

عنوان کتاب

تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیکی

www.ketab.ir

نویسندگان:

دکتر اباذر خرمی - دکتر احمد عقیقی - دکتر ابوالفضل چمن مطلق

سرنشانه	خرمی، ابازر، ۱۳۶۱ - مؤلف
عنوان و نام پدیدآورنده	تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیکی / نویسندگان: ابازر خرمی - احمد عقیفی - ابوالفضل چمن مطلق؛ ویراستار علمی جمال کرمانجی، [برای] دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت پژوهش و فناوری، انتشارات.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت پژوهش و فناوری، انتشارات، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	۳۵۷ ص: مصور، جدول.
شابک	۷۵۰۰۰ ریال، ۹۶۸-۶۲۲-۶۰۶۸-۲۹-۹
وضعیت فهرست نویسی	فبا
یادداشت	کتابنامه: ص. ۳۵۷.
موضوع	مدارهای الکترونیکی -- طراحی -- راهنمای آموزشی(عالی)
موضوع	Electronic circuit design-- Study and teaching(higher)
موضوع	الکترونیک -- راهنمای آموزشی(عالی)
موضوع	Electronicws -- Study and teaching(higher)
شناسه افزوده	عقیفی، احمد، ۱۳۵۵ - مؤلف
شناسه افزوده	چمن مطلق، ابوالفضل، ۱۳۴۷ - مؤلف
شناسه افزوده	کرمانجی، جمال، ۱۳۷۰ - ویراستار علمی
شناسه افزوده	دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت پژوهش و فناوری، انتشارات.
رده بندی کنگره	TK ۷۸۶۷
رده بندی دیویی	۶۲۱/۳۸۱۵-۷
شماره کتاب شناسی ملی	۶۱۸۶۴۳۶



تحلیل و طراحی مدارهای الکترونیکی	نام کتاب
ابازر خرمی - احمد عقیفی - ابوالفضل چمن مطلق	نویسندگان
جمال کرمانجی	ویراستار علمی
محمود اصلی	ویراستار ادبی
تابستان ۱۳۹۹	چاپ اول
جلد ۱۰۰۰	تعداد
انتشارات دانشگاه هوایی شهید ستاری	ناشر
چاپخانه دانشگاه هوایی شهید ستاری	چاپ و صحافی
۷۵۰۰۰ ریال	قیمت

حق چاپ و نشر محفوظ است.

مرکز پخش: تهران - بزرگراه آیت الله سعیدی - خیابان دانشگاه هوایی - دانشگاه هوایی شهید ستاری
کد پستی: ۱۳۸۴۶۷۳۴۱۱ تلفن: ۶۶۶۳۰۱۱۱ - ۶۴۰۳۲۰۲۴

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۷
فصل اول: مقدمه‌ای بر فیزیک الکترونیک.....	۱۱
۱-۱- مقدمه.....	۱۱
۲-۱- هادی، نیمه‌هادی و عایق.....	۱۱
۳-۱- تاریخچه مختصری از نیمه‌هادی‌ها.....	۱۳
۴-۱- ساختار سیلیسیم به‌عنوان مهم‌ترین و پرکاربردترین عنصر نیمه‌هادی.....	۱۴
۵-۱- نیمه‌هادی غیرذاتی.....	۱۶
۱-۵-۱- نیمه‌هادی نوع n	۱۶
۲-۵-۱- نیمه‌هادی نوع p	۱۷
۳-۵-۱- تعداد الکترون‌های آزاد و حفره‌ها.....	۱۸
۶-۱- مؤلفه‌های جریان الکتریکی در نیمه‌هادی‌ها.....	۱۹
۱-۶-۱- جریان اشباع.....	۱۹
۲-۶-۱- مؤلفه جریان الکتریکی نیمه‌هادی‌ها تحت تأثیر پدیده انتشار.....	۲۱
۷-۱- پیوند $P-N$	۲۳
۸-۱- اتصال پیوند $P-N$ به منبع ولتاژ خارجی در بایاس مستقیم و در بایاس معکوس.....	۲۵
۱-۸-۱- پیوند $P-N$ در بایاس مستقیم.....	۲۵
۲-۸-۱- پیوند $P-N$ در بایاس معکوس.....	۲۶
۹-۱- مشخصه جریان-ولتاژ دیود پیوندی.....	۲۷
۱۰-۱- پدیده شکست.....	۳۰
۱-۱۰-۱- شکست زنری.....	۳۰
۲-۱۰-۱- شکست بهمنی.....	۳۱
۱۱-۱- محدودیت‌های کار با دیود.....	۳۱
۱۲-۱- انواع دیود.....	۳۳
فصل دوم: مدارهای دیودی.....	۴۳
۱-۲- مقدمه.....	۴۳
۲-۲- مشخصه جریان-ولتاژ دیود و تقریب آن.....	۴۴
۱-۲-۲- تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی.....	۵۰
۳-۲- مشخصه انتقالی.....	۵۵
۴-۲- مدارهای برش.....	۵۹

- ۵-۲-۵- مبدل های ac به DC با استفاده از مدارهای دیودی..... ۶۵
- ۵-۲-۱- یکسوساز نیم موج..... ۶۶
- ۵-۲-۲- یکسوساز تمام موج..... ۶۹
- ۵-۲-۳- صافی خازنی..... ۷۵
- ۵-۲-۴- تنظیم کننده ولتاژ..... ۸۰
- ۶-۲- تجزیه و تحلیل سیگنال کوچک در مدارهای دیودی..... ۸۶
- ۷-۲- مدارهای کلمپ..... ۹۰
- ۸-۲- مدارهای دو و چند برابر کننده ولتاژ..... ۹۴
- فصل سوم: ترانزیستور پیوندی دوقطبی (فیزیک الکترونیک و تحلیل DC)..... ۱۰۵
- ۱-۳- مقدمه..... ۱۰۵
- ۲-۳- ساختار ترانزیستور پیوندی دوقطبی..... ۱۰۷
- ۳-۳- بررسی عملکرد ترانزیستور پیوندی دوقطبی در نواحی مختلف..... ۱۱۱
- ۳-۳-۱- ناحیه فعال..... ۱۱۱
- ۳-۳-۲- ناحیه فعال معکوس..... ۱۲۲
- ۳-۳-۳- ناحیه قطع..... ۱۲۳
- ۳-۳-۴- ناحیه اشباع..... ۱۲۵
- ۵-۳-۲- ترانزیستور pnp ۱۲۸
- ۳-۳-۱- ناحیه فعال..... ۱۲۸
- ۳-۳-۲- ناحیه فعال معکوس..... ۱۳۱
- ۳-۳-۳- ناحیه قطع..... ۱۳۱
- ۳-۳-۴- ناحیه اشباع..... ۱۳۲
- ۴-۳- تحلیل DC مدارهای ترانزیستوری..... ۱۳۳
- ۴-۳-۱- چند مثال از تحلیل DC مدارهای ترانزیستوری..... ۱۳۶
- ۵-۳- مشخصه های جریان- ولتاژ در ترانزیستورهای پیوندی دوقطبی..... ۱۵۴
- ۵-۳-۱- آرایش بیس مشترک..... ۱۵۵
- ۵-۳-۲- آرایش امیتر مشترک..... ۱۵۷
- ۵-۳-۳- آرایش کلکتور مشترک..... ۱۶۲
- ۶-۳- محدودیت های کار با ترانزیستور پیوندی دوقطبی..... ۱۶۳
- ۶-۳-۱- جریان ماکزیمم..... ۱۶۳
- ۶-۳-۲- توان ماکزیمم..... ۱۶۳

۱۶۴	۳-۶-۳- ولتاژ ماکزیمم
۱۶۶	۳-۶-۴- محدودیت سوئیچینگ ترانزیستور
۱۷۹	فصل چهارم: مدارهای بایاس ترانزیستور پیوندی دو قطبی
۱۷۹	۴-۱- مقدمه
۱۸۰	۴-۲- انواع مدارهای بایاس
۱۸۰	۴-۲-۱- مدار بایاس ساده با دو منبع
۱۸۱	۴-۲-۲- مدار بایاس ساده با یک منبع
۱۸۳	۴-۲-۳- مدار بایاس با فیدبک کلکتور
۱۸۵	۴-۲-۴- مدار بایاس با مقاومت امیتر
۱۸۶	۴-۲-۵- مدار بایاس با تقسیم‌کننده ولتاژ
۱۹۲	۴-۳- خط بار DC ، خط بار ac و خط بار کلی مدار
۱۹۵	۴-۴- تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری و خط بار آن‌ها
۱۹۷	۴-۴-۱- تقویت‌کننده امیتر مشترک
۲۰۱	۴-۴-۲- تقویت‌کننده کلکتور مشترک
۲۰۳	۴-۴-۱- طراحی بهترین نقطه کار در تقویت‌کننده‌های امیتر مشترک و کلکتور مشترک
۲۰۷	۴-۴-۳- تقویت‌کننده بیس مشترک
۲۱۲	۴-۵- عوامل ناپایداری نقطه کار و روش‌های جبران آن‌ها
۲۱۴	۴-۵-۱- ضرایب پایداری
۲۲۰	۴-۵-۲- روش‌های پایدارسازی حرارتی نقطه کار
۲۲۱	۴-۵-۲-۱- روش‌های جبران تغییرات حرارتی V_{BE}
۲۲۶	۴-۵-۲-۲- روش‌های جبران تغییرات حرارتی I_{CBO}
۲۳۹	فصل پنجم: تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری یک طبقه BJT
۲۳۹	۵-۱- مقدمه
۲۴۰	۵-۲- مدل‌های سیگنال کوچک ترانزیستور پیوندی دو قطبی
۲۴۰	۵-۲-۱- کاربرد شبکه‌های دو قطبی در به دست آوردن مدل سیگنال کوچک ترانزیستور
۲۴۲	۵-۲-۲- مدل هایبرید امیتر مشترک
۲۴۸	۵-۲-۲-۱- بررسی پارامترهای هایبرید امیتر مشترک در یک نمونه ترانزیستور
۲۵۰	۵-۲-۳- مدل هایبرید π (مدل π)
۲۵۲	۵-۳- ساختار کلی تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری
۲۵۴	۵-۴- تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری پایه

- ۲۵۵..... ۵-۴-۱- تقویت کننده امپتر مشترک
- ۲۶۴..... ۵-۴-۲- تقویت کننده کلکتور مشترک
- ۲۷۰..... ۵-۴-۳- تقویت کننده بیس مشترک
- ۲۷۵..... ۵-۴-۴- مقایسه انواع تقویت کننده های ترانزیستوری پایه و کاربردهای آنها
- ۲۷۷..... ۵-۴-۵- تحلیل تقویت کننده های ترانزیستوری به روش های ساده
- ۲۸۹..... فصل ششم: ترانزیستور اثر میدانی (فیزیک الکترونیک و تحلیل DC)
- ۲۸۹..... ۶-۱- مقدمه
- ۲۹۱..... ۶-۲- مشخصه خازن MOS
- ۲۹۳..... ۶-۲-۱- ناحیه تجمعی
- ۲۹۳..... ۶-۲-۲- ناحیه تخلیه
- ۲۹۳..... ۶-۲-۳- ناحیه معکوس
- ۲۹۵..... ۶-۳- ترانزیستور $NMOS$
- ۲۹۷..... ۶-۳-۱- رفتار کیفی مشخصه جریان- ولتاژ $NMOS$
- ۲۹۹..... ۶-۳-۲- مشخصه ناحیه اهمی در $NMOS$
- ۳۰۴..... ۶-۳-۳- مقاومت ناحیه اهمی
- ۳۰۶..... ۶-۳-۴- مشخصه ناحیه اشباع در $NMOS$
- ۳۰۸..... ۶-۳-۵- مدل ریاضی ناحیه اشباع (فشرده گی)
- ۳۱۱..... ۶-۳-۶- ترانسپانسی
- ۳۱۲..... ۶-۳-۷- مدولاسیون طول کانال
- ۳۱۴..... ۶-۳-۸- مشخصه انتقالی
- ۳۱۴..... ۶-۳-۹- اثر بدنه یا حساسیت زیرلایه
- ۳۱۷..... ۶-۴- ترانزیستور $PMOS$
- ۳۲۱..... ۶-۵- آرایش $CMOS$
- ۳۲۲..... ۶-۶- ترانزیستور $NMOS$ و $PMOS$ تخلیه ای
- ۳۲۵..... ۶-۷- ترانزیستور اثر میدانی پیوندی ($JFET$)
- ۳۲۶..... ۶-۷-۱- بررسی رفتار کیفی $JFET$
- ۳۳۰..... ۶-۷-۲- مشخصه جریان- ولتاژ $JFET$
- ۳۳۶..... ۶-۸- بایاس ترانزیستور $NMOS$
- ۳۳۹..... ۶-۸-۱- بایاس با ولتاژ گیت- سورس ثابت
- ۳۴۴..... ۶-۸-۲- مدار بایاس چهار مقاومتی

۳۴۷.....	۹-۶- بایاس ترانزیستور <i>PMOS</i>
۳۴۷.....	۹-۶-۱- مدار بایاس چهار مقاومتی
۳۴۹.....	۹-۱۰- بایاس ترانزیستور <i>MOS</i> تخلیه‌ای و <i>JFET</i>
۳۵۷.....	منابع و مراجع

www.ketab.ir

پیشگفتار

وسپاس خدای را سپاسی که برپاس های دیگر برتری داشته باشد مانند برتری پروردگار ما بر همه آفریدگان

((صحیفه سجاده))

پس از چندین ترم تدریس، کسب تجربه و دریافت نظر خوانندگان آثار قبلی به چاپ رسیده مانند کتاب الکترونیک «۳»، احساس نیاز شد که مباحث درس الکترونیک «۱» به عنوان درگاه ورودی به حوزه مهندسی برق و الکترونیک به بیانی ساده و شیوا ارائه گردد به گونه ای که خواننده بتواند تا حد امکان مطلب را با کارایی بالانری دریافت و بر ابعاد مختلف این درس اشراف یابد.

سرفصل های الکترونیک «۱» بر اساس مصوبات شورای عالی برنامه ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شرح زیر است:

- فیزیک نیمه هادی، نیمه هادی های ذاتی و غیر ذاتی، پیوند PV
- دیود و مدارهای دیودی
- ترانزیستور دوفتبی (BJT): بایاسینگ و پایداری حرارتی، رفتار و مدل سیگنال کوچک
- تقویت کننده های پایه: ولتاژ، جریان، هدایت انتقالی، مقاومت انتقالی، مدل های ایده آل و غیرایده آل

- تقویت کننده یک طبقه BJT : آمیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک
 - ترانزیستورهای FET ($JFET$ و $MOSFET$): بایاسینگ و مدل و رفتار سیگنال کوچک
 - تقویت کننده یک طبقه $MOSFET$: سورس مشترک، گیت مشترک و درین مشترک
- بر این اساس کتاب حاضر در شش فصل تألیف گردیده است. توصیه می شود حداقل فصل های اول تا پنجم به همراه مقدماتی از فصل پایانی در الکترونیک «۱» تدریس شود و یک فصل باقیمانده قابلیت تدریس در الکترونیک «۲» را دارد.

در **فصل اول** پس از تشریح مواد هادی، نیمه هادی و عایق با تمرکز بر ساختار نیمه هادی ها، انواع آن مورد بررسی قرار می گیرد و روی رفتارشان از دیدگاه فیزیک الکترونیک بحث

می‌شود. سپس دیود پیوندی $P-N$ و مباحث مربوط به آن از جمله مؤلفه‌ها و روابط جریان بیان می‌گردد.

آغاز **فصل دوم** به بررسی تقریب رفتار جریان-ولتاژ دیود پیوندی PN خواهد پرداخت. پس‌از آن تحلیل برخی از پرکاربردترین مدارهای دیودی و درنهایت انواع دیود و محدودیت‌های آن‌ها تشریح می‌گردد.

فصل سوم به آشنایی با ساختار ترانزیستورهای پیوندی دوقطبی (BJT) و تشریح عملکرد سیگنال بزرگ آن‌ها به همراه نحوه تحلیل DC مدارهای ترانزیستوری و آرایش‌های مختلف این ترانزیستور اختصاص دارد که با توجه به اهمیت این فصل لازم است وقت مناسبی برای آن در نظر گرفته شود. **فصل چهارم** یک پل ارتباطی بین فصل‌های سوم و پنجم است. آغاز **فصل پنجم** به بررسی رفتار سیگنال کوچک ترانزیستور پیوندی دوقطبی و مدل کردن آن مربوط است. پس‌از آن انواع تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری موردبررسی قرار می‌گیرد و با استخراج پارامترهای هر یک کاربردهای آن‌ها توضیح داده خواهد شد. درنهایت نیز با ارائه راهکارهایی برای طراحی یک تقویت‌کننده مناسب این فصل پایان می‌یابد. در نهایت **فصل ششم** مشابه با فصل‌های سوم و چهارم است که به جای ترانزیستور پیوندی دوقطبی، ترانزیستورهای اثرمیدانی (FET) مورد بررسی قرار می‌گیرند.

اعضای محترم هیئت علمی دانشگاه امام حسین (ع) آقایان دکتر سیدامیرمسعود میری و دکتر مرتضی سپهوند با راهنمایی‌ها، نظرات ارزشمند و مشاوره‌هایشان کمک کردند تا کتاب از غنای علمی کافی برخوردار باشد. همچنین زحمات مسئولین محترم انتشارات دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری به همراه گروه تایپ و رسم شکل به سرپرستی سرکار خانم الهام پیدایی موجب شد تهیه کتاب با نهایت دقت صورت پذیرد و باکیفیت مناسبی عرضه گردد. از همه آن‌ها ممنون و سپاسگزاریم. دوستان توانمند و پرتلاشمان که عضویت در گروه ویراستاری فنی و ادبی را بر عهده گرفتند، علاوه بر چندین مرحله ویراستاری و غلط‌گیری، هر یک مسئولیت بررسی نهایی بخشی از کتاب را بر عهده داشتند که بر خود لازم می‌دانیم از همه آن‌ها بالاخص مهندسین عزیز سرکار خانم‌ها نسرین ماشینچی، فاطمه

اسلامی، نیلوفر حسین پور کاشانی، نگین نجات ثابت، شادی جعفری، امید پورعلی و رضا محسنی شرق تشکر و قدردانی نمائیم.

در پایان ذکر این موضوع ضروری است که تمام تلاش مؤلفین و اعضای محترم گروه ویراستاری بر کیفیت ادبی و رفع اشکالات در تمام مراحل آماده سازی بوده است اما بی شک اشکالاتی وجود دارد که ارائه نظر و راهنمایی از طرف شما در رفع آن ها کارگشا و سودمند خواهد بود. پیشاپیش از اینکه در رفع نقایص احتمالی به ما کمک می کنید ممنون و متشکریم.

اباذر خُرمی، احمد عفیفی، ابوالفضل چمن مطلق

abazar.khorrami@gmail.com

www.ketab.ir