

۱۸۲۹۴۹۸

مدارهای میکروالکترونیک

ویرایش هفتم

جلد دوم

عبدالاسم صدرا

گنت سی اس بی

ترجمه

منوچهر احمدوند

عضو هیئت علمی واحد علوم تحقیقات

عمادالدین فاطمی زاده

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

Microelectronic Circuits, 7th ed

by: Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith

Oxford University Press, 2015

مدارهای میکروالکترونیک (دوم) (ویرایش هفتم)

تألیف عادل اس. صدرا، کنت سی. اسمیت

ترجمه منوچهر احمدوند، عما الدین فاطمی زاده

طراحی جلد: الهه احمدی میرقائد

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۶

شمارگان: ۱۰۰۰

بها: ۵۰۰۰۰ تومان

ویرایش و آماده‌سازی کتاب را مترجمان انجام داده‌اند.

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-174-5

شابک جلد دوم: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۷۴-۵

ISBN 978-964-208-173-7

شابک دوره: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۸۳-۷

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۱

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب - خیابان شهید منیری جاوید (اردیبهشت) - ساختمان بهمن - پلاک ۸۷ - طبقه چهارم - واحد ۴۰۲

وبگاه: <http://sina.sharif.ir/~publishing>

پست الکترونیکی: publishing@sharif.edu

فروش اینترنتی: www.saneibook.com, www.ketabiran.ir

موضوع: Electronic circuits

موضوع: مدارهای مجتمع

موضوع: Integrated circuits

شناسه افزوده: اسمیت، کنت کارلس

Smith, Kenneth Carless

شناسه افزوده: احمدوند، منوچهر، مترجم

شناسه افزوده: فاطمی زاده، عماالدین، مترجم

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی

Sharif University of Technology, Institute of Scientific Publication

رده‌بندی کنگره: TK۷۸۶۷/ص۴م۴ ۱۳۹۵

رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۳۸۱۵

شماره کتابشناسی ملی: ۴۴۶۸۲۲

سرشناسه: صدرا، عادل اس. Sedra, Adel S.

عنوان و نام پدیدآور: مدارهای میکروالکترونیک (جلد دوم) / تألیف عادل اس. صدرا و کنت سی. اسمیت؛

ترجمه منوچهر احمدوند و عماالدین فاطمی زاده

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۵

مشخصات ظاهری: ۶۰۶ ص.، مصور، نمودار

شابک: 978-964-208-174-5

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: Microelectronic Circuits, 7th ed, 2015.

یادداشت: کتاب حاضر قبلاً تحت عنوان «مدارهای میکروالکترونیک» توسط مترجمان و ناشران مختلف به

چاپ رسیده است.

عنوان دیگر: مدارهای میکروالکترونیک

موضوع: مدارهای الکترونیکی

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

یادداشت مترجمان پانزده

قسمت دوم: تقویت کننده های مدار مجتمع ۱

فصل ۸

بلوک های سازنده تقویت کننده های مدار مجتمع ۲

مقدمه ۴

۱-۸ فلسفه طراحی IC ۵

۲-۸ بایاس کردن IC - منابع جریان، آینه های جریان، و مدارهای چرخاننده جریان ۶

۱-۲-۸ منبع جریان ماسفتی پایه ۷

۲-۲-۸ مدارهای چرخاننده جریان ماس ۱۰

۳-۲-۸ مدارهای BJT ۱۲

۴-۲-۸ عملکرد سیگنال کوچک آینه های جریان ۱۷

۳-۸ سلول بهره پایه ۱۹

۱-۳-۸ تقویت کننده های CS و CE با بارهای منبع جریان ۱۹

۲-۳-۸ بهره ذاتی ۲۰

۳-۳-۸ تأثیر مقاومت خروجی بار منبع جریانی ۲۳

۴-۳-۸ افزایش بهره سلول پایه ۲۹

۴-۸ تقویت کننده های گیت مشترک و بیس مشترک ۳۰

۱-۴-۸ مدار CG ۳۰

۲-۴-۸ مقاومت خروجی یک تقویت کننده CS با یک مقاومت سورس ۳۴

۳-۴-۸ اثر بدنه ۳۵

۴-۴-۸ مدار CB ۳۶

۵-۴-۸ مقاومت خروجی یک تقویت کننده CE با تباهی امیتر ۳۸

۳۹.....	۵-۸ تقویت کننده‌های کسکود
۳۹.....	۱-۵-۸ کسکود کردن
۴۰.....	۲-۵-۸ تقویت کننده کسکود ماس
۴۴.....	۳-۵-۸ توزیع بهره ولتاژ در یک تقویت کننده کسکود
۴۶.....	۴-۵-۸ کسکود کردن دوبل
۴۷.....	۵-۵-۸ کسکود تاشده
۴۸.....	۶-۵-۸ کسکود BJT
۵۰.....	۶-۸ مدارهای آینه جریان با عملکرد بهبود یافته
۵۰.....	۱-۶-۸ آینه‌ای ماس کسکود
۵۱.....	۲-۶-۸ آینه جریان ویلسون
۵۳.....	۳-۶-۸ آینه ماس ویلسون
۵۵.....	۴-۶-۸ منبع جریان دیلا
۵۷.....	۷-۸ تعدادی جفت کردن‌های ترانزیستور خودمند
۵۷.....	۱-۷-۸ آرایش‌های $CD-CE$, $CD-CS$, $CC-CE$
۶۱.....	۲-۷-۸ آرایش دارلینگتون
۶۲.....	۳-۷-۸ آرایش‌های $CD-CG$ و $CC-CB$
۶۴.....	خلاصه
۶۵.....	مسائل

فصل ۹

۸۷.....	تقویت کننده‌های تفاضلی و چندطبقه
۸۸.....	مقدمه
۸۹.....	۱-۹ زوج تفاضلی ماسی
۸۹.....	۱-۱-۹ عملکرد با یک ولتاژ ورودی وجه مشترک
۹۳.....	۲-۱-۹ عملکرد با یک ولتاژ ورودی تفاضلی
۹۴.....	۳-۱-۹ عملکرد سیگنال بزرگ
۹۸.....	۴-۱-۹ عملکرد سیگنال کوچک
۱۰۳.....	۵-۱-۹ تقویت کننده تفاضلی با بارهای منبع جریانی
۱۰۴.....	۶-۱-۹ تقویت کننده تفاضلی کسکودی

۱۰۵.....	زوج تفاضلی BJT	۲-۹
۱۰۵.....	عملکرد پایه‌ای	۱-۲-۹
۱۰۷.....	گستره وجه مشترک ورودی	۲-۲-۹
۱۰۸.....	عملکرد سیگنال بزرگ	۳-۲-۹
۱۱۰.....	عملکرد سیگنال کوچک	۴-۲-۹
۱۱۷.....	حذف وجه مشترک	۳-۹
۱۱۸.....	مورد ماس	۱-۳-۹
۱۲۴.....	مورد BJT	۲-۳-۹
۱۲۶.....	آفست DC	۴-۹
۱۲۶.....	ولتاژ آفست و تقویت‌کننده تفاضلی ماسی	۱-۴-۹
۱۳۰.....	ولتاژ آفست ورودی تقویت‌کننده تفاضلی دوقطبی	۲-۴-۹
۱۳۲.....	جریان‌های بایاس و آفست ورودی تقویت‌کننده تفاضلی دوقطبی	۳-۴-۹
۱۳۳.....	یک نکته پایانی	۴-۴-۹
۱۳۳.....	تقویت‌کننده تفاضلی با یک بار آینه جریان	۵-۹
۱۳۳.....	تبدیل تفاضلی به تک‌سر	۱-۵-۹
۱۳۴.....	زوج تفاضلی ماسی با بار آینه جریانی	۲-۵-۹
۱۳۵.....	بهره تفاضلی زوج ماسی با بار آینه جریانی	۳-۵-۹
۱۳۸.....	زوج تفاضلی دوقطبی با یک بار آینه جریانی	۴-۵-۹
۱۴۲.....	بهره وجه مشترک و CMRR	۵-۵-۹
۱۴۶.....	تقویت‌کننده‌های چندطبقه	۶-۹
۱۴۷.....	یک آپامپ سی‌ماس دوطبقه	۱-۶-۹
۱۵۱.....	یک آپامپ دوقطبی	۲-۶-۹
۱۵۷.....	خلاصه	
۱۵۹.....	مسائل	

فصل ۱۰

۱۸۷.....	پاسخ فرکانسی
۱۸۸.....	مقدمه
۱۹۰.....	پاسخ فرکانس پایین تقویت‌کننده‌های مدار نامجمع سورس مشترک و امیتر مشترک

- ۱-۱-۱۰ تقویت کننده سورس مشترک ۱۹۰
- ۱-۱-۱۰ روش ثابت زمانی های اتصال کوتاه ۱۹۷
- ۱-۱-۱۰ تقویت کننده امیتر مشترک ۱۹۸
- ۲-۱۰ آثار خازنی داخلی و مدل فرکانس بالای ماسفت و BJT ۲۰۱
- ۱-۲-۱۰ مورد ماسفت ۲۰۱
- ۲-۲-۱۰ مورد BJT ۲۰۶
- ۳-۱۰ پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده های CS و CE ۲۱۱
- ۱-۳-۱۰ تقویت کننده سورس مشترک ۲۱۲
- ۲-۳-۱۰ تقویت کننده امیتر مشترک ۲۱۶
- ۳-۳-۱۰ سه سیله میلر ۲۲۰
- ۴-۳-۱۰ پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده CS وقتی R_{sig} کوچک است ۲۲۳
- ۴-۱۰ ابزارهای سودمند برای تحلیل پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده ها ۲۲۶
- ۱-۴-۱۰ تابع بهره فرکانس ۲۲۶
- ۲-۴-۱۰ تعیین فرکانس f_H ۲۲۶
- ۳-۴-۱۰ روش ثابت های زمانی مدار بار ۲۲۹
- ۴-۴-۱۰ به کارگیری روش ثابت های زمانی مدار بار در تقویت کننده CS ۲۳۰
- ۵-۴-۱۰ به کارگیری روش ثابت های زمانی مدار بار در تقویت کننده CE ۲۳۴
- ۵-۱۰ پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده های گیت مشترک و کسکود ۲۳۴
- ۱-۵-۱۰ پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده CG ۲۳۵
- ۲-۵-۱۰ پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده کسکود ماس ۲۳۹
- ۳-۵-۱۰ پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده کسکود دوقطبی ۲۴۴
- ۶-۱۰ پاسخ فرکانس بالای دنبال کننده های سورس و امیتر ۲۴۵
- ۱-۶-۱۰ مورد دنبال کننده های سورس ۲۴۵
- ۲-۶-۱۰ مورد دنبال کننده های امیتر ۲۵۰
- ۷-۱۰ پاسخ فرکانس بالای تقویت کننده های تفاضلی ۲۵۱
- ۱-۷-۱۰ تحلیل تقویت کننده ماس با بار مقاومتی ۲۵۱
- ۲-۷-۱۰ تحلیل تقویت کننده ماس با بار آینه جریانی ۲۵۵
- ۸-۱۰ سایر آرایش های تقویت کننده باند پهن ۲۵۹
- ۱-۸-۱۰ به دست آوردن تقویت باند پهن توسط زوال سورس و امیتر ۲۵۹

۲۶۲.....	۱۰-۸-۲ آرایش‌های CD-CE, CC-CE, CD-CS و CD-CE
۲۶۵.....	۱۰-۸-۳ آرایش‌های CD-CG, CC-CB و CD-CG
۲۶۷.....	خلاصه
۲۶۸.....	مسائل

فصل ۱۱

۲۹۱.....	پس‌خورد
۲۹۲.....	مقدمه
۲۹۳.....	۱-۱۱ ساختار کلی پس‌خورد
۲۹۳.....	۱-۱-۱۱ نمودار جریان یکنال
۲۹۴.....	۱-۱-۲ بهره حلقه‌بسته
۲۹۵.....	۱-۱-۳ بهره حلقه
۲۹۹.....	۱-۱-۴ خلاصه
۲۹۹.....	۲-۱۱ برخی از خواص پس‌خورد منفی
۲۹۹.....	۱-۲-۱۱ حساسیت‌زدایی از بهره
۳۰۰.....	۲-۲-۱۱ گسترش پهنای باند
۳۰۱.....	۳-۲-۱۱ کاهش تداخل
۳۰۳.....	۴-۲-۱۱ کاهش اعوجاج غیرخطی
۳۰۴.....	۳-۱۱ تقویت‌کننده ولتاژ پس‌خوردی
۳۰۴.....	۱-۳-۱۱ توپولوژی پس‌خورد سری- موازی
۳۰۵.....	۲-۳-۱۱ مثال‌هایی از تقویت‌کننده‌های پس‌خوردی سری- موازی
۳۰۶.....	۳-۳-۱۱ تحلیل تقویت‌کننده‌های پس‌خورد منفی با استفاده از بهره حلقه
۳۱۱.....	۴-۳-۱۱ یک نکته پایانی
۳۱۱.....	۴-۱۱ تحلیل سیستماتیک تقویت‌کننده‌های ولتاژ پس‌خوردی
۳۱۱.....	۱-۴-۱۱ وضعیت ایده‌آل
۳۱۴.....	۲-۴-۱۱ وضعیت عملی
۳۲۱.....	۵-۱۱ سایر انواع تقویت‌کننده‌های پس‌خوردی
۳۱۱.....	۱-۵-۱۱ اصول پایه
۳۲۴.....	۲-۵-۱۱ تقویت‌کننده رسانایی انتقالی پس‌خوردی (سری- سری)

۳۳۳	۳-۵-۱۱ تقویت کننده مقاومت انتقالی پسخوردی (موازی - موازی)
۳۴۱	۴-۵-۱۱ تقویت کننده جریان پسخوردی (موازی - سری)
۳۴۶	۶-۱۱ خلاصه روش تحلیل پسخورد
۳۴۶	۷-۱۱ مسئله پایداری
۳۴۶	۱-۷-۱۱ تابع تبدیل تقویت کننده پسخوردی
۳۴۸	۲-۷-۱۱ نمودار نایکوئیست
۳۵۰	۸-۱۱ تأثیر پسخورد بر قطب های تقویت کننده
۳۵۰	۱-۸-۱۱ پایداری و محل قطب
۳۵۱	۲-۸-۱۱ قطب های تقویت کننده پسخوردی
۳۵۱	۳-۸-۱۱ عویت کننده با پاسخ تک قطبی
۳۵۳	۴-۸-۱۱ تقویت کننده با پاسخ دو قطبی
۳۵۷	۵-۸-۱۱ تقویت کننده های دارای سه قطب یا چند قطب
۳۵۹	۹-۱۱ بررسی پایداری به کمک نمودارهای بود
۳۵۹	۱-۹-۱۱ حاشیه های بهره و فاز
۳۶۰	۲-۹-۱۱ تأثیر حاشیه فاز بر پاسخ حلقه بسته
۳۶۱	۳-۹-۱۱ رهیافتی دیگر برای بررسی پایداری
۳۶۳	۱۰-۱۱ جبران فرکانسی
۳۶۳	۱-۱۰-۱۱ اصول نظری
۳۶۴	۲-۱۰-۱۱ پیاده سازی
۳۶۶	۳-۱۰-۱۱ جبران سازی میلر و جداسازی قطب ها
۳۶۹	خلاصه
۳۷۰	مسائل

فصل ۱۲

۳۹۹	طبقه های خروجی و تقویت کننده های توان
۴۰۰	مقدمه
۴۰۱	۱-۱۲ رده بندی طبقه های خروجی
۴۰۲	۲-۱۲ طبقه خروجی کلاس A
۴۰۲	۱-۲-۱۲ مشخصه انتقال

۴۰۴	۱۲-۲-۲ شکل موج‌های سیگنال
۴۰۴	۱۲-۲-۳ توان مصرفی
۴۰۶	۱۲-۲-۴ بازده تبدیل توان
۴۰۷	۱۲-۳ طبقه خروجی کلاس B
۴۰۷	۱۲-۳-۱ طرز کار مدار
۴۰۸	۱۲-۳-۲ مشخصه انتقال
۴۰۹	۱۲-۳-۳ بازده تبدیل توان
۴۰۹	۱۲-۳-۴ توان مصرفی
۴۱۱	۱۲-۳-۵ کاهش اعوجاج عبور از صفر
۴۱۲	۱۲-۳-۶ کار با یک سیم
۴۱۲	۱۲-۴ طبقه خروجی کلاس AB
۴۱۲	۱۲-۴-۱ طرز کار مدار
۴۱۴	۱۲-۴-۲ مقاومت خروجی
۴۱۶	۱۲-۵ بایاس کردن مدار کلاس AB
۴۱۶	۱۲-۵-۱ بایاس کردن با استفاده از دیود
۴۱۸	۱۲-۵-۲ بایاس کردن با استفاده از V_{BE}
۴۲۱	۱۲-۶ گونه‌هایی از آرایش کلاس AB
۴۲۱	۱۲-۶-۱ استفاده از دنبال کننده‌های امیتر ورودی
۴۲۲	۱۲-۶-۲ استفاده از عناصر مرکب
۴۲۴	۱۲-۶-۳ حفاظت اتصال کوتاه
۴۲۵	۱۲-۶-۴ قطع گرمایی
۴۲۵	۱۲-۷ طبقه‌های خروجی کلاس AB سی‌ماس
۴۲۵	۱۲-۷-۱ آرایش کلاسیک
۴۲۸	۱۲-۷-۲ یک مدار دیگر که از ترانزیستورهای سورس مشترک بهره می‌گیرد
۴۳۴	۱۲-۸ تقویت کننده‌های توان IC
۴۳۴	۱۲-۸-۱ یک تقویت کننده توان IC بهره- ثابت
۴۳۸	۱۲-۸-۲ تقویت کننده پل
۴۳۸	۱۲-۹ تقویت کننده‌های توان کلاس D
۴۴۲	۱۲-۱۰ ترانزیستورهای توان

۴۴۲	۱-۱۰-۱۲ بسته‌بندی‌ها و گرماگیرها
۴۴۳	۱-۱۰-۱۲ BJT های توان
۴۴۵	۱-۱۰-۱۲ مسافت‌های توان
۴۴۸	۱-۱۰-۱۲ ملاحظات دمایی
۴۵۳	خلاصه
۴۵۴	مسائل

فصل ۱۳

۴۶۹	مدارهای تقویت کننده عملیاتی
۴۷۰	مقدمه
۴۷۱	۱-۱۳ آپ‌امپ سی‌ماس دوطبقه
۴۷۱	۱-۱-۱۳ مدار آن
۴۷۳	۲-۱-۱۳ گستره وجه مشترک ورودی و نوسان خروجی
۴۷۴	۳-۱-۱۳ بهره ولتاژ dc
۴۷۶	۴-۱-۱۳ نسبت حذف وجه مشترک (CMRR)
۴۷۶	۵-۱-۱۳ پاسخ فرکانسی
۴۸۱	۶-۱-۱۳ آهنگ چرخش
۴۸۲	۷-۱-۱۳ نسبت حذف منبع تغذیه (PSRR)
۴۸۳	۸-۱-۱۳ بده-بستان‌های طراحی
۴۸۴	۹-۱-۱۳ یک مدار بایاس برای آپ‌امپ سی‌ماس دوطبقه
۴۸۹	۲-۱۳ آپ‌امپ سی‌ماس کسکود تاشده
۴۸۹	۱-۲-۱۳ مدار
۴۹۱	۲-۲-۱۳ گستره وجه مشترک ورودی و نوسان خروجی
۴۹۳	۳-۲-۱۳ بهره ولتاژ
۴۹۴	۴-۲-۱۳ پاسخ فرکانسی
۴۹۵	۵-۲-۱۳ آهنگ چرخش
۴۹۷	۶-۲-۱۳ افزایش گستره وجه مشترک ورودی: عملکرد ورودی لبه به لبه
۴۹۹	۷-۲-۱۳ افزایش گستره ولتاژ خروجی: آینه جریان با دامنه نوسان وسیع
۵۰۰	۳-۱۳ آپ‌امپ BJT ۷۴۱

۵۰۰.....	۱۳-۳-۱ مدار ۷۴۱.....
۵۰۴.....	۱۳-۳-۲ تحلیل dc.....
۵۱۰.....	۱۳-۳-۳ تحلیل سیگنال کوچک.....
۵۲۲.....	۱۳-۳-۴ پاسخ فرکانسی.....
۵۲۴.....	۱۳-۳-۵ آهنگ چرخش.....
۵۲۵.....	۱۳-۴ تکنیک‌های جدید طراحی آپامپ دوقطبی.....
۵۲۵.....	۱۳-۴-۱ الزامات عملکرد خاص.....
۵۲۷.....	۱۳-۴-۲ طراحی بایاس.....
۵۲۹.....	۱۳-۴-۳ طراحی طبقه ورودی برای تعیین V_{ICM} لبه به لبه.....
۵۳۴.....	۱۳-۴-۴ پاسخورد رجه مشترک برای کنترل ولتاژ dc در خروجی طبقه ورودی.....
۵۳۸.....	۱۳-۴-۵ طراحی طبقه خروجی برای دانه تغییر خروجی نزدیک به لبه به لبه.....
۵۴۳.....	۱۳-۴-۶ نکته پایانی.....
۵۴۳.....	خلاصه.....
۵۴۴.....	مسائل.....
۵۵۹.....	واژه‌نامه انگلیسی - فارسی.....
۵۶۷.....	واژه‌نامه فارسی - انگلیسی.....
۵۷۵.....	فهرست راهنما.....

یادداشت مترجمان

کتاب میکروالکترونیک تألیف صدرا و اسمیت در تدریس دروس الکترونیک بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. ویرایش جدید این کتاب (ویرایش هفتم) با تغییرات زیادی از سوی مؤلفین تدوین شده است. ویرایش جدید در ۴ قسمت: (۱) "عناصر و مدارهای پایه"، (۲) "تقویت‌کننده‌های مدار مجتمع"، (۳) "مدارهای مجتمع دیجیتال"، و (۴) "فیلترها و نوسان‌سازها" تدوین شده است. بر اساس سرفصل‌های جدید مصوب وزارت علوم و تحقیقات و فناوری در سال ۱۳۹۰، قسمت اول (جلد اول) منطبق بر درس "الکترونیک یک" و قسمت دوم (جلد دوم) منطبق بر "الکترونیک دو" می‌باشد. بنابراین کتاب در دو قسمت جداگانه (جلد اول و جلد دوم) ترجمه شده است. امید است که ترجمه حاضر بتواند برای کلیه مخاطبان و دانشجویان گرامی مفید واقع شود.

موضوع اصلی جلد دوم کتاب حاضر (تقویت‌کننده‌های مدار مجتمع است که شامل فصل‌های ۸ تا ۱۳ کتاب میکروالکترونیک است. برای تدریس این جلد، در ساده‌ترین حالت می‌توان درس را با فصل ۸ شروع کرد و با فصل ۱۳ به پایان برد. اما، از آنجا که این یک درس مهم در الکترونیک است، با توجه به محدودیت‌های زمانی احتمالی، می‌توان آزادانه بخش‌های مورد نظر را درس داد.

منوچهر احمدوند - عمادالدین فاطمی‌زاده

بهار ۱۳۹۶