

۱۳۹۶۳۸۷

مبانی طراحی مدارهای الکترونیکی

الکترونیک ۳

دکتر محمدحسن شاهین

دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد

نیاز دانش

سرشناسه	: نشاطی، محمدحسن، ۱۳۳۸
عنوان و نام پدیدآور	: الکترونیک ۳ / محمدحسن نشاطی.
مشخصات نشر	: تهران: نیاز دانش ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۵۳۶ ص.: مصور، جدول، نمودار (بخشی رنگی) + یک لوح فشرده.
شابک	: 978-600-7724-52-1
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: بالای عنوان: مبانی طراحی مدارهای الکترونیکی.
یادداشت	: کتابنامه.
یادداشت	: واژه نامه.
عنوان دیگر	: مبانی طراحی مدارهای الکترونیکی.
موضوع	: مدارهای الکترونیکی -- طراحی
موضوع	: مدارهای الکترونیکی
موضوع	: مدارهای الکترونیکی راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: مدارهای الکترونیکی مسائل، تمرین‌ها و غیره(عالی)
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ت ۳ ن/TK۷۸۶۷
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۸۱۵۹
شماره کتابشناسی	: ۴۰۱۲۱۱



نام کتاب : مبانی طراحی مدارهای الکترونیکی

الکترونیک ۳

مؤلف : دکتر محمد حسن نشاطی (دانشیار، دانشیار، ردوسی مشهد)

آماده‌سازی تشریح مسائل و : مهندس محمد محسن نشاطی

CD همراه کتاب

مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ : حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس

ناشر : نیاز دانش

صفحه‌آرا : واحد تولید انتشارات نیازدانش

نوبت چاپ : اول - ۱۳۹۵

شمارگان : ۱۰۰۰ نسخه

قیمت : ۲۵۰۰۰۰ ریال همراه با CD

ISBN:978-600-7724-52-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۷۲۴-۵۲-۱

هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری و تهیه‌ی CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است، متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

کلیه حقوق این اثر برای ناشر محفوظ است.

تماس با انتشارات: ۰۹۱۲۷۰۷۳۹۳۵-۰۶۶۴۷۸۱۰۸-۰۶۶۴۷۸۱۰۶-۰۲۱

www.Niaze-Danesh.com

مشاوره جهت نشر: ۰۲۱۰۶۷۰۹-۰۹۱۲

پیشگفتار مؤلف

عناصر نیمه‌هادی اساس طراحی و ساخت مدارهای مجتمع و فناوری مدرن الکترونیک هستند. مطالعه، شناخت مشخصات و همچنین کاربرد این عناصر خصوصاً ترانزیستورها بخش مهمی از برنامه درسی دانشجویان دوره کارشناسی مهندسی برق است که عمدتاً در درس‌های الکترونیک ۱ و ۲ بحث و بررسی می‌شوند. هم‌چنین رفتار عناصر فعال در فرکانس‌های بالا و بررسی پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌ها از مباحث مهم در طراحی و ساخت این مدارها است. هم‌چنین روش‌های بایاس در مدارهای مجتمع و شناخت مدل داخلی تقویت‌کننده‌ها از سایر مباحث مهم در طرح تقویت‌کننده‌ها در مدارهای مجتمع است. کمبود مرجع جامع در مورد خصوصیات و مشخصات ترانزیستورها در فرکانس‌های بالا و بررسی پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌ها، موجب شد تا بر آن داشت که مطالب مورد نیاز در درس الکترونیک ۳ دوره کارشناسی مهندسی الکترونیک و مخابرات را با بهره‌گیری از جدیدترین روش‌ها و مراجع علمی و با تکیه بر تجربیات تدریس خود، عرضه نماید.

این کتاب بر اساس سرفصل‌های تنظیم یافته در شورای عالی برنامه‌ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری برای تدریس در یک نیمسال تحصیلی و در دو بخش مجزا تدوین یافته است. در بخش اول محاسبات فرکانس بالای تقویت‌کننده‌ها و با اهداف زیر تنظیم شده است.

- ارائه مدل‌ها و مدارهای معادل مختلف انواع ترانزیستور در فرکانس‌های بالا
- معرفی روش‌های بررسی پاسخ فرکانس و طراحی تقویت‌کننده‌ها
- ارائه اصول تقویت‌کننده‌های فیدبک و طراحی تقویت‌کننده‌های فیدبک پهن‌بند
- بررسی ایجاد نوسان و معرفی نوسان‌سازهای سینوسی

بخش دوم کتاب با هدف آشنایی با اصول طراحی مدارهای مجتمع و تقویت‌کننده‌های عملیاتی، شامل مباحث زیر است.

- روش‌های بایاس مدارهای مجتمع

- تقویت‌کننده با بار فعال
- ساختمان داخلی تقویت‌کننده‌های عملیاتی

هر فصل از کتاب حاوی مسائل حل شده زیادی است که به جهت آشنایی خوانندگان با مفاهیم ارائه شده متن، در نظر گرفته شده است. همچنین بخشی از مسائل مهم که در آزمون‌های کارشناسی ارشد سال‌های اخیر مطرح شده به صورت موضوعی نیز در انتهای هر فصل حل شده تا دانشجویان با نکات خاص و روش حل این آزمون‌ها آشنایی پیدا نمایند. حل کلیه مسائل کتاب نیز همراه با پیوست‌های لازم در لوح فشرده به همراه کتاب تهیه و عرضه شده است. امید است این اثر ناچیز مورد رضای حق تعالی و مورد استفاده دانشجویان و دانش‌پژوهان قرار گیرد. از مسئولین انتشارات نیاز دانش آقایان شمس و شیرازی که مقدمات چاپ کتاب را فراهم نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌کنم. از سرکار خانم رفیعی به جهت صفحه‌آرایی این اثر سپاسگزاری می‌نم.

در فصل اول، رهای معادل عناصر فرکانس بالا ارائه می‌شود. برای عناصر دوقطبی مدار معادل هابیرید pi که اولین بار توسط گیالکت (Giallari) ارائه شده، معرفی می‌شود. این مدار بر اساس واقعیت‌های فیزیکی که در داخل ترانزیستور اتفاق می‌افتد، استوار است. همچنین رابطه عناصر مدار معادل با پارامترهای مدار هابیرید h استخراج شده و خازن‌های مدار هابیرید pi به دقت بررسی می‌شوند. علاوه بر آن مدار معادل ترانزیستورهای اثر میدان و انواع مختلف آن مطرح و تائید می‌شوند. مدار معادل عناصر فعال که در نرم‌افزار Spice استفاده می‌شود مطرح و روش استخراج مدار معادل با استفاده از کتاب‌های اطلاعاتی نیز ارائه خواهد شد.

فصل دوم کتاب در مورد پاسخ فرکانس این تقویت‌کننده‌ها و تعیین فرکانس قطع پایین یک مدار است. مهم‌تر از آن طراحی خازن‌های تزویج و کنارگذر در این فصل به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در مورد مدارهای ساده شامل یک خازن تعیین تابع انتقال و محاسبه دقیق فرکانس قطع پایین مطرح خواهد شد. در مدارهای پیچیده‌تر شامل دو یا تعدادی بیشتر خازن، تعیین تابع انتقال و محاسبه فرکانس قطع با دشواری‌هایی همراه است. در این موارد و خصوصاً در طرح خازن‌های مدار ساده‌تر است که از روش ثابت زمانی اتصال کوتاه استفاده شود. این روش معرفی و مثال‌های متعددی جهت محاسبه خازن‌ها ارائه می‌شود.

در فصل سوم پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های چند طبقه مطرح می‌شود. در این فصل با توجه به افزایش تعداد خازن‌ها، محاسبات تابع انتقال به روش معمول کار ساده‌ای نیست. حتی چندوجه تابع انتقال به دست آید، حل معادله مشخصه و تعیین قطب‌ها و صفرهای کار ساده‌ای نیست. بررسی پاسخ فرکانس این تقویت‌کننده‌ها و محاسبه فرکانس قطع بالا مبتنی بر محاسبات ثابت زمانی اتصال باز است. این روش برای تعدادی از تقویت‌کننده‌های چندطبقه بررسی و نشان داده می‌شود که با محاسبات ساده و با تقریب مناسب، پاسخ فرکانس مدار مشخص می‌شود. همچنین روش ثابت زمانی اتصال کوتاه برای محاسبات فرکانس پایین معرفی می‌شود.

بهره یک تقویت‌کننده در اثر تغییرات پارامترهای عناصر فعال با عواملی مانند درجه حرارت و نقطه‌ی کار دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای است. برای کاهش این تغییرات و کاهش حساسیت تقویت‌کننده به پارامترهای ترانزیستور، از فیدبک منفی استفاده می‌شود. در تقویت‌کننده‌های فیدبک بخشی از سیگنال خروجی به ورودی برگشت شده و از منبع ورودی کم می‌شود. اگرچه این کار باعث کاهش بهره مدار خواهد شد؛ اما عدم حساسیت به تغییرات مهم‌ترین مزیتی است که استفاده از فیدبک به همراه دارد. در مورد اهمیت استفاده از فیدبک باید گفت امروزه مدار الکترونیکی که در آن به نحوی از فیدبک استفاده نشده باشد، قابل تصور نیست. علاوه بر آن امروزه کاربرد فیدبک در سایر رشته‌های مهندسی و غیر مهندسی تعمیم یافته و متداول شده است.

فصل سوم کتاب در مورد فیدبک و انواع آن در تقویت‌کننده‌ها است. ابتدا اصول اساسی و طرح‌واره مدارهای فیدبک ارائه و مزایا و معایب آن معرفی می‌شود. سپس انواع تقویت‌کننده مطرح و فیدبک‌های مختلفی که می‌توان در هر مورد بکار برد ارائه و محاسبات بهره مدار با فیدبک بررسی خواهد شد. هم‌چنین نشان داده می‌شود استفاده از فیدبک باعث تغییرات مهمی در مقاومت ورودی و خروجی می‌شود.

علیرغم مزایای مناسب و مهمی که با فیدبک در تقویت‌کننده‌ها به دست می‌آید، دو اشکال مهم و اساسی در تقویت‌کننده‌ها، کاهش بهره و مسئله ناپایداری است. کاهش بهره را می‌توان با افزایش تعداد طبقات مدار برای دست‌یابی به بهره مورد نظر جبران کرد؛ اما پاسخ فرکانس عناصر فعال در فرکانس‌های بالا باعث می‌شود، فیدبک به کار رفته در بعضی از فرکانس‌ها به فیدبک مثبت تبدیل شود. این وضعیت باعث ناپایداری و ایجاد نوسان در تقویت‌کننده می‌شود؛ به طوریکه بدون اعمال سیگنال ورودی، مدار دارای خروجی در فرکانسی مشخص و دامنه قابل ملاحظه خواهد بود. اصطلاحاً گفته می‌شود تقویت‌کننده به نوسان‌ساز تبدیل شده است. فصل پنجم در مورد پایداری تقویت‌کننده‌های فیدبک و روش‌های بررسی آن با استفاده از مکان هندسی ریشه‌های تقویت‌کننده فیدبک در صفحه مختلط s با تغییر ضریب فیدبک است. به ازای مقداری خاص از فیدبک که حداکثر فیدبک قابل اعمال به مدار است، مکان هندسی قطب‌ها محور موهومی را قطع می‌کند. این نقطه مرز ناپایداری نام دارد. لذا، برای تریت‌کننده‌های فیدبک را با استفاده از مفاهیم حاشیه فاز و حاشیه بهره می‌توان در میدان فرکانس بررسی کرد که در ادامه فصل پنجم ارائه می‌شود.

در فصل ششم، روش‌های مختلف جبران تقویت‌کننده‌های فیدبک با استفاده از مکان هندسی قطب‌ها بررسی و معرفی می‌شوند. ابتدا توابع انتقالی که دارای پاسخ مرکب نسبت هستند، توابع انتقال باتروث، معرفی و معیارهای طرح تقویت‌کننده برای به دست آوردن بهترین پهنای باند تحت استخراج می‌شوند. اصلاح مدار فیدبک، اصلاح تقویت‌کننده و اصلاح همزمان دو مدار فیدبک و تقویت‌کننده اصلی مهم‌ترین روش‌های جبران تقویت‌کننده با استفاده از مکان هندسی قطب‌ها است.

فصل هفتم کتاب در مورد جبران پاسخ فرکانس تقویت‌کننده در حوزه فرکانس است. این روش با استفاده از اندازه‌گیری پاسخ فرکانس تقویت‌کننده اصلی انجام می‌شود. جبران با فیدبک به روشی، جبران‌کننده پیش فاز و جبران قطب مؤثر، مهم‌ترین روش‌های جبران تقویت‌کننده‌ها در میدان فرکانس است. در مقایسه با روش مکان هندسی قطب‌ها باید گفت، اگرچه جبران در میدان فرکانس از دقت کافی برخوردار نیست؛ اما محاسبات آن به سادگی قابل انجام است. در روش مکان هندسی قطب‌ها لازم است محل قطب‌های تریت‌کننده اصلی مشخص باشند؛ اما تعیین آن‌ها خصوصاً برای تقویت‌کننده‌های چندطبقه کار ساده‌ای نیست. درحالی‌که پاسخ فرکانس تقویت‌کننده قابل اندازه‌گیری است.

فصل هشتم کتاب در مورد نوسان‌سازهای سینوسی است. نوسان‌ساز مداری است که بدون سیگنال ورودی، دارای خروجی است. با استفاده از مطالب فصل پنجم در مورد ناپایداری تقویت‌کننده‌ها، می‌توان شرایط ایجاد نوسان در یک نوسان‌ساز را بررسی کرد. در این فصل مدارهای مختلف نوسان‌ساز با استفاده از تقویت‌کننده‌های عملیاتی و نوسان‌سازهای LC که در فرکانس‌های بالا کاربرد دارند، معرفی و بررسی می‌شوند.

بخش دوم کتاب با فصل نهم در مورد روش‌های بایاس مدارهای مجتمع آغاز می‌شود. ساخت مقاومت و خازن بزرگ در مدارهای مجتمع عملی نیست و فضای زیادی از تراشه را اشغال می‌کند. بر این اساس لازم است نکات خاصی را در نظر گرفت که در این فصل بررسی می‌شوند. منابع جریان با عناصر دوقطبی و با عناصر مختلف FET بررسی و مشخصات مهم و کاربرد آن‌ها در شرایط خاص ارائه می‌شود.

تقویت‌کننده‌های معمولی مانند تقویت‌کننده آمپتر مشترک با بار اهمی، بهره کمی دارند. با استفاده از منابع جریان به‌عنوان بار تقویت‌کننده، می‌توان تقویت‌کننده‌ای با بار فعال به‌دست آورد که بهره زیادی را تأمین می‌کند. بحث فصل دهم کتاب در مورد این نوع تقویت‌کننده‌ها است. طبقه تقاضایی با استفاده از عناصر BJT و FET از سایر بخش‌های مهم این فصل است.

آخرین فصل کتاب در مورد ساختمان داخلی تقویت‌کننده‌های عملیاتی و معرفی نسل‌های مختلف آن‌ها است. در نسل اول این مدارها از تقویت‌کننده با بار اهمی استفاده شده است که بهره کم و مقاومت ورودی کمی دارند. با استفاده از تقویت‌کننده با بار فعال تا حد زیادی این مشکلات حل شده و تقویت‌کننده‌ای با بهره زیاد و مقاومت ورودی بزرگ طراحی و ساخته شده‌اند. مهم‌ترین نمونه این نسل از تقویت‌کننده‌های عملیاتی، مدار ۷۴۱ است که مدار داخلی آن به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مشخصات آن محاسبه می‌شود. در تقویت‌کننده‌های عملیاتی نسل سوم با ترکیب عناصر BJT و FET از مشخصات خوب این عناصر استفاده شده و مدارهای مجتمع با مشخصات مناسبی طراحی شده‌اند که در ادامه بحث تعدادی از این مدارها معرفی می‌شوند. همچنین معرفی تعدادی تقویت‌کننده عملیاتی پیشرفته، از سایر مطالب این فصل است.

این کتاب بر اساس جرات دلی تهیه شده برای دانشجویان دوره کارشناسی مهندسی برق دانشگاه‌های سیستان و بلوچستان و سایر مراکز آموزش عالی است. لازم است مراتب تشکر و قدردانی خود را از دانشجویان این دانشگاه‌ها که با طریقه سؤالات و حل مسائل در بهبود کیفیت کتاب نقش بسزایی داشته‌اند، ابراز دارم. از آقای مهندس علی شهرکی مقدم به جهت حل مسائل با نرم‌افزار Spice و سرکار خانم‌ها مهندس لاله مهماندوست و مهندس شعله یاسینی که از تهیه و رسم شکل‌ها همکاری داشته‌اند تشکر می‌کنم. از فرزندم مهندس محمدمحسن نشاطی که در نمونه‌سازی، رفع اشکالات تایپی، جمع‌آوری حل مسائل و تدوین لوح فشرده حل مسائل تلاش مجدانه‌ای داشته است، تشکر و قدردانی می‌کنم. از همسر و فرزندم الهه به جهت صبر و شکیبایی در طول تهیه این اثر سپاسگزارم.

محمد حسن نشاطی

مشهد فقه - دانشگاه فردوسی مشهد

فهرست مطالب

فصل ۱ مدار معادل عناصر فعال در فرکانس‌های بالا	۱۱
مقدمه	۱۱
۱-۱ مدار معادل هایپر پیرا π ترانزیستورهای دوقطبی	۱۱
۱-۱-۱ تفسیر عناصر مدار معادل هایپر پیرا π	۱۲
۲-۱-۱ محاسبه عناصر مدار معادل هایپر پیرا π	۱۳
۳-۱-۱ خازن‌های مدار معادل هایپر پیرا π	۱۸
۴-۱-۱ تغییرات عناصر هایپر پیرا π	۱۹
۵-۱-۱ مدار معادل ساده شده هایپر پیرا π	۲۵
۲-۱ پاسخ فرکانس ترانزیستورهای BJT	۲۱
۱-۲-۱ بهره جریان ترانزیستور در فرکانس‌های بالا	۲۱
فصل ۲ پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های یک طبقه	۳۹
مقدمه	۳۹
۱-۲ مشخصات تقویت‌کننده‌ها	۳۹
۱-۱-۲ طبقه‌بندی تقویت‌کننده‌ها	۳۹
۲-۱-۲ اعوجاج در تقویت‌کننده‌ها	۴۵
۳-۱-۲ تقسیم‌بندی باند فرکانسی تقویت‌کننده‌ها	۴۲
۴-۱-۲ مدار معادل تقویت‌کننده در باندهای مختلف	۴۲
فرکانسی	۴۲
۵-۱-۲ پاسخ سیگنال پله تقویت‌کننده‌ها	۴۴
۶-۱-۲ پاسخ سیگنال مربعی تقویت‌کننده‌ها	۴۶
۷-۱-۲ آزمایش تقویت‌کننده با سیگنال مربعی	۴۶
فصل ۳ پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های چند طبقه	۸۳
مقدمه	۸۳
۱-۳ تابع انتقال تقویت‌کننده چندطبقه	۸۳
۱-۱-۳ تابع انتقال فرکانس پایین	۸۴
۲-۱-۳ تابع انتقال فرکانس بالا	۸۴
۳-۱-۳ تعداد قطب‌ها و صفراهای تابع انتقال	۸۴
۲-۳ تقریب‌های محاسبه فرکانس قطع	۸۵
۱-۲-۳ تقریب قطب مؤثر فرکانس قطع بالا	۸۵
۲-۲-۳ تقریب فرکانس قطع بالا به روش ثابت زمانی	۸۷
اتصال باز	۸۷
۳-۲-۳ تقریب فرکانس قطع پایین به روش ثابت زمانی	۸۸
اتصال کوتاه	۸۸
۳-۳ تقویت‌کننده دوطبقه سری امیتر مشترک	۸۸

۳-۵ تقویت کننده دوطبقه سری کلکتور مشترک و	۳-۴ تقویت کننده کاسکود..... ۹۳
۱۲۳ بیس مشترک.....	۳-۴-۱ بهره باند میانی..... ۹۳
۳-۷ طراحی کامل تقویت کننده ها..... ۱۲۴	۳-۴-۲ محاسبه فرکانس قطع بالا..... ۹۵
۳-۸ طرح تقویت کننده با بهره حداقل ۷۰۰۰ و پهنای باند	۳-۴-۳ محاسبات مدار بایاس تقویت کننده کاسکود..... ۱۰۰
۱۳۲ ۳ MHz.....	۳-۴-۴ انتخاب خازن های تزویج و کنارگذر مدار
۳-۹ انتخاب خازن های کنارگذر..... ۱۳۹	کاسکود..... ۱۰۲
۳-۱۰ رابطه فرکانس قطع و ضرایب معادله مشخصه..... ۱۴۲	۳-۵ تقویت کننده سری کلکتور مشترک- امپتر مشترک..... ۱۰۷
۳-۱۰-۱ فرکانس قطع بالا و ضرایب معادله مشخصه..... ۱۴۲	۳-۶ تقویت کننده تفاضلی..... ۱۱۲
۳-۱۰-۲ روش ثابت زمانی مدار باز برای محاسبه ی	۳-۶-۱ طبقه دیفرانسیل با ورودی متقارن..... ۱۱۳
فرکانس قطع بالا..... ۱۴۳	۳-۶-۲ طبقه دیفرانسیل با ورودی نامتقارن..... ۱۱۴
۳-۱۰-۳ روش ثابت زمانی اتصال کوتاه برای محاسبه ی	۳-۶-۳ اثر مقاومت امپتر در تقویت کننده تفاضلی..... ۱۱۶
فرکانس قطع پایین..... ۱۴۷	۳-۶-۴ پاسخ فرکانس ضریب حذف سیگنال وجه
۳-۱۱ مسائل فصل سوم..... ۱۴۸	مشترک..... ۱۱۹

فصل ۴ تقویت کننده های فیدبک در امد میانی

۱۶۳	مقدمه..... ۱۶۳
۴-۲-۲ تقویت کننده جریان..... ۱۷۰	۴-۱ مفاهیم اساسی فیدبک..... ۱۶۰
۴-۲-۳ تقویت کننده هدایت انتقالی..... ۱۷۱	۴-۱-۱ ساختار تقویت کننده های فیدبک..... ۱۶۴
۴-۲-۴ تقویت کننده مقاومت انتقالی..... ۱۷۲	۴-۱-۲ عدم حساسیت..... ۱۶۵
۴-۲-۴ بررسی دقیق تقویت کننده های فیدبک..... ۱۷۲	۴-۱-۳ کاهش بهره..... ۱۶۶
۴-۳-۲ بررسی دقیق فیدبک ولتاژ- موازی..... ۱۷۳	۴-۱-۴ افزایش پهنای باند..... ۱۶۶
۴-۳-۴ بررسی دقیق فیدبک جریان- سری..... ۱۸۱	۴-۱-۵ تغییرات امپدانس ورودی و خروجی..... ۱۶۷
۴-۳-۴ بررسی دقیق فیدبک ولتاژ- سری..... ۱۸۶	۴-۱-۶ سایر مزایای فیدبک..... ۱۶۷
۴-۴ طراحی تقویت کننده های فیدبک در باند میانی..... ۱۹۱	۴-۱-۷ ناپایداری در تقویت کننده فیدبک..... ۱۶۷
۴-۴ مسائل فصل ۴..... ۱۹۸	۴-۲ انواع تقویت کننده ها و فیدبک..... ۱۶۸
	۴-۲-۱ تقویت کننده ولتاژ و فیدبک ولتاژ سری..... ۱۶۸

فصل ۵ ناپایداری تقویت کننده های فیدبک

۲۱۱	مقدمه..... ۲۱۱
۲۲۴ ۳-۵ بررسی ناپایداری در میدان فرکانس.....	۵-۱ ناپایداری تقویت کننده های فیدبک..... ۲۱۱
۲۲۷ ۴-۵ معیارهای پایداری در میدان فرکانس.....	۵-۱-۱ تقویت کننده اصلی با یک قطب..... ۲۱۲
۲۲۷ ۴-۵ حاشیه ی بهره.....	۵-۱-۲ تقویت کننده اصلی با دو قطب..... ۲۱۴
۲۲۷ ۴-۵ حاشیه ی فاز.....	۵-۱-۳ تقویت کننده اصلی با سه قطب..... ۲۱۶
۵-۵ ارتباط بهره حلقه با پاسخ تقویت کننده در حوزه	۵-۲ مکان هندسی ریشه ها با تغییر فیدبک..... ۲۱۶
زمان و فرکانس..... ۲۳۱	۵-۲-۱ قواعد رسم مکان هندسی..... ۲۱۷
۲۳۴ مسائل فصل پنجم.....	

فصل ۶ جبران تقویت‌کننده‌های فیدبک با مکان هندسی ریشه‌ها

۲۴۳

۲۴۳	مقدمه	۲۴۳
۲۴۴	۱-۶ بررسی مشخصات سیستم درجه دو	۲۴۴
۲۴۵	۱-۱-۶ پاسخ پله سیستم درجه‌ی دو	۲۴۵
۲۴۶	۲-۱-۶ پاسخ فرکانس سیستم درجه دو	۲۴۶
۲۴۷	۳-۱-۶ پهنای باند سیستم‌های درجه دو	۲۴۷
۲۴۸	۲-۶ توابع انتقال باتروورت	۲۴۸
۲۴۹	۱-۲-۶ تابع انتقال باتروورت درجه یک	۲۴۹
۲۵۰	۲-۲-۶ تابع انتقال باتروورت درجه دو	۲۵۰
۲۵۱	۳-۲-۶ پهنای باند توابع انتقال باتروورت	۲۵۱
۲۵۱	۴-۲-۶ پاسخ پله تابع انتقال باتروورت	۲۵۱
۲۵۱	۳-۶ طراحی تقویت‌کننده با حداکثر پهنای باند تحت	۲۵۱
۲۴۴	۴-۶ جبران تقویت‌کننده‌ها با مکان هندسی ریشه‌ها	۲۴۴
۲۴۴	۱-۴-۶ جبران تقویت‌کننده با اصلاح مدار فیدبک	۲۴۴
۲۴۷	۲-۴-۶ جبران تقویت‌کننده با اصلاح تقویت‌کننده اصلی	۲۴۷
۲۴۷	۳-۴-۶ جبران تقویت‌کننده اصلی با اضافه کردن خازن بزرگ	۲۴۷
۲۷۱	۴-۴-۶ اصلاح تقویت‌کننده اصلی با اضافه کردن صفر	۲۷۱
۲۷۱	۵-۴-۶ جبران با اصلاح هم‌زمان تقویت‌کننده اصلی و مدار فیدبک	۲۷۱
۲۷۳	۵-۶ روند طراحی تقویت‌کننده به روش مکان هندسی ریشه‌ها	۲۷۳
۲۷۶	مسائل فصل ششم	۲۷۶

فصل ۷ جبران تقویت‌کننده‌های فیدبک در میدان فرکانس

۲۹۱

۲۹۱	مقدمه	۲۹۱
۲۹۴	۱-۷ معیارهای پاسخ مناسب در میدان فرکانس	۲۹۴
۳۰۰	۱-۱-۷ تقویت‌کننده اصلی یک‌قطبی	۳۰۰
۳۰۴	۲-۱-۷ تقویت‌کننده اصلی دوقطبی	۳۰۴
۳۱۴	۲-۷ روش‌های جبران تقویت‌کننده‌ها در میدان فرکانس	۳۱۴
۳۱۹	۱-۲-۷ جبران با فیدبک مقاومتی	۳۱۹
۳۰۰	۲-۲-۷ جبران‌کننده پیش‌فاز	۳۰۰
۳۰۴	۳-۲-۷ جبران قطب مؤثر	۳۰۴
۳۱۴	۳-۱-۷ پایبنداری در فرکانس‌های پایین	۳۱۴
۳۱۹	مسائل فصل هفتم	۳۱۹

فصل ۸ نوسان‌سازهای سینوسی

۳۳۱

۳۳۱	مقدمه	۳۳۱
۳۳۲	۱-۸ اصول نوسان در نوسان‌سازها	۳۳۲
۳۳۲	۱-۱-۸ شرایط نوسان	۳۳۲
۳۳۳	۲-۱-۸ چگونگی ایجاد نوسان در نوسان‌سازها	۳۳۳
۳۳۵	۳-۱-۸ پایبنداری فرکانس نوسان	۳۳۵
۳۳۵	۴-۱-۸ پایبنداری دامنه نوسانات	۳۳۵
۳۳۶	۲-۸ نوسان‌سازهای انتقال فاز	۳۳۶
۳۳۶	۱-۲-۸ نوسان‌ساز انتقال فاز با تقویت‌کننده عملیاتی	۳۳۶
۳۳۸	۲-۲-۸ محدود کردن دامنه نوسان	۳۳۸
۳۴۱	۳-۲-۸ نوسان‌ساز متعامد	۳۴۱
۳۴۲	۴-۲-۸ نوسان‌ساز سه فاز	۳۴۲
۳۴۳	۵-۲-۸ نوسان‌ساز پیل وون	۳۴۳
۳۴۷	۳-۸ نوسان‌سازهای RC	۳۴۷
۳۴۸	۱-۳-۸ نوسان‌ساز کولیتس با تقویت‌کننده عملیاتی	۳۴۸
۳۵۰	۲-۳-۸ نوسان‌ساز کولیتس با ترانزیستور BJT	۳۵۰
۳۵۱	۳-۳-۸ نوسان‌ساز هارتلی	۳۵۱
۳۵۲	۴-۳-۸ نوسان‌ساز پیل میچم	۳۵۲
۳۵۴	۴-۸ نوسان‌سازهای کریستالی	۳۵۴
۳۵۶	۱-۴-۸ نوسان‌ساز کریستالی کولیتس	۳۵۶
۳۵۸	مسائل فصل هشتم	۳۵۸

فصل ۹ منابع جریان و روش‌های بایاس مدارهای مجتمع

۳۶۳

۳۶۳	مقدمه	۳۶۳
۳۶۷	۱-۹ منابع جریان با ترانزیستورهای دوقطبی	۳۶۷
۳۶۳	۱-۱-۹ منبع جریان با دو ترانزیستور دوقطبی	۳۶۳
۳۶۷	۲-۱-۹ منبع جریان با ترانزیستورهای pnp	۳۶۷
۳۶۷	۳-۱-۹ منبع جریان با ترانزیستورهای غیرمشابه دوقطبی	۳۶۷
۳۷۰	۴-۱-۹ تکرارکننده جریان	۳۷۰
۳۷۱	۵-۱-۹ منبع جریان با سه ترانزیستور دوقطبی	۳۷۱
۳۷۲	۶-۱-۹ منبع جریان ویدلر	۳۷۲

۳-۹ فناوری ساخت ترانزیستورهای در مدارهای مجتمع ۳۹۴	۷-۱-۹ منبع جریان کاسکود ۳۷۶
۳-۹-۱ ترانزیستورهای ماسفت ۳۹۴	۸-۱-۹ منبع جریان ویلسون ۳۷۸
۳-۹-۲ ترانزیستورهای دو قطبی ۳۹۸	۹-۲ منابع جریان با عناصر ماسفت ۳۸۴
۳-۹-۳ مقایسه عناصر دو قطبی ماسفت ۳۹۹	۱-۲-۹ مدار ساده منبع جریان با عناصر ماسفت ۳۸۴
مسائل فصل نهم ۴۰۱	۲-۲-۹ منبع جریان کاسکود با عناصر ماسفت ۳۸۷
	۳-۲-۹ منبع جریان ویلسون با عناصر ماسفت ۳۹۰
	۴-۲-۹ منبع جریان مستقل از ولتاژ تغذیه ۳۹۱

فصل ۱۰ تقویت‌کننده‌ها با بار فعال ۴۰۷

۳-۱۰-۳ تقویت‌کننده تفاضلی با بار فعال یا عناصر فست ۴۲۳	مقدمه ۴۰۷
۴-۱۰-۳ تقویت‌کننده تفاضلی با عناصر ماسفت و بار کاسکود ۴۲۹	۱-۱۰-۳ تقویت‌کننده متر مشترک با بار اهمی ۴۰۷
۴-۱۰-۴ مدارهای ترکیبی با عناصر دو قطبی و فست ۴۳۱	۲-۱۰-۳ تقویت‌کننده با بار فعال ۴۰۸
۴-۱۰-۵ زوج دارلینگتون با عناصر دو قطبی و فست ۴۳۱	۲-۱۰-۲ تقویت‌کننده متر مشترک با بار فعال ۴۰۸
۴-۱۰-۲ تقویت‌کننده کاسکود با عناصر BJT و FET ۴۳۲	۲-۲-۱۰ خط بار تقویت‌کننده بار فعال ۴۱۰
۴-۱۰-۳ تقویت‌کننده کاسکود تاشده ۴۳۳	۳-۲-۱۰ تقویت‌کننده سون متر مشترک با بار فعال ۴۱۰
۴-۱۰-۴ تقویت‌کننده کاسکود تاشده با عناصر دو قطبی ۴۳۵	۳-۱۰-۳ تقویت‌کننده تفاضلی با بار فعال ۴۱۴
۵-۱۰-۵ ولتاژ افست تقویت‌کننده تفاضلی بار فعال ۴۳۷	۱-۳-۱۰ تقویت‌کننده تفاضلی با بار فعال با عناصر دو قطبی ۴۱۴
۶-۱۰-۵ مدارهای تغییر سطح dc ۴۴۰	۲-۳-۱۰ پاسخ فرکانس تقویت‌کننده تفاضلی با بار فعال ۴۱۶
مسائل فصل دهم ۴۴۲	با عناصر دو قطبی ۴۱۶

فصل ۱۱ ساختمان داخلی تقویت‌کننده‌های عملیاتی ۴۵۵

۱۱-۱ افزایش محدوده سیگنال وجه مشترک مدار ۴۵۵	مقدمه ۴۵۵
۴۵۵-۱-۱ تقویت‌کننده‌های عملیاتی نسل اول ۴۵۵	۱-۱۱-۱ تقویت‌کننده عملیاتی MC1530 ۴۵۵
۴۵۵-۳-۴-۱۱ تقویت‌کننده‌های عملیاتی سری OP30X ۵۰۰	۲-۱۱-۲ تقویت‌کننده‌های عملیاتی نسل دوم ۴۶۴
۴۵۵-۴-۴-۱۱ تقویت‌کننده‌های عملیاتی سری AD818 و AD8021 ۵۰۳	۱-۲-۱۱ تقویت‌کننده عملیاتی LM741 ۴۶۵
مسائل فصل یازدهم ۵۰۷	۲-۲-۱۱ تقویت‌کننده عملیاتی دو طبقه CMOS ۴۸۵
۵۱۷ پیوست: رسم نمودار بند ۵۱۷	۳-۲-۱۱ تقویت‌کننده عملیاتی MC14573 ۴۸۶
۵۲۳ مراجع ۵۲۳	۳-۱۱-۳ تقویت‌کننده‌های عملیاتی نسل سوم ۴۸۸
۵۲۵ واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۵۲۵	۱-۳-۱۱ تقویت‌کننده عملیاتی CA3140 ۴۸۸
۵۳۱ واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۵۳۱	۲-۳-۱۱ تقویت‌کننده‌های عملیاتی سری LF155 ۴۹۳
	۴-۱۱-۲ تقویت‌کننده‌های عملیاتی پیشرفته ۴۹۴
	۱-۴-۱۱ تقویت‌کننده عملیاتی کاسکود تاشده ۴۹۵
	CMOS ۴۹۵