



۱۴۴ ۶۸ ۹۱

مبانی

میکروالکترونیک

ویراست دوم

نویسنده
بهزاد رضوی

مترجمان
محموددیانی
محمدحسین زارع

ناشر: کتاب مهندسی، کامپیوتر، دانشگاهی، مدیریت

نص

Razavi, Behzad.	رضوی، بهزاد، ۱۳۴۰	:	سرشناسه
مبانی میکرو الکترونیک / بهزاد رضوی؛ مترجم محمود دیانی، محمد حسین زارع.		:	عنوان و نام پدیدآور
ویراست دوم		:	وضعیت ویراست
تهران: نص، ۱۳۹۴.		:	مشخصات نشر
۱۰۰۰ ص: مصور (دورنگ) ، جدول، نمودار		:	مشخصات ظاهری
۳۹۰۰۰ تومان		:	قیمت
۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۶۷-۴		:	شابک ج ۱
فیبا.		:	وضعیت فهرست نویسی
Fundamentals of microelectronic, 2th.ed.c2013.		:	عنوان اصلی
میکروالکترونیک.		:	موضوع
دیانی، محمود، ۱۳۳۹، مترجم		:	شناسه افزوده
زارع، محمد حسین، ۱۳۳۲، مترجم		:	شناسه افزوده
TK۷۸۷۴/ر۶م۲ ۱۳۹۴		:	رده بندی کنگره
۶۲۱/۳۸۱		:	رده بندی دیویی
۴۰۲۵۵۰۰		:	شماره کتابشناسی



مؤسسه علمی فرهنگی

مبانی میکرو الکترونیک / (ویراست دوم)

مؤلف: بهزاد رضوی

مترجمان: محمود دیانی، محمد حسین زارع

چاپ اول: بهار ۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰

ناشر: نص

طراحی، چاپ، صحافی: مؤسسه علمی فرهنگی «نص»

قیمت: ۳۹۰۰۰ تومان

فروشگاه: تهران - ضلع جنوب شرقی میدان

انقلاب، شماره ۲۵ تلفن: ۶۶۴۰۵۳۷۲

وب سایت: www.nasspub.com

دفتر: تهران، میدان انقلاب، خ منیری جاوید، بن بست مبین، شماره ۶

تلفن: ۶۶۴۱۲۳۸۵ - ۶۶۴۶۵۶۷۴ - ۶۶۹۵۳۸۸۳ فاکس: ۶۶۹۵۷۶۹۰

ایمیل: info@nasspub.com

ISBN: 978-964-410-367-4

۹۷۸-۹۶۴-۴۱۰-۳۶۷-۴

شابک :

مقدمه ویراست دوم

ویراست اول این کتاب در سال ۲۰۰۸ انتشار یافت و دانشگاه‌های متعددی در سراسر دنیا آن را برای تدریس الکترونیک در سطح کارشناسی برگزیدند. در پاسخ به فیدبک دریافت شده از دانشجویان و مدرسین در ویراست دوم موارد زیر برای بهبود جنبه‌های تدریسی لحاظ شده است:

۱. ستون‌های در مورد تاریخ الکترونیک و کاربرد قطعات و مدارهای معرفی شده در کنار برخی صفحات گنجانده شده است تا انگیزه کافی برای دنبال کردن مطلب را فراهم کرده، به مدرس این فرصت را بدهد که درس خود را با مثال‌هایی از دنیای واقعی غنا بخشد. این ستون‌ها همچنین تأثیر الکترونیک بر زندگی را نشان داده، درک خواننده از مفاهیم را بهبود می‌بخشند و او را با آخرین دستاوردها آشنا می‌کنند.
 ۲. فصلی در مورد نوسان اضافه شده است. نوسانساز فرزند طبیعی مدارهای فیدبک‌دار است و در اکثر مسائل امروزی یک بخش مهم ضروری محسوب می‌شود، بنابراین جا داشته است که در این کتاب مورد بررسی قرار گیرد.
 ۳. ترتیب مسائل انتهای فصل‌ها تغییر داده شد تا با روند درس بیان شده توافقی بیشتری داشته باشد. همچنین برای این که خواننده بهتر بتواند مسائل را بخش‌بندی کند، مسائل بر اساس بخش‌ها دسته‌بندی شده‌اند. مسائل مشکل‌تر نیز با یک یا دو ستاره مشخص شده‌اند.
 ۴. چون دانشجویان غالباً خواستار جواب مسائل کرده‌اند تا بتوانند درستی کار خود را واریسی کنند، جواب مسائل فرد در سایت کتاب درج شده است.
 ۵. اشتباهات چاپی ویراست قبلی تصحیح شده است.
- می‌خواهم از تمام دانشجویان و مدرسینی که طی پنج سال گذشته نظرات خود را منعکس کرده‌اند تا ویراست بهتری فراهم شود، تشکر کنم.

بهزاد رضوی

ژانویه ۲۰۱۳

پیشنهادهایی برای دانشجویان

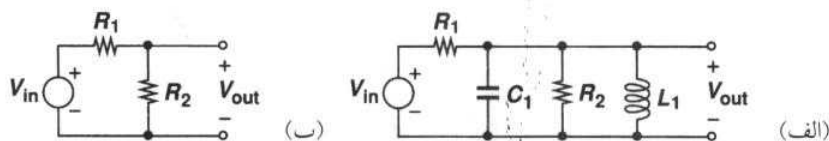
شما در آغاز سفر به دنیای شگفت‌انگیز میکروالکترونیک هستید. خوشبختانه میکروالکترونیک آنقدر در وسایل دور و بر ما فراوان است که انگیزه‌ی کافی برای پرداختن به آن به سادگی فراهم می‌شود. البته خواندن میکروالکترونیک به سادگی خواندن داستان نیست؛ در هر گام از این راه با تحلیل و طراحی، به کارگیری دقت ریاضی و شهود مهندسی سروکار داریم. این گفتار پیشنهادهایی را در بردارد که ممکن است در خواندن و یادگیری میکروالکترونیک مفید واقع شود.

دقت و شهود پیش از خواندن این کتاب باید یکی دو درس در زمینه‌ی نظریه‌ی مدار گذرانده، بر قوانین کیرشهف و تحلیل مدارهای RC تسلط یافته باشید. مفاهیمی که در این دروس فراگرفته‌اید، هر چند در ظاهر بسیار انتزاعی و بی‌ارتباط به دنیای واقعی می‌نمایند، ولی مبنای میکروالکترونیک را تشکیل می‌دهند، درست همانطور که ریاضیات مبنای مهندسی را تشکیل می‌دهد.

مطالعه‌ی میکروالکترونیک به دقت ریاضی هم نیاز دارد، ولی دو مولفه‌ی دیگر را نیز در برمی‌گیرد. اول این که کاربردهای زیادی برای مفاهیم مورد بررسی است. دوم این که باید درکی شهودی (یا به عبارت دیگر "حس مهندسی") نسبت به رفتار قطعات و مدارهای میکروالکترونیک پیدا کنیم. اگر این درک شهودی را کسب نکنیم، تحلیل مدارها با افزودن قطعات دیگر بیان انجام کارهای پیچیده‌تر، مشکل و مشکل‌تر می‌شود.

تحلیل ذهنی ما تلاش بسیاری می‌کنیم تا ذهنیت و مهارت‌های لازم برای "تحلیل ذهنی" را در خواننده پرورش دهیم. منظور این است که شخص بتواند با نگاه به یک مدار پیچیده آن را به بخش‌های ساده‌تری تجزیه کند، طوری که بتواند رفتار آن را با نوشتن یکی دو معادله‌ی جبری فرموله کند. به عنوان مثالی ساده فرض کنید با مقسم ولتاژ ساده‌ی شکل ۱ (الف) روبرو شده‌ایم و معادل تونن آن را یافته‌ایم. اکنون اگر مدار شکل ۱ (ب) را داشته باشیم، می‌توانیم به سادگی به جای V_{in} ، R_1 ، و R_2 معادل تونن را در دهیم و محاسبات را ساده کنیم.

چهار صفحه در هفته اگر در درس الکترونیک ثبت نام کرده باشید، باید هر هفته حدود چهار صفحه از این کتاب را بخوانید؛ هر صفحه‌ی این کتاب پر از مفاهیم جدید، مثال و تحلیل است. آنچه مدرس در کلاس بیان



شکل ۱. مثالی از تحلیل ذهنی.

می‌کند تنها چارچوب مطالب است؛ این شما باید که باید با خواندن کتاب و درک بندهند آن مطالب بیان شده را به هم پیوند بزنید و آنها را بفهمید.

خواندن و فهمیدن **چهل صفحه** از این کتاب در هر هفته محتاج تمرکز و انضباط است. در هر صفحه با مطالب جدید و تحلیل‌های مفصل روبرو می‌شوید و باید دو سه ساعت وقت آزاد (بدون تلفن همراه، تلویزیون، ایمیل و غیره) برای خود فراهم آورید تا بتوانید مطلب را دنبال کنید و توانای تحلیل را در خود پرورش دهید. پیشنهاد می‌کنم پیش از خواندن حل مثال‌ها خودتان تلاش کنید جواب را بیابید.

چهل مسئله در هفته پس از خواندن هر بخش و پرداختن به مثال‌های آن، بهتر است برای برآورد و تقویت آموخته‌های خود مسائل مربوط به آن بخش را حل کنید. مسائل از آسان شروع می‌شود و به تدریج به مسائل سخت می‌رسد. برای حل بعضی مسائل ممکن است مجبور شوید دوباره به آن بخش برگردید و نکات ریز را با دقت بیشتری بخوانید.

ارزش آموزشی هر مسئله به پشتکارتان بستگی دارد. نگاه اولیه به مسئله ممکن است شما را بترساند. ولی با نگاه کردن و تأمل در سبب از رایای مختلف، و مهمتر از آن بازبینی مفاهیم بیان شده در کتاب، کم‌کم راهی برای حل آن در ذهنتان نقش می‌بندد که ممکن است شما را به جواب برساند. در واقع اگر راجع به مسئله‌ای که نتوانسته‌اید آن را حل کنید سراب بگردانید، تنها یک اشاره از طرف مدرس کافی است تا شما را به جواب برساند. همچنین هر یک از مسائل بیشتر کلنجار رفته باشید، آن مسئله برایتان جالب‌تر می‌شود و راه حل آن بهتر در ذهنتان باقی می‌ماند.

حضور در کلاس و خواندن کتاب، مثال‌هایی از **یادگیری غیرفعال** هستند. در این فرایند تنها مقداری اطلاعات از مدرس یا کتاب می‌گیرید (و این بسیار کم است) و آن را جذب کنید. هر چند یادگیری غیرفعال ضروری است، ولی به خاطر این که درک شما محکم نمی‌گردد و به کار گرفته نمی‌شود فاقد عمق است. ممکن است مطالب مهم کتاب را (مثلاً با خط کشیدن) مشخص کنید. حتی ممکن است مفاهیم مهم را خلاصه کنید و آنها را در برگه‌ی جداگانه‌ای بنویسید (و این کارتان مورد تایید است). ولی برای تسلط بر مطلب باید تمرین کنید. حل مسئله مثالی از **یادگیری فعال** است. مسائل انتهای هر فصل به همین منظور تدارک دیده شده است.

تکلیف و امتحان حل مسائل آخر فصل شما را برای حل تکلیف و امتحان نیز آماده می‌کند. برای حل تکالیف نیز باید وقت آزاد تدارک ببینید و در این فرصت آموخته‌های خود را به کار بگیرید و درک خود را بهتر کنید. نصیحت ارزشمندی که در اینجا به شما می‌کنم این است که حل تکلیف با هم‌کلاسی‌ها فکر خوبی نیست. فراگیری میکروالکترونیک مستلزم تمرکز است و گارگروهی چنین تمرکزی را ایجاد نمی‌کند. البته بحث، تقابل و تبادل رای، و استدلال برای رد کردن نظر دیگران از مزایای کار گروهی است، ولی به هر حال در امتحان باید تنها کار کنید! برای کسب اعتماد به نفس می‌توانید در مورد جواب‌های خود با هم‌کلاسی‌ها و استاد خود مشورت کنید، ولی این کار را بعد از حل تکالیف انجام دهید.

مدیریت زمان خواندن متن، پرداختن به مسائل، و انجام تکلیف حداقل به ۱۰ ساعت وقت در هفته نیاز دارد. به خاطر سرعت پیشرفت درس، مطالب نیز به سرعت روی هم انباشته می‌شوند و اگر در چند هفته‌ی اول

وقت کافی صرف نکنید، دیگر رسیدن به درس و همگام شدن با آن کار مشکلی می‌شود. در واقع هر چه بیشتر عقب بیفتید، کلاس برایتان کسل‌کننده‌تر و حضور در آن بی‌فایده‌تر می‌شود. اگر چنین شده است بکوشید آنچه را مدرس می‌گوید حداقل بنویسید، حتی اگر چیز زیادی از آن نمی‌فهمید. چون بقیه‌ی دروس نیز همین مقدار وقت می‌خواهد، نداشتن زمان‌بندی مناسب و مدیریت بر زمان شما را به سرعت به دردسر می‌اندازد.

مدیریت زمان شامل دو بخش است: (۱) زمان بیدار بودن خود را به بخش‌های کاملاً مجزا تقسیم کنید، و (۲) از هر بخش به خوبی بهره ببرید. برای بهبود بهره‌وری می‌توانید این کارها را انجام دهید: (الف) کار در محیطی آرام، تا کمتر حواستان پرت شود؛ (ب) بخش کردن کار در طول هفته، مثلاً ۳ ساعت در روز، تا مغزتان اشباع نشود و ذهن ناخودآگاهتان بتواند مفاهیم فراگرفته شده را پردازش کند.

پیشنیاز اکثر مهمانی‌ها که در درس مدار آموخته‌اید برای مطالعه‌ی میکروالکترونیک ضروری است. فصل ۱ مرور مختصری از این مفاهیم را در بردارد، ولی تنها برای یادآوری مناسب است. چون وقت کلاس محدود است ممکن است مدرس این مطالب را در کلاس مطرح نکند و آنها را به خود شما واگذارد. بد نیست ابتدا نگاهی به آنها بیندازید. ببینید کدام مفهوم فکرتان را بیشتر مشغول می‌کند، باید بنشینید و روی این مفهوم تمرکز کنید.

پیشنهادهایی برای مدرس

ارائه‌ی دروس کارشناسی بسیار چالش‌برانگیز است، مخصوصاً اگر تأکید بر تفکر و استنتاج باشد نه بر حفظ کردن. با توجه به این که جوانان امروز به بازی‌های پرسرعت کامپیوتری، و رسیدن به هدف و گرفتن اطلاعات از اینترنت، با یکی دو کلیک بر روی صفحه کلید خو کرده‌اند، تشویق آنها به تمرکز بلند مدت بر روی یک مطلب و کاغذار شدن با مفاهیم انتزاعی روز به روز مشکل‌تر می‌شود. این گفتار بر اساس بیش از ده سال تدریس پراهم‌سده و پیشنهادهایی را در بردارد که می‌تواند برای تدریس میکروالکترونیک مفید باشد.

درمان دانشجویان درس میکروالکترونیک معمولاً یک یا دو درس مدار گذرانده‌اند. اکثر این دانشجویان چیز مشخصی از آن تجربه در خط ندارند. به هر حال اکثر کتاب‌های مدار توسط کسانی نوشته شده که زمینه‌ی کاری‌شان مدار نبوده است. همچنین درس مدار غالباً توسط کسانی ارائه می‌شود که چندان درگیر طراحی مدار نیستند. مثلاً کمتر پیش می‌آید که به شیوه گفته شود تحلیل گره‌ای بیشتر از تحلیل خانه‌ای به کار می‌آید، یا بیش آنها نسبت به قضایای تونن و نورتن کافم نیست.

با توجه به این مطلب، من پنج نکته در این درس بود را به درمان اختصاص می‌دهیم. می‌پرسم: "چه کسانی از درس مدار خوششان آمده و درکی دارند؟" از آن پیدا کرده‌اند؟ "کمتر کسی دستش را بلند می‌کند. سپس می‌پرسم: "درس ریاضی چگونه؟ آیا از ریاضی درک کاربردی پیدا کرده‌اید؟" بعد برایشان توضیح می‌دهم که نظریه‌ی مدار مبنای میکروالکترونیک است، همانطور که ریاضی مبنای مهندسی است. همچنین تذکر می‌دهم که بعضی جنبه‌های میکروالکترونیک نیز به صورت تجربی برای دروس پیشرفته‌تر به کار می‌رود. به این اشاره می‌کنم که (۱) میکروالکترونیک بر درک شهودی تأکید زیادی دارد و باید از نوشتن معادلات KVL و KCL فراتر رفته، درکی شهودی از عبارات‌های ریاضی کسب کنیم، و (۲) در این درس بسیاری از کاربردهای میکروالکترونیک که در زندگی روزمره با آنها سروکار داریم مطرح می‌شود. به بیان دیگر میکروالکترونیک درس خشکی مثل مدار نیست که در آن با مقاومت‌های ۱ اهمی، القاگرهای ۱ هانری، خازن‌های ۱ فارادی سروکار داشته باشیم.

کوییز اول چون دانشجویان با سطوح آمادگی مختلفی در درس حاضر می‌شوند، گرفتن یک کوییز ده دقیقه‌ای در اولین جلسه‌ی درس را مفید یافته‌ام. ابتدا می‌گویم که این کوییز در نمره‌ی درس تاثیری ندارد و برای شناخت دانشجویان گرفته می‌شود، همچنین تأکید می‌کنم که در این کوییز دانسته‌هایشان اندازه‌گیری می‌شود نه هوش و استعدادشان. پس از جمع‌آوری برگه‌ها از یکی از دستیاران خود می‌خواهم آنها را تصحیح کرده، یک نمره‌ی دودویی (صفر یا یک) به هر مسئله بدهد: آنهایی که کمتر از ۵۰ درصد نمره را می‌آورند

یک ستاره‌ی قرمز می‌گیرند. در انتهای کلاس برگه‌ها را برمی‌گردانم و می‌گویم که کسانی که ستاره‌ی قرمز گرفته‌اند باید سخت‌تر از دیگران کار کنند و مراجعه‌شان به دستاران و خود من بیشتر باشد.

دید کلی یکی از ابزارهای قدرتمند ایجاد انگیزه در تدریس دادن دید کلی است، این کار می‌تواند با بیان کاربردی از مفهوم مورد بررسی صورت بگیرد. دو مثالی که در فصل ۱ بیان شده، اولین گام‌ها برای دادن تصویری از آنچه در کتاب بیان خواهد شد است. ولی این کار نباید در همین جا متوقف شود. هر مفهوم جدیدی مستحق بیان یک کاربرد است؛ هر چند بیان کاربرد می‌تواند به اختصار صورت گیرد، ولی زحمت اصلی به دوش مدرس گذاشته شده است.

کاربرد باید به دقت انتخاب شود. اگر توصیف خیلی طولانی، یا کاربرد بسیار انتزاعی باشد، دانشجو ارتباط مفهوم و کاربرد را درک نخواهد کرد. رهیافت کلی من به این صورت است. فرض کنید می‌خواهیم فصل ۲ (مبانی فیزیک نمرسانا) را شروع کنیم. می‌پرسم "جهان ما بدون نمرسانا چه شکلی می‌داشت؟" یا "آیا در ساعت، تلفن همراه، کامپیوتر یا دوربین شما قطعه‌ی نمرسانا وجود دارد؟" در بحثی که به دنبال این سوال‌ها پیش می‌آید، به سرعت می‌توانیم نواحی از قطعات نمرسانا و کاربردهایشان به میان آوریم. پس از دادن دید کلی، پرسش این که "آیا این مطالب کهنه نشده‌اند؟ چرا باید اینها را یاد بگیریم؟" انگیزه‌ی بیشتری برای دنبال کردن مطلب به وجود می‌آورد. سپس در مورد چالش‌های فراروی طراحان امروزی و رقابت بین سازندگان برای کاهش توان مصرفی و هزینه‌ی دستگاه‌های قابل حمل به اختصار صحبت می‌کنم.

تحلیل و طراحی بیابید زمینه‌ی دانشجویان درس ریزر الکترونیک را در نظر بگیریم. آنها به حد کافی توانایی نوشتن KVL و KCL را دارند. آنها همچنین تعدادی از RLC را تحلیل کرده‌اند، برای اینها تمام مدارهای RLC یکسان هستند و نمی‌دانند که هر یک از کجا آمده‌اند و چه کاربردی می‌توانند داشته باشند. ولی هدف درس میکروالکترونیک این است که آرایش‌هایی مشخصی با وسایل معین را یاد بدهد. بنابراین باید ذهنیت دانشجو را از "این هم یک مدار دیگه، باید این را هم تحلیل کنم" به "چنین مشکلی در پیش داریم و باید مداری برای حل آن بسازیم" تغییر دهید. سپس از آرایش ساده‌ای شروع می‌کنیم، کمبودهای آن را مشخص می‌کنیم، اصلاح آن را ادامه می‌دهیم تا سرانجام به جواب قابل قبولی برسیم. این رهیافت طراحی گام به گام (الف) نقش هر قطعه در مدار را روشن می‌کند، (ب) یک ذهنیت "طراحی محور" ایجاد می‌کند، و (ج) هوش و علاقه‌ی دانشجو را به کار و می‌دارد.

تحلیل ذهنی دانشجو در آشنایی با میکروالکترونیک کم کم به مدارهای پیچیده‌تری می‌رسد و دبری نمی‌پاید که دیگر نوشتن KVL و KCL برای تحلیل مدار به روشی ناکافی و بی‌فایده تبدیل می‌شود. من در همان جلسات ابتدایی درس مدار داخلی یک آپ‌امپ را به دانشجویان نشان می‌دهم و از آنها می‌پرسم که آیا با نوشتن معادلات گره‌ای یا خانه‌ای می‌توان چنین مداری را تحلیل کرد؟ به این ترتیب اهمیت تحلیل ذهنی را در آنها ایجاد می‌کنم. رهیافت من برای این منظور دو مرحله دارد. (۱) برای هر مداری ویژگی‌های به دست آمده را به زبان عادی بیان می‌کنم؛ مثلاً "بهره‌ی ولتاژ طبقه‌ی سورس مشترک از تقسیم مقاومت بار بر مجموع $1/g_m$ و

مقاومت بین سورس و زمین به دست می‌آید." (۲) روش تجزیه‌ی مدار به آرایش‌های شناخته شده را یاد می‌دهد.

تحلیل ذهنی، علاوه بر بازدهی بهتر، بیش‌شهودی بهتری نیز ایجاد می‌کند. پس از ارائه‌ی هر مثالی تأکید می‌کنم که نتیجه‌ی به دست آمده نقش پارامترهای مختلف را بهتر روشن می‌کند، در حالی که نوشتن معادلات کیرشلف و حل آنها چنین نتیجه‌ای در بر ندارد.

ماجرای "چه می‌شد اگر؟" یک روش جالب برای تقویت ویژگی‌های مدار در ذهن دانشجویان پرسیدن این سوال است که "اگر این قطعه را بین گره‌های C و D قرار دهیم، نه بین A و B، چه می‌شود؟ در واقع دانشجویان معمولاً خودشان چنین سوال‌هایی مطرح می‌کنند. جواب من این است: "نرسید. اگر چنین کاری کنید مدار شما را گاز نمی‌گیرد. پس ادامه دهید و مدار را در این شکل جدید تحلیل کنید."

برای مراحلی ساده بهتر است دانشجو را ترغیب کنیم چند تغییر ممکن صورت دهد و رفتار حاصل را بررسی کند. این ترتیب دانشجو با آرایش اصلی صمیمیت بیشتری حس می‌کند و در می‌یابد که چرا این آرایش تنها جواب قابل قبول است (اگر چنین باشد).

محاسبه‌ی نمادی و - ی - می‌تواند در طراحی مثال‌ها، تکالیف، و امتحان اهمیت محاسبات نمادی یا محاسبات عددی را بیشتر کند. دانشجو ممکن است محاسبات عددی را ترجیح دهد، البته به شرطی که حل مسئله تنها مستلزم یافتن معادله‌ی مناسب و یادگذاری در آن باشد.

ارزش محاسبات عددی در چیست؟ ۱. به من این محاسبات به دو منظور به کار می‌روند: (۱) این که دانشجو از جواب به دست آمده احساس رضایت کند و (۲) دانشجو احساسی از مقادیر نوعی واقعی کسب کند. به این ترتیب محاسبات عددی نقش محدودی در فرایند یادگیری و تقویت مفاهیم دارند.

ولی محاسبات نمادی می‌توانند نسبت به رفتار مدار و آشکار شدن بستگی‌ها، روندها، و محدودیت‌ها بیش‌تر ارزشمندی به دست دهند. همچنین نتایج به دست آمده روی توان، در مثال‌های پیچیده‌تر به کار گرفت.

تخته یا اسلاید برای مدرس این کتاب مجموعه‌ی کاملی از اسلایدها، وروپونت تدارک دیده شده است. ولی توصیه می‌کنم مدرس مزایا و معایب ارائه‌ی درس با تخته یا اسلاید را کاملاً شنجد.

مشاهدات زیر قابل توجه است. (۱) بسیاری از دانشجویان اگر در کلاس حضور نداشته‌اند، نویسنده‌شان می‌برد (حداقل به لحاظ ذهنی). (۲) بعضی دیگر اگر چیزی ننویسند حس می‌کنند چیزی نگفته‌اند. (۳) برای اکثر افراد نوشتن یک مطلب کمک می‌کند که مطلب در ذهنشان نقش ببندد. (۴) استفاده از اسلاید سرعت ارائه را بیشتر می‌کند (اگر خود مدرس نیز چیزی ننویسد، زودتر جلو می‌رود!) بنابراین دانشجو فرصت هضم مطلب را نمی‌یابد. به این دلایل، حتی در مواردی که دانشجو نسخه‌ی چاپی اسلاید را در اختیار دارد، باز این روش نمی‌تواند کاملاً موثر باشد.

برای بهبود وضعیت می‌توان در هر اسلاید فضایی را خالی گذاشت و آن را در کلاس، هنگام رسیدن به نتایج و مفاهیم جالب توجه پر کرد. من این روش را قبلاً هنگام استفاده از تراسپارنت، و اخیراً با استفاده از

کامپیوتر، آرموده‌ام. این روش برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی خوب جواب می‌دهد، ولی دانشجویان کارشناسی را خسته یا سردرگم می‌کند.

خود من بر این عقیده‌ام که تخته هنوز هم بهترین روش برای تدریس میکروالکترونیک در سطح کارشناسی است. البته مدرس می‌تواند از اسلایدهای پاورپوینت (با یا بدون در اختیار قرار دادن نسخه‌های چاپی) استفاده کند، یا روش دیگر مورد علاقه‌اش را به کار برد.

الکترونیک گسسته یا مجتمع در درس میکروالکترونیک باید بین الکترونیک گسسته و مجتمع چه توازنی برقرار شود؟ برای اکثر ما میکروالکترونیک با مدار مجتمع مترادف است؛ و در واقع برخی دانشگاه‌ها به تدریج بخش‌های طراحی گسسته را کم کرده، آن را به صفر رسانده‌اند. ولی تنها کسر کوچکی از دانشجویانی که درس الکترونیک می‌خوانند طراح آی‌سی می‌شوند، و بخش بزرگ‌تری به طراحی در سطحی گسترده‌تر می‌پردازند. رهیافت ما در این کتاب شروع از مفاهیم عمومی قابل اعمال به مدارهای گسسته و مجتمع، و تمرکز تدریجی بر روی مدار مجتمع بوده است. همچنین عقیده دارم طراحان عمومی نیز باید درکی عمیق از مدارهای مجتمع مورد استفاده در مدارهای خود داشته باشند.

BJT و ماسفت در این بخش بافتشاتی در مورد حذف یا گنجانیدن ترانزیستور دوقطبی در دروس الکترونیک کارشناسی وجود دارد. با توجه به این که ماسفت تسلط کاملی بر بازار یافته است، به نظر می‌رسد ترانزیستورهای دوقطبی ارزش خود را دست‌نشانده‌اند. هر چند این دیدگاه در مورد دروس کارشناسی ارشد تا حدی صادق است، ولی باید به خاطر داشت که (۱) همانطور که در بالا گفته شد، اکثر دانشجویان الکترونیک کارشان را نه در طراحی مدار مجتمع، که در طراحی سطح وسیع انجام می‌دهد و به احتمال زیاد با قطعات دوقطبی مواجه می‌شوند، و (۲) تمایزها و شباهت‌های بین ترانزیستورهای دوقطبی و ماسفتی برای درک ویژگی‌های آن دو بسیار مفید است.

ترتیب معرفی این دو ترانزیستور نیز محل بحث است. انتشارات رابلی در مورد این که ابتدا ماسفت معرفی شود یا BJT نظرات اساتید را جویا شد. این تحقیق مفصل نشان داد که مدرسین از این لحاظ به دو دسته‌ی برابر تقسیم می‌شوند، زیرا نتیجه ۵۰-۵۰ بود. بعضی مدرسین کار را با ماسفت شروع می‌کنند تا مطمئن باشند زمان کافی برای پوشاندن مطالب مورد نظر خود را دارند. ولی ادامه طبعی معرفی پیوند pn ، پرداختن به ترانزیستور دوقطبی است. در واقع اگر ماسفت درست بعد از دیو معرفی شود، دانشجو هیچ ارتباطی بین آن دو برقرار نمی‌کند (پیوند pn در ماسفت به کار نمی‌رود، مگر در تعیین ظرفیت‌های آن).

در این کتاب ابتدا ترانزیستور و مدارهای دوقطبی معرفی می‌شوند و زمینه‌ی لازم برای ساده شدن معرفی همتهای ماسفتی این مدارها نیز چیده می‌شود. همانطور که در زیر توضیح داده شده این مطالب را می‌توان در یک نیمسال (و حتی ربع سال) نیز پوشش داد، بدون این که حذف مطالب اصلی ضرورت یابد.

با این وجود ترتیبی داده شده تا مشخصی که ترجیح می‌دهند ماسفت را پیش از ترانزیستور دوقطبی معرفی کنند، نیز بتوانند این کتاب را به کار برند. ترتیب دنبال کردن فصول در شکل ۲ عنوان شده است.

فصل ۱۶ با این فرض نوشته شده است که دانشجو هیچ‌گونه آشنایی قبلی با طراحی تقویت‌کننده ندارد، بنابراین



شکل ۲ ترتیب تدریس فصل‌ها برای سیوه، اول ترانزیستور دوقطبی و یا اول ماسفت.

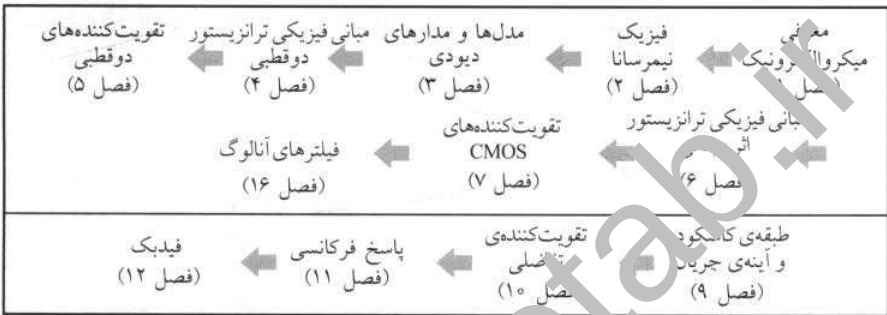
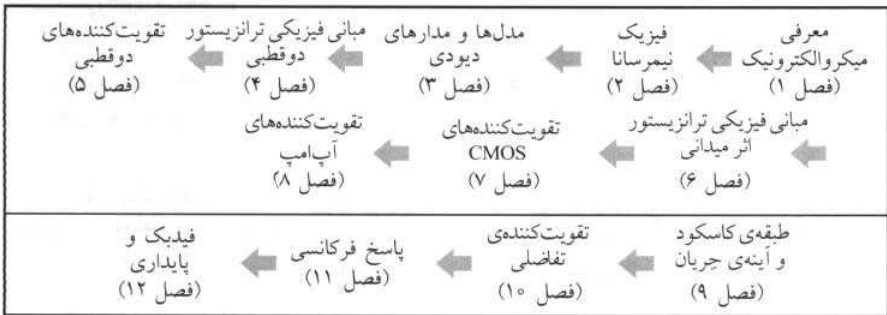
مدرس می‌تواند پس از معرفی اصول نزدیک ماسفت به سراغ تقویت‌کننده‌های ماسفتی برود، بدون این که لازم باشد تقویت‌کننده‌های دوقطبی را معرفی کند.

سرفصل درس این کتاب را می‌توان در دو نیم‌سال یا دو ترم ۳ فصلی تقسیم کرد. در هر ترم می‌تواند بسته به سلیقه‌ی مدرس شکل‌های مختلفی به خود بگیرد. شکل ۳ چند مکان مختلف را نشان می‌دهد. من چند سالی است که در سیستم ترمی (ترم ۱۰ هفته‌ای) مرسوم در دانشگاه کالیفرنیا، موسسه‌ی مجلس (UCLA) طرح I را به کار می‌برم. در طرح II آپامپ حذف می‌شود و به جای آن مدارهای دیجیتال CMOS مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سیستم نیم‌سال، طرح I می‌تواند آینه جریان و طبقات کاسکود نیز شامل شود و در درس دوم طبقات خروجی و فیلترهای آنالوگ نیز گنجانده شود. ولی در طرح II باید مدارهای دیجیتال در درس اول معرفی شوند و آینه‌ی جریان و طبقات کاسکود به درس دوم منتقل شود (البته با حذف طبقات خروجی). در شکل ۳ زمان تقریبی صرف شده برای هر فصل، در درس ارائه شده در UCLA نیز نشان داده شده است. در سیستم نیم‌سال، زمان اختصاص یافته انعطاف‌پذیری بیشتری دارد.

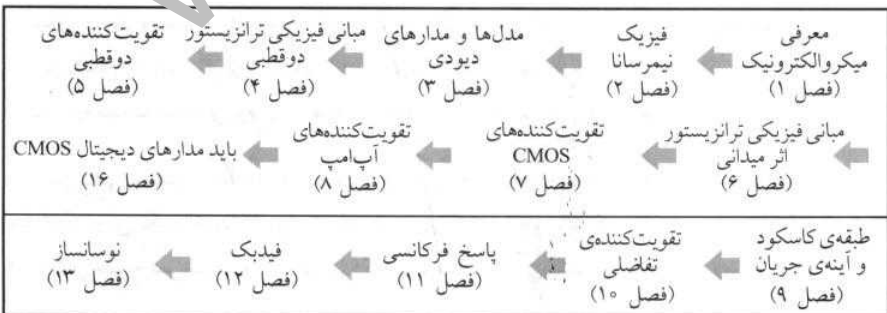
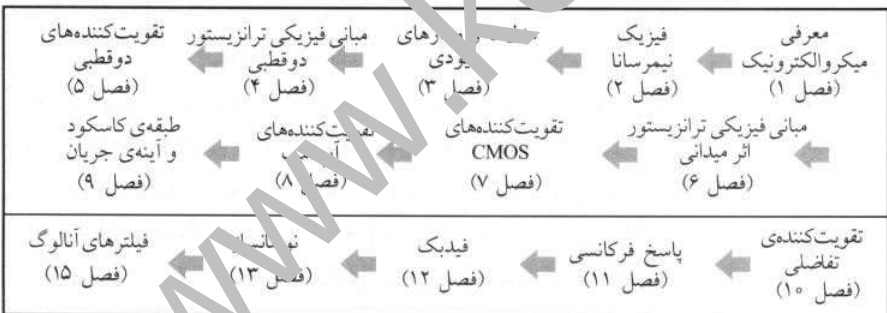
پوشش دهی مطالب مطالب هر فصل را می‌توان به سه مقوله تقسیم کرد: (۱) مفاهیم بنیادی که مدرس باید حتماً در درس بگنجاند، (۲) مهارت‌های ضروری که دانشجوی باید کسب کند، ولی به خاطر محدودیت زمان در کلاس مطرح نمی‌شود، و (۳) مطالبی که مفید هستند، ولی بسته به سلیقه‌ی مدرس می‌توان آنها را مطرح

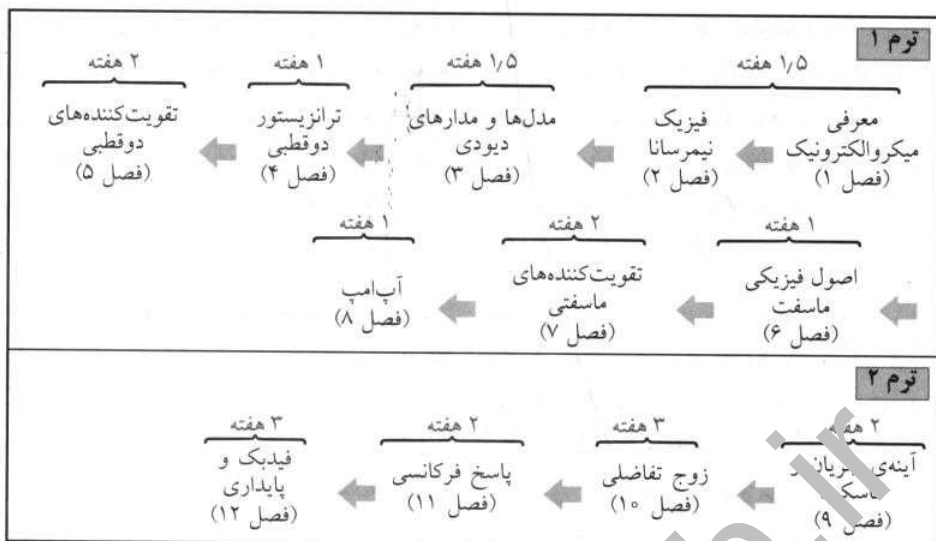
^۱ در اینجا دانشجویان یک درس طراحی مدارهای دیجیتال نیز می‌گذرانند که پیشنیاز آن درس میکروالکترونیک ۱ است.

ترم ۱۰ هفته‌ای (سیستم ثلثی)



ترم ۱۱ هفته‌ای (سیستم نیمسال)





شکل ۴ جدول زمان‌بندی دو ترم

نکرد^۲. در زیر مطالب فصل‌ها و موضوعات مورد نیاز که بیان آنها در کلاس ضرورت دارد مشخص شده است.

فصل ۱: معرفی میکروالکترونیک هدف از این فصل دادن دید کلی و آشنا کردن دانشجو با سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال است. من مطالب بخش‌های ۱-۱ و ۲-۱ را طی حدود ۳۰ تا ۴۵ دقیقه مطرح می‌کنم و بقیه‌ی فصل (مفاهیم پایه‌ای) را به دستیارم وامی‌گذارم تا آنها را در کلاس تمرین هفته‌ی اول مطرح کند.

فصل ۲: مبانی فیزیک نیمرسانا این فصل که اصول پایه‌ی فیزیک نیمرسانا را در بردارد باید با آهنگی کند مطرح شود، مفاهیم باید از زوایای مختلف مورد بررسی قرار گیرند، دانشجو بتواند مطلب را هنگام خواندن هضم کند. اگر مطالب تند بیان شوند، در وقت درس صرفه‌جویی می‌شود ولی دانشجو باید مطالب را چند بار بخواند تا بتواند آن را خوب بفهمد.

ولی باید توجه کرد که لزومی ندارد مدرس تمام مطالب مطرح شده در کلاس را در کلاس بازگو کند. انتظار این است که دانشجو خودش کتاب را بخواند و مثال‌ها را حل کند تا مطلب برای او سر جا بیفتد. نکته‌ی اصلی این فصل این است که فیزیک نیمرسانا برای این خوانده می‌شود تا بتوان مدل‌های مداری قطعات را ایجاد کرد. من در سیستم ثلثی این مفاهیم را در کلاس عنوان می‌کنم: الکترون و حفره، ناخالصی، نفوذ و لغزش، پیوند pn در تعادل و در بایاس مستقیم و معکوس.

فصل ۳: مدل‌ها و مدارهای دیودی این فصل چهار هدف را دنبال می‌کند: (۱) آشنا کردن دانشجو با پیوند pn و قطعات غیرخطی؛ (۲) معرفی مفهوم خطی کردن یک مدل غیرخطی برای ساده کردن تحلیل؛ (۳) معرفی

^۲ این مطالب در پاورقی‌های کتاب مشخص شده‌اند.

مدارهای پایه‌ای که هر مهندس برقی باید با آنها آشنا باشد، مثل یکسوساز و محدودکننده؛ و (۴) پرورش مهارت‌های لازم برای تحلیل مدارهای به شدت غیرخطی، مثلاً در مواردی که پیش‌بینی روشن و خاموش بودن دیودها به ازای ولتاژهای ورودی مختلف مشکل است. از این میان سه تای اول ضروری است و باید در کلاس مطرح شود، ولی مطرح کردن چهارمی به سلیقه‌ی مدرس بستگی دارد. (من خودم این را نیز مطرح می‌کنم.) به خاطر کمبود زمان باید بعضی بخش‌ها را رد کرد، من این کار را در مورد دوبرابر کننده‌ی ولتاژ و تغییردهنده‌ی سطح انجام می‌دهم.

فصل ۴: مبانی فیزیکی ترانزیستور دوقطبی در این فصل با شروع از کاربرد یک منبع جریان کنترل شده با ولتاژ به عنوان تقویت‌کننده، مفهوم ترانزیستور دوقطبی به عنوان تعمیمی از پیوند pn مطرح، و مدل کوچک سیگنال آن به دست آورده می‌شود. این فصل نیز مانند فصل ۲ به کندی پیش می‌رود، ولی لزومی ندارد که کلاس نیز کند باشد. من ساختار و عملکرد ترانزیستور دوقطبی را می‌گویم، مدل نمایی آن را بدون پرداختن به جزئیات به دست می‌آورم، مدل‌های مختلف ترانزیستور را توضیح می‌دهم و می‌گویم که چرا اشباع شدن ترانزیستور وضعیت الموبی نیست. چون مدل T کاربرد محدودی در تحلیل و طراحی دارد و بیش خوبی نیز به دست نمی‌دهد (مخصوصاً در مورد ماسفت) این مدل در این کتاب معرفی نشده است.

فصل ۵: تقویت‌کننده‌های این ولولانی‌ترین فصل کتاب است و مطالب بنیادی و ضروری برای کارهای بعدی در زمینه‌ی میکروکنترلر را در بردارد. در این فصل با یک رهیافت پایین به بالا، مفاهیم اساسی مثل امپدانس‌های ورودی-خروجی و تحلیل کوچک سیگنال بیان می‌شود. هنگام نوشتن کتاب فکر کردم بد نیست فصل ۵ را با دو فصل کم، یکی در مورد مفاهیم بالا و یکی در مورد آرایش‌های تقویت‌کننده، تا مدرسینی که تمایل دارند با مدارهای ماسفتی بپردازند بتوانند فصل دوم را رد کنند. ولی چون برای آموختن مفاهیم کلی استفاده از یک ترانزیستور ضروری است، این تقسیم را دشوار یافتیم. فصل ۵ به تدریج پیش می‌رود و طراحی و بررسی مدارات صورت گام به گام، و با استفاده از مثال‌های "چه می‌شد اگر؟" توضیح داده می‌شود. همانند فصول ۲ و ۴، مدل می‌تواند تندتر پیش برود و بخش‌هایی از کتاب را به عهده‌ی دانشجو بگذارد. من در سیستم ثلثی تمام مطالب را بیان می‌کنم و مفاهیم خلاصه شده در شکل ۵-۷ (امپدانس‌های دیده شده از بیس، کلکتور، و امیتر) را بسیار به کار می‌برم. در این سیستم چون برای هر فصل حدود ۲ هفته (یا ۲ هفته و نیم) فرصت هست، مدرس باید طرح درس را کاملاً ریخته باشد تا مطمئن شود چیزی از مفاهیم اصلی جا نمی‌ماند.

فصل ۶: مبانی فیزیکی ترانزیستورهای اثر میدانی این فصل به موازات فصل ۴ بیان شده است و در آن ماسفت به عنوان یک منبع جریان کنترل شده با ولتاژ معرفی شده و مشخصات آن به دست آورده شده است. من چون با مشکل وقت مواجه هستم اثر بدنه و اشباع سرعت را در کلاس به اختصار توضیح می‌دهم و در بقیه‌ی کتاب آن را ندیده می‌گیرم. من تمام این فصل را در درس اول مطرح می‌کنم.

فصل ۷: تقویت‌کننده‌های CMOS این فصل به شدت به اصول مطرح شده در فصل ۵ وابسته است و در آن تقویت‌کننده‌های CMOS با سرعت بیشتری مطرح می‌شوند. من تمام این فصل را در درس اول مطرح می‌کنم.