

میکروالکترونیک

RF

مؤلف: پروفیسور بہزاد رضوی

مترجم: مهندس داریوش شیریں



موسسه علمی فرهنگی

Razavi, Behzad

رضوی، بهزاد

میکروالکترونیک RF / بهزاد رضوی، [مترجم] داریوش شیری.

تهران: نص، ۱۳۸۴.

۳۳۶ ص، مصور، جدول، نمودار

ISBN: 964-410-024-7

۳۰۰۰۰ ریال:

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا.

RF Microelectronics

عنوان اصلی:

۱. رادیو -- مدارها -- طرح و ساختمان. ۲. مدارهای مجتمع -- طرح و ساختمان. الف.

شیری، داریوش. ب. عنوان.

۶۲۱/۳۸۴۱۲

م ۹/کر/TK۶۵۶۰

۸۳-۴۰۰۳۷ م

کتابخانه ملی ایران



موسسه علمی فرهنگی

میکروالکترونیک RF

مولف: پروفسور بهزاد رضوی

مترجم: مهندس داریوش شیری

چاپ اول: بهار ۸۴

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

قیمت: ۳۰۰۰ تومان

تیراژ: ۲۰۰۰

طراحی، آماده سازی: موسسه علمی فرهنگی «نص»

تهران: میدان انقلاب، خیابان اردیبهشت، بن بست مبین، شماره ۲۲۷

تلفکس: ۶۴۱۲۳۸۵ - تلفن: ۶۴۶۵۶۷۴ / ص.پ. ۱۳۱۴۵/۸۶۳

ISBN: 964-410-024-7

شابک: ۹۶۴-۴۱۰-۰۲۴-۷

مقدمه مترجم

ترجمه آثار متخصصان برجسته ایرانی در خارج از کشور یکی از راههای استفاده غیرمستقیم از وجود این سرمایه‌های میهنی است. پروفیسور بهزاد رضوی استاد مهندسی برق دانشگاه کالیفرنیا در لوس آنجلس (UCLA) یکی از این سرمایه‌های میهنی و شخصیتی برجسته و بین‌المللی در زمینه طراحی مدارهای مجتمع آنالوگ و RF است که هنر معلمی نیز در آثار ایشان هویداست و متخصصان ایرانی دیگری نیز برای جامعه بین‌المللی تربیت کرده است. کتاب RF Microelectronics از دیگر آثار ایشان است که فصلهایی از آن را در دوران دانشجویی به عنوان سمینار درس طراحی مدارهای RF ترجمه کرده بودم. بعد از انتشار ترجمه کتاب معروف ایشان، Design of CMOS Analog Integrated Circuits توسط انتشارات نص، جناب آقای مهندس زارع، مدیریت محترم انتشارات، که همواره نسبت به چاپ کتب علمی جدید در مهندسی برق اهتمام دارند، بنده را نسبت به تکمیل ترجمه کتاب RF Microelectronics نیز تشویق کردند که جای سپاس فراوان دارد.

از جناب پروفیسور بهزاد رضوی که با نیک‌اندیشی بسیار اصل شکل‌های کتاب را در اختیار بنده قرار دادند و فرآیند چاپ را آسان نمودند، و نیز از جناب دکتر علی فتوت احمدی که اصل کتاب را در اختیار اینجانب نهادند و مقدمه جامعی برای این ترجمه نوشتند، صمیمانه سپاسگزارم.

اعداد و ارقامی که در مقدمه و فصل اول کتاب نوشته شده مربوط به سال ۱۹۹۸ است و خوانندگان برای اطلاع از روند فعلی فناوری RF می‌توانند به کتابهای جدیدتر مثل ویرایش دوم کتاب پروفیسور Thomas.H.Lee و یا مجلات IEEE Journal of Solid-State Circuits رجوع کنند، ولی هسته اصلی کتاب که همان مبانی RF است همواره مستقل از زمان قابل استفاده است.

در معادل‌گزینی برای واژه‌ها سعی کردم که واژه معادل به گونه‌ای باشد تا خواننده بتواند از روی آن معادل انگلیسی را هم حدس بزند و در مفاهیم دچار اشکال نشود. سرعت پیشرفت این شاخه از دانش نیز

بسیار بیشتر از آن است که زمان صرف جانداختن واژگان معادل شود، هرچند بی‌کوشش نشستن و نظارگی هم پسندیده نیست.

مایلم این ترجمه را به پدر بزرگوام تقدیم کنم و نیز استادانی که به ترتیب تقدم تاریخی زیر از آنان درسهای فراوان آموخته‌ام:

- جناب دکتر محمد اخوان فرشی (دانشگاه صنعتی شریف) - به پاس جلسات درس فیزیک الکتریسته و آزمایشهای درس (به قول ایشان demonstration) که با شور و شغف و عشق معلمی انجام می‌شد.
 - جناب دکتر بیژن رشیدیان (دانشگاه صنعتی شریف) - که علاقه خود به فیزیک ادوات و فناوری ساخت رادیو کلاسها و سخنرانیهای جذاب ایشان می‌دانم.
 - جناب پروفیسور همایون هاشمی (دانشگاه صنعتی شریف) - به پاس کلاسهای درس مخابرات، درس فروتنی و هنر معلمی.
 - جناب مهندس محمد جعفر تحویلدار (دانشگاه صنعتی شریف) - به پاس کلاسهای درس تلویزیون، سمینارهای کارخانجات پارس و درس فروتنی، هنر معلمی و دعاهای خیر ایشان.
 - مرحوم پروفیسور اکبر ادیبی (ره) (دانشگاه صنعتی امیرکبیر) - به پاس لحظات شیرین و به یادماندنی درس تئوری و تکنولوژی ساخت، سمینارهای HBT و SEED و درس سخت‌کوشی و اعتماد به نفس.
 - جناب دکتر علی فتوت احمدی (شرکت کاوش کام آسیا) - که همواره آرزوی شاگردی در کلاس درس ایشان را داشته‌ام ولی خداوند این آرزو را از طریق دیگری محقق فرمود.
- در پایان یادآور می‌شوم با وجود روخوانی و ویرایش چندباره کتاب به هیچ عنوان معتقد نیستم که کتاب خالی از اشکال است. لذا از خوانندگان خواهشمندم که اشکالات احتمالی را از طریق پست الکترونیک ناشر nasspublic@yahoo.com یا مستقیماً به اینجانب اطلاع دهند. (لطفاً در قسمت عنوان نامه عبارت [RF-RAZAVI] را بگنجانید)

داریوش شیرینی

تیر ماه ۱۳۸۳ خورشیدی

e-mile:d_shiri@yahoo.com

مقدمه مولف

درآمد سالیانه فروش تلفن‌های سلولی به بیش از ۲/۵ میلیارد دلار رسیده است. شبکه‌های خانگی ماهواره‌ای با داشتن ۴/۵ میلیون مشتری صنعت ۲/۵ میلیارد دلاری تشکیل داده‌اند. انتظار می‌رود سیستم ناوبری جهانی تا سال ۲۰۰۰ بازار ۵ میلیارد دلاری ایجاد کند. فروش تجهیزات مخابرات سیار در اروپا تا سال ۱۹۹۸ به ۳۰ میلیارد دلار خواهد رسید. این اعداد و ارقام همچنان رو به افزایش است. بازار RF و بی‌سیم ناگهان تا ابعاد غیرقابل تصویری رشد کرده است. وسائلی مانند پی‌جو، تلفن‌های سیار و بی‌سیم، مودم‌های کابلی، شناسه‌های RF به سرعت در همه جنبه‌های زندگی ما رسوخ کرده‌اند، از وسائلی تجملی گرفته تا ابزارهای ضروری. شرکت‌های نیمه‌رسانا و سازنده سیستم‌ها، چه کوچک و چه بزرگ، چه آنالوگ و چه دیجیتال با دیدن این ارقام تلاش می‌کنند تا بخشی از بازار را با عرضه محصولات RF در دست بگیرند.

طراحی RF از این جهت که بسیاری از شاخه‌های نامرتبط به مدار مجتمع (IC) را دربر می‌گیرد منحصر بفرد است. دانش RF تقریباً در طول یک قرن رشد کرده و بخش بی‌پایانی از متون علمی جدید را به خود اختصاص داده است.

این کتاب به تحلیل و طراحی مدارها و سیستم‌های مجتمع RF می‌پردازد. این کتاب با بررسی سیستماتیک الکترونیک RF با زبانی آموزشی، از پیش نیازهای لازم در تئوری مخابرات و میکروموج شروع می‌کند و خواننده را به سمت طراحی مدارها و فرستنده - گیرنده‌های RF پیش می‌برد. این متن روی هر دو سطح معماری و مداری از نظر قابلیت مجتمع‌سازی آنها با فناوریهای VLSI تأکید دارد.

تمرکز اصلی روی طراحی دوقطبی و CMOS است ولی بیشتر مفاهیم را می‌توان به سایر فناوریها نیز تعمیم داد. فرض بر این است که خواننده با مفاهیم پایه طراحی IC آنالوگ و نظریه سیگنالها و سیستمها آشناست.

کتاب مشتمل بر ۹ فصل است. فصل ۱ مقدمه‌ای کلی است و با طرح سؤالاتی، انگیزه‌ای برای مطالعه فصول بعدی ایجاد می‌کند. فصل ۲ مفاهیم پایه در طراحی RF و میکروموج را شرح می‌دهد و بر اثرات غیرخطی و نویز تأکید دارد.

فصل ۳ و ۴ خواننده را به سطح سیستمی مخابرات می‌برند و مدولاسیون، آشکارسازی، روشهای دستیابی چندگانه و استانداردهای بی‌سیم را مرور می‌کنند. این موضوعات اگرچه در بدو امر غیر ضروری به نظر می‌رسند ولی برای طراحی مدارها و سیستم‌های RF اهمیت بنیادی دارند.

فصل ۵ به معماریهای فرستنده و گیرنده می‌پردازد و توپولوژیهای مختلف فرستنده و گیرنده را با مزایا و معایب آنها معرفی می‌کند. این فصل شامل چند مثال کاربردی هم هست که نمونه‌ای از روشهای بکار گرفته شده در محصولات واقعی RF را نشان می‌دهد.

فصول ۶ تا ۹ به طراحی بلوکهای سازنده RF می‌پردازند که عبارتند از تقویت‌کننده‌های کم‌نویز و میکسرها، نوسان‌سازها، سنتزکننده‌های فرکانس و تقویت‌کننده‌های توان. در این فصول تأکید بر کاهش عناصر خارج از تراشه است. هدف اصلی در این فصول نشان دادن این نکته است که چگونه از ملزومات سیستم پارامترهای لازم برای مدارها مشخص می‌شود و چگونه عملکرد هر مدار بر کل فرستنده-گیرنده تأثیر دارد.

تقریباً ۸۰٪ محتویات این کتاب را بصورت یک درس ۴ واحدی در UCLA تدریس کرده‌ام. فصل‌های ۳، ۴، ۸ و ۹ را می‌توان در یک دوره ۱۰ هفته‌ای گنجاند ولی در یک ترم کامل می‌توان آنها را مفصل‌تر ارائه کرد.

بخش اعظمی از اطلاعات من درباره طراحی RF از طریق ارتباط با همکاران بدست آمده است. هلن کیم، تینگ-پینگ لیو و دان آویدور از آزمایشگاههای بل و دیوید سو و آندرو ژگورک از آزمایشگاههای هیولت - پکارد به طرق مختلف در تهیه مطالب این کتاب کمک کردند. تعدادی از افراد خُبره این کتاب را بازبینی کردند که عبارتند از اشتیافن هاین (زیمنس)، بارت جانسن (هیولت - پکارد)، تینگ - پینگ لیو (آزمایشگاههای بل)، جان لانگ (دانشگاه تورنتو)، تادائو ناکاگاوا (NTT)، گیتی ناصر بخت (نگراس اینسترومنت)، تد راپاپورت (ویرجینیاتک)، تیرداد صولتی (ژنوم)، یرودی استیزلر (آزمایشگاههای بل)، دیوید سو (هیولت - پکارد) و ریک وِزل (UCLA). علاوه بر آن، تعدادی از دانشجویان UCLA، از جمله فرید بهبهانی، هومن دارابی، جان لیت و جاکوب رائل فصل‌های مختلف را خواندند و پیشنهادهای مفیدی ارائه کردند. به همه این افراد به‌خاطر کمکهای صمیمانه ایشان مدیونم.

هم‌چنین از کارمندان انتشارات Prentice Hall بویژه راس هال، مورین دایانا و کری ریردان به‌خاطر حمایت‌هایشان سپاسگزارم.

بهزاد رضوی

فهرست مطالب

مقدمه دکتر علی فتوت احمدی

۲۵	۱	آشنایی با فناوری RF و بی سیم
۲۶	۱-۱	مقایسه پیچیدگی
۲۸	۲-۱	گلوگاه طراحی
۳۰	۳-۱	کاربردها
۳۱	۴-۱	سیستم های آنالوگ و دیجیتال
۳۲	۵-۱	انتخاب فناوری
۳۴		مراجع
۳۵	۲	مفاهیم پایه در RF
۳۵	۱-۲	خاصیت غیر خطی و تغییر پذیری با زمان
۳۸	۱-۱-۲	اثرات غیر خطی
۴۶	۲-۱-۲	طبقات غیر خطی متوالی
۴۹	۲-۲	تداخل بین سمبل ها
۵۲	۳-۲	فرآیندهای تصادفی و نویز
۵۳	۱-۳-۲	فرآیندهای تصادفی
۶۰	۲-۳-۲	نویز

۴۰۲	حساسیت و گستره دینامیکی	۷۱
۵۰۲	تبدیل امپدانس غیر فعال	۷۳
	مراجع	۷۵

۳

	مدولاسیون و آشکارسازی	۷۷
۱-۳	ملاحظات کلی	۷۷
۲۰۳	مدولاسیون آنالوگ	۷۹
۱-۲۰۳	مدولاسیون دامنه	۷۹
۲-۲۰۳	مدولاسیون فاز و فرکانس	۸۱
۳-۳	مدولاسیون دیجیتال	۸۶
۱-۳-۳	مفاهیم پایه‌ای	۸۶
۲-۳-۳	مدولاسیون دوتایی (باینری)	۹۶
۳-۳-۳	مدولاسیون متعامد	۱۰۲
۴۰۳	بازدهی توان در روشهای مدولاسیون	۱۱۲
۱-۴-۳	سیگنالهای با پوش ثابت و پوش متغیر	۱۱۲
۲-۴-۳	گسترش طیفی	۱۱۳
۵۰۳	آشکارسازی ناهمدوس	۱۱۴
	مراجع	۱۱۶

۴

	روشهای دستیابی چندگانه و استانداردهای بی‌سیم	۱۱۹
۱-۴	مخابرات سیار RF	۱۱۹
۲-۴	روشهای دسترسی چندگانه	۱۲۴
۱-۲-۴	دو پلکس زمانی و فرکانسی	۱۲۴
۲-۲-۴	دستیابی چندگانه با تخصیص فرکانس	۱۲۶
۳-۲-۴	دستیابی چندگانه با تخصیص زمانی	۱۲۶
۴-۲-۴	دستیابی چندگانه با تخصیص کد	۱۲۷
۳-۴	استانداردهای بی‌سیم	۱۳۱
۱-۳-۴	سرویس تلفن سیار پیشرفته (AMPS)	۱۳۱
۲-۳-۴	استاندارد دیجیتال آمریکای شمالی (NADC)	۱۳۲
۳-۳-۴	سیستم جهانی مخابرات سیار (GSM)	۱۳۳
۴-۳-۴	Qualcomm CDMA	۱۳۴
۵-۳-۴	تلفن بی‌سیم دیجیتال اروپایی (DECT)	۱۳۶

۵

۱۳۹	معماریهای فرستنده-گیرنده
۱۳۹	۱-۵ ملاحظات کلی
۱۴۳	۲-۵ معماریهای گیرنده
۱۴۳	۱-۲-۵ گیرندههای هترودین
۱۴۹	۲-۲-۵ گیرندههای همودین
۱۵۸	۳-۲-۵ گیرندههای حذف تصویر
۱۶۶	۴-۲-۵ گیرندههای دیجیتال IF
۱۶۷	۵-۲-۵ گیرندههای زیر نمونه بردار Sub-sampling
۱۶۹	۳-۵ معماریهای فرستنده
۱۷۲	۱-۳-۵ فرستندههای تبدیل مستقیم
۱۷۳	۲-۳-۵ فرستندههای دو مرحله‌ای
۱۷۴	۴-۵ معیارهای عملکرد فرستنده-گیرنده
۱۷۶	۵-۵ چند مثال عملی
۱۷۷	۱-۵-۵ گیرنده FM موتورولا
۱۷۸	۲-۵-۵ گیرنده (pager) فیلیپس
۱۷۹	۳-۵-۵ فرستنده-گیرنده DECT فیلیپس
۱۸۰	۴-۵-۵ فرستنده-گیرنده GSM ساخت Lucent Technologies
۱۸۱	۵-۵-۵ فرستنده-گیرنده GSM فیلیپس
۱۸۳	مراجع

۶

۱۸۵	تقویت‌کننده‌های کم‌نویز و میکسرها
۱۸۵	۱-۶ تقویت‌کننده‌های کم‌نویز
۱۸۵	۱-۱-۶ ملاحظات کلی
۱۸۹	۲-۱-۶ تطبیق امپدانس در ورودی
۱۹۳	۳-۱-۶ LNAهای دوقطبی
۱۹۷	۴-۱-۶ LNAهای CMOS
۲۰۰	۲-۶ میکسرهای پایین آورنده
۲۰۰	۱-۲-۶ ملاحظات کلی
۲۰۷	۲-۲-۶ میکسرهای دوقطبی
۲۱۲	۳-۲-۶ میکسرهای CMOS
۲۱۴	۳-۲-۶ نویز در میکسرها

۲۱۹	تجزیل طبقات پشت سرهم	۳-۶
۲۲۳	مراجع	

۲۲۵	نوسان‌سازها	۷-۱
۲۲۵	ملاحظات کلی	۷-۱
۲۲۸	توپولوژیهای پایه نوسان‌ساز	۷-۲
۲۳۱	نوسان‌سازهای کنترل‌شونده با ولتاژ	۷-۳
۲۳۲	نویز فاز	۷-۴
۲۳۳	اثر نویز فاز در مخابرات RF	۷-۴-۱
۲۳۶	Q یک نوسان‌ساز	۷-۴-۲
۲۳۸	سازوکارهای نویز فاز	۷-۴-۳
۲۴۲	تضاد توان و نویز	۷-۴-۴
۲۴۳	اثر تقسیم و ضرب فرکانس بر نویز فاز	۷-۴-۵
۲۴۳	اثر pushing و pulling در نوسان‌ساز	۷-۴-۶
۲۴۵	نوسان‌سازهای LC از نوع دوقطبی و CMOS	۷-۵
۲۴۵	نوسان‌سازهای Gm - منفی	۷-۵-۱
۲۴۹	نوسان‌سازهای اترپولاتیو	۷-۵-۲
۲۵۱	سلفهای یکپارچه	۷-۶
۲۵۳	VCOهای بدون تشدیدکننده	۷-۷
۲۵۴	تولید سیگنال متعامد	۷-۸
۲۵۴	شبکه RC-CR	۷-۸-۱
۲۵۶	روش هیون	۷-۸-۲
۲۶۰	تقسیم فرکانس	۷-۸-۳
۲۶۰	تولید سیگنال SSB	۷-۹
۲۶۱	مراجع	

۲۶۵	سنتزکننده‌های فرکانس	۸-۱
۲۶۵	ملاحظات کلی	۸-۱
۲۶۷	حلقه‌های قفل فاز	۸-۲
۲۶۷	مفاهیم پایه	۸-۲-۱
۲۷۰	PLL ساده	۸-۲-۲

۲۷۶	PLL پمپ بار	۳-۲-۸
۲۸۳	PLL های نوع I و II	۴-۲-۸
۲۸۴	نویز در PLL ها	۵-۲-۸
۲۸۴	نویز فاز در ورودی	۶-۲-۸
۲۸۵	نویز فاز VCO	۷-۲-۸
۲۸۷	ضرب فرکانس	۸-۲-۸
۲۸۷	معماریهای سنتزکننده RF	۳-۸
۲۸۸	معماری N-صحیح	۱-۳-۸
۲۹۵	معماری N-کسری	۲-۳-۸
۳۰۱	معماریهای دو حلقه‌ای	۳-۳-۸
۳۰۴	سنتز مستقیم دیجیتال (DDS)	۴-۳-۸
۳۰۷	تقسیم‌کننده‌های فرکانس	۴-۸
۳۰۸	مدارهای تقسیم - بر - دو	۱-۴-۸
۳۱۱	تقسیم‌کننده‌های دوضربیه	۲-۴-۸
۳۱۴	مراجع	

۹

۳۱۷	تقویت‌کننده‌های توان (PA)	
۳۱۷	ملاحظات کلی	۱-۹
۳۲۰	PA های خطی و غیر خطی	۱-۱-۹
۳۲۰	طبقه‌بندی تقویت‌کننده‌های توان	۲-۹
۳۲۱	PA های گروه A و B	۱-۲-۹
۳۲۴	PA های گروه C	۲-۲-۹
۳۲۵	تقویت‌کننده‌های توان پربازده	۳-۹
۳۳۰	تطبیق امپدانس سیگنال بزرگ	۴-۹
۳۳۲	روشهای خطی سازی	۵-۹
۳۳۳	فید فوروارد	۱-۵-۹
۳۳۵	فیدبک	۲-۵-۹
۳۳۵	حذف و بازیافت پوش	۳-۵-۹
۳۳۸	LINC	۴-۵-۹
۳۴۰	مثالهای عملی	۶-۹
۳۴۳	مراجع	