدمه و تعاریف اولیه سیستم‌های کنترل
۵.....	فصل دوم: مدل سازی سیستم های فیزیکی
۵.....	۱-۲) مدل های معادله دیفرانسیل و انتگرالی
۷.....	۲-۲) مدل های توصیف شده با پاسخ ضربه
۷.....	۳-۲) مدل توصیف شده با پاسخ فرکانسی
۸.....	۴-۲) نمایش مدل با تابع تبدیل
۹.....	۵-۲) نمایش دیاگرام بلوکی
۱۳.....	۶-۲) توصیف مدل با معادلات فضای حالت
۲۰.....	۷-۲) ارتباط نمایش های حالت و نمایش تابع تبدیل
۲۱.....	۸-۲) خطی سازی
۲۳.....	۹-۲) سوالات چهار گزینه ای
۳۳.....	۱۰-۲) پاسخ سوالات چهار گزینه ای
۴۵.....	فصل سوم: ساده سازی دیاگرام بلوکی سیستم
۴۵.....	۱-۳) رسم دیاگرام بلوکی سیستم های فیزیکی
۴۹.....	۲-۳) ترکیبات اصلی دیاگرام های بلوکی
۵۰.....	۳-۳) ساده سازی دیاگرام های بلوکی
۵۵.....	۴-۳) نمودارهای گذر سیگنال
۵۸.....	۵-۳) فرمول بهره میسون
۶۱.....	۶-۳) سوالات چهار گزینه ای
۷۰.....	۷-۳) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه ای

۷۷	فصل چهارم: مشخصات حالت دایمی
۷۷	۴-۱) انواع سیگنال‌های تست
۷۸	۴-۲) پایداری
۸۰	۴-۳) خطای حالت دایمی
۸۱	۴-۳-۱) خطای حالت دایمی سیستم‌های حلقه باز
۸۲	۴-۳-۲) خطای حالت دایمی سیستم حلقه بسته با پسخور واحد
۸۷	۴-۳-۳) خطای حالت دایمی برای سیستم حلقه بسته با پسخور غیر واحد
۹۰	۴-۴) خطای حالت ماندگار به ورودی اغتشاش
۹۲	۴-۵) خطای حالت دایمی برای نمایش فضای حالت
۹۴	۴-۶) سوالات چهار گزینه‌ای
۱۰۱	۴-۷) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه‌ای
۱۱۱	فصل پنجم: محک پایداری راس-هرویتس
۱۱۲	۵-۱) محک راوث-هرویتس
۱۱۹	۵-۲) حالت‌های خاص جدول راوث-هرویتس
۱۲۸	۵-۳) سوالات چهار گزینه‌ای
۱۳۷	۵-۴) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه‌ای
۱۵۱	فصل ششم: مشخصات پاسخ گذرا
۱۵۱	۶-۱) مشخصات اصلی پاسخ گذرای سیستم
۱۵۳	۶-۲) پاسخ سیستم مرتبه اول
۱۵۴	۶-۳) پاسخ سیستم مرتبه دوم
۱۶۳	۶-۴) قطب غالب
۱۶۶	۶-۵) اثر اضافه کردن صفر به تابع تبدیل
۱۷۰	۶-۶) اثر اضافه کردن قطب به تابع تبدیل
۱۷۲	۶-۷) حساسیت سیستم کنترلی
۱۷۲	۶-۸) اثر پسخور بر رفتار سیستم
۱۷۶	۶-۹) رفتار گذرای سیستم در فضای حالت
۱۸۱	۶-۱۰) سوالات چهار گزینه‌ای
۱۸۸	۶-۱۱) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه‌ای

۱۹۷	فصل هفتم: مکان هندسی ریشه‌ها
۱۹۷	(۱-۷) مقدمه
۱۹۷	(۲-۷) روش مکان هندسی ریشه‌ها
۱۹۹	(۳-۷) الگوریتم رسم مکان هندسی ریشه‌ها
۲۱۱	(۴-۷) نکاتی در مورد رسم مکان هندسی ریشه‌ها
۲۱۸	(۵-۷) رسم نمودارهای مسیر ریشه
۲۲۰	(۶-۷) نمودار مکان هندسی سیستم تأخیری
۲۲۳	(۷-۷) سوالات چهار گزینه‌ای
۲۳۶	(۸-۷) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه‌ای
۲۵۱	فصل هشتم: نمودارهای نیکولز، قطبی و نیکولز
۲۵۱	(۱-۸) مقدمه
۲۵۱	(۲-۸) نمودار نایکویست
۲۵۳	(۳-۸) مراحل رسم نمودار نایکویست
۲۵۶	(۴-۸) نکات مربوط به نمودار نایکویست
۲۶۰	(۵-۸) نمودار نایکویست سیستم‌های تأخیری
۲۶۰	(۶-۸) نمودار قطبی
۲۶۳	(۷-۸) حاشیه فاز و حاشیه بهره
۲۶۵	(۸-۸) نمودار نیکولز
۲۷۰	(۹-۸) سوالات چهار گزینه‌ای
۲۸۵	(۱۰-۸) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه‌ای
۲۹۷	فصل نهم: نمودار بُود
۲۹۷	(۱-۹) مقدمه
۲۹۷	(۲-۹) محورهای مختصات در نمودار بُود
۲۹۹	(۳-۹) رسم نمودار بُود
۳۰۹	(۴-۹) حاشیه فاز و حاشیه بهره
۳۱۲	(۵-۹) نمودار بُود سیستم تأخیردار
۳۱۳	(۶-۹) سیستم‌های غیر حداقل فاز
۳۱۴	(۷-۹) سوالات چهار گزینه‌ای
۳۲۰	(۸-۹) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه‌ای

۳۲۳.....	فصل دهم: طراحی کنترل کننده برای سیستم LTI
۳۲۳.....	۱-۱۰ (۱) مقدمه
۳۲۴.....	۱۰-۲ (۲) انواع ساختارهای کنترل
۳۲۷.....	۱۰-۳ (۳) طراحی کنترل کننده
۳۲۸.....	۱۰-۳-۱ (۱-۳) کنترل کننده P
۳۲۹.....	۱۰-۳-۲ (۲-۳) کنترل کننده I
۳۲۹.....	۱۰-۳-۳ (۳-۳) کنترل کننده PI
۳۳۱.....	۱۰-۳-۴ (۴-۳) کنترل کننده D
۳۳۱.....	۱۰-۳-۵ (۵-۳) کنترل کننده PD
۳۳۲.....	۱۰-۳-۶ (۶-۳) کنترل کننده ID
۳۳۴.....	۱۰-۳-۷ (۷-۳) کنترل کننده پسخور
۳۳۵.....	۱۰-۳-۸ (۸-۳) کنترل کننده پسخور با فیلتر
۳۳۵.....	۱۰-۳-۹ (۹-۳) کنترل کننده پیش فیلتر
۳۳۷.....	۱۰-۳-۱۰ (۱۰-۳) کنترل کننده پس فیلتر
۳۴۱.....	۱۰-۴ (۴) کنترل کننده پسخور حالت
۳۴۲.....	۱۰-۵ (۵) قضایای مهم
۳۴۴.....	۱۰-۶ (۶) سوالات چهار گزینه‌ای
۳۵۰.....	۱۰-۷ (۷) پاسخ تشریحی سوالات چهار گزینه‌ای

www.ketabpoo.ir

کتاب کنترل خطی حاضر پوشش دهنده کلیه مباحثی است که در سر فصل‌های درس کنترل خطی مصوب وزارت علوم آورده شده است. همچنین این کتاب شامل تمامی موضوعاتی است که مورد توجه طراحان سوالات آزمون‌های کارشناسی ارشد دانشگاه‌ها می‌باشد.

سرفصل‌های کتاب که نتیجه تدریس و همکاری با مراکز آموزشی آزمون‌های کارشناسی ارشد و دانشگاه‌های مختلف کشور می‌باشند، با دقت انتخاب و با اولویت‌بندی مناسب جهت آموزش ارائه داده شده‌اند.

هر موضوع جدید با توضیحات مقدماتی و یک مثال ساده شروع شده، سپس توضیحات تفصیلی و مثال‌های پیشرفته‌تر و نکات بیش‌تر آورده شده‌اند. در انتهای هر فصل هم مجموعه‌ای گزینشی از سوالات آزمون‌های کارشناسی ارشد آورده شده‌اند که خواننده می‌تواند از آنها به عنوان محکی برای بررسی میزان یادگیری خود استفاده کند. البته سوالات انتهای فصل حاوی نکات، مطالب و راه‌حل‌های جدید برای حل مسائل می‌باشند.

کتاب شامل ۱۰ فصل، بیش از ۲۱ نکته اصلی، ۱۵۰ مثال در متن درس و ۲۵۰ تست در آخر هر فصل است. تمامی مثال‌ها و تست‌ها به صورت کاملاً تشریحی حل شده‌اند و همراه با نکات و راه‌حل‌های تستی فراوان هستند که جهت یادگیری روش‌های پاسخ سریع به سوالات آزمون کارشناسی ارشد مناسب است. علاوه بر این در سراسر متن از آوردن جملات، مثال‌ها و نکات تکراری خودداری شده و تقریباً هر پاراگراف از متن موضوعی جدیدی را بیان می‌کند. بنابراین در حین خواندن کتاب باید دقت کافی داشته باشید و سعی کنید بر نکات و موضوعاتی که فهمیده‌اید برایتان تکرار است تمرکز نموده، از مثال‌های بیش‌تری استفاده کنید.

با توجه به حجم گسترده مطالب آورده شده، این کتاب می‌تواند به عنوان جزوه درسی و تکمیل‌کننده مباحث درس کنترل خطی برای دانشجویان مهندسی برق، مهندسی پزشکی، مهندسی مکانیک و هسته‌ای و همچنین برای شرکت‌کنندگان در آزمون‌های کارشناسی ارشد استفاده شود.

در پایان لازم به ذکر است که نویسنده و مسئولین مؤسسه آموزشی در نگارش و ویرایش این کتاب نموده‌اند. با این حال همانند هر اثر دیگری این کتاب نیز مبرا از خطا و اشتباه نخواهد بود. خواهشمند است خوانندگان محترم پیشنهادها و اشکالات خود را با ایمیل «nasir1388@gmail.com» به اطلاع برسانند. مطمئناً این نظرات در تالیف کتاب حاضر کمک فراوانی خواهد نمود. با تشکر از توجه شما و با آرزوی موفقیت.

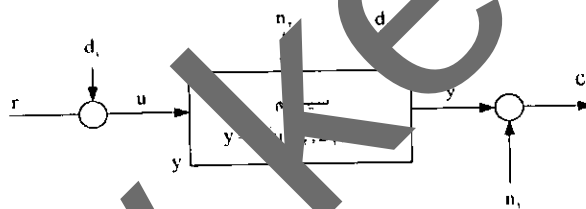
۱۳۹۰/۷/۵

سید موسی آیتی

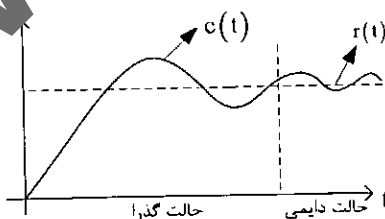
به هر مجموعه‌ای از اجزای مختلف که برای رسیدن به هدف خاصی کنار هم قرار داده شده‌اند، سیستم می‌گوییم. در طبیعت سیستم‌های مختلفی مانند سیستم آب و هوا، سیستم کنترل دمای بدن، سیستم حرکت سیارات و غیره وجود دارند، که به آنها سیستم‌های طبیعی می‌گوییم. بسیاری از سیستم‌ها هم ساخت بشر هستند مانند سیستم کنترل دمای اتاق، بازار بورس، سیستم کنترل ترافیک، سیستم ناوبری و هدایت یک هواپیما، سیستم کنترل دور موتور و غیره، که سیستم‌های مصنوعی نام دارند. سیستم‌های مختلف را با توجه به معیارهای متفاوت دسته‌بندی می‌کنند. برای مثال می‌توان دسته‌بندی‌های سیستم‌های گسسته و پیوسته، خطی و غیرخطی، سیستم‌های تغییرپذیر با زمان و تغییرناپذیر با زمان، سیستم‌های گسترده و فشرده، سیستم‌های قطعی و تصادفی و انواع دیگر دسته‌بندی‌ها را نام برد.

مطور کنترل سیستم این است که، با استفاده از تغییر پارامترهایی از سیستم و یا اعمال سیگنال‌ها و ورودی‌های خارجی به سیستم، رفتار سیستم را به سمت رفتار مطلوب حرکت دهیم.

به سیستم کلی حاصل از سیستم که قصد داریم آن را کنترل کنیم، تجهیزات کنترلی استفاده شده، و کنترل‌کننده استفاده شده سیستم کنترلی می‌گویند. اگر بخواهیم سیستم کنترلی یک هدف یا ورودی مرجع ثابت را دنبال کند، سیستم کنترلی را تنظیم‌کننده یا رگولاتور می‌گوییم. در صورتی که هدف ورودی مرجع تغییرپذیر با زمان باشد، سیستم کنترلی را ردیاب یا سرومکانیزم می‌نامیم. عموماً هدف از طراحی کنترل‌کننده در سیستم تنظیم‌کننده کاهش خطای حالت دایمی و حذف اثر اغتشاشات است. هدف اصلی در طراحی کنترل‌کننده در سیستم ردیاب، آوردن ردیابی مناسب سیگنال مرجع در حین حفظ پایداری سیستم است. برای یک سیستم ورودی‌های مختلفی را می‌توان در نظر گرفت که در محل بر آورده شده‌اند.



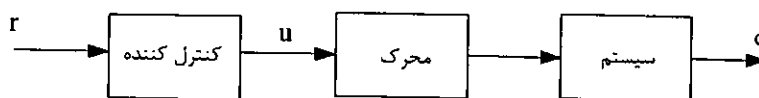
u ورودی کنترلی، r ورودی مرجع، n_1 و n_2 به ترتیب نویز خروجی و نویز سیستم هستند، d_1 و d_2 اغتشاش ورودی و اغتشاش سیستم نام دارند. خروجی سیستم یعنی c تابعی از تمامی ورودی‌ها، زمان و پارامترهای سیستم (P) است. از دیدگاه کنترلی، یک سیستم کنترلی ایده‌آل سیستمی است که در آن خروجی c ، ورودی مرجع r را دنبال کند.



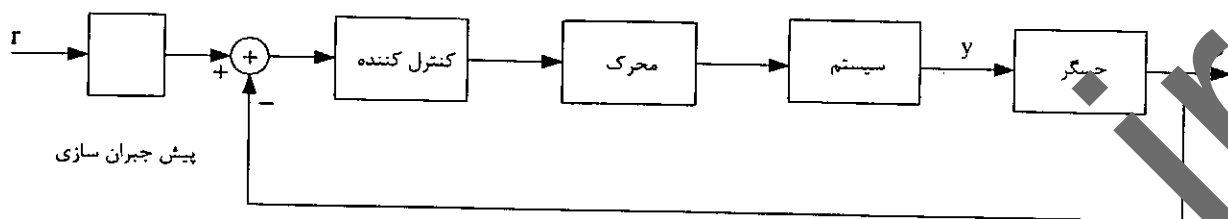
بنابراین باید اثر ورودی‌های مزاحم (نویز و اغتشاش)، اثر تغییر زمان، و اثر پارامترهای نامعین سیستم بر خروجی c کاهش داده شود و خروجی ورودی مرجع را به طور مناسب دنبال کند. به طور کلی سیستم کنترلی یکی از اهداف زیر را دنبال می‌کند:

- ۱- حذف اثر ورودی‌های مزاحم نویز و اغتشاش
- ۲- ردیابی و تنظیم خروجی به مقدار مرجع (مطلوب)
- ۳- به دست آوردن شرایط پاسخ‌گذاری مناسب در پاسخ
- ۴- به دست آوردن شرایط پاسخ حالت دایمی مناسب در پاسخ
- ۵- کاهش حساسیت خروجی به تغییر پارامترهای سیستم
- ۶- حفظ پایداری سیستم کنترلی

برای دستیابی به این اهداف، بعد از انتخاب ساختار کنترلی مناسب، کنترل‌کننده را طراحی کرده و یک سیستم کنترل کلی تشکیل می‌دهیم. دو ساختار اصلی برای سیستم کنترلی، ساختار حلقه باز و ساختار حلقه بسته هستند.



(ساختار حلقه باز)



(ساختار حلقه بسته)

محرک یا Actuator سیگنال‌های خروجی کنترل‌کننده را به ورودی‌های مناسب برای سیستم تبدیل می‌کند که به عنوان مثال دارای فرکانس و دامنه مناسب برای سیستم باشد. حسگر یا سنسور سعی می‌کند تعدادی از متغیرهای سیستم را اندازه بگیرد که کاربر بتواند با استفاده از آن‌ها سیستم را کنترل کند. بهتر است (باید) نوع و محل حسگرها و محرک‌ها به طور مناسب انتخاب شود تا سیستم کنترلی رویت‌پذیر و کنترل‌پذیر باشد.

برای تحلیل و کنترل یک سیستم کنترلی، روش‌های مختلفی وجود دارند که محدودیت‌ها و کاربردهای آن‌ها به تفصیل در فصل‌های آینده آورده شده است. کلیه روش‌های طراحی کنترل‌کننده برای هر سیستم دلخواه باید طی شود در دیاگرام بلوکی زیر آورده شده است. قابل ذکر است که فصل‌های کتاب هم بر اساس همین دیاگرام بلوکی تنظیم شده‌اند که مطالعه کتاب را آسان‌تر و پیوسته‌تر می‌کند.