

# مهندسی میکروویو

(ویراست چهارم)

نویسنده:

دیوید پوز آر

مترجم:

سیدایوب میرطاووسی

نیاز دانش

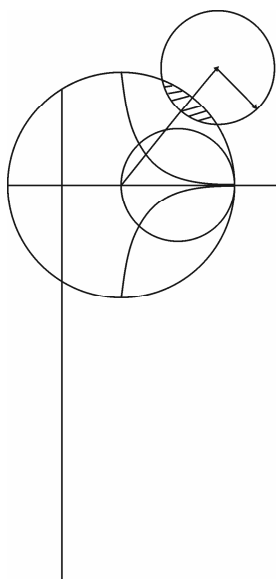
تقدیم بہ ہمسرم؛

چشمہ جوشان محبت،

جلوہ مہر و عطف،

و بخند پر مہر زندگی ام...





## مقدمه

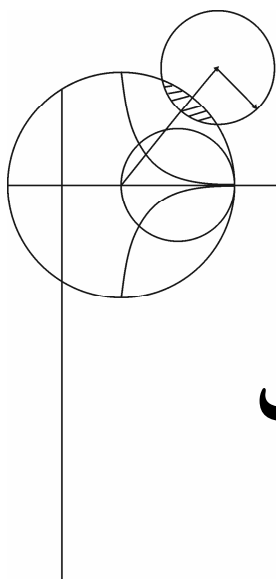
کتاب حاضر ترجمه ویرایش چهارم کتاب مهندسی میکروویو نوشته دیوید پوز آر می باشد. مطابق با ویرایش‌های قبل موضوعات این کتاب در رابطه با اصول و مبانی الکترومغناطیس، انتشار موج، تحلیل شبکه‌های میکروویو و مفاهیم اساسی در طراحی مدارات میکروویو و RF است. در این کتاب سعی بر این بوده که موضوعات همراه با مثال‌هایی ارائه شود که در ارتباط با طراحی عملی مدارها و مولفه‌های میکروویو خاص باشد.

به گفته‌ی مولف برای انجام این ویرایش جدید نظرات سازنده‌ای از طرف اساتید و خوانندگان ویرایش‌های قبل دریافت نموده که از وی خواسته‌اند در مورد مدارهای فعال، نویز و اثرات غیرخطی و سیستم‌های بی‌سیم مطالب جدیدی ارائه شود. به همین دلیل در این کتاب فصل‌های جدیدی در مورد نویز و اثرات غیر خطی و مولفه‌های فعال اضافه شده است.

فصل ۱ و ۲ به بیان تئوری و مبانی الکترومغناطیس و خطوط انتقال اختصاص یافته‌اند. این دو فصل به عنوان مبانی ریاضی سایر فصول بکار خواهند رفت. انواع موجبرها و روابط حاکم بر آن‌ها در فصل ۳ بررسی می‌گردند. در فصل ۴ به شبکه‌های میکروویو به صورت شبکه‌های چند پورته نگریسته می‌شود و ماتریس‌های پراکندگی، امپدانس و ادمیتانس و روابط بین آن‌ها در همانجا ارائه می‌گردد. بحث تطبیق امپدانس، مدارهای تنظیم و نمودار اسمیت را در فصل ۵ مطالعه نمایید. تشدیدکننده‌های میکروویو به عنوان بخش اصلی نوسان‌سازها در فصل ۶ و انواع تقسیم‌کننده‌های توان و کوپلرهای جهتی در فصل ۷ بررسی خواهند شد. بعد از بررسی فیلترهای میکروویو، انواع آن‌ها و روابط طراحی در فصل ۸، نگاهی به فریت‌های به عنوان مواد غیرایزوتروپیک در فصل ۹ می‌اندازیم که در ساخت برخی از مهمترین مولفه‌های میکروویو کاربرد دارند. در فصل ۱۰ موضوع نویز همراه با مواردی در مورد اعوجاج میان مدوله‌سازی و موضوعاتی مرتبط با اثرات غیرخطی به صورت مبسوط مورد بررسی قرار گرفته است. فصل ۱۱ در مورد وسایل فعال، با مطالبی در رابطه با ترانزیستورهای دوقطبی پیوندی و ترانزیستورهای اثر میدان کاملاً به‌روز شده و اطلاعات تازه‌ای در مورد چند نمونه از وسایل تجاری

گنجانده شده است. در فصل ۱۲ و ۱۳ طراحی مدارهای فعال مورد بررسی قرار گرفته و علاوه بر آن تقویت‌کننده‌های تفاضلی، تقویت‌کننده‌های تفاضلی با FET و nMOS و مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت نیز بحث شده است. در ارتباط با سیستم‌های مایکروویو و RF، سیستم‌های مخابرات بی‌سیم، روش‌های مدولاسیون دیجیتال و نرخ خطای بیت در فصل ۱۴ مطالب جدیدی ارائه شده است. علاوه بر این فصول، بخش‌هایی در مورد حالت‌های گذرای خط انتقال (که در ویرایش اول وجود داشت)، تئوری موج‌های توان، مدهای مرتبه بالا و تاثیرات فرکانسی در خط مایکرواستریپ، نحوه اندازه‌گیری Qی بی‌باری در نوسان‌سازها و مثال‌های جدیدی نیز اضافه شده است.

در پایان بر خود لازم می‌بینم تا از زحمات جناب آقای مهندس حمیدرضا شیرازی و همکاران ایشان در انتشارات نیاز دانش تشکر و از صبر و حوصله‌ی ایشان در مدت زمان ترجمه این کتاب صمیمانه سپاسگذاری نمایم. هرچند تلاش‌های زیادی انجام شده تا این کتاب به بهترین وجه ممکن در اختیار خوانندگان محترم قرار گیرد، ولی بی‌شک به خاطر حجم بالای آن ممکن است خطاهایی در نوشتار وجود داشته باشد. به همین سبب اینجانب و اعضای محترم انتشارات نیاز دانش پذیرای هرگونه انتقاد سازنده و پیشنهادات شما می‌باشم تا چنین مشکلاتی در چاپ‌های بعد مرتفع گردد.



# فهرست مطالب

۱۷	فصل ۱ تئوری الکترومغناطیس
۱۷	۱-۱- معرفی مهندسی مایکروویو
۱۹	کاربردهای مهندسی مایکروویو
۲۱	تاریخچه‌ای از مهندسی مایکروویو
۲۲	۲-۱- معادلات ماکسول
۲۶	۳-۱- میدان در مواد و شرایط مرزی
۲۹	میدان‌ها در سطح مشترک دو ماده
۳۱	میدان‌ها در سطح مشترک دی‌الکتریک
۳۱	میدان‌ها در سطح مشترک هادی کامل (دیوار الکتریکی)
۳۲	شرط مرزی دیوار مغناطیسی
۳۲	شرایط تابش
۳۳	۴-۱- معادله‌ی موج و حل موج مسطح
۳۳	معادله‌ی هلم هولتز
۳۳	امواج مسطح در محیط بدون اتلاف
۳۵	موج مسطح در محیط با اتلاف
۳۶	امواج مسطح در هادی خوب
۳۷	۵-۱- جواب عمومی معادله‌ی موج مسطح
۴۱	موج مسطح با قطبیت دایروی
۴۲	۶-۱- انرژی و توان
۴۴	توان جذب شده در هادی خوب
۴۵	۷-۱- بازتاب موج مسطح از یک سطح مشترک
۴۶	محیط عمومی
۴۷	محیط بدون افت
۴۸	هادی خوب
۵۰	هادی کامل

۵۰	مفهوم امیدانس سطحی
۵۳	۸-۱- برخورد مایل به سطح مشترک دو دی‌الکتریک
۵۳	قطبیت موازی
۵۵	قطبیت عمودی
۵۶	بازتاب کلی و امواج سطحی
۵۸	۹-۱- چند قضیه‌ی مفید
۵۸	قضیه هم پاسخی
۶۰	تئوری تصویر

## فصل ۲ تئوری خط انتقال

۶۷	۱-۲- مدل مداری برای خط انتقال
۶۹	انتشار موج در خط انتقال
۷۰	خط بدون تلف
۷۰	۲-۲- آنالیز میدانی خط انتقال
۷۰	پارامترهای خط انتقال
۷۳	معادلات تلگرافی با استفاده از آنالیز میدانی خط هم محور
۷۵	ثابت انتشار، امیدانس و شارش توان در خط هم محور بی‌اتلاف
۷۵	۳-۲- خط انتقال بدون افت ختم شده به بار
۷۸	حالت‌های خاص خط انتقال بدون افت
۸۳	۴-۲- نمودار اسمیت
۸۷	نمودار اسمیت ادمیتانس - امیدانس ترکیبی
۸۸	خط اسلات
۹۲	۵-۲- مبدل یک چهارم موج
۹۲	دیدگاه امیدانس
۹۴	دیدگاه انعکاس چند باره
۹۶	۶-۲- عدم تطبیق مولد و بار
۹۷	بار تطبیق یافته با خط
۹۷	مولد تطبیق یافته با خط بارگذاری شده
۹۸	تطبیق مزدوج
۹۹	۷-۲- خطوط انتقال با اتلاف
۹۹	خط کم اتلاف
۱۰۰	خط بدون اعوجاج
۱۰۱	خط انتقال با اتلاف ختم شده به بار
۱۰۲	روش اختلال برای محاسبه‌ی تضعیف
۱۰۴	قضیه‌ی اندوکتانس افزایشی ویلر
۱۰۶	۸-۲- حالت‌های گذرا در خطوط انتقال
۱۰۶	انعکاس پالس از خط انتقال مختوم
۱۰۹	دیگرام‌های برگشت در انتشارهای گذرا

## فصل ۳ خطوط انتقال و موجرها

۱۱۷	۱-۳- حالت کلی امواج TEM, TE و TM
۱۲۰	امواج TEM

۱۲۲	..... امواج TE
۱۲۳	..... امواج TM
۱۲۳	..... تضعیف در اثر تلفات دی‌الکتریک
۱۲۴	..... ۳-۲- موجبر صفحه موازی
۱۲۵	..... مدهای TEM
۱۲۶	..... مدهای TM
۱۲۹	..... مدهای TE
۱۳۲	..... ۳-۳- موجبر مستطیلی
۱۳۳	..... مدهای TE
۱۳۷	..... مدهای TM
۱۴۱	..... مدهای $TE_{m0}$ یک موجبر نیمه‌پر
۱۴۴	..... ۳-۴- موجبر دایره‌ای
۱۴۴	..... مدهای TE
۱۴۸	..... مدهای TM
۱۵۲	..... ۳-۵- خط هم محور (کوآکسیال)
۱۵۲	..... مدهای TEM
۱۵۴	..... مدهای مرتبه بالا
۱۵۷	..... ۳-۶- امواج سطحی روی صفحه‌ی دی‌الکتریک زمین شده
۱۵۸	..... مدهای TM
۱۶۴	..... ۳-۷- خط استریپ
۱۶۵	..... فرمول‌های ثابت انتشار، امپدانس مشخصه و تضعیف
۱۶۷	..... راه حل تقریبی الکترواستاتیک
۱۷۰	..... ۳-۸- خط مایکرو استریپ
۱۷۱	..... فرمول‌های ثابت دی‌الکتریک موثر، امپدانس مشخصه و تضعیف
۱۷۳	..... اثرات وابسته به فرکانس و مدهای مرتبه بالا
۱۷۷	..... ۳-۹- تکنیک تشدید عرضی
۱۷۷	..... مدهای $TE_{0n}$ در یک موجبر مستطیلی نسبتاً پر شده
۱۷۸	..... ۳-۱۰- سرعت‌های موج و اپاشی
۱۷۹	..... سرعت گروه
۱۸۲	..... ۳-۱۱- خلاصه‌ای از خطوط انتقال و موجبرها
۱۸۲	..... سایر خطوط و موجبرها

۱۹۱	..... فصل ۴ تحلیل شبکه‌ی مایکروویو
۱۹۲	..... ۴-۱- امپدانس و ولتاژ و جریان معادل
۱۹۶	..... مفهوم امپدانس
۱۹۹	..... خاصیت‌های فرد و زوج $Z(\omega)$ و $\Gamma(\omega)$
۱۹۹	..... ۴-۲- ماتریس‌های امپدانس و ادمیتانس
۲۰۱	..... شبکه‌های هم پاسخ
۲۰۲	..... شبکه‌های بی‌اتلاف
۲۰۴	..... ۴-۳- ماتریس پراکندگی
۲۰۷	..... شبکه‌هایی هم پاسخ و شبکه‌هایی بی‌اتلاف
۲۰۹	..... جابجایی صفحات مرجع
۲۱۱	..... موج‌های توان و پارامترهای پراکندگی تعمیم یافته



۲۱۵	۴-۴- ماتریس انتقال $(ABCD)$ .....
۲۱۷	رابطه‌ی ماتریس $ABCD$ با ماتریس امیدانس.....
۲۱۷	مدار معادل‌های شبکه‌های دو پورته.....
۲۲۰	۵-۴- نمودارهای جریان سیگنال.....
۲۲۱	تجزیه‌ی نمودار عبور سیگنال.....
۲۲۴	کالیبراسیون تحلیلگر شبکه با روش TRL.....
۲۲۹	۶-۴- ناپیوستگی‌ها و آنالیزهای مدی.....
۲۳۱	آنالیز مدی پله‌ی صفحه‌ی $H$ در موجبر مستطیلی.....
۲۳۷	۷-۴- تحریک موجبرها، جریان‌های الکتریکی و مغناطیسی.....
۲۳۷	صفحه جریان‌هایی که فقط یک مد موجبر را تحریک می‌کنند.....
۲۳۹	مد تحریک شده با منبع جریان الکتریکی یا مغناطیسی دلخواه.....
۲۴۲	۸-۴- تحریک موجبر، کوپلینگ روزنه‌ای.....
۲۴۵	کوپلینگ از طریق روزنه در دیوار عرضی موجبر.....
۲۴۸	کوپلینگ از طریق روزنه در دیوار پهن موجبر.....

## فصل ۵ تطبیق امیدانس و تنظیم

۲۵۷	۱-۵- تطبیق با المان‌های فشرده شبکه‌ی $(L)$ .....
۲۵۸	جواب‌های تحلیلی.....
۲۶۰	حل نمودار اسمیت.....
۲۶۳	۲-۵- تنظیم با تک استاب.....
۲۶۴	استاب‌های موازی.....
۲۶۷	استاب‌های سری.....
۲۷۰	۳-۵- تنظیم دو استابی.....
۲۷۱	روش استفاده از نمودار اسمیت.....
۲۷۴	جواب‌های تحلیلی.....
۲۷۵	۴-۵- ترانسفورماتور یک چهارم موج.....
۲۷۹	۵-۵- تئوری انعکاس‌های کوچک.....
۲۷۹	ترانسفورماتور تک بخشی.....
۲۸۰	ترانسفورماتورهای چندبخشی.....
۲۸۱	۶-۵- ترانسفورماتورهای تطبیق چند بخشی دو جمله‌ای.....
۲۸۶	۷-۵- ترانسفورماتور تطبیق بخشی چبی شف.....
۲۸۶	چند جمله‌ای‌های چبی شف.....
۲۸۷	طراحی ترانسفورماتور چبی شف.....
۲۹۰	۸-۵- خطوط باریک شونده.....
۲۹۱	باریک شونده‌ی نمایی.....
۲۹۲	باریک شونده‌ی مثلثی.....
۲۹۳	باریک شونده‌ی کلاپ فنستین.....

## فصل ۶ تشدیدکننده‌های مایکروویو

۳۰۳	۱-۶- مدارهای تشدید سری و موازی.....
۳۰۳	مدار تشدید سری.....

۳۰۶	مدار تشدید موازی
۳۰۸	$Q$ ی بی باری و $Q$ بار گذاری شده
۳۰۹	۲-۶ تشدید کننده های خط انتقال
۳۰۹	خط اتصال کوتاه شده $\lambda/2$
۳۱۲	خط $\lambda/4$ اتصال کوتاه
۳۱۳	خط $\lambda/2$ مدار باز
۳۱۵	۳-۶ تشدید کننده های حفره ای موجبر مستطیلی
۳۱۵	فرکانس های تشدید
۳۱۷	$Q$ ی بی باری مد $TE_{10}$
۳۱۹	۴-۶ تشدید کننده های حفره ای موجبر استوانه ای
۳۲۰	فرکانس های تشدید
۳۲۱	$Q$ ی بی باری مد $TE_{nm}$
۳۲۵	۵-۶ تشدید کننده های دی الکتریکی
۳۲۵	فرکانس های تشدید مد $TE_{01}$
۳۲۹	۶-۶ تحریک تشدید کننده
۳۲۹	ضریب کوپلینگ و کوپلینگ بحرانی
۳۳۱	تشدید کننده ی میکرواستریپ با کوپلینگ فاصله ای
۳۳۵	حفره ی کوپل شده با روزنه
۳۳۷	تعیین $Q$ ی بی باری با اندازه گیری های انجام شده در پورت ها
۳۳۹	۷-۶ آشفستگی های حفره
۳۳۹	آشفستگی ماده
۳۴۲	آشفستگی در شکل

۳۵۱	فصل ۷ تقسیم کننده های توان و کوپلر های جهتی
۳۵۲	۱-۷ خصوصیات اصلی تقسیم کننده ها و داپلرها
۳۵۲	شبکه های سه پورته اتصال (T)
۳۵۵	شبکه های چهار پورته (کوپلر های جهتی)
۳۵۹	۲-۷ تقسیم کننده ی توان اتصال T
۳۵۹	تقسیم کننده ی بی اتلاف
۳۶۱	تقسیم کننده های مقاومتی
۳۶۲	۳-۷ تقسیم کننده ی توان ویلکینسون
۳۶۳	آنالیز مدهای زوج و فرد
۳۶۶	تقسیم کننده ی نامساوی توان و تقسیم کننده ی ویلکینسون N راهی
۳۶۸	۴-۷ کوپلر های جهتی موجبر
۳۶۹	کوپلر روزنه ای بت
۳۷۳	طراحی کوپلر های چند روزنه ای
۳۷۷	۵-۷ هیبرید ربعی ( $90^\circ$ )
۳۷۹	آنالیز مدهای زوج و فرد
۳۸۱	۶-۷ کوپلر های جهتی خط کوپل شده
۳۸۳	تئوری خط کوپل شده
۳۸۶	طراحی کوپلر های خط کوپل شده
۳۹۱	طراحی کوپلر های خط کوپل شده ی چند بخشی
۳۹۴	۷-۷ کوپلر لانگ

۳۹۸	۸-۷- هیبرید $180^\circ$ .....
۴۰۰	تحلیل مد زوج - فرد هیبرید حلقه.....
۴۰۳	تحلیل مد زوج-فرد هیبرید خط کوپل شده ی باریک شده.....
۴۰۷	موجبر T جادویی.....

۴۱۹	<b>فصل ۸</b> فیلترهای مایکروویو.....
۴۲۰	۸-۱- ساختارهای متناوب.....
۴۲۰	آنالیز ساختارهای متناوب نامحدود.....
۴۲۳	ساختارهای متناوب ختم شده به بار.....
۴۲۴	دیاگرامهای $k-\beta$ و سرعت های موج.....
۴۲۷	۸-۲- طراحی فیلتر با روش پارامتر تصویر.....
۴۲۷	امپدانس های تصویر و توابع تبدیل در شبکه های دو قطبی.....
۴۳۰	قطعه فیلتر $k$ ثابت.....
۴۳۲	قطعه فیلتر $m$ اشتقاقی.....
۴۳۶	فیلترهای ترکیبی.....
۴۳۸	۸-۳- طراحی فیلتر با روش تلفات عبور.....
۴۳۹	نسبت افت توان.....
۴۴۲	فیلتر پایین گذر اولیه با ماکسیمم صافی.....
۴۴۴	فیلتر پایین گذر اولیه با ریپل یکسان.....
۴۴۶	فیلتر پایین گذر اولیه با فاز خطی.....
۴۴۷	۸-۴- تبدیلات فیلتر.....
۴۴۸	تغییر مقیاس امپدانس و فرکانس.....
۴۵۱	تبدیلات میان گذر و میان نگذر.....
۴۵۵	۸-۵- پیاده سازی فیلتر.....
۴۵۵	تبدیلات ریچاردز.....
۴۵۶	شاخص های کورادا.....
۴۶۰	معکوس کننده های امپدانس و ادمیتانس.....
۴۶۱	۸-۶- فیلترهای پایین گذر با امپدانس چند سطحی.....
۴۶۲	مدارهای معادل تقریبی قطعات خط انتقال.....
۴۶۵	۸-۷- فیلترهای خط کوپل شده.....
۴۶۵	مشخصات فیلتر با خط کوپل شده.....
۴۷۰	طراحی فیلتر پایین گذر با خط کوپل شده.....
۴۷۶	۸-۸- فیلتر با استفاده از تشدیدکننده های کوپل شده.....
۴۷۶	فیلترهای میان گذر و میان نگذر با استفاده از تشدیدکننده های یک چهارم موج.....
۴۸۱	فیلترهای میان گذر با استفاده از تشدیدکننده های سری کوپل شده ی خازنی.....
۴۸۳	فیلترهای میان گذر با استفاده از تشدیدکننده های کوپل شده موازی.....

۴۹۳	<b>فصل ۹</b> تئوری و طراحی مولفه های فریتی.....
۴۹۴	۹-۱- خصوصیات اصلی فریت ها.....
۴۹۴	ماتریس نفوذپذیری.....
۵۰۰	میدان هایی با قطبیت دایروی.....

۵۰۲	تأثیر اتلاف
۵۰۴	فاکتورهای مغناطیس‌زدایی
۵۰۸	انتشار موج مسطح در محیط فریت
۵۰۸	انتشار در جهت بایاس (چرخش فارده)
۵۱۲	انتشار عمود بر بایاس (انکسار دوتایی)
۵۱۵	انتشار در موجبر مستطیلی بارگذاری شده با فریت
۵۱۵	مدهای $TE_{m0}$ موجبر با یک تکه فریت
۵۱۸	مدهای $TE_{m0}$ موجبر با دو تکه فریت متقارن
۵۱۹	ایزولاتورهای فریتی
۵۲۰	ایزولاتورهای تشدیدی
۵۲۴	ایزولاتور جا به جایی میدان
۵۲۵	تغییردهنده‌های فاز فریتی
۵۲۷	تغییردهنده‌ی فاز غیر هم‌پاسخ پسماند
۵۳۰	سایر تغییردهنده‌های فاز فریتی
۵۳۱	ژیراتور
۵۳۲	سیرکولاتورهای فریتی
۵۳۲	ویژگی‌های سیرکولاتور تطبیق نشده
۵۳۴	سیرکولاتور پیوندی

## فصل ۱۰ نویز و اعوجاج غیر خطی

۵۴۳	۱-۱۰-۱ نویز در مدارهای مایکروویو
۵۴۴	محدوده‌ی دینامیکی و منابع نویز
۵۴۵	توان نویز و دمای نویز معادل
۵۴۹	اندازه‌گیری دمای نویز
۵۵۰	۱-۲-۲ عدد نویز
۵۵۲	عدد نویز سیستم سری
۵۵۴	عدد نویز شبکه‌ی دو پورته‌ی غیر فعال
۵۵۶	عدد نویز خط با اتلاف تطبیق نشده
۵۵۸	عدد نویز تقویت‌کننده‌ی تطبیق نشده
۵۵۸	۱-۳-۱ اعوجاج غیر خطی
۵۶۰	فشرده‌گی بهره
۵۶۰	هارمونیک و اعوجاج میان مدوله‌سازی
۵۶۳	نقطه‌ی تقاطع مرتبه سوم
۵۶۴	نقطه تقاطع سیستم سری
۵۶۶	اعوجاج میان مدوله‌سازی غیر فعال
۵۶۷	۱-۴-۱ محدوده‌ی دینامیکی
۵۶۷	محدوده‌ی دینامیکی خطی و SFDR

## فصل ۱۱ ابزارهای فعال RF و مایکروویو

۵۷۳	۱-۱۱-۱ دیودها و مدارهای دیودی
۵۷۴	آشکارسازها و دیودهای شاتکی

۵۸۰	دیودهای PIN و مدارهای کنترل
۵۸۷	دیودهای ورتور
۵۸۸	سایر دیودها
۵۹۰	ترکیب توان
۵۹۰	۱۱-۲- ترانزیستورهای پیوند دو قطبی
۵۹۰	ترانزیستور پیوند دو قطبی
۵۹۲	ترانزیستور دو قطبی چند اتصالی
۵۹۴	۱۱-۳- ترانسفورماتورهای اثر میدان
۵۹۴	ترانزیستور اثر میدان فلز - نیمه هادی (MESFET)
۵۹۶	ترانزیستور اثر میدان فلز - اکسید - نیمه هادی (MOSFET)
۵۹۷	ترانزیستور با قابلیت بالای حرکت الکترون (HEMT)
۵۹۸	۱۱-۴- مدارهای مجتمع مایکروویو
۵۹۹	مدارهای مجتمع مایکروویو هیبرید
۶۰۰	مدارهای مجتمع یکپارچه‌ی مایکروویو
۶۰۴	۱۱-۵- تیوب‌های مایکروویو

۶۱۱	فصل ۱۲ طراحی تقویت کننده‌ی مایکروویو
۶۱۲	۱۲-۱- بهره‌های توان در شبکه دو پورته‌ی
۶۱۲	تعاریف بهره‌ی توان در شبکه‌های دو پورته‌ی
۶۱۵	بحث‌های بیشتر در رابطه با بهره‌ی توان شبکه‌ی دو پورته‌ی
۶۱۷	۱۲-۲- پایداری
۶۱۸	دوایر پایداری
۶۲۰	آزمون‌های پایدار بی قید و شرط
۶۲۳	۱۲-۳- طراحی تقویت کننده ترانزیستوری تک طبقه
۶۲۳	طراحی برای بهره‌ی ماکسیمم (تطبیق مزدوج)
۶۲۸	دوایر بهره ثابت و طراحی برای بهره‌ی ثابت
۶۳۱	طراحی تقویت کننده‌ی نویز پایین
۶۳۷	تقویت کننده‌ی ماسفت نویز پایین
۶۳۸	۱۲-۴- طرح تقویت کننده‌ی ترانزیستوری پهن باند
۶۳۹	تقویت کننده‌های متعادل
۶۴۲	تقویت کننده‌های گسترده
۶۴۷	تقویت کننده‌های تفاضلی
۶۵۱	۱۲-۵- تقویت کننده‌های توان
۶۵۱	مشخصه‌های تقویت کننده‌های توان و کلاس‌های تقویت کننده
۶۵۲	مشخصات سیگنال بزرگ ترانزیستورها
۶۵۳	طراحی تقویت کننده‌های قدرت کلاس A

۶۶۱	فصل ۱۳ نوسان‌سازها و مخلوط کننده‌ها
۶۶۳	۱۳-۱- نوسان‌سازهای RF
۶۶۳	تحلیل کلی
۶۶۴	نوسان‌سازهایی با ترکیب امیتر مشترک BJT

۶۶۶	نوسان‌سازهای با استفاده از FET گیت مشترک
۶۶۷	ملاحظات عملی
۶۶۹	نوسان‌سازهای کریستالی
۶۷۰	۱۳-۲- نوسان‌سازهای میکروویو
۶۷۳	نوسان‌ساز ترانزیستوری
۶۷۶	نوسان‌ساز با تشدیدکننده‌ی دی‌الکتریکی
۶۸۰	۱۳-۳- نویز فاز نوسان‌ساز
۶۸۰	نمایش نویز فاز
۶۸۱	مدل لیسون برای نویز فاز نوسان‌ساز
۶۸۶	۱۳-۴- ضرب‌کننده‌های فرکانسی
۶۸۷	ضرب‌کننده‌های دیودی غیر فعال (رابطه‌ی منلی - رو)
۶۹۰	ضرب‌کننده‌های دیودی مقاومتی
۶۹۲	ضرب‌کننده‌های ترانزیستوری
۶۹۶	۱۳-۵- مخلوط‌کننده‌ها
۶۹۶	مشخصات مخلوط‌کننده
۷۰۱	مخلوط‌کننده دیودی تک سر
۷۰۳	مخلوط‌کننده FET تک سر
۷۰۶	مخلوط‌کننده‌های متعادل
۷۰۸	مخلوط‌کننده‌های حذف تصویر
۷۱۰	مخلوط‌کننده‌ی FET تفاضلی و مخلوط‌کننده‌ی گیلبرت
۷۱۳	سایر مخلوط‌کننده‌ها

۷۱۹	فصل ۱۴ معرفی سیستم‌های میکروویو
۷۱۹	۱۴-۱- نگاهی سیستمی به آنتن
۷۲۱	میدان‌ها و توان تابیده شده از آنتن‌ها
۷۲۳	ویژگی‌های الگوی آنتن
۷۲۶	بهره و کارایی آنتن
۷۲۷	بازده روزنه و سطح موثر
۷۲۸	دمای روشنایی و دمای پس زمینه
۷۳۰	دمای نویز آنتن G/T
۷۳۳	۱۴-۲- مخابرات بی سیم
۷۳۵	فرمول فریس
۷۳۷	لینک هزینه و حاشیه‌ی لینک
۷۳۹	معماری گیرنده‌ی رادیویی
۷۴۱	مشخصات نویز گیرنده
۷۴۴	مدولاسیون دیجیتال و نرخ خطای بیت
۷۴۷	سیستم‌های ارتباط بی سیم
۷۵۴	۱۴-۳- سیستم‌های رادار
۷۵۵	معادله‌ی رادار
۷۵۸	رادار پالسی
۷۵۹	رادار داپلر
۷۶۰	سطح مقطع رادار
۷۶۱	۱۴-۴- سیستم‌های رادیومتری

۷۶۲	تئوری و کاربرد رادیومتری
۷۶۴	رادیومتر (تشعشع سنج)
۷۶۵	رادیومتر دیک
۷۶۶	۱۴-۵- انتشار مایکروویو
۷۶۷	اثر جو
۷۶۹	تأثیرات زمینی
۷۷۰	تأثیرات پلاسما
۷۷۰	۱۴-۶- سایر موضوعات و کاربردها
۷۷۰	گرمایش مایکروویو
۷۷۱	انتقال قدرت
۷۷۲	تأثیرات بیولوژیکی و ایمنی
۷۷۹	پیوست‌ها
۷۹۵	نمایه