



تحلیل و طراحی قطعات و مدارها

الکترونیک III

مؤلف:

دکتر محمد حسن نشاطی

استاد یار دانشگاه سیستان و بلوچستان

نشاطی، محمدحسن، ۱۳۳۸ -
تحلیل و طراحی قطعات و مدارهای الکترونیک III / مؤلف محمدحسن نشاطی.
تهران: نص، ۱۳۸۵.
۴۴۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.

ISBN: 964-410-077-8

۳۸۰۰۰ ریال

فهرست نویسی بر اساس فیبا.
۱. مدارهای الکترونیک -- طرح و محاسبه. ۲. مدارهای الکترونیک. الف. عنوان
ت ۳ / ۵۵ / ۸۶۷ / TKV
۶۲۱/۳۸۱۵۹

۸۵-۵۰۶۳

کتابخانه ملی ایران



موسسه علمی فرهنگی

تحلیل و طراحی قطعات و مدارهای
الکترونیک III

دکتر محمد حسین نشاطی

چاپ اول: بهار ۸۵

شمارگان: ۳۰۰۰

ناشر: «نص»

چاپ و صحافی: سازمان چاپ و انتشارات وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی

قیمت: ۳۸۰۰۰ تومان

طراحی، آماده سازی: موسسه علمی فرهنگی «نص»

تهران: میدان انقلاب، خیابان اردیبهشت، بن بست مبین، شماره ۲۳۷

تلفکس: ۶۶۴۱۲۳۸۵ - ۶۶۹۵۳۸۸۳ - ۶۶۴۶۵۶۷۴ ص.پ. ۸۶۳ - ۱۳۱۴۵

ISBN: 964-410-077-8

شابک: ۹۶۴-۴۱۰-۰۷۷-۸

پیشگفتار

عناصر نیمه هادی اساس مدارهای مجتمع و فناوری مدرن الکترونیک هستند. مطالعه، شناخت مشخصات و همچنین کاربرد این عناصر و خصوصاً ترانزیستورها بخش مهمی از برنامه درسی دانشجویان دوره کارشناسی مهندسی برق را شامل می شود که عمدتاً در دروس الکترونیک ۱ و ۲ بحث و بررسی می شوند. هم چنین رفتار عناصر فعال در فرکانسهای بالا و بررسی پاسخ فرکانسی تقویت کننده ها از مباحث مهم در طراحی و ساخت این نوع مدارها است. کمبود یک مرجع انگلیسی در مورد خصوصیات و مشخصات ترانزیستورها در فرکانسهای بالا و بررسی پاسخ فرکانس تقویت کننده ها نویسنده را بر آن داشت که مطالب مورد نیاز در درس الکترونیک ۳ دوره کارشناسی مهندسی الکترونیک و مخابرات را با بهره گیری از جدیدترین روشها و مراجع علمی و با تکیه بر تجربیات تدریس خود عرضه نماید.

این کتاب براساس برنامه درسی پیشنهادی شورایعالی برنامه ریزی و برای تدریس در یک نیمسال تحصیلی و با اهداف زیر تنظیم یافته است:

- ارائه مدلها و مدارهای معادل مختلف ترانزیستور در فرکانسهای بالا
- معرفی روشهای بررسی و طراحی تقویت کننده ها
- ارائه اصول تقویت کننده های فیدبک و طراحی آنها با پهنای باند وسیع
- بررسی ایجاد نوسان در مدارهای الکترونیکی و معرفی سیالاتورهای سینوسی

در فصل اول مدارهای معادل عناصر فعال در فرکانس بالا عرضه می‌شود. برای عناصر BJT مدار معادل هایبرید π که اولین بار توسط گیاکولو (Giaccolotto) ارائه شده معرفی می‌شود. این مدار معادل براساس واقعیت‌های فیزیکی که در داخل ترانزیستور اتفاق می‌افتد استوار است. هم‌چنین رابطه عناصر مدار معادل با پارامترهای مدار هایبرید h استخراج شده و خازنهای مدار هایبرید π بدقت مورد بررسی قرار می‌گیرند. مدار معادل مشخصات ادمیتانس اتصال کوتاه ترانزیستورهای BJT که عموماً در بررسی و طراحی تقویت‌کننده‌های فرکانس رادیویی (Radio Frequency) مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز معرفی می‌شود. علاوه بر آن مدار معادل ترانزیستورهای اثر میدان FET ارائه شده و انواع مختلف این نوع ترانزیستورها مقایسه می‌شوند. هم‌چنین در این مبحث کوشش شده است مدار معادل عناصر فعال استفاده شده در نرم‌افزار spice و روش استخراج مدار معادل از کتابهای اطلاعاتی سازندگان مورد بررسی قرار گیرد.

پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های یک طبقه و محاسبات خازنهای کوبلاژ و بای‌پس برای فرکانس قطع پایین در فصل دوم مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. هم‌چنین با استفاده از مدار معادل هایبرید π ، پاسخ فرکانس بالای این تقویت‌کننده‌ها مطرح شده و با استفاده از محاسبات دقیق تابع انتقال، فرکانس قطع بالای این مدارها محاسبه می‌شود. علاوه بر آن در مورد طرح تقویت‌کننده و انتخاب نوع ترانزیستور برای مشخصات خاص و مورد نظر به تفصیل بحث خواهد شد.

در فصل سوم پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های چند طبقه مطرح می‌شود. در این تقویت‌کننده‌ها با توجه به افزایش تعداد خازن‌ها، محاسبات تابع انتقال مدار به روش معمول کار ساده‌ای نیست. با فرض اینکه این تابع انتقال بدست آید حل معادله مشخصه و بدست آوردن محل صفوها و قطبها آسان نمی‌باشد. اساس بررسی پاسخ فرکانس این تقویت‌کننده‌ها و محاسبه فرکانس قطع بالای آنها مبتنی بر محاسبات ثابت زمانی اتصال باز است. این روش برای تعدادی از تقویت‌کننده‌ها مطرح و نشان داده می‌شود که با محاسبات ساده و تقریب مناسب مشخصات مدار بدست می‌آید. هم‌چنین روش ثابت زمانی اتصال کوتاه در محاسبات فرکانس پایین معرفی و بررسی خواهد شد.

بررسی مشخصات تقویت‌کننده‌های فیدبک در باند میانی مبحث فصل چهارم است. بهره تقویت‌کننده‌ها در اثر تغییرات پارامترهای عناصر فعال با عواملی مانند درجه حرارت و نقطه کار دارای تغییرات قابل ملاحظه‌ای است. برای کاهش این تغییرات بخشی از سیگنال خروجی به ورودی تقویت‌کننده برگشت داده شده و از سیگنال ورودی کم می‌شود. به این نوع فیدبک، فیدبک منفی گفته می‌شود که باعث تثبیت مشخصات مدار می‌شود. علاوه بر آن استفاده از فیدبک در مدارها باعث افزایش پهنای باند، کاهش آثار غیر خطی عناصر و تغییرات مهم در امپدانس ورودی و خروجی تقویت‌کننده می‌شود.

علیرغم مزایای مناسب و مهمی که توسط فیدبک در تقویت‌کننده‌ها حاصل می‌شود دو اشکال مهم تقویت‌کننده‌های فیدبک، کاهش بهره و مسئله ناپایداری در آنها است. کاهش بهره را می‌توان با افزایش تعداد طبقات تقویت‌کننده برای دست‌یابی به بهره مورد نظر جبران نمود. اما پاسخ فرکانس عناصر فعال در فرکانسهای بالا سبب می‌شود فیدبک بکار رفته در مدار در بعضی از فرکانسها به فیدبک مثبت تبدیل و در نتیجه باعث ناپایداری و ایجاد نوسان در تقویت‌کننده شود بطوریکه بدون اعمال سیگنال در ورودی،

خروجی تقویت‌کننده دارای سیگنالی با دامنه مخالف صفر است و اصطلاحاً گفته می‌شود تقویت‌کننده به یک نوسان‌ساز تبدیل شده است. برای بررسی وضعیت ناپایداری در فصل پنجم از روش "مکان هندسی ریشه‌ها" با تغییر فیدبک استفاده می‌شود. مرز پایداری تقویت‌کننده به ازاء مقداری از فیدبک که مکان هندسی ریشه‌ها محور موهومی را قطع می‌کند بدست می‌آید. علاوه بر آن با معرفی معیارهای پایداری در "میدان فرکانس" با استفاده از تابع انتقال "بهره حلقه" بررسی وضعیت پایداری تقویت‌کننده انجام می‌شود.

فصل ششم و هفتم کتاب در مورد جبران تقویت‌کننده‌های فیدبک است. هدف اساسی در طراحی یک تقویت‌کننده، طرح مداری پایدار با پاسخ فرکانس مناسب و ضریب عدم حساسیت بزرگ است. تقویت‌کننده‌ای دارای پاسخ فرکانس مناسب است که تمام مولفه‌های سیگنال ورودی را به یک میزان تقویت نماید تا اعوجاجی در خروجی وجود نداشته باشد.

در فصل ششم روشهای مختلف جبران تقویت‌کننده‌ها با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها و در صفحه مختلط s بررسی و معرفی می‌شوند. با بررسی توابع انتقالی که دارای پاسخ فرکانس مسطح هستند معیار طرح تقویت‌کننده‌های فیدبک برای بدست آوردن حداکثر پهنای باند مسطح معرفی می‌شود. اصلاح مدار فیدبک، اصلاح تقویت‌کننده اصلی و اصلاح همزمان مدار فیدبک و تقویت‌کننده اصلی مهمترین روشهای جبران با استفاده از مکان هندسی ریشه‌ها می‌باشند. هم‌چنین بحث مختصری در مورد پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های عملیاتی و جبران آنها انجام خواهد شد.

فصل هفتم در مورد جبران تقویت‌کننده‌ها در میدان فرکانس است. این روش با استفاده از اندازه‌گیری پاسخ فرکانس تقویت‌کننده اصلی انجام می‌شود. با معرفی معیارهای طراحی در میدان فرکانس بر اساس مقدار حاشیه فاز روشهای مختلف جبران معرفی می‌شوند. جبران با فیدبک مقاومتی، جبران‌کننده پیش‌فاز و جبران قطب موثر مهمترین روشهایی است که در این فصل به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. در مقایسه با روش مکان هندسی ریشه‌ها باید گفت گرچه طراحی در میدان فرکانس از دقت کافی برخوردار نیست اما محاسبات آن به سادگی قابل انجام است. در روش مکان هندسی، لازم است محل قطب‌های تقویت‌کننده اصلی مشخص باشد اما تعیین قطب‌ها خصوصاً در مورد تقویت‌کننده‌های چند طبقه آسان نیست. در حالیکه پاسخ فرکانس تقویت‌کننده در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری است. از مباحث مهم در طرح و محاسبات تقویت‌کننده‌ها نمودارهای بد (Bode Diagram) است. در پیوست (ج) با ذکر چند مثال خلاصه‌ای از رسم این نمودارها ارائه شده است.

فصل آخر کتاب در مورد نوسان‌سازهای سینوسی است. نوسان‌ساز مداری است که بدون سیگنال ورودی دارای خروجی است. با استفاده از مطالب فصل پنجم در خصوص پایداری تقویت‌کننده‌های فیدبک می‌توان شرایط ایجاد نوسان در یک نوسان‌ساز را بررسی و استخراج نمود. در فصل هشتم مدارهای مختلف نوسان‌ساز با استفاده از تقویت‌کننده‌های عملیاتی و هم‌چنین نوسان‌سازهای LC که عموماً در فرکانسهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند معرفی و بررسی می‌شوند.

برای بررسی میزان دقت روشهای تئوری ارائه شده در متن کتاب سعی شده است در اغلب موارد نتایج محاسبات مدارها با نتایج حاصل از بررسی مدار با نرم‌افزار spice مقایسه شود. هم‌چنین مسائل پایان فصل

در بسیاری از موارد حاوی نکات مهم و آموزنده‌ای است که نه تنها فرصت تمرین در مورد مطالب درسی را فراهم می‌آورد، بلکه دانشجویان عزیز را به تفکر و اندیشیدن به مطالب تئوری واداشته تا این تمرینات صرفاً جایگزینی اعداد در فرمولهای خشک نباشد. امید است این خدمت ناچیز مورد استفاده دانشجویان قرار گرفته و مورد رضای حق تعالی قرار گیرد.

این کتاب بر اساس جزوات درسی که برای دانشجویان مهندسی برق دانشگاههای سیستان و بلوچستان و شهید باهنر کرمان تنظیم یافته نوشته شده است. لازم است مراتب تشکر و سپاسگزاری خود را از دانشجویان این دانشگاهها که با سوالات خود در بهبود کتاب سهیم هستند ابراز دارم. هم‌چنین از آقای مهندس علی شهرکی مقدم که در حل مسائل کتاب با نرم‌افزار spice و خانمها مهندس مهماندوست و مهندس یاسینی که در تایپ و رسم شکلها همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی کنم. در انتشارات نص، آقای رمضانی که در ویراستاری و صفحه‌بندی و مدیریت انتشارات آقای مهندس زارع که مقدمات چاپ کتاب را فراهم آوردند سپاسگزاری می‌نمایم. از همسر و خانواده خود به جهت صبر، تلاش، هم‌فکری و همکاری در طول نوشتن کتاب تشکر و قدردانی می‌کنم.

محمد حسن نشاطی
استاد بارگروه مهندسی برق و الکترونیک
دانشگاه سیستان و بلوچستان
بهار ۱۳۸۵

فهرست مطالب

فصل ۱

۱۳	مدار معادل عناصر فعال در فرکانس های بالا	۱۳
۱۳	مقدمه	۱۳
۱۴	۱-۱ مدار معادل هایبرید p ترانزیستورهای دو قطبی	۱۴
۱۴	۲-۱ تفسیر عناصر مدار معادل هایبرید p	۱۴
۱۶	۳-۱ محاسبه عناصر مدار معادل هایبرید p	۱۶
۲۰	۴-۱ خازنهای مدار معادل هایبرید p	۲۰
۲۲	۵-۱ تغییرات عناصر هایبرید p	۲۲
۲۳	۶-۱ مدار معادل ساده شده هایبرید p	۲۳
۲۳	۷-۱ پاسخ فرکانس ترانزیستورهای BJT	۲۳
۲۷	۸-۱ اعتبار مدار معادل هایبرید p	۲۷
۲۸	۹-۱ مدار معادل هایبرید p در نرم افزار spice	۲۸
۳۱	۱۰-۱ تغییرات عناصر مدار معادل هایبرید p در نرم افزار spice	۳۱
۳۳	۱۱-۱ مدار معادل مشخصه های ادمیتانس ترانزیستورهای BJT	۳۳
۳۴	۱۲-۱ روابط بین مشخصه های y و عناصر مدار p	۳۴
۳۸	۱۳-۱ تغییرات پارامترهای y با نقطه کار	۳۸

۴۱	۱۴-۱ مدار معادل ترانزیستورهای اثر میدان در فرکانس بالا
۴۳	مسائل فصل اول

فصل ۲

۴۷	پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های یک طبقه
۴۷	مقدمه
۴۷	۱-۲ طبقه‌بندی تقویت‌کننده‌ها
۴۸	۲-۲ اعوجاج در تقویت‌کننده‌ها
۵۰	۳-۲ تقسیم‌بندی باند فرکانس تقویت‌کننده‌ها
۵۰	۴-۲ مدار معادل تقویت‌کننده در باندهای فرکانسی مختلف
۵۲	۵-۲ پاسخ پله و پاسخ سیگنال مربعی تقویت‌کننده‌ها
۵۵	۶-۲ پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های یک طبقه
۵۸	۷-۲ پاسخ فرکانس پایین تقویت‌کننده‌ها
۵۸	۱-۷-۲ انتخاب خازن کوپلاژ
۶۲	۲-۷-۲ انتخاب خازنهای بای‌پس
۶۷	۳-۷-۲ انتخاب خازنهای کوپلاژ و بای‌پس
۷۰	۴-۷-۲ انتخاب خازنهای CE و CC در سایر مدارها
۷۰	۸-۲ پاسخ فرکانس بالای تقویت‌کننده‌های یک طبقه
۸۰	۹-۲ نکاتی در مورد طرح مدار و انتخاب ترانزیستور
۸۳	۱۰-۲ پاسخ فرکانس کامل تقویت‌کننده آمپر مشترک
۸۶	۱۱-۲ پاسخ فرکانس بالای تقویت‌کننده سورس مشترک
۹۰	مسائل فصل دوم

فصل ۳

۱۰۵	پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های چند طبقه
۱۰۵	مقدمه
۱۰۶	۱-۳ تابع انتقال تقویت‌کننده چند طبقه
۱۰۷	۲-۳ تقریب قطب موثر تابع انتقال فرکانس بالا
۱۰۹	۳-۳ رابطه فرکانس قطع و ضرایب معادله مشخصه
۱۱۱	۴-۳ روش ثابت زمانی برای محاسبه فرکانس قطع
۱۱۴	۱-۴-۳ فرکانس قطع بالا و ثابت زمانی مدار باز
۱۱۴	۲-۴-۳ فرکانس قطع پایین و ثابت زمانی اتصال کوتاه
۱۱۵	۵-۳ تقویت‌کننده سری آمپر مشترک

۱۲۰	۶-۳ تقویت‌کننده کاسکود Cascode
۱۲۰	۱-۶-۳ بهره‌باند میانی
۱۲۱	۲-۶-۳ محاسبات فرکانس بالا
۱۲۲	۳-۶-۳ روش ثابت زمانی مدار باز در محاسبه فرکانس قطع بالا
۱۲۶	۴-۶-۳ محاسبات مدار بایاس تقویت‌کننده کاسکود
۱۲۸	۵-۶-۳ انتخاب خازن کوپلاژ و بای‌پس در تقویت‌کننده کاسکود
۱۳۳	۶-۳ تقویت‌کننده سری کلکتور مشترک - امیتر مشترک
۱۳۹	۸-۳ تقویت‌کننده تفاضلی
۱۳۹	۱-۸-۳ طبقه دیفرانسیل با ورودی متقارن
۱۴۰	۲-۸-۳ طبقه دیفرانسیل با ورودی نامتقارن
۱۴۲	۳-۸-۳ اثر مقاومت امیتر در طبقه دیفرانسیل در حالت متقارن
۱۴۵	۴-۸-۳ پاسخ فرکانس ضریب حذف سیگنال وجه مشترک
۱۴۷	۵-۸-۳ تقویت‌کننده دیفرانسیل اصلاح شده
۱۴۹	۹-۳ تقویت‌کننده تفاضلی با بار فعال
۱۵۲	۱۰-۳ طراحی تقویت‌کننده‌ها
۱۶۰	۱۱-۳ طرح تقویت‌کننده با بهره حداقل ۷۰۰۰ و پهنای باند ۲ MHz
۱۶۷	۱۲-۳ خازنهای بای‌پس و فیلترهای Decoupling
۱۷۰	مسائل فصل سوم

فصل ۴

تقویت‌کننده‌های فیدبک در باند میانی

۱۸۵	مقدمه
۱۸۶	۱-۴ ساختمان تقویت‌کننده‌های فیدبک
۱۸۷	۲-۴ خواص فیدبک
۱۸۷	۱-۲-۴ عدم حساسیت
۱۸۸	۲-۲-۴ کاهش بهره
۱۸۸	۳-۲-۴ افزایش پهنای باند
۱۸۹	۴-۲-۴ تغییرات امپدانس ورودی و خروجی
۱۸۹	۵-۲-۴ کاهش نویز و سیگنالهای اضافی
۱۹۱	۶-۲-۴ کاهش اعوجاج غیر خطی
۱۹۲	۳-۴ انواع تقویت‌کننده‌ها و فیدبک
۱۹۳	۱-۳-۴ تقویت‌کننده ولتاژ
۱۹۴	۲-۳-۴ تقویت‌کننده جریان
۱۹۵	۳-۳-۴ تقویت‌کننده هدایت انتقالی

۱۹۶	تقویت‌کننده مقاومت انتقالی	۴-۳-۴
۱۹۷	بررسی تقویت‌کننده‌های فیدبک ایده‌ال	۴-۴
۱۹۷	فیدبک ولتاژ سری	۱-۴-۴
۲۰۰	فیدبک جریان موازی	۲-۴-۴
۲۰۱	فیدبک ولتاژ موازی	۳-۴-۴
۲۰۲	فیدبک جریان سری	۴-۴-۴
۲۰۲	بررسی دقیق تقویت‌کننده‌های فیدبک و اثر بارگذاری مدار فیدبک	۵-۴
۲۰۲	بررسی دقیق فیدبک ولتاژ-موازی	۱-۵-۴
۲۱۱	بررسی دقیق فیدبک جریان-سری	۲-۵-۴
۲۱۶	بررسی دقیق فیدبک ولتاژ-سری	۳-۵-۴
۲۱۹	بررسی دقیق فیدبک جریان-موازی	۴-۵-۴
۲۲۲	ظراحی تقویت‌کننده‌های فیدبک در باند میانی	۶-۴
۲۲۶	مسائل فصل چهارم	

فصل ۵

ناپایداری تقویت‌کننده‌های فیدبک

۲۴۳	مقدمه	۲۴۳
۲۴۴	ناپایداری تقویت‌کننده‌های فیدبک	۱-۵
۲۴۴	تقویت‌کننده اصلی با یک قطب	۱-۱-۵
۲۴۵	تقویت‌کننده اصلی با دو قطب	۲-۱-۵
۲۴۸	تقویت‌کننده اصلی با سه قطب	۳-۱-۵
۲۴۸	مکان هندسی ریشه‌ها با تغییر فیدبک	۲-۵
۲۴۹	قواعد رسم مکان هندسی	۱-۲-۵
۲۵۷	بررسی ناپایداری در میدان فرکانس	۳-۵
۲۶۰	معیارهای پایداری در میدان فرکانس	۴-۵
۲۶۰	حاشیه بهره	۱-۴-۵
۲۶۰	حاشیه فاز	۲-۴-۵
۲۶۴	ارتباط بهره حلقه با پاسخ تقویت‌کننده در حوزه زمان و فرکانس	۵-۵
۲۶۵	مسائل فصل پنجم	

فصل ۶

جبران تقویت‌کننده‌های فیدبک با مکان هندسی ریشه‌ها

۲۷۵	مقدمه	۲۷۵
-----	-------	-----

۲۷۶	۱-۶ بررسی مشخصات سیستم مرتبه دوم
۲۷۷	۱-۱-۶ پاسخ پله سیستم مرتبه دوم
۲۷۸	۲-۱-۶ پاسخ فرکانس سیستم مرتبه دوم
۲۷۹	۳-۱-۶ پهنای باند سیستم‌های مرتبه دوم
۲۸۰	۲-۶ توابع انتقال باترورث
۲۸۱	۱-۲-۶ تابع انتقال باترورث مرتبه اول
۲۸۲	۲-۲-۶ تابع انتقال باترورث مرتبه ۲
۲۸۳	۳-۲-۶ پهنای باند توابع انتقال باترورث
۲۸۳	۴-۲-۶ پاسخ پله توابع انتقال باترورث
۲۸۴	۳-۶ طراحی تقویت‌کننده با پاسخ فرکانس مسطح و ماکزیمم
۲۸۸	۴-۶ جبران تقویت‌کننده‌ها با مکان هندسی ریشه‌ها
۲۸۹	۱-۴-۶ جبران تقویت‌کننده با اصلاح مدار فیدبک
۳۰۰	۲-۴-۶ جبران تقویت‌کننده با اصلاح تقویت‌کننده اصلی
۳۰۰	۳-۴-۶ جبران تقویت‌کننده اصلی با اضافه کردن خازن بزرگ
۳۰۵	۴-۴-۶ اصلاح تقویت‌کننده اصلی با اضافه کردن صفر
۳۰۷	۵-۴-۶ جبران با اصلاح همزمان تقویت‌کننده اصلی و مدار فیدبک
۳۱۱	۵-۶ روند طراحی تقویت‌کننده به روش مکان هندسی ریشه‌ها
۳۱۵	مسائل فصل ششم

فصل ۷

۳۲۷ جبران تقویت‌کننده‌های فیدبک در میدان فرکانس

۳۲۷	مقدمه
۳۲۷	۱-۷ معیارهای پاسخ مناسب در میدان فرکانس
۳۲۸	۱-۱-۷ تقویت‌کننده اصلی یک قطبی
۳۲۹	۲-۱-۷ تقویت‌کننده اصلی دو قطبی
۳۳۰	۲-۷ روشهای جبران تقویت‌کننده‌ها در میدان فرکانس
۳۳۰	۱-۲-۷ جبران با فیدبک مقاومتی
۳۳۶	۲-۲-۷ جبران‌کننده پیش فاز
۳۴۱	۳-۲-۷ جبران قطب موثر
۳۵۰	۳-۷ ناپایداری در فرکانس‌های پایین
۳۵۵	۴-۷ پاسخ فرکانس و سرعت چرخش تقویت‌کننده‌های عملیاتی
۳۵۵	۱-۴-۷ پاسخ فرکانس تقویت‌کننده‌های عملیاتی
۳۵۸	۲-۴-۷ محدودیت سرعت چرخش در تقویت‌کننده‌های عملیاتی
۳۶۲	مسائل فصل هفتم

فصل ۸

نوسان‌سازهای سینوسی ۳۷۵

مقدمه ۳۷۵

۸-۱ اصول نوسان در نوسان‌سازها ۳۷۶

۸-۱-۱ شرایط نوسان ۳۷۶

۸-۱-۲ چگونگی ایجاد نوسان در نوسان‌سازها ۳۷۷

۸-۱-۳ پایداری فرکانس نوسان ۳۷۸

۸-۱-۴ پایداری دامنه نوسانات ۳۷۹

۸-۲ نوسان‌سازهای انتقال فاز ۳۸۰

۸-۲-۱ نوسان‌ساز انتقال فاز با تقویت‌کننده عملیاتی ۳۸۰

۸-۲-۲ محدود کردن دامنه نوسان ۳۸۲

۸-۲-۳ نوسان‌ساز quadrature ۳۸۵

۸-۲-۴ نوسان‌ساز سه فاز ۳۸۶

۸-۲-۵ نوسان‌ساز پل وین ۳۸۷

۸-۳ نوسان‌سازهای LC ۳۹۱

۸-۳-۱ نوسان‌ساز کولپتس با تقویت‌کننده عملیاتی ۳۹۲

۸-۳-۲ نوسان‌ساز کولپتس با ترانزیستور BJT ۳۹۴

۸-۳-۳ نوسان‌ساز هارتلی ۳۹۵

۸-۳-۴ نوسان‌ساز پل میچم ۳۹۶

۸-۴ نوسان‌سازهای کریستالی ۳۹۷

۸-۴-۱ نوسان‌ساز کریستالی کولپتس ۳۹۹

مسائل فصل هشتم ۴۰۱

فهرست مراجع ۴۰۷

پیوستها ۴۰۹

(الف) مشخصات ترانزیستور 2N3904 ۴۱۰

(ب) مشخصات ترانزیستور 2N4957, 2N4958 ۴۱۶

(ج) رسم نمودار بد Bode Diagram ۴۲۴

واژه‌نامه انگلیسی فارسی ۴۳۰

واژه‌نامه فارسی انگلیسی ۴۳۳