



مدارهای

میکروالکترونیک

۱
جلد

ویراست ششم

نویسندگان

عادل شفیق سدره

گنت اسمیت

مترجم

محمود دایانی

طراح گرافیک: کامیاب، مهندس، مهندس
نص

Sedra, Adel S

سدره، عادل، ۱۹۶۰-م.

سرشناسه

مدارهای میکروالکترونیک / نویسندگان: عادل شفیق سدره، کنت

عنوان و پدیدآور

اسمیت، مترجم: محمود دیانی.

مشتصات نشر

: تهران: نص، ۱۳۹۱.

۳ ج: مصور، جدول، نمودار، دو رنگ + یک لوح فشرده.

مشتصات ظاهری

جلد (۱) ISBN: 978-964-410-303-2

: ۱۴۰۰۰۰ ریال / ۵۷۶ ص

شابک

جلد (۲) ISBN: 978-964-410-304-9

: ۱۶۰۰۰۰ ریال / ۶۵۶ ص

جلد (۳) ISBN: 978-964-410-305-6

: ۹۰۰۰۰ ریال / ۲۰۰ ص

دوره ISBN: 978-964-410-306-3

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا.

Microelectronic circuits, 6th ed, 2011.

: عنوان اصلی:

یادداشت

: مدارهای الکترونیکی، مدارهای مجتمع

موضوع

Smith, Kenneth Carless

: اسمیت، کنت کارلس

شناسه افزوده

: دیانی، محمود، ۱۳۳۹-، مترجم

شناسه افزوده

: ۱۳۹۱ م ۴ ص / TKV۸۶۷

رده‌بندی کنگره

: ۶۲۱.۳۸۱۵

رده‌بندی دیویی

: ۲۷۱۵۸۵۰

شماره کتابشناسی ملی



موسسه علمی فرهنگسرا

مدارهای میکروالکترونیک (ویراست ششم) جلد اول

نویسندگان: عادل شفیق سدره - کنت اسمیت

مترجم: محمود دیانی

چاپ اول: بهار ۹۱

تیراژ: ۱۵۰۰

ناشر: «نص»

طراح: چاپ، صحافی: موسسه علمی فرهنگی «نص»

قیمت با DVD (ج ۱): ۱۴۰۰ تومان

قیمت با DVD (ج ۲): ۱۶۰۰۰ تومان

قیمت با DVD (ج ۳): ۹۰۰۰ تومان

فروشگاه: تهران - صلع جبرئیلی میدان انقلاب، شماره ۲۵

تلفن: ۶۶۰۰۵۳۷۲

WWW.FARDAB.COM

خرید اینترنتی از سایت فردا

دفتر تهران، میدان انقلاب، خ منیری جارید، من بست مبین، شماره ۶

تلفن: ۶۶۴۱۳۳۸۵ - ۶۶۰۰۵۳۷۲ - ۶۶۹۵۳۸۸۳ فاکس: ۶۶۹۵۷۶۹۰

پست الکترونیک: info@nasspub.com

وب سایت: www.nass.ir

ص ب ۱۳۱۲۵۸۶۳

ISBN: 978-964-410-303-2

شابک (جلد ۱): ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۰۳-۲

ISBN: 978-964-410-304-9

شابک (جلد ۲): ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۰۴-۹

ISBN: 978-964-410-305-6

شابک (جلد ۳): ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۰۵-۶

ISBN: 978-964-410-306-3

شابک (دوره): ۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۰۶-۳

پیشگفتار

ویراست ششم مدارهای میکروالکترونیک به عنوان کتاب مرجع برای تدریس الکترونیک رشته مهندسی برق و کامپیوتر نوشته شده است. این کتاب برای مهندسين شاغلي که مایل هستند دانش خود را به صورت خودآموز روزآمد کنند نیز مفید است.

هدف این کتاب، همانند پنج ویراست قبلی، ایجاد توانایی تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیکی، هم آنالوگ و هم دیجیتال، و هم گسسته و هم مجتمع، است. هر چند کاربرد مدارهای مجتمع نیز توضیح داده شده است، ولی تأکید بر طراحی مدار ترانزیستوری است. علت این امر اعتقاد ما بر این مطلب است که هر چند اکثر خوانندگان این کتاب قرار نیست کارشان را در زمینه طراحی آی سی دنبال کنند، ولی دانستن آنچه درون بسته آی سی رخ می دهد می تواند کاربردهای هوشمندانه و ابتکاری آی سی را به دنبال داشته باشد. همچنین با توجه به پیشرفت های صورت گرفته در فناوری VLSI و روش طراحی، طراحی آی سی برای مهندسين بیشتری دستیاب شده است.

پیشنیاز

پیشنیاز خواندن مطالب این کتاب درس مدارهای الکتریکی است. در پیوست های کتاب مطالب مربوط به مدارهای خطی مرور شده است؛ مخصوصاً پارامترهای دودریجه ای در پیوست ب؛ چند قضیه مفید مداری در پیوست ت؛ مدارهای تک ثابت زمانی در پیوست ث؛ و تحلیل حوزه در پیوست ج. دانستن فیزیک الکترونیک لازم نیست. تمام مطالبی که راجع به فیزیک قطعات نیم رسانا باید دانسته شود، در کتاب بیان شده است؛ پیوست الف توصیف مختصری از روند ساخت آی سی را در بر دارد. تمام این پیوست ها در CD همراه کتاب گنجانده شده است.

تأکید بر طراحی

عقیده ما بر این است که بهترین راه برای یاد دادن طراحی مدار، نشان دادن بده-بستان های موجود در انتخاب آرایش های مختلف مداری و انتخاب مقادیر عناصر هر آرایش است. در این ویراست بر طراحی تأکید بیشتری شده است و به این منظور مثال های طراحی، مثال های شبیه سازی، و مسائل طراحی در داخل درس و آخر فصل بیشتر شده است. تمرین ها و مسائل طراحی محور یا حرف ط متمایز شده است. همچنین مطالب زیادی در مورد مفیدترین ابزار طراحی، یعنی اسپایس در پیوست ب گنجانده شده است؛ این پیوست نه به صورت چاپی،

که به صورت الکترونیکی در سی‌دی همراه کتاب آورده شده است. تا بدون افزایش تعداد صفحات بتوان توضیحات کافی در مورد مطالب مطرح شده ارائه داد.

تازه‌های این ویراست

هر چند در این ویراست همان رهیافت آموزشی پنج ویراست پیش حفظ شده است، ولی هم در سازماندهی و هم در پوشش‌دهی مطالب تغییراتی صورت گرفته است.

۱ سازمان چهار بخشی. کتاب به چهار بخش تقسیم شده است. بخش ۱: قطعات و مدارهای پایه (فصول ۱ تا ۱۶) یک درس جامع و منسجم الکترونیک مقدماتی برای یک نیمسال را تشکیل می‌دهند. به نحوی مشابه بخش ۲: تقویت‌کننده‌های مدار مجتمع (فصول ۷ تا ۱۲) یک بسته مناسب برای درس الکترونیک ۲ است. بخش ۳: مدارهای مجتمع دیجیتال (فصول ۱۳ تا ۱۵) یک مجموعه تقریباً کامل از الکترونیک دیجیتال است و می‌توان آن را بعد از تدریس فصل ۵ (ماسفت) و فصل ۶ (ترانزیستور دوقطبی) درس داد. حتی فصل ۶ نیز پیش‌نیاز این بخش نیست به شرطی که تنها مدارهای دیجیتال MOS تدریس شود. این بخش مخصوصاً برای دانشجویان رشته مهندسی کامپیوتر مناسب است. سرانجام بخش ۴: فیلتر و نوسانساز (فصول ۱۶ و ۱۷) به مطالب اختصاصی مربوط می‌شود که می‌تواند هم به عنوان بخشی از الکترونیک ۳ به کار رود و هم به عنوان مرجع برای دانشجویانی که پروژه الکترونیک انجام می‌دهند.

۲ انعطاف در سازمان. مهمترین ویژگی این ویراست انعطاف سازماندهی مطالب آن است. این انعطاف در این مشخصات تبلور یافته است:

- ماسفت و ترانزیستور دوقطبی. فصل ۵ (ماسفت) و فصل ۶ (ترانزیستور دوقطبی) به صورت کاملاً مستقل از هم نوشته شده‌اند و به همین خاطر مدرسی می‌تواند آنها را به هر ترتیبی که صلاح می‌داند درس بدهد. چون هر دو فصل ساختار یکسانی دارند، فصل ۶ را سریع‌تر می‌توان درس داد.
- کامل بودن بخش دیجیتال. تمام مطالب مربوط به الکترونیک دیجیتال در یک بخش جدید، بخش ۳ تجمع و باز نویسی شده است. این مطالب را می‌توان در هر جای دلخواهی تدریس کرد. تنها مطالب پیش‌نیاز آشنایی با دو ترانزیستور (فصول ۵ و ۶) است، و اگر قرار باشد تنها مدارهای MOS تدریس شود، تنها فصل ۵ کافی است.
- فیزیک الکترونیک. مطالب لازم از فیزیک نیمرساناها در یک فصل کوتاه (فصل ۳) متمرکز شده است. می‌توان این مطالب را بسته به نظر استاد، تدریس کرد، می‌توان از آنها گذشت، و حتی می‌توان آنها را به عنوان تکلیف به خود دانشجو واگذار کرد. این فصل را می‌توان مقدمه‌ای بر فیزیک الکترونیک دانست.
- مستقل بودن مطالب مربوط به آپ‌امپ. فصل مربوط به آپ‌امپ (فصل ۲) را می‌توان در الکترونیک ۱ یا الکترونیک ۲ تدریس کرد. و حتی در صورتی که در دروس دیگر گفته می‌شود از آن گذشت.
- پاسخ فرکانسی. مطالب مربوط به پاسخ فرکانسی در یک فصل مستقل (فصل ۹) متمرکز شده است. این فصل طوری نوشته شده که مدرس بتواند هر مقداری از آن را که بخواهد حذف کند. حتی می‌توان

- بخش‌هایی از این فصل (بخش‌های ۹-۱ تا ۹-۳) در الکترونیک ۱ (بعد از فصول ۵ و ۶) تدریس کرد.
- **جلو قرار گرفتن مطالب پایه‌ای.** هر فصل طوری سازماندهی شده است که مطالب اساسی زودتر عنوان شده، مطالب تخصصی‌تر در انتهای فصل قرار گیرد. بخش‌هایی را که در دور اول خواندن کتاب می‌توان ندیده گرفت با علامت (R) مشخص کرده‌ایم. دانشجو می‌تواند پس از خواندن مطالب پایه‌ای به این مباحث تخصصی برگردد.
 - ۳ **روان بودن معرفی ماسفت و ترانزیستور دوقطبی.** فصل ۵ (ماسفت) و فصل ۶ (ترانزیستور دوقطبی) طوری بازنویسی شده که مطالب روان‌تر و یادگیری آنها آسان‌تر شود. همچنین این دو فصل در این ویراست کوتاه‌تر شده‌اند تا بتوان سریع‌تر آنها را تدریس کرد.
 - ۴ **آرایش کاسکود.** برای معرفی کاسکود در فصل ۷ رهیافت جدید، و به لحاظ آموزشی جذاب‌تری به کار رفته است.
 - ۵ **مقایسه ماسفت و BJT.** مقایسه آموزنده ماسفت و BJT به یک پیوست در فصل ۷ منتقل شده است. در این فصل پارامترهای این دو قطعه مطابق با فناوری‌های روز داده شده است. این پیوست را می‌توان مرجع خوبی برای مراجعه، هنگام خواندن الکترونیک ۲، به حساب آورد.
 - ۶ **فیدبک.** فصل فیدبک (فصل ۱۰) بازنویسی شده تا توضیحات گویاتری داده شود. تعدادی زیادی مثال جدید، عمدتاً مثال‌های ماسفتی، به این فصل افزوده شده است.
 - ۷ **تقویت‌کننده‌های کلاس AB.** در فصل ۱۱ مطالب جدیدی راجع به تقویت‌کننده‌های کلاس AB ماسفتی گفته شده است.
 - ۸ **طراحی مدارهای کم ولتاژ دوقطبی.** هر چند مدار آپ‌آمپ کلاسیک ۷۴۱ همچنان حفظ شده است، ولی در فصل ۱۲ تکنیک‌های جدید طراحی آپ‌آمپ‌های دوقطبی کم ولتاژ بیان شده است.
 - ۹ **طراحی بسیار زیر میکرون.** علاوه بر افزایش مباحث الکترونیک دیجیتال در بخش ۳، بخش جدیدی در مورد کوچک سازی (قانون مور) و طراحی بسیار زیر میکرون (deep submicron) نیز به فصل ۱۳ افزوده شده است.
 - ۱۰ **تاکید بر ماسفت.** در تمام کتاب تاکید بر ماسفت بیشتر شده است و این بارتاب غلبه ماسفت در صنعت امروز الکترونیک است.
 - ۱۱ **مطالب تکمیلی در سی‌دی.** مطالب تکمیلی متنوعی که در ویراست‌های قبلی وجود داشته و در این ویراست حذف شده است، در سی‌دی کتاب قرار گرفته است.
 - ۱۲ **مثال، تمرین، مسئله.** تعداد مثال‌ها زیاد شده است. همچنین تمرین‌ها و مسائل انتهای فصل بازنویسی شده و مقادیر پارامترها تغییر داده شده است تا دانشجو با مقادیری که هم اکنون در مدارهای الکترونیک امروزی به کار می‌رود کار کند. تعداد و تنوع مسائل و تمرین‌ها نیز بیشتر شده است.
 - ۱۳ **جدول‌های خلاصه.** برای این که مراجعه دانشجو به کتاب ساده‌تر شود، جدول‌های زیادی در کتاب، به عنوان خلاصه مطالب آموخته شده، گنجانده شده است. فهرست این جدول‌ها نیز در کتاب وجود دارد.
 - ۱۴ **اهداف آموزشی.** در ابتدای هر فصل یک بخش جدید (در این فصل خواهید آموخت ...) افزوده شده تا دانشجو بداند باید روی چه مطالبی تمرکز بیشتری داشته باشد.

- ۱۵ اسپایس. تعداد زیادی مثال شبیه‌سازی با استفاده از مولتی‌سیم و اسپایس در کتاب وجود دارد. تمام این بخش‌ها در پیوست ب گنجانده شده‌اند و می‌توان آنها را به همراه فایل‌های اصلی در CD کتاب پیدا کرد.
- ۱۶ شبیه‌سازی. بعضی مسائل انتهایی فصل‌ها با علامت SIM مشخص شده‌اند. دانشجو باید این مسائل را به صورتی که در مثال‌های پیوست ب بیان شده، تحلیل و شبیه‌سازی کند.
- ۱۷ معادلات کلیدی. تمام معادلاتی که در کتاب مجدداً مورد استفاده قرار گرفته‌اند شماره دارند. معادلات مهم‌تر با علامت © مشخص شده‌اند.

علاوه بر تغییرات ساختاری بیان شده در بالا، مطالب زیر کامل‌تر و گسترده‌تر شده‌اند.

- بازنویسی کامل مطالب مربوط به فیزیک نیم‌رسانا (فصل ۳)
- بازنویسی و تجدید سازمان کامل فصول ۵ و ۶ (ماسفت و BJT) و افزودن شکل‌ها و مثال‌های جدید
- سلول بهره‌ایه (فصل ۷)
- تقویت‌کننده کاسکود (فصل ۷)
- آرایش‌های CD-CS، CC-CE و CD-CE (فصل ۷)
- CMRR (فصل ۸)
- تقویت‌کننده تفاضلی با بازفعال (فصل ۸)
- تعیین مقاومت خروجی (فصل ۸)
- تمام بخش‌های جدید پاسخ فرکانسی (فصل ۹)
- مثال‌های متعدد ماسفتی در بخش فیدبک (فصل ۱۰)
- طبقه خروجی کلاس CMOS AB (فصل ۱۱).
- نسبت حذف (CMRR و PSRR) (فصل ۱۲)
- تکنیک‌های امروزی طراحی آپ‌امپ‌های دوقطبی (بخش ۱۱-۷)
- وارون‌ساز منطقی دیجیتال (فصل ۱۳)
- وارون‌ساز CMOS (فصل ۱۳)
- طراحی بسیار زیر میکرون و کوچک سازی (قانون مور) (بخش ۱۳-۵)

سی‌دی و پایگاه اینترنتی

این کتاب یک سی‌دی دارد. در این سی‌دی اطلاعات مفید زیادی وجود دارد که دانشجو می‌تواند آنها را برای تعمیق دانسته‌های خود به کار گیرد. اینها عبارت‌اند از

- ۱ نسخه دانشجویی Cadence PSpice و Multisim.
- ۲ فایل‌های مثال‌های اسپایس و مولتی‌سیم کتاب.
- ۳ راهنمایی گام به گام برای حل مثال‌های شبیه‌سازی و مسائل مشخص شده با علامت SIM.
- ۴ نینک پایگاه اینترنتی کتاب، مشتمل بر اسلایدهای پاورپوینت تمام شکل‌های کتاب، که دانشجو می‌تواند آنها را چاپ کرده، با خود به کلاس درس ببرد.

۵ مطالب تکمیلی بیان نشده در متن، شامل

- ترانزیستور اثر میدانی پیوندی (JFET)
- قطعات و مدارهای گالیوم آرسناید (GaAs)
- مدارهای منطقی TTL
- مدارهای مبدل آنالوگ به دیجیتال و دیجیتال به آنالوگ

۶ پیوست‌های کتاب

- پیوست الف: فناوری ساخت مدارهای مجتمع
- پیوست ب: مدل‌های قطعات در اسپایس و مثال‌های طراحی و شبیه‌سازی با استفاده از اسپایس و مولتی‌سیم
- پیوست پ: پارامترهای شبکه‌های دودریجه‌ای
- پیوست ت: چند قضیه مداری مفید
- پیوست ث: مدارهای تک‌تک ثابت زمانی
- پیوست ج: تحلیل درحوزه s، قطب، صفر، و نمودار بودی
- پیوست ج: کتابنامه

کتاب یک پایگاه اینترنتی با آدرس www.sedrasmith.org یا www.oup.com/us/sedrasmith دارد. مطالب این پایگاه مرتب به روز می‌شود. از جمله مطالب موجود در این پایگاه، برگه‌های اطلاعاتی قطعات مفیدی است که می‌تواند برای آزمایشگاه و پروژه به کار رود، لینک‌های مفیدی به پایگاه‌های دانشگاهی و صنعتی، و یک درگاه پیام گیر برای ارتباط با نویسندگان کتاب و ناشر.

تمرین‌ها و مسائل انتهای فصل

کتاب بیش از ۴۷۵ تمرین دارد. جواب این تمرین‌ها در زیر هر تمرین داده شده است تا دانشجو بتواند میزان فراگیری خود را بیازماید. حل این تمرین‌ها می‌تواند خواننده را مطمئن کند که مطلب را یاد گرفته است. همچنین کتاب بیش از ۱۴۵۰ مسئله دارد که حدود ۵۵٪ آنها جدید هستند. مسائل بر اساس سختی و میزان کار لازم برای رسیدن به جواب علامت‌گذاری شده‌اند: مسائل مشکل با یک ستاره (*)، مسائل مشکل‌تر با دو ستاره (**)، و مسائل بسیار مشکل یا مسائلی که طولانی هستند با سه ستاره (***). البته باید اذعان کنیم که این دسته‌بندی کاملاً دقیق نیست. ممکن است مسئله‌ای برای یک نفر سخت و برای شخص دیگری ساده باشد. جواب برخی مسائل در پیوست خ داده شده است تا دانشجو بتواند درستی کار خود را واریسی کند. حل کامل تمام تمرین‌ها و مسائل در حل‌المسائل مدرس آورده شده است؛ این حل‌المسائل مخصوص مدرسین است و ایشان می‌توانند آن را با مکاتیب به انتشارات آکسفورد دریافت کنند.

همانند پنج ویراست قبلی مثال‌های زیادی در کتاب وجود دارد. مثال‌ها، تمرین‌ها و مسائل کتاب عمدتاً بر اساس مدارهای واقعی هستند؛ مدارهایی که خواننده در دوران کار خود به احتمال زیاد با آنها سروکار پیدا می‌کند. در این ویراست نیز گام‌های تحلیل با شماره‌گذاری روی شکل مدار مشخص شده است؛ در صورت

استفاده از روش‌های الکترونیکی تدریس (مثلاً پاورپوینت) این شماره‌گذاری می‌تواند برای پویا کردن اسلایدهای نمایشی به کار برده شود.

سازماندهی درس

این کتاب آنقدر مطلب دارد که بتواند نیاز دو درس نیمساله (هر کدام با ۴۰ تا ۵۰ ساعت تدریس) را رفع کند. در زیر امکانات مختلف پوشش این دو درس ارائه شده است.

درس اول

قلب درس اول را فصول ۴ (دیود)، ۵ (ماسفت)، ۶ (ترانزیستور دوقطبی) تشکیل می‌دهد. از میان این سه فصل، فصل ۵ باید به صورت کامل‌تری پوشانده شود. اگر ابتدا ماسفت تدریس می‌شود (و توصیه ما نیز همین است) می‌توان فصل ۶ را سریع‌تر تدریس کرد. در صورت کمبود وقت می‌توان بخش‌های انتهایی فصل ۴ را ندیده گرفت. در کلاس باید به مطالب فصل ۱ اشاره شود. همچنین می‌توان بخش عمده این فصل را به عهده دانشجو گذاشت. بخش‌های مربوط به تقویت‌کننده‌ها را می‌توان در خلال فصل ۵ یا ۶ بیان کرد. و بخش ۶-۱ را می‌توان کنار گذاشت.

بر این اساس می‌توان سه روش برای ارائه الکترونیک ۱ به کار برد.

۱. **درس استاندارد:** فصل‌های ۱ تا ۶ (بخش ۱ از فصل آپ‌امپ (فصل ۲) یا تمام آن می‌تواند به آخر درس یا به الکترونیک ۲ منتقل شود. و میزان پوشش‌دهی فصل ۳ (نیمرسانا) به نظر استاد بستگی دارد. در صورت لزوم می‌توان بخش‌های ۱-۹ تا ۳-۹ را نیز به این درس افزود.

۲. **درس دیجیتال محور:** (دانشکده کامپیوتر) می‌توان فصل ۱ (بدون بخش ۱-۶)، فصل ۴ (بدون بخش‌های آخر) و تمام بخش‌های فصل ۵ و ۶ را به کار برد. همچنین بخش ۲-۹ و فصول ۱۳، ۱۴ و ۱۵ را تدریس کرد. اگر وقت کافی نیست، می‌توان فصل ۶ را مختصر کرد. بخش ۵-۱۳ در مورد قانون مور و طراحی بسیار زیر میکرون را کنار گذاشت. و بخش‌های ۴-۱۴ و ۵-۱۲ را حذف کرد. این درس برای دانشجویان مهندسی کامپیوتر مناسب است.

۳. **درس آنالوگ محور:** فصل‌های ۱، ۴ (بدون بخش‌های آخری که کاربردی هستند)، ۵، ۶، ۷ (با حذف بخش ۷-۶)، ۸ و ۹ (شامل حداقل بخش‌های ۱-۹ تا ۳-۹). و بخش‌های برگزیده‌ای از فصل ۱۰. البته این درس سنگینی می‌شود. و برای ارائه چنین درسی دانشجو باید قبلاً با آپ‌امپ و فیزیک الکترونیک آشنایی داشته باشد.

درس دوم

سه امکان برای درس دوم وجود دارد:

۱. **استاندارد:** فصول ۷ تا ۱۲. اگر وقت کافی نباشد می‌توان بخش‌های آخر فصل ۹ و همچنین مطالب پیشرفته فصل‌های ۱۱ و ۱۲ را کنار گذاشت. در صورتی که وقت اجازه دهد می‌توان بخش‌هایی از فصول ۱۶ (فیلتر) و ۱۷ (نوسانساز) را نیز تدریس کرد.

۲ ترکیب آنالوگ و دیجیتال : فصول ۷، ۸، ۹ (بخش‌های برگزیده)؛ ۱۰ (بخش‌های برگزیده)، ۱۳ (بدون بخش ۵-۱۳ در مورد کوچک‌سازی)، ۱۴ (با حذف بخش‌های ۱۴-۴ و ۱۴-۵)، و ۱۵ (بخش‌های برگزیده).

۳ تغییر به مهندسی برق : فصول ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، و بخش‌هایی برگزیده‌ای از فصول ۱۱ و ۱۲. این درس برای کسانی مناسب است که درس الکترونیک ۱ را به صورت دیجیتال محور (توصیف شده در بالا) خوانده‌اند و اکنون می‌خواهند از رشته کامپیوتر به رشته مهندسی برق تغییر رشته دهند.

مطالب تکمیلی - درس سوم

فصل ۱۶ (فیلتر) و فصل ۱۷ (نوسانساز) مطالبی را شامل می‌شود که می‌تواند به عنوان یک درس سوم در مورد مدارهای آنالوگ به کار رود. این دو فصل بر طراحی تاکید زیادی دارند و می‌تواند برای دانشجویانی که پروژه الکترونیکی برداشته‌اند مورد استفاده قرار گیرد.

فصول ۱۳، ۱۴، و ۱۵ را می‌توان به عنوان نیمی از یک درس طراحی آی‌سی‌های دیجیتال (۱۵ ساعت درس) مورد استفاده قرار داد.

سرفصل مطالب

بخش اول، قطعات و مدارهای پایه، مطالب بسیاری مدارهای الکترونیک را در بر دارد. این بخش می‌تواند درس الکترونیک ۱ را به طور کامل پوشش دهد.

فصل ۱. کتاب با مقدمه‌ای در مورد مفاهیم پایه شروع می‌شود. سیگنال، طیف فرکانسی و شکل‌های آنالوگ و دیجیتال سیگنال معرفی می‌شود. همچنین تقویت‌کننده به عنوان یک بلوک تعریف شده، مدل‌های مختلف آن بررسی می‌شود. در این فصل اصطلاحات و قراردادهای به کار رفته در کتاب تبیین شده است.

فصل ۲. فصل ۲ به آپامپ اختصاص دارد. مشخصات پایانه‌ای، کاربردهای ساده، و محدودیت‌های عملی آپامپ در این فصل بیان شده است. ما آپامپ را به عنوان یک عنصر مداری در ابتدای کتاب معرفی کرده‌ایم، زیرا کار با آن بسیار ساده است و دانشجو می‌تواند از همان ابتدا مفاهیم معرفی شده را به کار بندد. ما این رهیافت را برای دادن انگیزه به دانشجو بسیار مفید یافته‌ایم. البته بخشی از مطالب این فصل را می‌توان به تعویق انداخت و آنها را به همراه فصول ۸ و ۱۰ (و حتی ۱۲) تدریس کرد، بدون این که مشکلی در پیوستگی مطالب بروز کند.

فصل ۳. فصل ۳ به مرور مفاهیم نیم‌رسانا اختصاص دارد، به نحوی که دانشجو بتواند مطالب مربوط به دیود و ترانزیستور را بفهمد. تدریس این فصل مخصوصاً برای دانشجویانی که آشنایی قبلی با فیزیک الکترونیک ندارند مفید است. حتی برای افراد آشنا نیز مرور فصل ۳ خالی از فایده نیست. مدرس می‌تواند بخش‌هایی را تدریس کند و بخش‌هایی را به عهده خود دانشجو بگذارد.

فصل ۴. در این فصل اولین قطعه الکترونیکی، یعنی دیود معرفی می‌شود. مشخصات پایانه‌ای دیود، مدل‌های مداری، و کاربردهای دیود مورد بررسی قرار می‌گیرد. بسته به میزان وقت می‌توان تمام مطالب را تدریس کرد یا بخش‌های از کاربردهای دیود، خصوصاً بخش ۴-۷ را حذف کرد.

فصول ۵ و ۶. ترانزیستور اساس مدارهای الکترونیکی را تشکیل می‌دهد: مسافت در فصل ۵ و

ترانزیستور دوقطبی در فصل ۶ معرفی شده است. این دو فصل مهمترین فصول کتاب هستند. این دو فصل کاملاً مستقل از هم نوشته شده‌اند، و ترتیب خواندن آنها کاملاً دلخواه است. همچنین دو فصل ساختار یکانی دارند، که باعث می‌شود خواندن فصل دوم سریع‌تر صورت گیرد و بتواند دو ترانزیستور را مقایسه کرد.

هر یک از این دو فصل با معرفی ساختار قطعه و عملکرد فیزیکی آن شروع می‌شود. سپس این توصیف به مشخصات پایانه‌ای می‌رسد. تعداد زیادی مثال به دنبال خواهد آمد تا دانشجو بتواند با رفتار این قطعه خوب آشنا شود. سپس این پرسش مطرح می‌شود که ترانزیستور را چگونه می‌توان به عنوان تقویت‌کننده به کار برد؟ برای پاسخ به این سوال عملکرد بزرگ سیگنال مدار سورس-مشترک (امیتر-مشترک) مطرح می‌شود و بر اساس آن مدلی برای ترانزیستور به دست می‌آید. سپس آرایش‌های مختلف تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری مطرح می‌شود. روش‌های بایاس و ساخت مدارهای کامل تقویت‌کننده مبحث بعدی هستند. بخش آخر هر یک از این فصول به اثرهای مرتبه دوم اختصاص دارد، و مدرس می‌تواند بدون ایجاد خلل در پیوستگی مطالب آنها را حذف کند.

پس از خواندن بخش ۱ خواننده کاملاً آماده است که به سراغ تقویت‌کننده‌های مدار مجتمع در بخش ۲ یا به سراغ مدارهای دیجیتال در بخش ۳ برود.

بخش ۲، تقویت‌کننده‌های مدار مجتمع، به مطالعه و طراحی مدارهای تقویت‌کننده قابل ساخت به صورت مدار مجتمع (آی‌سی) اختصاص دارد. شش فصل این بخش یک بررسی جامع و منسجم از طراحی تقویت‌کننده‌های مدار مجتمع است و می‌تواند به عنوان درس الکترونیک ۲ تدریس شود.

فصل ۷. این فصل با معرفی مختصر فلسفه طراحی آی‌سی شروع شده، در آن بلوک‌های پایه مورد استفاده در طراحی آی‌سی معرفی می‌شود. کار با مقایسه سلول‌های بهره پایه سورس-مشترک (امیتر-مشترک) دارای بار منبع جریان شروع می‌شود. سپس این سوال مطرح می‌شود: چگونه می‌توان بهره را زیاد کرد؟ پاسخ این سوال طبیعتاً به مفهوم کاسکود و به کارگیری آن در طراحی تقویت‌کننده و منبع جریان منجر می‌شود. سپس روش‌های بایاس در مدارهای مجتمع در نظر گرفته می‌شود. این فصل همانند اکثر فصول این کتاب با مباحث پیشرفته (بخش‌های ۵-۷ و ۶-۷) تمام می‌شود؛ این بخش‌ها را می‌توان در صورت کمبود وقت حذف کرد.

پیوست پ-۷. فصل ۷ یک پیوست دارد که در آن ویژگی‌های ماسفت و BJT مقایسه شده است. برای ساده شدن مقایسه مقادیر نوعی پارامترهای این قطعات در فناوری‌های امروزی بیان شده است. در فصول بعدی می‌توان در مواقع لزوم به این پیوست مراجعه و ویژگی‌های مهم این دو قطعه را مرور کرد.

ماسفت و BJT. در تمام بخش ۲ مدارهای ماسفتی و BJT به موازات هم مطرح می‌شوند. چون هم اکنون ماسفت عنصر غالب است، مدارهای ماسفتی زودتر معرفی می‌شوند. مدارهای دوقطبی گاهی با عمق زیاد و گاهی به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرند.

فصل ۸. مهمترین بلوک مورد استفاده در طراحی آی‌سی یعنی زوج تفاضلی موضوع فصل ۸ است. آخرین بخش فصل ۸ به تقویت‌کننده‌های چند طبقه اختصاص دارد.

فصل ۹. فصل ۹ بررسی جامعی از موضوع بسیار مهم پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده است. مطالب اصلی در بخش‌های ۹-۱، ۹-۲، و ۹-۳ قرار دارد. بخش‌های ۹-۴ و ۹-۵ به ابزارهای جدید تحلیل پاسخ فرکانسی اختصاص دارد، و در بخش‌های ۹-۶ تا ۹-۱۰ پاسخ فرکانسی آرایش‌های مختلف تقویت‌کننده مورد تحلیل قرار می‌گیرد. مدرس می‌تواند بسته به زمانی که دارد بعضی از این بخش‌ها را ندیده بگیرد.

فصل ۱۰. فیدبک چهارمین موضوع پایه‌ای بخش ۲ است و در فصل ۱۰ مطرح می‌شود. هم نظریه فیدبک منفی و هم کاربرد آن در طراحی تقویت‌کننده معرفی می‌شود. مسئله پایداری تقویت‌کننده‌های فیدبک‌دار و جبران فرکانسی نیز در همین فصل بررسی می‌شود.

فصل ۱۱. در فصل ۱۱ مباحث تقویت‌کننده‌های کوچک سیگنال را کنار گذاشته، به سراغ مدارهایی می‌رویم که با سیگنال‌های بزرگ و توان زیاد کار می‌کنند. کلاس‌های A، B، و AB ساخته شده با فناوری دوقطبی و MOS را در نظر می‌گیریم. مدرس می‌تواند در صورت کمبود وقت بعضی از بخش‌های آخر فصل (خصوصاً بخش‌های ۸-۱۱ تا ۱۰-۱۱) را حذف کند.

فصل ۱۲. سرانجام در فصل ۱۲ تمام مفاهیم آموخته شده در بخش ۲ در یک کاربرد مهم کنار هم قرار داده می‌شود. طراحی مدارهای تقویت‌کننده عملیاتی. هم آپ‌امپ‌های دوقطبی و هم آپ‌امپ‌های CMOS بررسی می‌شود. در مورد آپ‌امپ‌های دوقطبی هم مدار کلاسیک آپ‌امپ ۷۴۱ بررسی می‌شود و هم روش‌های مدرن طراحی آپ‌امپ‌های با ولتاژ کوچک (بخش ۱۲-۷).

بخش سوم، مدارهای مجتمع دیجیتال، یک بررسی مختصر ولی جامع از طراحی آی‌سی‌های دیجیتال است. این بررسی تقریباً به صورت مستقل صورت می‌گیرد و تنها پیشنیاز آن فهم مطالب بیان شده در مورد ماسفت در فصل ۵ است. بنابراین بخش ۳ را می‌توان درست بعد از خواندن فصل ۵ شروع کرد. تنها استثناء دو بخش آخر فصل ۱۲ است که برای خواندن آنها اطلاع از رفتار BJT (فصل ۶) ضروری است. همچنین شناخت خازن‌های داخلی ماسفت (بخش ۹-۲-۲) نیز لازم است.

فصل ۱۳. فصل ۱۳ مبنای بخش ۳ است. این فصل با وارون‌ساز منطقی دیجیتال (بخش ۱۳-۱) آغاز می‌شود. سپس مفاهیم بنیادی طراحی آی‌سی‌های دیجیتال معرفی می‌شوند: وارون‌ساز CMOS (بخش‌های ۱۳-۲ و ۱۳-۲) و دروازه‌های منطقی (بخش ۱۳-۴). بخش آخر (۱۳-۵) به نتایج کوچک‌سازی (قانون مور) و موضوع مهم فناوری‌های بسیار زیر میکرون اختصاص دارد. تمام مطالب فصل ۱۳، بجز بخش ۱۳-۵، حداقل چیزی است که باید در مورد مدارهای دیجیتال فراگرفته شود.

فصل ۱۴. فصل ۱۴ ادامه فصل ۱۳ است و در آن سه خانواده مهم مدارهای منطقی MOS معرفی می‌شود. همچنین یک خانواده مهم مدارهای منطقی دوقطبی، یعنی منطق تزوید امپتری مطالعه می‌شود. این فصل با معرفی یک فناوری که در آن سعی می‌شود تمام مزایای دوقطبی و CMOS به کار گرفته شود، یعنی BiCMOS تمام می‌شود.

فصل ۱۵. مدارهای دیجیتال را می‌توان به دو دسته مدارهای منطقی و مدارهای حافظه تقسیم کرد. فصل ۱۵ در مورد مدارهای حافظه است.

بخش ۴، فیلتر و نوسانساز، برای هدایت خواننده به سمت سیستم‌های کاربردی نوشته شده است. در این دو مبحث از فیدبک منفی و فیدبک مثبت فراوان استفاده می‌شود.

فصل ۱۶. فصل ۱۶ به طراحی فیلتر اختصاص دارد، فیلتر یک بلوک بسیار مهم در سیستم‌های مخابراتی و ابزار دقیق است. این مبحث به صورت جامع و به صورت طراحی‌محور ارائه می‌شود. مطالب بیان شده خواننده را قادر می‌کند که بتواند فیلتر را به طور کامل طرح کند، یعنی از مشخصات داده شده شروع کند و به یک مدار کامل برسد. جدول‌های طراحی بسیاری در این فصل گنجانده شده است.

فصل ۱۷. فصل ۱۷ به تولید سیگنال اختصاص دارد: سیگنال‌های سینوسی، مربعی، و مثلثی، مدارهای شکل‌دهی غیرخطی موج نیز معرفی شده است.

پیوست‌ها. کتاب هشت پیوست دارد که در آنها پیشنیازهای مفید و مطالب تکمیلی ارائه شده است. توجه خواننده را به دو پیوست اول جلب می‌کنیم: پیوست الف که به معرفی روش ساخت مدارهای مجتمع اختصاص دارد و پیوست ب که در آن مدل‌های اسپایس ارائه شده و تعداد زیادی مثال طراحی و شبیه‌سازی به کمک PSpice و مولتی‌سیم حل شده است. مثال‌ها با توجه به فصول مربوطه شماره‌گذاری شده‌اند. این پیوست‌ها و مطالب زیاد دیگری راجع به شبیه‌سازی‌ها را می‌توانید در CD کتاب ببینید.

مواد کمک آموزشی

یک مجموعه کامل از مواد کمک آموزشی برای این کتاب تدارک دیده شده است.

برای مدرس

در Instructor Solution Manual تمام مسائل و تمرین‌های کتاب به طور کامل حل شده است. در سی‌دی تهیه شده برای مدرس هم حل‌المسائل و هم بقیه مطالب لازم یکجا وجود دارد. در این سی‌دی اسلایدهای پاورپوینت تمام شکل‌های کتاب به همراه توضیح شکل وجود دارد.

برای دانشجو

کتاب یک DVD دارد که شبیه‌سازی‌های انجام شده با اسپایس و مولتی‌سیم مربوط به بسیاری از مثال‌ها و مسائل کتاب در آن وجود دارد. همچنین نسخه دانشجویی Cadence PSpice v16.2 Demo و نسخه دانشجویی National Instruments Multisim version 10.1.1 در این DVD وجود دارد که دانشجو می‌تواند آنها را روی کامپیوتر شخصی خود به کار برد. مطالب نوشتاری اضافی، لینک پایگاه اینترنتی کتاب، برگه‌های اطلاعاتی سازندگان قطعات، و اسلایدهای پاورپوینت تمام شکل‌های کتاب نیز روی DVD وجود دارد.

تشکر

بسیاری از تغییرات صورت گرفته در ویراست ششم در پاسخ به نظرات مدرسین ویراست پنجم کتاب بوده است. ما از تمام کسانی که وقت خود را صرف مکاتبه با ما کرده‌اند تشکر می‌کنیم. همچنین ده‌ها استاد وقت خود را صرف خواندن دقیق ویراست قبلی کرده، پیشنهادهای بسیار مفیدی برای ویراست ششم ارائه کرده‌اند. این افراد بسیار بر ما منت دارند و نامشان در جای دیگری ذکر شده است.

برای این ویراست کوشش‌های چند نفر بسیار زیاد بوده است. آقای امامی‌نژاد و محمود فیصل شبیه‌سازی‌های اسپایس و مولتی‌سیم را تهیه و در تهیه دستنویس ویراست ششم نیز ما را یاری کردند. اولویه

ترسکاس ، دانشگاه تورنتو ، و دانشجویان تحصیلات تکمیلی ایشان ، تمام شبیه‌سازی‌ها را تست کردند. وای تونگ از دانشگاه تورنتو پیوست الف را بازنویسی کرد. گوردون رابرتس از دانشگاه مک گیل به ما اجازه داد که مثال‌هایی از کتاب او را برای این کتاب مورد استفاده قرار دهیم . سیما دی‌میتریف از دانشگاه گریفیث فصل ۳ را به دقت خواند و دیوید پالفرای از دانشگاه بریتیش کلمبیا نیز برای این فصل پیشنهادهای مفیدی ارائه داد. اناس حموی از دانشگاه مل گیل نیز منبع ایده‌های مفید فراوانی بود. جیم سامرس از شرکت سونورا دیزاین ورکس مطالب DVD را فراهم آورد. همچنین کارمندان بخش فنی انتشارات آکسفورد ، جنیفر رودریگز ، لیندا لیمان ، لورا فوجینو نیز کار آماده سازی کتاب را انجام دادند و ما را برای تمرکز بر روی کتاب یاری کردند.

همچنین از همکاران دانشگاهی : آنتونی چان کاروسن (دانشگاه تورنتو) ، رومان گنوف (دانشگاه تورنتو) ، دیوید جانسن (دانشگاه تورنتو) ، کن مارتین (دانشگاه تورنتو) ، دیوید نارین (دانشگاه واترلو) ، وای تونگ (دانشگاه تورنتو) ، کومان فانگ (دانشگاه تورنتو) ، گوردون رابرتس (دانشگاه مک‌گیل) ، و علی شیخ‌الاسلامی (دانشگاه تورنتو) به خاطر پیشنهادهای مفیدشان تشکر می‌کنیم .

همچنین اشخاص متعددی از شرکت‌های کادنس و نشنال اینسترومتس ، به خاطر دادن مجوز استفاده از نرم‌افزارهایشان ، و انتشارات آکسفورد مسیح تشکر ما هستند.

سرانجام باید از خانواده خود ، دانشجویان ، و مدرسی که کتاب را مورد استفاده قرار داده‌اند تشکر کنیم.

عادل شفیق سدره

کنت اسمیت

مقدمه مترجم

این پنجمین باری است که کتاب مدارهای میکروالکترونیک را ترجمه می‌کنم. در واقع تمام ویراست‌های قبلی این کتاب، به جز ویراست دوم، توسط من ترجمه شده است و در هر بار مطالب جدیدی از کتاب فراگرفته‌ام. در اکثر مواقع تغییرات داده شده را بسیار مفید و لازم یافته‌ام. و البته مواردی نیز بوده‌است که به نظر من تغییر صورت گرفته کار مناسبی نبوده است. مهمترین این موارد حذف فصل پاسخ فرکانسی در ویراست پنجم، و بخش کردن مطالب مربوط در نتیجه فصول کتاب بوده است. خوشبختانه در این ویراست این مطالب دوباره به صورت یک فصل مجزا (فصل ۹) متعریک شده است. همچنین کاهش حجم دو فصل اصلی کتاب (فصول ۵ و ۶)، و افزودن طراحی تقویت‌کننده‌های گسسته به این دو فصل، جدا کردن مطالب مربوط به فیزیک الکترونیک (عمدتاً مواد نیم‌رسانا و پیوند pn) به صورت یک فصل مجزا (فصل ۳)، آوردن تقویت‌کننده‌های توان از آخر کتاب به بخش دوم، و چند تغییر دیگر باعث شده که این ویراست (در بین ویراست‌های قبلی) بیشترین تطابق را با برنامه دوسی الکترونیک دانشگاه‌های ایران پیدا کند.

اکنون برای بردن بیشترین بهره از این تغییرات، کتاب به صورت سه جلد عرضه می‌شود: جلد اول شامل بخش اول کتاب (فصول ۱ تا ۶) است که می‌تواند به صورت کامل به عنوان درس الکترونیک ۱ عرضه شود. جلد دوم (شامل فصول ۷ تا ۱۲) در مورد اصول طراحی تقویت‌کننده‌ها است: این جلد نیز می‌تواند به عنوان درس الکترونیک ۲ تدریس شود (البته با افزودن بخشی راجع به طراحی منبع تغذیه و حذف بعضی مطالب پیشرفته فصول دیگر). جلد سوم هم برای کسانی که درس الکترونیک دیجیتال را می‌گذرانند، و هم برای درس الکترونیک ۳ مناسب است. هدف دیگر ارائه کتاب به صورت سه جلد، سهولت خرید آن برای دانشجویانی است که به تمام مطالب ارائه شده در کتاب نیازی ندارند.

طی سالیان گذشته، درس الکترونیک در دانشگاه‌های ایران با آنچه در دانشگاه‌های معتبر جهان به عنوان الکترونیک تدریس می‌شود فاصله گرفته است. علت اصلی را شاید بتوان در روزآمد نبودن سرفصل‌های این درس دانست. طی این سالها سیطره ترانزیستور اثر میدانی فلز-اکسید-نیم‌رسانا (ماسفت) بر صنعت الکترونیک بیشتر و بیشتر شده است: این سیطره (با حداقل روند سیطره) بازتاب کاملی در سرفصل دروس الکترونیک دانشگاه‌ها، و کتاب‌های درسی داشته است. ولی در سرفصل دروس الکترونیک دانشگاه‌های ما همچنان ترانزیستور دوقطبی نقش غالب را دارد. نقش ترانزیستور اثر میدانی چندان مشهود نیست، و آنچه از ماسفت خواننده می‌شود همچنان به شکل سنتی (پارامترهای V_T و K) است، در حالی که امروزه در تمام کتاب‌های آموزشی از پارامترهای پایه‌ای تر و ابعاد ماسفت استفاده می‌شود. استفاده از کتاب‌هایی مثل این کتاب می‌تواند در عین پوشش‌دهی سرفصل‌های مصوب، این نقیصه را نیز تا حدی جبران کند.

در مقدمه ویراست ششم کتاب سدره نام ۱۶ نفر از اساتید دانشگاه‌های مختلف آمریکا و کانادا که در حل مسائل و چک کردن جواب‌ها همکاری داشته‌اند، نام ۴۵ نفر از اساتید دانشگاهی و مهندسين ارشد صنايع الكترونيك كه ویراست ششم را پیش از چاپ خوانده و نظراتشان برای بهبود مطالب گرفته شده است، و ۴۴ نفر از اساتیدی که نظراتشان در ویراست‌های قبلی کتاب مورد استفاده قرار گرفته عنوان شده است. نقش داشتن این تعداد صاحب‌نظر در تولید محتوای یک کتاب، و متخصصین زیادی که در تولید فرم کتاب (طراحی، صفحه‌آرایی و غیره) نقش دارند، نشان می‌دهد که چنین کتاب‌هایی چه مقدار ارزش علمی و فنی دارند. تصور من بر این است که فراهم آوردن امکان بهره‌گیری از چنین منابعی برای دانشجویان ایرانی کار ارزشمندی است و بخشی از این کار به عهده بخش فنی و ناشر کتاب است. به همین خاطر در اینجا از همکار و دوست عزیزم جناب آقای مهندس رابع برای پشتیبانی از چنین کاری تشکر می‌کنم.

به رغم آنچه در بالا گفته شد، مسلماً نه کتاب اصلی بدون عیب و خالی از اشتباه است و نه ترجمه آن. پیشاپیش از اشکالاتی که در فرایند ترجمه و آماده‌سازی کتاب به کتاب افزوده شده پوزش می‌طلبیم و امیدواریم این ویراست نیز مانند ویراست‌های قبلی، و حتی بیش از آن، مورد استفاده دانشجویان و اساتید محترم قرار گیرد.

محمود دیانی - زمستان ۱۳۹۰

جدول‌های مورد استفاده به عنوان مرجع

جدول ۱-۱	چهار نوع تقویت‌کننده ۵۳
جدول ۲-۱	پاسخ فرکانسی شبکه‌های تک ثابت زمانی ۶۱
جدول ۱-۲	مشخصات آپ‌امپ ایده‌آل ۹۲
جدول ۱-۳	خلاصه معادلات مهم فیزیک نیم‌رسانا ۲۰۵
جدول ۱-۵	نواحی کار ترانزیستور NMOS افزایشی ۳۰۳
جدول ۲-۵	نواحی کار ترانزیستور PMOS افزایشی ۳۱۲
جدول ۳-۵	مدل‌های کوچک سیگنال ماسفت ۳۴۴
جدول ۴-۵	مشخصات تقویت‌کننده‌های ماسفتی ۳۶۰
جدول ۱-۶	وجود کاری BJT ۴۱۹
جدول ۲-۶	خلاصه روابط جریان - ولتاژ BJT در وجه فعال ۴۳۳
جدول ۳-۶	شرایط و مدل‌های کاری BJT در وجود مختلف ۴۴۵
جدول ۴-۶	مدل‌های کوچک سیگنال BJT ۴۸۷
جدول ۵-۶	مشخصات تقویت‌کننده‌های BJT ۵۱۰
جدول ۱-۷	توزیع بهره در تقویت‌کننده کاسکود ماسفتی به ازای مقادیر مختلف R_L ۵۹۵
جدول ۱-۷-پ	مقادیر نوعی پارامترهای قطعات CMOS ۶۳۲
جدول ۲-۷-پ	مقادیر نوعی پارامترهای BJT ۶۳۴
جدول ۳-۷-پ	مقایسه ماسفت و BJT ۶۳۵
جدول ۱-۹	مدل فرکانس بالای ماسفت ۸۱۰
جدول ۲-۹	مدل فرکانس بالای BJT ۸۱۵
جدول ۱-۱۰	خلاصه روابط چهار آرایش فیدبک ۹۷۸
جدول ۱-۱۲	جریان بایاس مدار آپ‌امپ ۷۴۱ ۱۱۴۹
جدول ۱-۱۳	پارامترهای مهم VTC و وارونساز منطقی ۱۲۱۱
جدول ۲-۱۳	اثرات کوچک سازی ماسفت و ولتاژ ۱۲۷۱
جدول ۳-۱۳	خلاصه مشخصات مهم وارونساز منطقی CMOS ۱۲۸۱
جدول ۱-۱۴	نواحی کاری وارونساز شبه NMOS ۱۳۰۴
جدول ۱-۱۶	داده‌های طراحی مدارهای مرتبه دوم مبتنی بر شبیه‌سازی القاگر ۱۴۶۴
جدول ۲-۱۶	داده‌های طراحی برای دومجذوری دو توماس ۱۴۷۲

فهرست مختصر

(جلدهای ۱ تا ۳)

مقدمه

بخش ۱ قطعات و مدارهای پایه

- فصل ۱ سیگنال و تقویت کننده ۳۰
- فصل ۲ تقویت کننده عملیاتی ۸۸
- فصل ۳ نیمرسانا ۱۷۰
- فصل ۴ دیود ۲۱۲
- فصل ۵ ترانزیستور اثر میدانی MOS (ماسفت) ۱۸۴
- فصل ۶ ترانزیستور دو قطبی پیوندی ۴۱۶

بخش ۲ تقویت کننده‌های مدار مجتمع

- فصل ۷ تقویت کننده‌های مدار مجتمع ۵۷۰
- پیوست ۷-پ: مقایسه ماسفت و BJT ۶۳۱
- فصل ۸ تقویت کننده‌های تفاضلی و چند طبقه ۶۷۲
- فصل ۹ پاسخ فرکانسی ۷۹۰
- فصل ۱۰ فیدبک ۹۱۶
- فصل ۱۱ طبقه‌های خروجی و تقویت کننده‌های توان ۱۰۳۸
- فصل ۱۲ مدارهای آپ‌امپ ۱۱۱۰

بخش ۳ مدارهای مجتمع دیجیتال

- فصل ۱۳ مدارهای مجتمع دیجیتال CMOS ۱۲۰۶
- فصل ۱۴ مدارهای منطقی MOS و دو قطبی پیشرفته ۱۲۹۸
- فصل ۱۵ حافظه و مدارهای دیجیتال پیشرفته ۱۳۶۶

بخش ۴ فیلتر و نوسانساز

فصل ۱۶ فیلتر و تقویت‌کننده تنظیم‌شده ۱۴۲۶

فصل ۱۷ مولدهای سیگنال و مدارهای شکل‌دهنده موج ۱۵۱۴

پیوست‌ها

پیوست الف: فناوری ساخت مدارهای مجتمع VLSI به صورت الکترونیکی

پیوست ب: مدلسازی قطعات در اسپایس و مثال‌های طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی با استفاده از

اسپایس و مولتی‌سیم به صورت الکترونیکی

پیوست پ: پارامترهای شبکه‌های دو درجه‌ای به صورت الکترونیکی

پیوست ت: چند قطعه مفید مداری به صورت الکترونیکی

پیوست ث: مدارهای تک‌تابیت زمانی به صورت الکترونیکی

پیوست ج: تحلیل در حوزه S: قطب، صفر و نمودار بودی به صورت الکترونیکی

پیوست چ: کتابخانه به صورت الکترونیکی

پیوست ح: مقاومت‌های استاندارد ۱۵۸۴

پیوست خ: جواب مسایل منتخب ۱۵۸۶

فهرست مطالب

(جلد اول)

مقدمه

بخش ۱ قطعات و مدارهای پایه ۲۸

۱-۱	سیگنال و تقویت کننده	۳۰
۱-۲	مقدمه	۳۱
۱-۱-۱	سیگنال	۳۲
۱-۲-۱	طیف فرکانسی سیگنال	۳۵
۱-۳-۱	سیگنال های آنالوگ و دیجیتال	۳۸
۱-۴-۱	تقویت کننده	۴۱
۱-۴-۱-۱	تقویت سیگنال	۴۱
۱-۴-۱-۲	نماد مداری تقویت کننده	۴۲
۱-۴-۱-۳	بهره و ولتاژ	۴۲
۱-۴-۱-۴	بهره توان بهره جریان	۴۳
۱-۴-۱-۵	بیان بهره بر حسب دسیبل	۴۳
۱-۴-۱-۶	منابع تغذیه تقویت کننده	۴۴
۱-۴-۱-۷	اشباع شدن تقویت کننده	۴۶
۱-۴-۱-۸	نمادها	۴۷
۱-۵-۱	مدل های مداری تقویت کننده	۴۸
۱-۵-۱-۱	تقویت کننده ولتاژ	۴۸
۱-۵-۱-۲	متوالی کردن تقویت کننده ها	۵۰
۱-۵-۱-۳	انواع دیگر تقویت کننده	۵۲
۱-۵-۱-۴	روابط بین چهار مدل	
	تقویت کننده	۵۲
۵-۵-۱	تعیین R_o و R_i	۵۴
۶-۵-۱	مدل های یکطرفه	۵۴
۶-۱	پاسخ فرکانسی تقویت کننده	۵۷
۱-۶-۱	اندازه گیری پاسخ فرکانسی	
	تقویت کننده	۵۷
۲-۶-۱	پهنای باند تقویت کننده	۵۸
۳-۶-۱	محاسبه پاسخ فرکانسی	
	تقویت کننده	۵۸
۲-۶-۱	شبکه های تک ثابت زمانی	۵۹
۵-۶-۱	طبقه بندی تقویت کننده ها بر اساس	
	پاسخ فرکانسی	۶۴
	خلاصه	۶۷
	مسائل	۶۸
۲	تقویت کننده عملیاتی	۸۸
	مقدمه	۸۹
۱-۲	آپامپ ایده آل	۹۰
۱-۱-۲	پایانه های آپامپ	۹۰
۲-۱-۲	عملکرد و ویژگی های آپامپ	
	ایده آل	۹۱

- ۳-۱-۲ سیگنال‌های تفاضلی و حالت مشترک ۹۲
- ۲-۲ آرایش وارون‌ساز ۹۴
- ۱-۲-۲ بهره حلقه بسته ۹۵
- ۲-۲-۲ اثر بهره حلقه باز محدود (غیر بی‌نهایت) ۹۷
- ۳-۲-۲ مقاومت‌های ورودی و خروجی ۹۸
- ۴-۲-۲ یک کاربرد مهم: جمع‌کننده وزندهار ۱۰۱
- ۳-۲ آرایش ناوون‌ساز ۱۰۳
- ۱-۳-۲ بهره حلقه بسته ۱۰۳
- ۲-۳-۲ اثر بی‌نهایت نبودن بهره حلقه باز ۱۰۴
- ۳-۳-۲ مقاومت‌های ورودی و خروجی ۱۰۵
- ۴-۳-۲ دنبال‌کننده ولتاژ ۱۰۵
- ۴-۲ تقویت‌کننده تفاضلی ۱۰۷
- ۱-۴-۲ یک تقویت‌کننده تفاضلی تک آپامپی ۱۰۸
- ۲-۴-۲ یک مدار بهتر - تقویت‌کننده ابزار دقیق ۱۱۲
- ۵-۲ انترالگیر و مشتقگیر ۱۱۶
- ۱-۵-۲ آرایش وارون‌ساز با امپدانس‌های عمومی ۱۱۶
- ۲-۵-۲ انترالگیر وارون‌ساز ۱۱۸
- ۳-۵-۲ مشتقگیر آپامپی ۱۲۲
- ۶-۲ جنبه‌های غیر ایده‌آل DC ۱۲۴
- ۱-۶-۲ ولتاژ آفست ۱۲۴
- ۲-۶-۲ جریان بایاس ورودی و جریان آفست ۱۲۸
- ۳-۶-۲ اثر ولتاژ و جریان آفست بر عملکرد انترالگیر وارون‌ساز ۱۳۱
- ۷-۲ اثر محدودیت بهره حلقه باز و پهنای باند بر عملکرد مدار ۱۳۲
- ۱-۷-۲ بستگی فرکانسی بهره حلقه باز ۱۳۲
- ۲-۷-۲ پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده‌های حلقه بسته ۱۳۴
- ۸-۲ عملکرد بزرگ سیگنال آپامپ ۱۳۷
- ۱-۸-۲ اشباع خروجی ۱۳۷
- ۲-۸-۲ محدودیت جریان خروجی ۱۳۷
- ۳-۸-۲ آهنگ تغییر خروجی ۱۳۹
- ۴-۸-۲ پهنای باند توان کامل ۱۴۱
- خلاصه ۱۴۲
- مسائل ۱۴۳
- ۳ نیم‌رسانا ۱۷۰
- مقدمه ۱۷۱
- ۱-۳ نیم‌رسانای ذاتی ۱۷۲
- ۲-۳ نیم‌رسانای آلاییده ۱۷۵
- ۳-۳ جریان در مواد نیم‌رسانا ۱۷۸
- ۱-۳-۳ جریان رانشی ۱۷۸
- ۲-۳-۳ جریان نفوذی ۱۸۱
- ۳-۳-۳ رابطه بین D و μ ۱۸۳
- ۴-۳ پیوند pn در شرایط مدار باز (تعادل) ۱۸۴
- ۱-۴-۳ سطح فرکانسی ۱۸۴
- ۲-۴-۳ عملکرد در حالت مدار باز بودن پایانه‌ها ۱۸۵
- ۵-۳ پیوند pn هنگام اعمال ولتاژ ۱۹۱
- ۱-۵-۳ توصیف کیفی عملکرد پیوند ۱۹۱
- ۲-۵-۳ رابطه جریان - ولتاژ پیوند ۱۹۴
- ۳-۵-۳ شکست معکوس ۱۹۸
- ۶-۳ اثرهای خازنی در پیوند pn ۲۰۰
- ۱-۶-۳ ظرفیت تهی یا پیوند ۲۰۰

۲-۶-۳	ظرفیت نفوذی ۲۰۲	۳-۴-۴	اثرات حرارتی ۲۴۰
	خلاصه ۲۰۳	۴-۴-۴	آخرین نکته ۲۴۱
	مسائل ۲۰۶	۵-۴	مدارهای یکسوساز ۲۴۱
۴	دیود ۲۱۲	۱-۵-۴	یکسوساز نیم موج ۲۴۲
	مقدمه ۲۱۳	۲-۵-۴	یکسوساز تمام موج ۲۴۴
	۱-۴ دیود ایده آل ۲۱۴	۳-۵-۴	پل یکسوساز ۲۴۶
	۱-۱-۴ مشخصه جریان - ولتاژ ۲۱۴	۴-۵-۴	یکسوساز با فیلتر خازنی -
	۲-۱-۴ یک کاربرد ساده یکسوساز ۲۱۵		یکسوساز قله ۲۴۷
	۳-۱-۴ کاربردی دیگر: دروازه های منطقی	۵-۵-۴	یکسوساز نیم موج دقیق - ابر
	با دیود ۲۱۸		دیود ۲۵۳
۲-۴	مشخصات پایانه ای دیودهای	۶-۴	مدارهای محدودکننده و کرانیند ۲۵۵
	پیوندی ۲۲۱	۱-۶-۴	مدار محدود کننده ۲۵۵
	۱-۲-۴ ناحیه بایاس مستقیم ۲۲۱	۲-۶-۴	خازن کرانیند یا برگرداننده
	۲-۲-۴ ناحیه بایاس معکوس ۲۲۵		۲۵۷ dc
	۳-۲-۴ ناحیه شکست ۲۲۶	۳-۶-۴	دو برابرکننده ولتاژ ۲۵۹
	۳-۴ مدل کردن دیود در ناحیه مستقیم ۲۲۶	۷-۴	دیودهای خاص ۲۵۹
	۱-۳-۴ مدل نمایی ۲۲۷	۱-۷-۴	دیود سد شائکی (SBD) ۲۶۰
	۲-۳-۴ تحلیل ترسیمی ۲۲۷	۲-۷-۴	ورکتور ۲۶۱
	۳-۳-۴ روش تکرار با استفاده از مدل	۳-۷-۴	دیود نوری ۲۶۱
	نمایی ۲۲۸	۴-۷-۴	دیود نور افشان (LED) ۲۶۲
	۴-۳-۴ نیاز به تحلیل سریع ۲۲۹		خلاصه ۲۶۳
	۵-۳-۴ مدل افت ولتاژ ثابت ۲۲۹		مسائل ۲۶۴
	۶-۳-۴ مدل دیود ایده آل ۲۳۰		
	۷-۳-۴ مدل کوچک - سیگنال ۲۳۱	۵	ترانزیستور اثر میدانی MOS
	۸-۳-۴ کاربرد افت ولتاژ دیود برای تنظیم		(ماسفت) ۲۸۴
	ولتاژ ۲۳۵		مقدمه ۲۸۵
۴-۴	کار در ناحیه شکست معکوس - دیود	۱-۵	ساختار و عملکرد فیزیکی ماسفت
	زیر ۲۳۷		افزایشی ۲۸۶
	۱-۴-۴ مشخصات و مدل دیود زیر ۲۳۷	۱-۱-۵	ساختار ترانزیستور ۲۸۶
	۲-۴-۴ کاربرد زیر به عنوان تنظیم کننده	۲-۱-۵	عملکرد ماسفت به ازای ولتاژ گیت
	موازی ۲۳۸		صفر ۲۸۸
		۳-۱-۵	ایجاد کانال برای عبور جریان ۲۸۸

۴-۱-۵	اعمال v_{DS} کوچک ۲۹۰	۶-۵-۵	ترانساتانی ۳۳۵
۵-۱-۵	عملکرد با افزایش v_{DS} ۲۹۳	۷-۵-۵	مدار معادل T ۳۴۰
۶-۱-۵	کار به ازای $v_{DS} \geq V_{OV}$ ۲۹۶	۸-۵-۵	خلاصه ۳۴۳
۷-۱-۵	ماسفت p کانال ۲۹۹	۶-۵	آرایش های پایه ای تقویت کننده های
۸-۱-۵	MOS مکمل یا CMOS ۳۰۰	ماسفتی ۳۴۵	
۹-۱-۵	عملکرد ترانزیستور MOS در ناحیه	۱-۶-۵	سه آرایش پایه ۳۴۵
	برای آمپانه ۳۰۱	۲-۶-۵	مشخص کردن تقویت کننده ۳۴۶
۲-۵	مشخصات ولتاژ - جریان ماسفت ۳۰۲	۳-۶-۵	تقویت کننده سورس - مشترک
۱-۲-۵	نماد مداری ۳۰۲	(CS) ۳۴۸	
۲-۲-۵	مشخصات $i_D - v_{DS}$ ۳۰۲	۴-۶-۵	تقویت کننده سورس - مشترک با
۳-۲-۵	مشخصه $i_D - v_{GS}$ ۳۰۵	مقاومت سورس ۳۵۱	
۴-۲-۵	مقاومت خروجی محدود در ناحیه	۵-۶-۵	تقویت کننده گیت - مشترک
	اشباع ۳۰۸	(CG) ۳۵۴	
۵-۲-۵	مشخصات ماسفت p - کانال ۳۱۱	۶-۶-۵	تقویت کننده درین - مشترک یا
۳-۵	مدارهای ماسفت در DC ۳۱۳	دنبال کننده سورس ۳۵۶	
۴-۵	کاربرد ماسفت در طراحی	۷-۶-۵	خلاصه و مقایسه ۳۵۹
	تقویت کننده ۳۲۱	۷-۵	بایاس کردن ماسفت در مدارهای
۱-۴-۵	ساخت تقویت کننده ولتاژ ۳۲۱	تقویت کننده ۳۶۰	
۲-۴-۵	مشخصه انتقال ولتاژ (VTC) ۳۲۲	۱-۷-۵	بایاس با V_{GS} ثابت ۳۶۰
۳-۴-۵	بایاس کردن ماسفت برای دستیابی	۲-۷-۵	بایاس با V_G ثابت و قرار دادن
	به تقویت خطی ۳۲۳	مقاومت در سورس ۳۶۱	
۴-۴-۵	بهره ولتاژ کوچک سیگنال ۳۲۴	۳-۷-۵	بایاس با مقاومت فیدبک درین به
۵-۴-۵	تحلیل ترسیمی یافتن مشخصه	گیت ۳۶۵	
	انتقال ۳۲۷	۴-۷-۵	بایاس با منبع جریان ثابت ۳۶۶
۶-۴-۵	تعیین نقطه کار Q ۳۲۹	۵-۷-۵	آخرین نکات ۳۶۷
۵-۵	عملکرد و مدل های کوچک سیگنال ۳۲۹	۸-۵	تقویت کننده های ماسفتی مجزا ۳۶۸
۱-۵-۵	نقطه بایاس DC ۳۳۰	۱-۸-۵	ساختار پایه ۳۶۸
۲-۵-۵	سیگنال جریان درین ۳۳۱	۲-۸-۵	تقویت کننده سورس - مشترک
۳-۵-۵	بهره ولتاژ ۳۳۲	(CS) ۳۶۹	
۴-۵-۵	جداسازی تحلیل DC و تحلیل	۳-۸-۵	تقویت کننده سورس - مشترک با
	سیگنال ۳۳۴	مقاومت سورس ۳۷۱	
۵-۵-۵	مدار معادل های کوچک -	۴-۸-۵	تقویت کننده گیت - مشترک
	سیگنال ۳۳۴	(CG) ۳۷۳	

- ۵-۸-۵ دنبال‌کننده سورس ۲۷۳
- ۶-۸-۵ پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده ۳۷۵
- ۹-۵ اثر بدنه و مفاهیم دیگر ۳۷۷
- ۱-۹-۵ نقش زیر لایه - اثر بدنه ۳۷۷
- ۲-۹-۵ مدل کردن اثر بدنه ۳۷۸
- ۳-۹-۵ اثرات حرارتی ۳۷۹
- ۴-۹-۵ شکست و حفاظت ورودی ۳۷۹
- ۵-۹-۵ اشباع سرعت ۳۸۰
- ۶-۹-۵ اسفست نهی ۳۸۰
- خلاصه ۳۸۱
- مسائل ۳۸۳
- ۶ ترانزیستور دو قطبی پیوندی ۴۱۶
- مقدمه ۴۱۷
- ۱-۶ ساختار ترانزیستور و عملکرد
- فیزیکی ۴۱۸
- ۱-۱-۶ ساختار ساده و وجوه
- عملکرد ۴۱۸
- ۲-۱-۶ عملکرد ترانزیستور npn در وجه
- فعال ۴۲۰
- ۳-۱-۶ ساختار ترانزیستورهای
- واقعی ۴۲۷
- ۴-۱-۶ کار در وجه اشباع ۴۲۸
- ۵-۱-۶ ترانزیستور pnp ۴۳۰
- ۲-۶ مشخصات ولتاژ - جریان ۴۳۲
- ۱-۲-۶ نمادهای مداری و قراردادهای ۴۳۲
- ۲-۲-۶ نمایش ترسیمی مشخصات
- ترانزیستور ۴۳۶
- ۳-۲-۶ بستگی i_c به ولتاژ کلکتور - اثر
- ارلی ۴۳۷
- ۴-۲-۶ شکل دیگر مشخصات امیتر
- مشترک ۴۴۰
- ۲-۶ تحلیل مدارهای ترانزیستوری در DC ۴۴۴
- ۴-۶ کاربرد BJT در طراحی تقویت‌کننده ۴۵۹
- ۱-۴-۶ ساخت تقویت‌کننده ولتاژ ۴۶۰
- ۲-۴-۶ مشخصه انتقال ولتاژ (VTC) ۴۶۰
- ۳-۴-۶ بایاس کردن BJT برای دستیابی به
- تقویت خطی ۴۶۱
- ۴-۴-۶ بهره ولتاژ کوچک سیگنال ۴۶۳
- ۵-۴-۶ تعیین VTC با تحلیل
- ترسیمی ۴۶۵
- ۶-۴-۶ تعیین نقطه کار ۴۶۶
- ۵-۶ عملکرد و مدل‌های کوچک سیگنال ۴۶۷
- ۱-۵-۶ جریان کلکتور و ترانسانیایی ۴۶۸
- ۲-۵-۶ جریان بیس و مقاومت ورودی
- دیده شده از بیس ۴۷۰
- ۳-۵-۶ جریان امیتر و مقاومت ورودی
- دیده شده از امیتر ۴۷۱
- ۴-۵-۶ بهره ولتاژ ۴۷۲
- ۵-۵-۶ جدا کردن کمیات سیگنال و
- کمیات DC ۴۷۳
- ۶-۵-۶ مدل هیبرید π ۴۷۴
- ۷-۵-۶ مدل T ۴۷۵
- ۸-۵-۶ مدل‌های کوچک سیگنال
- ترانزیستور pnp ۴۷۶
- ۹-۵-۶ کاربرد مدارهای معادل کوچک -
- سیگنال ۴۷۶
- ۱۰-۵-۶ انجام تحلیل کوچک - سیگنال
- برروی نمودار مداری ۴۸۳
- ۱۱-۵-۶ گنجاندن اثر ارلی در مدار
- معادل‌های کوچک سیگنال ۴۸۴
- ۱۲-۵-۶ خلاصه ۴۸۶
- ۶-۶ آرایش‌های پایه‌ای تقویت‌کننده با
- BJT ۴۸۶
- ۱-۶-۶ سه آرایش پایه ۴۸۶

۸-۶	تقویت کننده‌های BJT مجزا ۵۱۷	۲-۶-۶	مشخص کردن تقویت کننده ۴۸۸
۱-۸-۶	ساختار پایه ۵۱۸	۳-۶-۶	تقویت کننده آمپتر مشترک ۴۹۰
۲-۸-۶	تقویت کننده آمپتر - مشترک (CE) ۵۱۹	۴-۶-۶	تقویت کننده آمپتر مشترک با مقاومت آمپتر ۴۹۵
۳-۸-۶	تقویت کننده آمپتر - مشترک دارای مقاومت آمپتر ۵۲۱	۵-۶-۶	تقویت کننده بیس مشترک ۵۰۰
۴-۸-۶	تقویت کننده بیس - مشترک ۵۲۳	۶-۶-۶	تقویت کننده کلکتور مشترک یا دنبال کننده آمپتری ۵۰۲
۵-۸-۶	دنبال کننده آمپتری ۵۲۴	۷-۶-۶	خلاصه و مقایسه ۵۰۹
۶-۸-۶	پاسخ فرکانسی تقویت کننده ۵۲۶	۷-۶	بایاس کردن تقویت کننده‌های BJT ۵۱۰
۹-۶	شکست ترانزیستور و اثرهای حرارتی ۵۲۷	۱-۷-۶	آرایش کلاسیک بایاس در مدارهای مجزا ۵۱۱
۱-۹-۶	شکست ترانزیستور ۵۲۷	۲-۷-۶	بایاس با استفاده از دو منبع تغذیه ۵۱۴
۲-۹-۶	بستگی β به I_C و ترانزیستور ۵۲۹	۳-۷-۶	بایاس با استفاده از مقاومت فیدبک کلکتور - بیس ۵۱۵
خلاصه ۵۲۹		۴-۷-۶	بایاس با استفاده از منبع جریان ۵۱۶
مسائل ۵۳۲			

پیوست‌ها

پیوست الف :	فناوری ساخت مدارهای مجتمع VLSI به صورت الکترونیکی
پیوست ب :	مدلسازی قطعات در اسپایس و مثال‌های طراحی مبتنی بر شبیه سازی با استفاده از اسپایس و مولتی سیم به صورت الکترونیکی
پیوست پ :	پارامترهای شبکه‌های دو دریچه‌ای به صورت الکترونیکی
پیوست ت :	چند قضیه مفید مداری به صورت الکترونیکی
پیوست ث :	مدارهای تک ثابت زمانی به صورت الکترونیکی
پیوست ج :	تحلیل در حوزه s: قطب، صفر، و نمودار بودی به صورت الکترونیکی
پیوست چ :	کتابنامه به صورت الکترونیکی
پیوست ح :	مقاومت‌های استاندارد ۵۷۰
پیوست خ :	جواب مسایل منتخب ۵۷۲