



مهندسی ریز موج (مایکروویو)

دیوید ام. پوزار

ترجمه علی بنائی، اختر رجبی، محبوبه مسگرتهرانی

مرکز نشر دانشگاهی



مرکز نشر دانشگاهی

Microwave Engineering

Third Edition

David M. Pozar

John Wiley & Sons, 2005

مهندسی ریزموج (مایکروویو)

تألیف دیوید ام. پوزار

ترجمه علی بتانی، اختر رجبی، محبوبه مسگر نهرانی

ویراسته اختر رجبی، محبوبه مسگر نهرانی
طراح جلد: حمید هابدینی
نسخه پرداز: معصومه صفری
حروفچین و صفحه‌آرا: منوچهر دیارمند
ناظر چاپ: علی صادقی
مرکز نشر دانشگاهی
چاپ اول ۱۳۸۹
تعداد ۱۰۰۰
لیتوگرافی: وسمه
چاپ و صحافی: سامان
۱۶۵۰۰ تومان

نشانی فروشگاه مرکزی: خیابان انقلاب، رویه روی سینما سپیده، پاساژ خیبری، تلفن: ۶۶۴۱۰۶۸۶، ۶۶۴۰۸۸۹۱

فروش اینترنتی: <http://eshop.iup.ir>

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاهی محفوظ است

فهرست نویسی پیش از انتشار کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه: پوزار، دیوید ام. Pozar, David M

عنوان و نام پدیدآور: مهندسی ریزموج (مایکروویو)/ دیوید ام. پوزار؛ ترجمه علی بتانی، اختر رجبی، محبوبه مسگر نهرانی.

مشخصات نشر: تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۸۹.

مشخصات ظاهری: هفت، ۹۵۷ ص: مصور، جدول، نمودار.

فروست: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۸. برق: ۹۹.

شابک: 978-964-01-1378-3

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: Microwave engineering, 3rd ed, c2002.

یادداشت: این کتاب قبلاً تحت عنوان «مهندسی ماکروویو» و «مهندسی مایکروویو» با ترجمه محمدرضا سهیلی فر، مجید آقابابایی توسط ناشران مختلف در سالهای مختلف منتشر شده است.

یادداشت: واژه‌نامه.

عنوان دیگر: مهندسی ماکروویو.

عنوان دیگر: مهندسی مایکروویو.

موضوع: مایکروویو

موضوع: مایکروویو — ابزار و وسایل

موضوع: مدارهای مایکروویو

شناسه افزوده: بتانی، علی، مترجم

شناسه افزوده: رجبی، اختر، مترجم

شناسه افزوده: مسگر نهرانی، محبوبه، ۱۳۳۰ -

رده‌بندی کنگره: TK۷۸۷۶/پ۹م۹ ۱۳۸۹

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۸۱۳

شماره کتابشناسی ملی: ۲۰۹۹۸۳۲

مترجم

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

پیشگفتار

۱	
۵	۱ نظریه الکترومغناطیس
۵	۱.۱ درآمدی به مهندسی ریزموج (میکروویو)
۱۱	۲.۱ معادلات ماکسول
۱۶	۳.۱ میدانها در محیط مادی و شرایط مرزی
۲۵	۴.۱ معادله موج و جوابهای پایه‌ای موج تخت
۳۱	۵.۱ جوابهای عمومی موج تخت
۳۹	۶.۱ انرژی و توان
۴۳	۷.۱ بازتاب موج تخت از فصل مشترک محیط مادی
۵۳	۸.۱ تابش مایل در فصل مشترک دی‌الکتریک
۶۰	۹.۱ چند قضیه مفید
۶۷	مسائل

۲ نظریه خط انتقال

۷۲	
۷۲	۱.۲ مدل مدار با عناصر فشرده برای خط انتقال
۷۶	۲.۲ تحلیل میدان خطوط انتقال

۸۳	۳.۲ خط انتقال بی اتلاف ختم شده
۹۳	۴.۲ نمودار اسمیت
۱۰۴	۵.۲ ترانسفورماتور ربع-موجی
۱۰۹	۶.۲ عدم تطبیقهای بار و مولد
۱۱۲	۷.۲ خطوط انتقال با اتلاف
۱۲۲	مسائل
۱۲۸	۳ خطوط انتقال و موجبرها
۱۳۰	۱.۳ جوابهای عمومی برای امواج TEM, TE, و TM
۱۳۸	۲.۳ موجبر صاف-موازی
۱۴۸	۳.۳ موجبر مستطیلی
۱۶۲	۴.۳ موجبر دایره‌ای
۱۷۳	۵.۳ خط هم‌محور، نندهای TEM
۱۸۰	۶.۳ امواج سطحی بر روی یک تختهال دی‌الکتریکی زمین شده
۱۸۸	۷.۳ خط نواری
۱۹۶	۸.۳ ریزنوار
۲۰۴	۹.۳ روش تشدید عرضی
۲۰۶	۱۰.۳ سرعتهای موج و واپاشی
۲۱۱	۱۱.۳ خلاصه خطوط انتقال و موجبرها
۲۱۶	مسائل
۲۲۱	۴ تحلیل شبکه ریزموج
۲۲۳	۱.۴ امپدانس و ولتاژها و جریانهای معادل
۲۳۲	۲.۴ ماتریسهای امپدانس و ادمیتانس
۲۳۸	۳.۴ ماتریس پراکندگی
۲۵۱	۴.۴ ماتریس انتقال (ABCD)
۲۵۸	۵.۴ نمودارهای گذر سیگنال
۲۷۰	۶.۴ ناپیوستگیها و تحلیل مدی
۲۸۰	۷.۴ تحریک موجبرها-جریانهای الکتریکی و مغناطیسی
۲۸۷	۸.۴ تحریک موجبرها-توزیع روزه‌ای
۲۹۶	مسائل

۳۰۴	۵	تطبیق و تنظیم امیدانس
۳۰۵	۱.۵	تطبیق با عناصر فشرده (شبکه‌های L)
۳۱۲	۲.۵	تنظیم تک‌استایی
۳۲۲	۳.۵	تنظیم دواستایی
۳۲۸	۴.۵	ترانسفورماتور ربع موجی
۳۳۳	۵.۵	نظریه بازتابشهای کوچک
۳۳۶	۶.۵	ترانسفورماتورهای تطبیق چندبخشی دوجمله‌ای
۳۴۲	۷.۵	ترانسفورماتورهای تطبیق چندبخشی چبیشف
۳۴۸	۸.۵	خطوط باریک‌شونده
۳۵۵	۹.۵	معیار پودفانو
۳۵۹		مسائل
۳۶۳	۶	تشدیدگرهای ریزموج
۳۶۳	۱.۶	مدارهای تشدید سری و موازی
۳۷۱	۲.۶	تشدیدگرهای خط انتقالی
۳۷۸	۳.۶	کاواکهای موجبری مستطیلی
۳۸۵	۴.۶	کاواکهای موجبری دایره‌ای
۳۹۱	۵.۶	تشدیدگرهای دی‌الکتریکی
۳۹۷	۶.۶	تحریک تشدیدگرها
۴۰۶	۷.۶	ایجاد اختلال در کاواکهای تشدید
۴۱۴		مسائل
۴۲۰	۷	تقسیم‌کننده‌های توان و تزویجگرهای جهتی
۴۲۱	۱.۷	ویژگیهای اصلی تقسیم‌کننده‌ها و تزویجگرها
۴۳۱	۲.۷	تقسیم‌کننده توان پیوند T
۴۳۵	۳.۷	تقسیم‌کننده توان ویلکینسون
۴۴۱	۴.۷	تزویجگرهای جهتی موجبری
۴۵۴	۵.۷	هایبرید تریبمی (90°)
۴۶۰	۶.۷	تزویجگرهای جهتی با خطوط تزویج شده
۴۷۶	۷.۷	تزویجگر لانج
۴۸۰	۸.۷	هایبرید 180°

۴۹۳	۹.۷ تزویج‌گرهای دیگر
۴۹۷	مسائل
۵۰۴	۸ فیلترهای ریزموج
۵۰۵	۱.۸ ساختارهای تناوبی
۵۱۵	۲.۸ طراحی فیلتر با استفاده از روش پارامتر تصویر
۵۲۹	۳.۸ طراحی فیلتر با روش اتلاف عبوری
۵۴۰	۴.۸ تبدیلهای فیلتر
۵۴۹	۵.۸ ساخت فیلتر
۵۵۷	۶.۸ فیلترهای پایین‌گذر امپدانس-پله‌ای
۵۶۲	۷.۸ فیلترها با خطوط تزویج‌شده
۵۷۶	۸.۸ ساخت فیلتر با استفاده از تشدیدگرهای تزویج‌شده
۵۹۰	مسائل
۵۹۴	۹ نظریه و طراحی قطعات فری‌مغناطیسی
۵۹۵	۱.۹ خواص اصلی مواد فری‌مغناطیسی
۶۱۳	۲.۹ انتشار موج تخت در ماده فریتی
۶۲۱	۳.۹ انتشار در موجبر مستطیلی پرشده با ماده فریتی
۶۲۸	۴.۹ جداسازهای فریتی
۶۳۶	۵.۹ تغییردهنده‌های فاز فریتی
۶۴۳	۶.۹ سیرکولاتورهای فریتی
۶۵۲	مسائل
۶۵۷	۱۰ نویز و ادوات فعال RF
۶۵۹	۱.۱۰ نویز در مدارهای ریزموج
۶۷۷	۲.۱۰ گستره پویایی و اعوجاج میان‌مدوله‌سازی
۶۹۰	۳.۱۰ مشخصه‌های دیود RF
۷۰۷	۴.۱۰ مشخصه‌های ترانزیستور RF
۷۱۳	۵.۱۰ مدارهای مجتمع ریزموج
۷۲۱	مسائل

۷۲۶	۱۱ طراحی تقویت‌کننده ریزموج
۷۲۷	۱.۱۱ بهره‌های توان در دودهنه‌ها
۷۳۵	۲.۱۱ پایداری
۷۴۳	۳.۱۱ طراحی تقویت‌کننده ترانزیستوری یک طبقه
۷۶۰	۴.۱۱ طراحی تقویت‌کننده ترانزیستوری پهن باند
۷۷۱	۵.۱۱ تقویت‌کننده‌های توان
۷۷۸	مسائل
۷۸۲	۱۲ نوسانسازها و مخلوط‌کننده‌ها
۷۸۳	۱.۱۲ نوسانسازهای RF
۷۹۳	۲.۱۲ نوسانسازهای ریزموج
۸۰۵	۳.۱۲ نویز فاز نوسانساز
۸۱۲	۴.۱۲ چندبرابرکننده بسامد
۸۲۶	۵.۱۲ بازنگری منابع ریزموج
۸۳۵	۶.۱۲ مخلوط‌کننده‌ها
۸۵۷	مسائل
۸۶۱	۱۳ درآمدی به سیستمهای ریزموج
۸۶۲	۱.۱۳ جنبه‌های سیستمی آنها
۸۷۸	۲.۱۳ سیستمهای مخابراتی بی‌سیم
۸۹۷	۳.۱۳ سیستمهای رادار
۹۰۷	۴.۱۳ سیستمهای تابش‌سنج
۹۱۳	۵.۱۳ انتشار ریزموج
۹۱۸	۶.۱۳ کاربردها و مباحث دیگر
۹۲۳	مسائل
۹۲۷	پیوستها
۹۴۱	پاسخهای مسائل برگزیده
۹۴۶	نمایه

www.ketab.ir

پیشگفتار

چون آموزش باید انباشت ادراکها باشد، و نه فقط گردآوری حقایق، سعی کرده‌ام کتابی بنویسم که بر مفاهیم بنیادی الکترومغناطیس، انتشار موج، تحلیل شبکه، و اصول طراحی که برای مهندسی ریزموج جدید کاربرد دارد، تأکید کند. با آنکه از رهیافت کتاب راهنما (handbook)، که در آن مقدار زیادی اطلاعات با توضیح یا متن کم یا بدون آن داده می‌شود، اجتناب کرده‌ام، مقدار قابل ملاحظه‌ای مطلب در این کتاب به طراحی مدارها و ادوات ریزموج خاص، به خاطر هر دو ارزش عملی‌انگیزی، مربوط می‌شود. سعی کرده‌ام تحلیل و منطق پشتوانه این طراحیها را به‌گونه‌ای بیان کنم که خواننده بتواند روند کاربرد مفاهیم بنیادی برای رسیدن به نتایج سودمند را ببیند و بفهمد. مهندسی که درک قوی از مفاهیم و اصول اساسی مهندسی ریزموج دارد، و دیده است که اینها را چگونه می‌توان برای هدف طراحی خاصی به کار برد، مهندسی است که به احتمال زیاد با کار خلاق و مولد به نتیجه می‌رسد.

مهندسی ریزموج جدید تحلیل و طراحی مدارهای عمدتاً گسترده را، در مقابل گرایش به موجبر و نظریه میدان در نسلهای قبل، در بردارد. بیشتر مهندسان ریزموج امروزه ادوات صفحه‌ای و مدارهای مجتمع را بدون کمک مستقیم تحلیل الکترومغناطیسی طراحی می‌کنند. نرم‌افزار طراحی ریزموج به کمک کامپیوتر (CAD) و تحلیلگرهای شبکه ابزارهای ضروری مهندسی ریزموج امروز هستند، و آموزش مهندسی ریزموج باید به این تغییر تأکید بر تحلیل شبکه، مدارها و ادوات صفحه‌ای، و طراحی مدار فعال پاسخ دهد. مهندسی ریزموج همواره الکترومغناطیس را در برخواهد داشت (بسیاری از بسته‌های نرم‌افزار CAD ریزموج پیچیده‌تر راه‌حلهای نظریه میدان را اجرا می‌کنند)، و دانشجویان باز هم از عرضه موضوعاتی مانند مدهای موجبر و تزویج

از طریق روزنه بهره خواهند برد، ولی تغییر تأکید بر تحلیل و طراحی مدار ریزموج آشکار است.

فناوری ریزموج و RF از قبل فراگیرتر است. این مطلب به‌ویژه در بخش تجاری درست است، که در آن کاربردهای جدید عبارت‌اند از تلفن سلولی، سیستم‌های مخابراتی شخصی، شبکه‌های داده‌ای محلی بی‌سیم، رادار موج میلمتری جلوگیری از برخورد، ماهواره‌های بخش مستقیم در رادیو و تلویزیون، سیستم‌های مکانیابی جهانی، سامانه‌های شناسایی با بسامد رادیویی، سیستم‌های رادیویی و راداری بسیار پهن‌باند، و سیستم‌های ریزموج سنجش از دور برای محیط زیست. سیستم‌های دفاعی در سیستم‌های فعال و غیرفعال سنجش از دور، مخابراتی، و کنترل سلاح‌ها همچنان به شدت بر فناوری ریزموج متکی هستند. این شرایط حاکی از آن است که مسائل دشوار در مهندسی RF و ریزموج در آینده نزدیک کم نخواهند بود، و نیاز آشکار به مهندسانی وجود خواهد داشت که هم درکی از میانی مهندسی ریزموج داشته باشند و هم خلاقیت برای کاربرد این دانش برای مسائل عملی مهم.

موفقیت دو ویرایش نخست کتاب مهندسی ریزموج مایه خشنودی بوده است. برای این ویرایش از معلمان و خوانندگان خواستیم درباره اینکه چه مباحثی بهتر است اضافه یا حذف شوند، به تفصیل اظهار نظر کنند. درباره اینکه مطلب خاصی حذف شود تقریباً توافقی وجود نداشت (به نظر می‌رسید که تقریباً از هر مبحث کتاب به وسیله کسی استفاده می‌شد). اما توافق نسبتاً یکسانی به طرفداری از افزودن مطلب بیشتر درباره طراحی مدار فعال و مباحث مربوط به آن وجود داشت. برای این منظور تعداد فصلها را از ۱۲ به ۱۳ افزایش دادیم و مطالب جدیدی درباره نویز، آثار غیرخطی، MEM‌های RF، مشخصه‌های دیود و ترانزیستور، تقویت‌کننده‌های توان ترانزیستوری، مخلوط‌کننده‌های فیتی، نوسانسازهای ترانزیستوری، نویز فاز نوسانساز، و چندبرابرکننده‌های بسامد اضافه کرده‌ایم. بخشهای مؤلفه‌های میان مدوله‌سازی، گستره پویایی، مخلوط‌کننده‌ها، آنتن‌ها، و طراحی گیرنده کاملاً بازنویسی شده‌اند. مثالها و مسائل جدید یا تجدید نظر شده بسیاری اضافه شده‌اند، که برخی از آنها به مسائل طراحی عملی دربرگیرنده مدارها و ادوات صفحه‌ای مربوط می‌شوند. ویژگی جدید دیگر این ویرایش فهرست پاسخهای مسائل برگزیده در انتهای کتاب است. مباحثی که در این ویرایش حذف شده‌اند عبارت‌اند از قضیه یکتایی، تشدیدگرهای فابری-پروت، جنگ‌افزار الکترونیکی، و تعدادی از مثالهای مربوط به موجرها.

این کتاب درسی برای یک دوره دو ترمی در مهندسی ریزموج، برای دانشجویان سال آخر کارشناسی یا سال اول کارشناسی ارشد نوشته شده است. اگر دانشجویان اطلاعات خوبی درباره

الکترومغناطیس دوره کارشناسی داشته باشند، مطالب فصلهای ۱ و ۲ را می‌توانند با سرعت نسبتاً زیادی مرور کنند. دانشجویان با اطلاعات کمتر بهتر است این مطالب را با تفصیل بیشتری مطالعه کنند، سپس فصلهای ۳ تا ۱۳ را می‌توان به ترتیب مطالعه کرد، اما احتمال دارد که معلم بخواهد بین تأکید بر نظریه میدان (فصلهای ۳ تا ۹، و ۱۳)، یا تأکید بر مطلب بیشتر درباره طراحی مدار (فصلهای ۴ تا ۸، و ۱۰ تا ۱۲) یکی را انتخاب کند. از طرفی، امکان دارد توجه فقط بر طراحی مدار ریزموج در مطالب انتخابی فصلهای ۲، ۴ تا ۸، و ۱۰ تا ۱۳ متمرکز شده، مطالب مربوط به تحلیل الکترومغناطیسی نادیده گرفته شود.

دو نکته مهم که در یک دوره موفقیت‌آمیز مهندسی ریزموج بهتر است در نظر گرفته شود استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی طراحی به کمک کامپیوتر (CAD) و تجربه آزمایشگاهی ریزموج است. میسر کردن دستیابی دانشجویان به نرم‌افزار CAD به آنها اجازه می‌دهد که نتایج مسائل طراحی‌گرا در کتاب را ارزیابی کنند، و با کسب اطمینان دریابند که با تلاش بیشتر می‌توان نتایج بهتری گرفت. به سبب آنکه کار سخت محاسبات تکراری حذف شده است، دانشجویان می‌توانند به آسانی رهیافتهای دیگری را امتحان کرده، مسائل را مفصلتر بررسی کنند. برای مثال، اثرات لایه‌های خط در چندین مثال و مسئله بررسی شده است. این کار بدون استفاده از ابزارهای جدید CAD عملاً غیرممکن خواهد بود. به علاوه، امکان استفاده از ابزارهای CAD در کلاس درس تجربه مفیدی را تا زمان فراغت از تحصیل فراهم می‌آورد. بیشتر ابزارهای CAD ریزموج موجود در بازار بسیار گران‌اند، ولی برخی از سازندگان تخفیفهای دانشجویی یا «نسخه‌های دانشجویی» رایگان محصولات خود را عرضه می‌کنند. برای مثال، شرکت آنسافت نسخه دانشجویی بسته نرم‌افزار مشهور SERENADE خود را برای دریافت رایگان در وبسایت خود (www.ansoft.com) در دسترس قرار داده است.

تجهیز آزمایشگاه آموزشی عملی ریزموج پرهزینه است ولی بهترین راه ایجاد حس شهودی و عینی درباره پدیده‌های ریزموج برای دانشجویان است. آزمایشگاهی همراه با ترم اول دوره، اندازه‌گیری توان، بسامد، نسبت موج ساکن، امپدانس، و پارامترهای S را، علاوه بر مشخص کردن ادوات ریزموج پایه‌ای مانند تنظیم‌کننده‌ها، تزویج‌گرها، تشدیدگرها، بارها، سیرکولاتورها، و فیلترها، ممکن است دربر گیرد. اطلاعات عملی مهم درباره اتصال‌دهنده‌ها (کانکتورها)، موجبرها، و تجهیزات اندازه‌گیری ریزموج به این طریق کسب خواهد شد. از طرفی، در یک ترم آزمایشگاه پیشرفته‌تر می‌توان مباحثی مانند عدد نویز، اعوجاج میان مدوله‌سازی، و مخلوط کردن را در نظر گرفت. به طور طبیعی، نوع آزمایشهایی که می‌توان ارائه داد به شدت به تجهیزات آزمایشی در دسترس بستگی دارد.

همراه با این ویرایش می‌توانیم چندین منبع را در وب‌سایت وایلی در دسترس دانشجویان و معلمان قرار دهیم. یک راهنمای آزمایشگاه آموزشی نمونه را، همراه با فایل‌های مدار SERENADE برای بسیاری از مسائل و مثال‌های متن، می‌توان در www.wiley.com/college/pozar یافت. یک راهنمای حل همه مسائل کتاب برای معلمان صاحب صلاحیت قابل دسترسی است، که از طریق وب‌سایت www.wiley.com/college/pozar و رفتن به سایت Instructor's Companion می‌توانند برای دستیابی اقدام کنند.

دیوید ام. پوزار

ماساچوست

www.ketab.ir