



انتشارات نسیم آفتاب

انتشارات نسیم آفتاب

ناشر سری برق دانشمند خراسان

سیستم‌های کنترل خطی

(جلد دوم)



سری برق

سرشناسه	: رضوی، احسان
عنوان و نام پدیدآور	: سیستم‌های کنترل خطی / سیداحسان رضوی.
مشخصات نشر	: مشهد: نسیم آفتاب، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۲ ج: ۲۲×۲۹ س.م.
فروست	: سری برق
شابک	: ج. ۱: ۶-۰۹-۶۸۹۴-۶۰۰-۹۷۸، ج. ۲: ۲-۱۰-۶۸۹۴-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: سیستم‌های کنترل خطی - راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: سیستم‌های کنترل خطی - آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۱۳۲۰TJ ۹ س/ع
رده بندی دیویی	: ۶۲۹ ۱/۶۲۹ ۸۳۲۰۷۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۰۹۲۶۱۳

ناشر	: انتشارات نسیم آفتاب
عنوان کتاب	: سیستم‌های کنترل خطی (جلد دوم)
مدیر پروژه	: علی خسروی
مدیر تألیف	: عباس شفیعی
مدیر اجرایی	: مریم بقائی
گردآورنده	: مریم بقائی
مؤلف	: سید احسان رضوی
گروه ویراستاران	: مریم بقائی
ناظر فنی چاپ	: سید حسین شریعت مغانی
واژه‌نگار و صفحه‌آرا	: زهرا نوری دهنوی
گرافیک و طراح شکل	: عذرا عصمت ساعتلو، سیده زهرا تقی‌پور
طراح جلد	: عسل عسلیان
لیتوگرافی و چاپخانه	: گویا اسکتر، چاپ معین
شابک	: ۲-۱۰-۶۸۹۴-۶۰۰-۹۷۸
نوبت چاپ	: اول (۱۳۹۲)
شمارگان	: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت	: ۲۸۰۰۰ تومان

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری، تهیه CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی مدیر پروژه ممنوع است. مسئولان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به مدیر پروژه این اثر می‌باشد.

دفتر مرکزی سری برق: مشهد، بلوار احمدآباد، رضا، ۳، پلاک ۸۳

تلفن: ۰۵۱۱-۷۶۲۵۰۸۰ و ۰۹۳۰۷۷۶۵۰۸۰ - مدیر پروژه: ۰۹۱۵۴۴۰۹۷۰۰

انتشارات نسیم آفتاب: مشهد، خیابان دانشگاه، دانشگاه، ۲، پلاک ۱۱۰، طبقه اول تلفن: ۰۵۱۱-۲۲۵۷۴۳۰

مرکز پخش و توزیع کتاب انتشارات سیمای دانش: تهران، خیابان انقلاب، ابتدای ۱۲ فروردین، پلاک ۳۱۸

تلفن: ۰۲۱-۶۶۹۶۱۱۴-۱۵



• راجع به خدمات آموزشی موسسه سری برق بیشتر بدانیم

«برق در تخصص ماست...»

شکر و سپاس خداوند یکتا و بی همتایی را که توفیق عنایت فرمود پس از کوشش و ممارست فراوان، موفق به ارائه مجموعه‌ای به واقع بی نظیر در عرصه علوم دانشگاهی و در جهت ارتقاء سطح علمی دانشجویان و مهندسان برق گرامی شویم.

سخن اول... کتاب حای آمادگی آزمون کارشناسی ارشد

اولین گام سری برق در پهنه‌ی آموزش عالی کشور، تألیف کتاب‌های آمادگی آزمون کارشناسی ارشد در سطحی متمایز بود، سال‌هاست که همکاران عزیز ما در عرصه انتشار کتاب‌های دانشگاهی، خدمت به جوانان ایران زمین را سرلوحه کار خود قرار داده‌اند. چاپ و نشر کتاب همواره با مشکلات و سختی‌های فراوان مواجه بوده و تنها اراده‌ای مستحکم و عزمی جزم، آن را امکان‌پذیر می‌سازد.

موسسه سری برق با هدف ارائه شیوه‌های مدرن آموزشی و منطبق با تکنیک‌های به روز شده، بعنوان نخستین مجموعه‌ی تخصصی مهندسی برق در سال ۱۳۸۸ پا به عرصه‌ی آموزش نهاد و از سال ۱۳۹۰ فعالیت رسمی خود را جهت نیل به اهداف والای علمی و آموزشی آغاز نمود و به سرعت جهت تکمیل ارائه خدمات گام برداشته است. پایبندی به اصول اخلاقی و حرفه‌ای، شناخت صحیح از نیازهای مخاطبین و همکاری با اساتید برجسته از ویژگی‌های موسسه سری برق می‌باشد. از سوی دیگر، گروه آموزشی جوان و فعال موسسه سری برق، به‌عنوان یک قطب جدید و کاملاً موفق در مهندسی برق در سالیان اخیر مطرح شده‌اند.

اهداف بلند مدت و منسجم سری برق در زمینه نشر کتاب تخصصی مهندسی برق و همچنین فعالیت در کنکور کارشناسی ارشد، نوید بخش آینده‌ای درخشان و ایجاد فضای متفاوت برای مهندسان برق است. آنچه در این راستا برای ما پر اهمیت بود، نتیجه کار و حاصلی بود که در اختیار دانشجویان عزیز قرار می‌گرفت، که رضایت خاطر آن‌ها محل آرامش هر وجدان بیدار و متعهدی می‌باشد. دانشجویان ما لیاقت آن را دارند که با صرف کمترین زمان ممکن، بیشترین بهره را از مطالعه یک کتاب ببرند و می‌بایست کتابی کم‌نقص، پرمحتوا و شاید جذاب در کنار خود ببینند. در همین راستا یک سری کامل از کتاب‌های آزمون کارشناسی ارشد مهندسی برق توسط سری برق تقدیم گردید. در این مجموعه کتاب‌های دو جلدی ریاضیات مهندسی، تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، مدارهای الکتریکی، الکترونیک، الکترومغناطیس، سیستم‌های کنترل خطی، ماشین‌های الکتریکی و بررسی سیستم‌های قدرت، حاصل تلاش ما در دروس تخصصی مهندسی برق است.

از ویژگی‌های مجموعه کتاب‌های آزمون کارشناسی ارشد سری برق به موارد ذیل می‌توان اشاره نمود:

- شرح روان و کامل درس، بصورت منسجم و قوی جهت درک بهتر مطالب.
- ارائه نمودار درختی در ابتدای هر فصل از کتاب جهت اشراف کامل دانشجویان.
- ارائه روش‌های حل ابداعی و انحصاری در مباحث درسنامه و راه حل کوتاه مسائل گوناگون.
- ارائه تمرین‌های متنوع در متن درسنامه جهت تفهیم و تثبیت موضوع درسی در تمام فصول.
- ایجاد ایستگاه نکته و تست بصورت میکرو طبقه بندی شده (بانک تست کامل) در پایان هر فصل از کتاب.
- طبقه‌بندی کلیه سؤالات آزمون‌های کارشناسی ارشد مهندسی برق و رشته گرایش مرتبط با مهندسی برق.
- ارائه تست‌های تألیفی همراه با دیدگاه‌های جدید طراحان، با نام **پایه ۹۰** جهت دستیابی به تسلط بیشتر.



• راجع به خدمات آموزشی موسسه سری برق بیشتر بدانیم

« برق در تخصص ماست... »

نخن دوم... کلاس های آمادگی آزمون کارشناسی ارشد:

به دنبال استقبال فراوان دانشجویان و مهندسان عزیز از کتاب های سری برق و همکاری مجموعه با مولفان نام آشنا که به عنوان برترین اساتید کنکور کارشناسی ارشد در سال های اخیر مطرح هستند و نیز با توجه به تجربیات کسب شده توسط اعضای گروه آموزشی سری برق و همچنین نتایج درخشان دانشجویان اساتید سری برق در آزمون کارشناسی ارشد، امسال نیز این مجموعه قصد دارد تا با برگزاری کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد برق به اعتماد دانشجویان عزیز پاسخ درخور و شایسته ای دهد.

این کلاس ها در دو دوره تابستان (شروع کلاس ها در تیرماه) و پائیز (شروع کلاس ها در مهرماه) توسط اساتید سری برق که اکثر آنها طور انحصاری با مجموعه همکاری می کنند، ارائه می گردد. هدف مجموعه سری برق از برگزاری دوره های فوق، رساندن داوطلبان گرامی به سطح آمادگی مطلوب جهت شرکت در آزمون کارشناسی ارشد است. گروه آموزشی سری برق با برگزاری کلاس های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد، خدمات زیر را ارائه می نماید:

- برگزاری کلاس های کامل کنکور با حضور اساتید مولف و اصلی که شامل: تدریس کامل و جامع مطالب درسی مورد نیاز برای آزمون در هر درس، ارائه نکات کنکوری و راه حل های سریع جهت پاسخگویی به تست ها، حل تست های متنوع تالیفی و بررسی سوالات آزمون های کارشناسی ارشد سال های قبل است.
- برگزاری آزمون های کلاسی جهت حفظ آمادگی دانشجویان در طول دوره.
- برگزاری کلاس های حل تمرین در حین دوره و پس از دوره با حضور اساتید.
- برگزاری جلسات مشاوره و برنامه ریزی درسی توسط اساتید و مشاوران تحصیلی سری برق.
- برگزاری کلاس های جمع بندی، نکته و تست در پایان کلاس های دوره با حضور اساتید مولف.

نخن سوم... آزمون های آزمایشی کتوری سری برق

جهت آمادگی هرچه بیشتر داوطلبان گرامی و نیز شبیه سازی موقعیت و فضای کنکور کارشناسی ارشد، مجموعه سری برق اقدام به برنامه ریزی و برگزاری آزمون های آزمایشی کتوری نموده است. هدف اصلی از برگزاری این آزمون ها، تسلط و افزایش آمادگی برای آزمون اصلی، ایجاد انگیزه و اعتماد به نفس و نیز تقویت قدرت حافظه ی دانشجویان عزیز می باشد.

داوطلبان گرامی می توانند با مراجعه به وب سایت رسمی سری برق: www.seriebargh.com

از چگونگی ثبت نام، مراکز مجری برگزاری در هر شهر، سرفصل آزمون ها، منطق آزمون ها، تاریخ ها و خدمات جانبی مشاوره ای آزمون، اطلاعات کافی را بدست آورند.



• تنها راه ارتباطی سریع و مطمئن با سری برق، وب سایت رسمی این مجموعه می باشد

سری برق ضمن توجه به ارتقاء سطح کیفی کلاس ها، استفاده از اصول آموزش مدرن را سرلوحه فعالیت های خود قرار داده است و برای پیشبرد این هدف، قویترین سایت تخصصی و آموزشی مهندسی برق را ایجاد نموده تا مهندسان و دانشجویان گرامی در فضایی متفاوت، به شکلی بهتر بتوانند از مجموعه خدمات آموزشی این مؤسسه در عرصه های مختلف بهره گیرند.

آنچه در این سایت خواهید دید، فضایی کاملاً بویا و به روز، حاوی تمامی خدمات و اطلاع رسانی ها، پیرامون مجموعه سری برق می باشد، به عبارت دیگر مهندسان گرامی در هر نقطه ای از کشور می توانند با بهره گیری از دسترسی ها در سایت، به سهولت از خدمات مؤسسه استفاده نمایند.

• از جمله خدمات موجود در سایت سری برق می توان به برخی موارد در زیر اشاره نمود:

- ۱- PDF کتاب ها: PDF صفحات کتاب ها به صورت رایگان.
 - ۲- مشاوره تخصصی: ارائه مشاوره تخصصی توسط مشاورین بصورت آنلاین و آفلاین.
 - ۳- آخرین اخبار: درج آخرین اخبار مؤسسه در زمینه تازه های نشر، اخبار نمایشگاه های اختصاصی کتاب، همایش های سری برق و اطلاعیه مراکز ثبت نام کلاس های کنکور و آزمون های آزمایشی در شهرهای مختلف کشور مانند تهران، مشهد، اصفهان، شیراز، گرگان و ... همچنین انعکاس اطلاعیه های سازمان سنجش آموزش کشور در زمینه آزمون های کارشناسی ارشد و دکتری.
 - ۴- تالار گفتگو: جهت ارتباط بیشتر دانشجویان و اساتید با یکدیگر.
 - ۵- معرفی گرایش ها: آشنایی با تمامی گرایش های کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق.
 - ۶- فروشگاه اینترنتی: داوطلبان گرامی می توانند تمامی کتاب ها و محصولات سری برق و نیز دفترچه های کنکور و آزمون های آزمایشی را از فروشگاه سایت خریداری نمایند و در فاصله زمانی کمتر از ۷۲ ساعت در محل مورد نظرشان در هر نقطه از کشور تحویل بگیرند.
 - ۷- معرفی نماینده رسمی: نماینده رسمی سری برق در هر شهر یک صفحه اختصاصی وب، همراه با اطلاعات کامل دارا می باشد.
 - ۸- مراکز فروش کتاب: معرفی مراکز معتبر فروش و پخش کتاب به صورت عمده و تک فروشی در هر شهر.
 - ۹- نحوه ثبت نام: نحوه ثبت نام در کلاس های آمادگی آزمون و ثبت نام آزمون های آزمایشی کارشناسی ارشد سری برق.
 - ۱۰- کارنامه: کارنامه رتبه های برتر و دانشگاه محل قبولی آنها.
- مهندسان و دانشجویان گرامی می توانند با ورود به سایت سری برق از کلیه خدمات ارائه شده بصورت نامحدود استفاده نمایند. (عضویت در سایت سری برق بصورت رایگان می باشد.)
- آنچه بیان شد گوشه ای از دسترنج و زحمات بی کران گروهی می باشد که تنها هدفشان، همراهی شما عزیزان تا مقصود نهایی است.

این مجموعه تقدیم می شود به تمام دانشجویان و مهندسان برق در سراسر ایران عزیز

به یادمان حقیتم، به یادمان باشد
خانواده بزرگ سری برق



با توجه به پیشرفت روزافزون علم و دانش در کشور عزیزمان ایران و گرایش دانشجویان به تحصیلات تکمیلی به خصوص مقطع کارشناسی ارشد و همچنین رعایت این نکته که درس سیستم های کنترل خطی یکی از مهم ترین دروس آزمون کارشناسی ارشد مهندسی برق می باشد و با توجه به نیاز مبرم دانشجویان به منبعی جامع و کامل که آنها را در رسیدن به این هدف متعالی یاری کند، بر آن شدم که کتاب حاضر را تألیف نمایم.

این مجموعه فراهم کننده مجالی گرانبها، برای آشنایی و تسلط هر چه بیشتر دانشجویان مقطع کارشناسی مهندسی برق و داوطلبان آزمون کارشناسی ارشد مهندسی برق با درس سیستمهای کنترل خطی می باشد. کتاب حاضر مطابق با سرفصل سیستمهای کنترل خطی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری و در دو جلد تألیف گردیده است. این مجموعه، نتیجه سالها تجربه و تدریس اینجانب در دانشگاهها و موسسات آموزش عالی و همچنین کلاسهای آمادگی آزمون کارشناسی ارشد می باشد.

در هر فصل از کتاب، مطالب در چهار بخش گنجانده شده است :

۱- در ستاره هر فصل که شامل: الف) بیان تشریحی و تفهیم کامل مطالب که همانند یک کلاس درسی می باشد.

ب) ارائه مسائل های متنوعی که منتخب تست های اخیر آزمون کارشناسی ارشد است.

۲- نکات تستی انحصاری و روش های ابداعی که کمتر در مراجع و کتابهای موجود، پیدا خواهد شد و نتیجه سالها تحقیق، استنباط و تلاش بی وقفه اینجانب می باشد.

۳- تست های پایان هر فصل از کتاب که شامل کامل ترین بانک تست آزمون های سراسری و آزاد رشته های مهندسی برق، اتوماسیون و ابزار دقیق، هسته ای، مکانیک، مکترونیک و مهندسی پزشکی بوده و به دو روش تشریحی (جهت فهم و درک بهتر دانشجویان محترم) و تستی (جهت افزایش سرعت حل مسائل و ارائه روش های کنکوری) حل شده است و از این حیث مجموعه ای کم نظیر می باشد.

۴- بخش یک گام فراتر در هر فصل از کتاب آزمون خواهد بود برای آن دسته از دانشجویانی که هدفشان تسلط بیشتر بر فصل مربوطه و مباحث مطروحه در آن بخش از کتاب است. تست های تألیفی که یک گام فراتر از سوالات آزمون کارشناسی ارشد می باشند، با تکیه به مفاهیم اصلی درس و نکات درون فصل و همچنین دیدگاه های جدید طراحی سوالات آزمون کارشناسی ارشد تألیف گردیده است.

در پایان، بر خود لازم می دانم خدمت جناب آقای پروفیسور علی خاکی صدیق که هر چه آموختم مرهون زحمات بی شائبه این استاد فرهیخته و اندیشمند فرزانه است و جناب آقای پروفیسور رجب اصغریان قناد یزدی که با دقت نظر و ارائه راهنمایی های ارزشمند خویش در جهت بی نقص بودن این مجموعه گام برداشته اند مراتب قدردانی خود را اعلام دارم.

همچنین از مدیریت محترم انتشارات سری برق جناب آقای مهندس علی خسروی که با حمایت های بی دریغ خود اینجانب را در هر چه بهتر ارائه دادن این مجموعه یاری رسانده اند و نیز سرکارخانم مهندس مریم بقائی که زحمت ویراستاری کتاب را بر عهده داشته اند کمال تشکر و امتنان را دارم.

تألیف این کتاب و تمامی دستاوردهای ناچیز علمی اینجانب مرهون عنایت خاصه حضرت ولی عصر، مهدی موعود (عج) و لطف بیکران باب الحوائج، حضرت ابوالفضل العباس (ع) می باشد. توفیق روزافزون جوانان این مرز و بوم را از خداوند متعال مسئلت دارم.

سید احسان رضوی

عضو هیأت علمی گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی مشهد



سری برق



سری برق

فهرست

(سیستم های کنترل خطی جلد دوم)

فصل هشتم: طراحی و تحلیل سیستم های کنترل به روش مکان

هندسی ریشه ها

مقدمه

۱-۸- رسم ریشه های معادله مشتقه

۱-۱-۸- تحلیل مکان ریشه به ازای حالت های مختلف ω و ω_d و α

۲-۸- مراحل رسم مکان ریشه ها

۱-۲-۸- بیان تابع تبدیل حلقه باز به فرم استاندارد

۲-۲-۸- شرایط زاویه و فاز

۳-۲-۸- تعیین تعداد شاخه های مکان هندسی ریشه ها

۴-۲-۸- تعیین نقاط جزء مکان هندسی ریشه ها

۵-۲-۸- تعیین مجانب ها

۶-۲-۸- تعیین نقاط شکست

۷-۲-۸- محل برخورد مکان هندسی ریشه ها با محور موهومی

۸-۲-۸- تعیین زاویه ی ورود به صفرهای مختلط و زاویه ی خروج از

قطب های مختلط

۳-۸- قواعد رسم مکان ریشه ها برای فیدبک مثبت

۴-۸- مراحل رسم مکان هندسی ریشه ها برای سیستم های تاخیر دار

۵-۸- نمودار مسیر ریشه ها (کانتور ریشه ها)

۶-۸- مکان هندسی ریشه ها برای سیستم های ناسره

ایستگاه تخته و تسه فصل هشتم

پاسخ تسه های فصل هشتم

یک گام فراتر (تسه های تألیفی)

پاسخ یک گام فراتر (پاسخ تسه های تألیفی)

فصل نهم: تحلیل پایداری سیستم های کنترل به روش دیاگرام بود

مقدمه

۱-۹- پاسخ فرکانسی

۱-۱-۹- مزایای پاسخ فرکانسی

۲-۱-۹- تعیین پاسخ حالت دائمی سینوسی

۲-۹- تعاریف پایه ی دیاگرام بود

۱-۲-۹- تعریف واحدها

۲-۲-۹- فرم استاندارد تابع تبدیل حلقه باز برای رسم دیاگرام بود

۳-۹- عوامل مؤثر بر نمودار بود

۱-۳-۹- تأثیر بهره بر دیاگرام بود

۸۹	۲-۳-۹- تأثیر صفر در مبدأ
۹۰	۳-۳-۹- تأثیر قطب در مبدأ
۹۰	۴-۳-۹- تأثیر صفر مرتبه اول
۹۱	۵-۳-۹- تأثیر قطب مرتبه اول
۹۲	۶-۳-۹- تأثیر قطب مرتبه دوم
۹۴	۷-۳-۹- تأثیر صفر مرتبه دوم
۹۶	۴-۹- سیستم های مینیمم فاز و غیر مینیمم فاز
۹۷	۱-۴-۹- عامل های غیر مینیمم فاز
۹۷	۲-۴-۹- دیاگرام بود برای صفر غیر مینیمم فاز
۹۷	۳-۴-۹- دیاگرام بود برای قطب غیر مینیمم فاز
۹۹	۴-۴-۹- سیستم تأخیر دار
۹۹	۵-۹- فرکانس تشدید، قله ی تشدید و پهنای باند
۱۰۰	۶-۹- روش ترسیم دیاگرام بود
۱۰۲	۷-۹- ارتباط دیاگرام بود و خطای حالت ماندگار
۱۰۲	۱-۷-۹- سیستم نوع صفر
۱۰۲	۲-۷-۹- سیستم نوع یک
۱۰۳	۳-۷-۹- سیستم نوع دو
۱۰۴	۸-۹- تعیین تابع تبدیل سیستم از روی دیاگرام بود
۱۰۴	۱-۸-۹- قوانین بازسازی تابع تبدیل
۱۱۰	ایستگاه تخته و تسه فصل نهم
۱۲۶	پاسخ تسه های فصل نهم
۱۳۳	یک گام فراتر (تسه های تألیفی)
۱۳۸	پاسخ یک گام فراتر (پاسخ تسه های تألیفی)
	فصل دهم: تحلیل پایداری به روش دیاگرام قطبی (نایکوئیست)
۱۴۲	مقدمه
۱۴۳	۱-۱۰- تعریف نگاشت
۱۴۴	۱-۱۰-۱- نگاشت نقطه
۱۴۴	۱-۱۰-۲- نگاشت مسیر
۱۴۵	۲-۱۰- نمودار نایکوئیست (Nyquist)
۱۴۵	۳-۱۰- مراحل رسم منحنی نایکوئیست
۱۴۷	۴-۱۰- نمودارهای نایکوئیست سیستم های نوع صفر، یک و دو
۱۴۷	۱-۴-۱۰- نمودار نایکوئیست سیستم نوع صفر
۱۴۹	۲-۴-۱۰- نمودار نایکوئیست سیستم های نوع یک
۱۵۱	۳-۴-۱۰- نمودار نایکوئیست سیستم های نوع دو
۱۵۲	۵-۱۰- نمودار نایکوئیست سیستم های تأخیر دار
۱۵۳	۱-۵-۱۰- پایداری سیستم های دارای تاخیر زمانی
۱۵۳	۶-۱۰- قواعد کلی رسم نمودارهای نایکوئیست
۱۵۵	۷-۱۰- بررسی پایداری به کمک نمودار نایکوئیست
۱۵۸	۸-۱۰- سیستم های با پایداری مشروط
۱۵۹	۹-۱۰- سیستم های چند حلقه ای
۱۶۰	۱۰-۱۰- تحلیل پایداری نسبی با استفاده از نمودار نایکوئیست اصلاح شده
۱۶۲	ایستگاه تخته و تسه فصل دهم
۱۷۹	پاسخ تسه های فصل دهم

۲۷۰	۱۴-۱-۱- سیستم‌های الکتریکی	۱۹۰	یکه گام فراتر (تسه‌های تألیفی)
۲۷۰	۱۴-۲-۱- سیستم‌های مکانیکی	۱۹۴	پاسخ یک گام فراتر (پاسخ تسه‌های تألیفی)
۲۷۱	۱۴-۲-۲- مدار معادل الکتریکی سیستم‌های مکانیکی		فصل یازدهم: تحلیل پایداری تسیی سیستم‌های کنترل به کمک
۲۷۱	۱۴-۲-۱- مدار معادل جریان - نیرو		حاشیه بهره و حاشیه فاز
۲۷۲	۱۴-۲-۲- مدار معادل ولتاژ - نیرو	۱۹۸	مقدمه
۲۷۲	۱۴-۳- سیستم‌های سطح مایع	۱۹۸	۱-۱- تعاریف پایه
۲۷۴	۱۴-۴- سیستم‌های نیوماتیکی	۱۹۸	۱-۱-۱- پایداری نسبی
۲۷۵	۱۴-۵- سیستم‌های گرمایی	۱۹۸	۱-۱-۱-۱- فرکانس قطع بهره (ω_p)
۲۷۷	ایستگاه تخته و تسه فصل چهاردهم	۱۹۸	۱-۱-۱-۱- فرکانس قطع فاز (ω_p)
۲۸۰	پاسخ تسه‌های فصل چهاردهم	۱۹۹	۱-۱-۱-۱- حد بهره (حاشیه بهره - Gain Margin)
	فصل پانزدهم: طراحی کنترل کننده برای سیستم‌های کنترل در	۱۹۹	۱-۱-۱-۱- حد فاز (حاشیه فاز - Phase margin)
	حوزه زمان و حوزه فرکانس	۲۰۱	۱-۱-۱-۱- تعیین حد بهره و حد فاز
۲۸۴	مقدمه	۲۰۱	۱-۱-۱-۱- تعیین حد بهره و حد فاز به کمک منحنی نیکولز
۲۸۵	۱۵-۱-۱- پیش گفتار	۲۰۲	۱-۱-۱-۱- تعیین حد بهره و حد فاز به کمک منحنی نیکولز
۲۸۷	۱۵-۲- مشخصه‌های عملکرد	۲۰۵	۱-۱-۱-۱- تعیین حد بهره و حد فاز به کمک منحنی نیکولز
۲۸۸	۱۵-۳- انواع جبران سازهای سری	۲۰۵	۱-۱-۱-۱- ارتباط بین پاسخ زمانی و پاسخ فرکانسی سیستم‌های مرتبه دو
۲۸۸	۱۵-۳-۱- جبران ساز تناسبی (عمل کنترل تناسبی P)	۲۰۵	۱-۱-۱-۱- دامنه قله تشدید (M_p) و فرکانس تشدید (ω_p)
۲۸۸	۱۵-۳-۲- عمل کنترل انتگرالی (I)	۲۰۶	۱-۱-۱-۱- ارتباط بین پاسخ گذرای پله و پاسخ فرکانسی
۲۸۸	۱۵-۳-۳- عمل کنترل تناسبی - انتگرالی (PI)	۲۰۸	سیستم‌های مرتبه دوم
۲۸۹	۱۵-۳-۴- عمل کنترل تناسبی - مشتقی (PD)	۲۰۸	۱-۱-۱-۱- فرکانس قطع و پهنای باند
۲۸۹	۱۵-۳-۵- عمل کنترل تناسبی - انتگرالی - مشتقی (PID)	۲۱۰	ایستگاه تخته و تسه فصل یازدهم
۲۹۰	۱۵-۳-۶- عمل کنترل انتگرالی و مشتقی بر عملکرد سیستم	۲۱۲	پاسخ تسه‌های فصل یازدهم
۲۹۱	۱۵-۳-۷- جبران ساز پیش فاز		فصل دوازدهم: تحلیل پایداری سیستم‌های کنترل به کمک
۲۹۳	۱۵-۳-۸- جبران ساز پس فاز		نمودار دیاگرام دامنه بر حسب فاز (چارت نیکولز)
۲۹۶	۱۵-۴- طراحی جبران سازها با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها	۲۳۶	مقدمه
۲۹۶	۱۵-۴-۱- رهیافت مکان هندسی ریشه‌ها در طراحی سیستم کنترل	۲۳۶	۱-۱۲- پاسخ فرکانسی حلقه بسته سیستم‌های با فیدبک واحد
۲۹۷	۱۵-۴-۲- طراحی جبران سازهای پیش فاز با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها	۲۳۷	۱-۱۲- مکان‌های دامنه ثابت در صفحه $G(j\omega)$ (دایره‌های M - ثابت)
۳۰۱	۱۵-۴-۳- طراحی جبران سازهای پس فاز با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها	۲۳۸	۱-۱۲- مکان‌های فاز ثابت در صفحه $G(j\omega)$ (دایره‌های N - ثابت)
۳۰۳	۱۵-۴-۴- طراحی جبران سازهای پس فاز - پیش فاز با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها	۲۳۹	۱-۱۲-۴- نمودار لگاریتم دامنه بر حسب فاز (چارت نیکولز)
۳۰۷	۱۵-۵- طراحی جبران سازها با استفاده از پاسخ فرکانسی	۲۴۲	۱-۱۲-۵- پاسخ فرکانسی حلقه بسته برای سیستم‌های با فیدبک غیر واحد
۳۰۷	۱۵-۵-۱- طراحی جبران ساز پیش فاز با استفاده از پاسخ فرکانسی	۲۴۳	۱-۱۲-۶- تنظیم بهره
۳۱۰	۱۵-۵-۲- طراحی جبران ساز پس فاز با استفاده از پاسخ فرکانسی	۲۴۵	ایستگاه تخته و تسه فصل دوازدهم
۳۱۳	۱۵-۵-۳- طراحی جبران سازهای پس فاز - پیش فاز با استفاده از پاسخ فرکانسی	۲۴۸	پاسخ تسه‌های فصل دوازدهم
۳۱۷	پاسخ فرکانسی	۲۵۰	یکه گام فراتر (تسه‌های تألیفی فصل‌های یازدهم و دوازدهم)
۳۳۰	ایستگاه تخته و تسه فصل پانزدهم	۲۵۳	پاسخ یک گام فراتر (پاسخ تسه‌های تألیفی)
	پاسخ تسه‌های فصل پانزدهم		فصل سیزدهم: بررسی حساسیت سیستم‌های کنترل
۳۴۱	یکه گام فراتر (تسه‌های تألیفی فصل‌های سیزدهم، چهاردهم و پانزدهم)	۲۵۶	مقدمه
۳۴۴	پاسخ یک گام فراتر (پاسخ تسه‌های تألیفی)	۲۵۶	۱-۱۳- مفهوم حساسیت
۳۴۸	واژه نامه (فارسی به انگلیسی)	۲۵۷	۱-۱۳-۲- تحلیل فرکانسی حساسیت تابع تبدیل
۳۵۲	فهرست منابع و مآخذ	۲۵۹	ایستگاه تخته و تسه فصل سیزدهم
		۲۶۴	پاسخ تسه‌های فصل سیزدهم
			فصل چهاردهم: مدل‌سازی ریاضی سیستم‌های دینامیکی
		۲۷۰	مقدمه
		۲۷۰	۱-۱۴- مدل‌سازی سیستم‌های دینامیکی