

دانش اگر در ثریا هم باشد مردمانی از سرزمین پارس بر آن دست خواهند یافت.

پیامبر اعظم (ص)

شرح جامع

الکترونیک ۱ و ۲

«مهندسی برق»

مولف: یعقوب عزیزی

انتشارات ارشد

پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس(منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

پیشگفتار مولف

در سختی‌ها به خدا تکیه کنید و در خوشی‌ها خدا را از یاد نبرید

از زمانی که اولین ترانزیستور Bjt بدست مهندسین آزمایشگاه Bell ساخته شد، ۶۳ سال گذشته است، امروزه الکترونیک بر زندگی اکثر مردم جهان تأثیر مستقیم داشته و دانشجویان بسیاری از رشته‌های دانشگاهی و دانشکده‌های فنی و حرفه‌ای ملزم به یادگیری بخش‌هایی از الکترونیک می‌باشند. کتاب‌هایی که برای تدریس الکترونیک استفاده می‌شوند اکثراً به صورت‌های پیچیده‌ای مطلب را بیان کرده‌اند که منجر به سردرگم شدن دانشجویان و عدم یادگیری درست در آن‌ها شده است. نگارش کتاب حاضر با تکیه بر تجربیات مولف در زمینه تدریس الکترونیک به عنوان TA در دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشگاه تبریز و دانشکده‌ی غیرانتفاعی شهاب دانش قم، انجام شده است. مطالب ارائه شده در این کتاب به گونه ای است که دانشجویان دانشگاه و دانش‌آموزان دانشکده‌های فنی حرفه‌ای می‌توانند هم در طول ترم تحصیلی برای یادگیری الکترونیک به صورت مفهومی از آن استفاده کنند و هم برای شرکت در آزمون کاردانی و کارشناسی ارشد آن را مورد استفاده قرار دهند.

در کتاب حاضر، اصول عملکرد دیودها و ترانزیستورها به صورت ساده و مفهومی به همراه روش‌های ساده و سیستماتیک حل مسائل شامل دیودها و ترانزیستورها بیان شده است. نکات مهم و کلیدی برای حل سوالات تستی الکترونیک نیز با تکیه بر آزمون‌های ۱۵ سال اخیر ارائه شده‌اند.

در پایان از محضر جناب آقای دکتر هادی ولادی و آقای دکتر کریمیان اساتید رشته الکترونیک دانشگاه تبریز به دلیل راهنمایی‌های تأثیرگذار و مطالب ارزشمندی که در طول دوره کارشناسی از جزوه‌ی واقعاً کامل این دو بزرگوار استفاده نمودم، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از دوستان بزرگوارم آقایان مهندس عبدالله راستگو، مهندس عزیز تشکری و مهندس یوسف خاکی‌پور که در طول دوران تحصیل و نگارش این کتاب همراه من بودند، کمال تشکر را دارم.

پر واضح است که هیچ کدام از نوشته‌های انسانی خالی از خطا نیست. بنابرانی اگر اشکالی را در کتاب مشاهده فرمودید بر مولف بخشیده و نظرات اصلاحی خود را به آدرس الکترونیکی Y.Aziz@aut.ac.ir یا Yaghoobazizi.21@gmail.com ارسال نمایید تا در چاپ‌های بعدی اصلاح شوند. نظرات اصلاحی شما موجب خوشحالی اینجانب به عنوان مولف خواهد شد. با سپاس از توجه و دقت نظر شما.

یعقوب عزیزی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: فیزیک الکترونیک، دیود و کاربردهای آن

آشنایی با دیودها و نحوهٔ عملکرد آن‌ها ۹
مقاومت دیود ۱۷
دیودزنر ۱۷
مدار محدود کننده (clamper) ۱۸
مدار برش (clipper) ۱۸
مدارهای یکسوساز ۲۲
یکسوساز نیم موج ۲۳
یکسوساز تمام موج ۲۳
آشکارساز پیک ۲۴
چند برابر کننده‌ی ولتاژ ۲۴

فصل دوم: ترانزیستورها و تقویت‌کننده‌های چندطبقه

فرکانس قطع پایین ۶۵
زوج دارلینگتون ۶۵
۱- ترانزیستورهای Bjt ۷۲
ترانزیستور bjt به عنوان تقویت‌کننده‌ی سیگنال ac ۸۲
۲- ترانزیستورهای FET ۸۲
ترانزیستورهای Mosfet ۸۳
N.MOSFET به عنوان تقویت‌کننده‌ی سیگنال ac ۸۵
ترانزیستورهای JFET ۹۰
تحلیل سیگنال کوچک JFET ۹۳
قضیه میلر ۹۷
پدیدهٔ ارلی ۹۸

عنوان **صفحه**

فصل سوم: منابع جریان و تقویت کننده‌های تفاضلی

منبع جریان widlar ۱۹۹
منبع جریان Wilson ۱۹۹
منبع جریان cascade ۲۰۰
آینه‌ی جریان ۲۰۰
زوج دیفرانسیلی ۲۰۲
حالت مشترک ۲۰۳
حالت دیفرانسیل ۲۰۳

فصل چهارم: فیدبک

محاسبهٔ متغیرهای شبکه فیدبک ۲۴۸
بدست آوردن امپدانس ورودی و خروجی تقویت‌کننده‌های فیدبک ۲۵۷

فصل پنجم: تقویت‌کننده‌های قدرت

تقویت‌کننده‌ی کلاس A ۲۷۵
تقویت کننده‌ی کلاس B ۲۷۷
تقویت‌کننده‌ی کلاس AB ۲۷۷
تقویت کننده کلاس A با تزویج سلفی ۲۷۷
تقویت کننده کلاس A با کوپلاژ ترانس ۲۷۸
تقویت کننده پوش پول کلاس متقارن ۲۷۹

فصل ششم: تقویت کننده های عملیاتی و کاربردهای آن

تقویت کننده عملیاتی (OP-Amp) ۲۹۹
مشخصات اصلی OP-Amp در حالت ac ۲۹۹
آرایشهای تقویت کننده عملیاتی (Op-Amp) ۳۰۰
کاربردهای تقویت کننده عملیاتی ۳۰۱

فصل اول

فیزیک الکترونیک، دیود و کاربردهای آن

عناوین اصلی

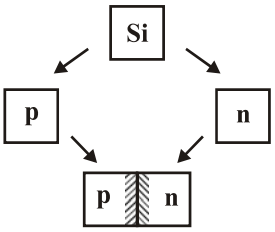
- آشنایی با دیودها و نحوه‌ی عملکرد آن‌ها
- مقاومت دیود
- کاربردهای دیود

فصل اول

فیزیک الکترونیک، دیود و کاربردهای آن

آشنایی با دیودها و نحوهٔ عملکرد آن‌ها

ابتدا باید با نحوه‌ی عملکرد المان دیود آشنا شویم. دیود در واقع یک المان پیوند p-n است که جریان را فقط در یک جهت خاص از خود عبور می‌دهد. یک بلوکn در واقع یک بلوک از جنس si (عنصری از گروه چهار جدول تناوبی) می‌باشد که مقادیر زیادی ناخالصی منفی (عنصری از گروه پنج جدول تناوبی) به آن اضافه شده است. زمانی که یک بلوک p را به یک بلوک n می‌چسبانیم، به دلیل گرادیان پتانسیل موجود بین این دو ناحیه، جریانی بین این دو بلوک ظاهر می‌شودکه آن را جریان انتشار می‌نامند. این جریان سریعاً به صفر رسیده و ناحیه‌ای به نام ناحیه‌ی تخلیه در محل اتصال بلوک p و n بوجود می‌آید. شکل زیر گویای این مطالب است.



شکل مداری یک دیود به‌صورت زیر است.



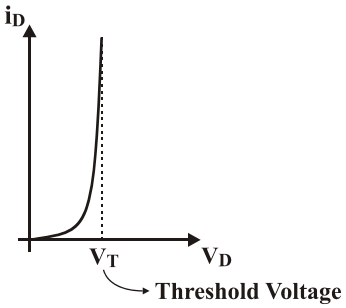
پایه‌ی مثبت دیود را آند می‌نامند که در شکل با A مشخص شده است و پایه‌ی منفی دیود را کاتد می‌نامند که در شکل با k مشخص شده است. پایه‌ی مثبت دیود، همان بلوک p و پایه‌ی منفی دیود، بلوک n است. یک دیود جریان را فقط از آند به کاتد می‌تواند عبور دهد. دیود می‌تواند در دو حالت بایاس مستقیم و بایاس معکوس قرار بگیرد. برای این که دیود را در بایاس مستقیم قرار دهیم، باید پایه‌ی آند را به پتانسیل (ولتاژ) مثبت و پایه‌ی کاتد را به پتانسیل (ولتاژ) منفی وصل کنیم. در بایاس مستقیم عرض ناحیه‌ی تخلیه کاهش یافته و حاملان بار اکثریت در بلوک‌های p , n شروع به حرکت کرده و جریانی را برقرار می‌کنند. برای این که دیود را در بایاس معکوس قرار دهیم باید پایه‌ی آند را به پتانسیل (ولتاژ) منفی و پایه‌ی کاتد را به پتانسیل (ولتاژ) مثبت وصل کنیم.

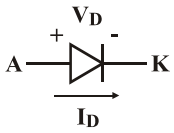
در بایاس معکوس عرض ناحیه‌ی تخلیه افزایش یافته و فقط حاملان بار اقلیت در بلوک‌های p , n اجازه‌ی حرکت پیدا کرده و جریانی بسیار بسیار کوچک را موجب می‌شوند. در اغلب موارد این جریان صفر فرض می‌شود. به این جریان، جریان بایاس معکوس گفته می‌شود. وقتی یک دیود در بایاس معکوس قرار داشته باشد، مدار باز فرض می‌گردد و زمانی که یک دیود در بایاس مستقیم قرار داشته باشد، در حالت ایده‌ال با یک اتصال کوتاه جایگزین می‌شود. و اگر دیود ایده‌ال نباشد، در

حالت بایاس مستقیم با یک منبع ولتاژ DC به اندازه‌ی ولتاژ آستانه جایگزین می‌شود. وقتی یک دیود در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد، جریان را از خود عبور می‌دهد و برای این که بتوانیم بگوییم که دیود هدایت می‌کند باید ولتاژ پایه‌ی آند آن چیزی در حدود0/6-0/7 ولت از ولتاژ پایه ی کاتد بیشتر باشد. در چنین حالتی دیود هدایت کرده و می‌توان آن را با یک منبع ولتاژ DC به اندازه‌ی اختلاف ولتاژ مذکور جایگزین کرد. به این اختلاف ولتاژ، ولتاژ آستانه گفته می‌شود که بسته به جنس دیود می‌تواند مقدار متفاوتی داشته باشد.

نمودار مشخصه‌ی یک دیود پیوند p-n در حالت بایاس مستقیم به‌صورت زیر است.

با توجه به شکل مداری دیود، جهت قراردادی ولتاژ و جریان دیود، به شکل زیر فرض می‌شود.

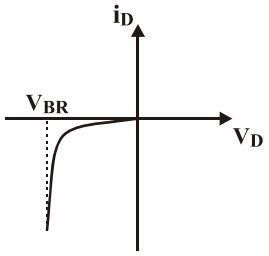




همان‌طور که در شکل مشخص است، تا قبل از این که ولتاژ دو سر دیود به ولتاژ آستانه برسد، جریان عبوری از دیود، مقدار ناچیزی دارد و به محض این که ولتاژ قراردادی دوسر دیود (V_D) به V_T برسد، به یکباره جریان زیادی از آند به سمت کاتد جاری خواهد شد. در این حالت می‌گوییم که دیود روشن شده است.

همان‌طور که گفته شد، وقتی که دیود در بایاس معکوس قرار دارد، عرض ناحیه‌ی تخلیه زیاد می‌شود. در این حالت هر چه ولتاژ بایاس معکوس را بیشتر کنیم عرض ناحیه تخلیه بیشتر و بیشتر خواهد شد. افزایش عرض ناحیه‌ی تخلیه تا جایی ادامه پیدا می‌کند که پدیده‌ای به نام شکست در دیود رخ دهد. پدیده‌ی شکست دارای دو نوع بهمنی و زنری می‌باشد. شکست بهمنی در دیودهای با ناخالصی کم و شکست زنری در دیودهای با ناخالصی زیاد می‌توانند رخ دهند، وقتی که در یک دیود شکست روی می‌دهد، به یکباره جریان بسیار زیادی در جهت عکس جهت قراردادی (از کاتد به آند) در دیود جاری خواهد شد.

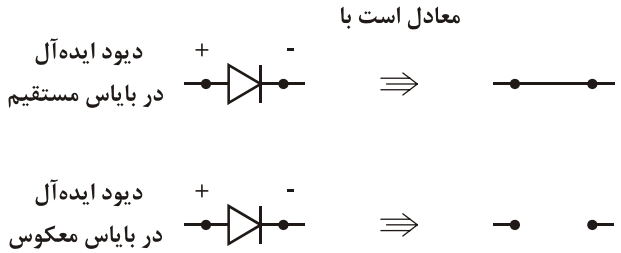
نمودار مشخصه‌ی یک دیود پیوندp-n در حالت بایاس معکوس به‌صورت زیر است.



پدیده‌ی شکست در ولتاژی تحت عنوان «ولتاژ شکست» رخ می‌دهد.

دیودهایی که در آن‌ها پدیده‌ی شکست زنری روی می‌دهد، دیودهای زنر نامیده می‌شوند و پدیده‌ی شکست بهمنی در دیودهای معمولی حادث می‌شود.

ولتاژ آستانه‌ی یک دیود ایده‌آل صفر است. یک دیود ایده‌آل رادر بایاس مستقیم می‌توان با یک سیم (اتصال کوتاه) نشان داد. یک دیود ایده‌آل را در بایاس معکوس می‌توان با مدار باز جایگزین کرد. این موارد در شکل زیر نمایش داده شده‌اند.



ولتاژ آستانه‌ی یک دیود غیر ایده‌ال برابر V_T است یک دیودغیر ایده‌آل را در بایاس مستقیم می‌توان با یک منبع ولتاژ DC به اندازه‌ی V_T نشان داد. یک دیود غیرایده‌آل را در بایاس معکوس می‌توان با مدار باز جایگزین کرد. این موارد در شکل زیر نمایش داده شده‌اند.

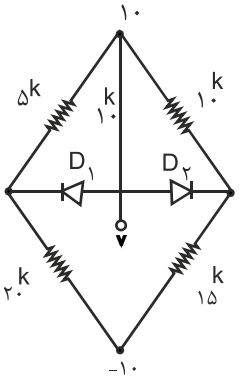
یک دیود در دو حالت روشن و خاموش می‌تواند قرار داشته باشد که به‌ترتیب معادل با حالت بایاس مستقیم و بایاس معکوس است. برای این که یک دیود، وصل یا قطع باشد، باید شرط مربوط به آن حالت را برآورده کند.

شرط لازم برای وصل بودن یک دیود این است که جریان قرار دادی عبوری از آن، مقدار مثبتی داشته باشد. $(I_D > ۰)$شرط لازم برای قطع بودن یک دیود این است که ولتاژ قراردادی دو سر آن مقداری منفی داشته باشد. $(V_D < ۰)$زمانی که دیود قطع است، جریان بسیار کوچکی تحت عنوان جریان اشباع معکوس، از کاتد آن به آند جاری می‌باشد که آن را با I_S نشان می‌دهند. اندازه‌ی جریان I_S به مشخصات دیود بستگی دارد. جریان عبوری از دیود در حالت بایاس مستقیم از رابطه‌ی $I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{V_T}} - ۱)$ بدست می‌آید. در این رابطه، V_D ولتاژ دو سردیود و V_T حدوداً 25mV است. I_S نیز جریان اشباع معکوس است.

مثال ۱:

با فرض دیودهای ایده‌آل ولتاژ V در مدار زیر به کدام گزینه نزدیکتر است؟

(مهندسی برق ۷۶)



۱) ۵^{υ}

۲) $۵/۵^{\upsilon}$

۳) $۷/۱^{\upsilon}$

۴) ۱۰^{υ}

حل: ابتدا فرض می‌کنیم که هر دو دیود قطع باشند. آن‌گاه ولتاژ پایه‌ی آند هر دو دیود ۱۰ ولت بوده و ولتاژ پایه ی کاتد آن‌ها به‌صورت زیر بدست می‌آید.

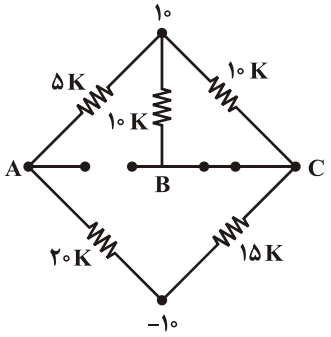
$$\text{شاخه‌ی سمت چپ } I=\frac{۱۰-(-۱۰)}{۲۵^{K}}=\frac{۲۰}{۲۵}mA$$

$$D_۱ \text{ ولتاژ پایه‌ی کاتد دیود } V_{K_۱}=-۱۰+۲۰^{K}(\frac{۲۰}{۲۵}^{m})=۶^{\upsilon}$$

$$\text{شاخه‌ی سمت راست } I=\frac{۱۰-(-۱۰)}{۲۵^{K}}=+\frac{۲۰}{۲۵}mA$$

$$D_۲ \text{ ولتاژ پایه‌ی کاتد دیود } V_{K_۲}=-۱۰+۱۵^{K}(\frac{۲۰}{۲۵}^{m})=۲^{v}$$

با توجه به مقادیر بدست آمده‌ی ولتاژ، هر دو دیود هدایت می‌کنند. اگر دیود $D_۱$ هدایت کند به ناچار دیود $D_۲$ را نیز روشن خواهد ساخت و اگر دیود $D_۲$ هدایت کند، دیود $D_۱$ خاموش خواهد بود. حال درستی این حالت را بررسی می‌کنیم، دیود $D_۲$ روشن و دیود $D_۱$ خاموش فرض می‌شود. مدار به این‌صورت خواهد بود.



$$\Rightarrow V_A=-۱۰+۲۰^{K}(\frac{۲۰}{۲۵}^{m})=۶$$

$$\text{جریان شاخه سمت راست } I_E=\frac{۱۰-(-۱۰)}{۲۰^{K}}=۱^{m}$$

$$V=V_B=V_C=۱۱۰+۱۵=۵$$

$$V_{D_۱}=V_B-V_A=۵-۶=-۱<۰$$

$$I_{D_۲}=\frac{۱۰-V_C}{۱۰^{K}}=\frac{۱۰-۵}{۱۰^{K}}=۰/۵mA>۰$$

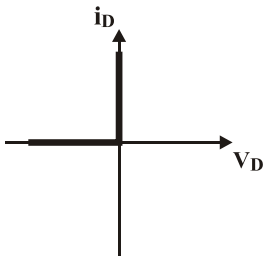
ملاحظه می‌کنید که شرط مثبت بودن جریان قراردادی دیود $D_۲$ و منفی بودن ولتاژ قراردادی دیود $D_۱$ برقرار می‌باشد پس شرط مادرست است. ولتاژ V برابر V_B است. پس گزینه‌ی ۱ درست است.

مقاومت دیود

دیود در حالت dc و ac دارای دو مقاومت متفاوت است. در حالت dc مقاومت معادل دیود از رابطه‌ی $R_S = \frac{V_D}{I_D}$ بدست می‌آید. در حالت ac نیز مقاومت معادل دیود از رابطه‌ی $r_d = \frac{\eta V_T}{I_D}$ بدست می‌آید.

در حالت ac مقاومت r_d را به‌جای دیود قرار می‌دهیم. (به r_d مقاومت دینامیکی نیز گفته می‌شود.) این مقاومت عکس شیب مشخصه دیود در هر نقطه از آن است.

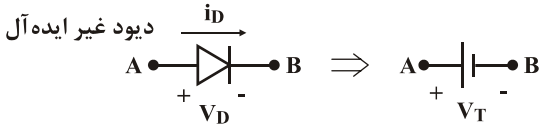
مشخصهٔ یک دیود ایده‌آل به‌صورت زیر است.



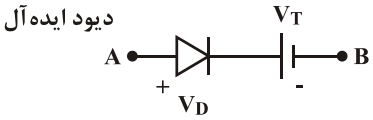
در این مدل از ناحیه‌ی تخلیه صرف نظر شده و در بایاس مستقیم، دیود مانند یک سیم و در بایاس معکوس به‌صورت مدار باز (قطع) در نظر گرفته می‌شود.

- دیودهای از جنس سیلیسیوم دارای حد ولتاژ معکوس (PIV) بالاتر و هم‌چنین جریان بالاتر و تحمل گرمایی در محدوده‌ی وسیعتری نسبت به ژرمانیوم هستند. دیودهای از جنس ژرمانیوم دارای ولتاژ آستانه‌ی پایین‌تر و جریان اشباع معکوس بالاتری نسبت به سیلیسیوم هستند.
- هر چه ناخالصی بیشتر باشد، ولتاژ آستانه بیشتر خواهد بود.
- با افزایش دما ولتاژ شکست بهمنی افزایش می‌یابد. چون پایه و اساس شکست بهمنی برخورد میان مولکول‌ها و انرژی‌دار شدن آن‌هاست و با افزایش دما، فاصله‌ی زمانی میان برخوردها کم می‌شود، در نتیجه برای این که مولکول‌ها بتوانند انرژی کافی بدست بیاورند به سرعت اولیه و انرژی اولیه بیشتری نیاز دارند که از طریق شکست بهمنی بیشتر تأمین می‌گردد. $\frac{\partial V_{BR}}{\partial T} > 0$
- با افزایش دما ولتاژ شکست زنر کاهش می‌یابد چون پایه و اساس شکست زنری، جدا شدن مولکول‌ها از لایه‌ی ظرفیت و ورود به لایه‌ی هدایت است و با افزایش دما این فرآیند سریعتر اتفاق می‌افتد. $\frac{\partial V_{BR}}{\partial T} < 0$
- با افزایش دما ولتاژ آستانه‌ی دیود کاهش می‌یابد. $\frac{\partial V_T}{\partial T} < 0$

- مدل یک دیود درحالت بایاس مستقیم در شکل زیر نشان داده شده است.

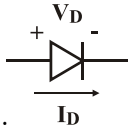


در حالت روشن

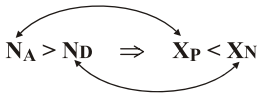


$$I_D = \begin{cases} -I_S & V_{BR} \le V_D \le 0 \\ & \text{بایاس معکوس} \\ 0 & 0 \le V_D \le V_T \\ & \text{خاموش} \\ I_S(e^{\frac{V_{BE}}{V_T}} - 1) & V_D \ge V_T \\ & \text{روشن} \end{cases}$$

- هر چه ناخالصی پیوندp-n بیشتر باشد، ولتاژ آستانه‌ی آن بیشتر خواهد بود.
- برای این که یک دیود در بایاس مستقیم باشد باید داشته باشیم: $I_D > 0$ و یا $V_D > V_T$ و اگر ایده‌آل بود $V_D > 0$



- در یک دیودp-n ناحیه‌ای که چگالی ناخالصی‌اش بیشتر باشد، عرض ناحیه تخلیه در طرف آن کمتر است.



- جریان اشباع معکوس در یک دیودpn در درجه حرارت معین، ثابت است و بستگی به ولتاژ معکوس ندارد و فقط تابع دماست.
- به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما، جریان اشباع معکوس دو برابر می‌شود. ولتاژ آستانه نیز ۲۵ میلی‌ولت کاهش می‌یابد.
- جریان اشباع معکوس در دیودهای ژرمانیوم در حد میکروآمپر و در دیودهای si در حد نانو آمپر است.
- در یک دیود، جریان ناشی از حاملان اکثریت را جریان نفوذی می‌نامیم. (I_m)
- در یک دیود، جریان ناشی از حاملان اقلیت را جریان رانشی می‌نامیم. (I_S)

$I = I_m - I_S$ جریان کل دیود

- در ناحیه‌ی هدایت می‌توان جریان دیود را برابر $I_S e^{\frac{V_{BE}}{V_T}}$ در نظر گرفت.
- در ناحیه‌ی معکوس نیز می‌توان جریان دیود را برابر $-I_S$ در نظر گرفت.
- به‌طور کلی اگر $|V_{BR}| < ۴^{V}$ باشد، باید انتظار پدیده‌ی شکست زنری را داشته باشیم، اگر $|V_{BR}| > ۶$ باشد، باید در انتظار پدیده‌ی شکست بهمنی باشیم، و اگر $|V_{BR}| < ۶$ و $|V_{BR}| > ۴$ باشد، هر دوی آن‌ها محتمل خواهند بود.
- کل زمانی که از لحظه‌ی معکوس شدن ولتاژ دیود طول می‌کشد تا دیود به حالت قطع برسد را زمان بازیابی معکوس می‌نامند.

(t_{rr}) Reverse Recovery time

- تغییر حالت دیود از حالت قطع به وصل به زمان نیاز دارد. به این زمان، زمان صعود می‌گویند. (t_{rise})

$t_{rr} >> t_{rise}$

- حداکثر ولتاژی که می‌توانیم دیود را در بایاس معکوس قرار دهیم قبل از این که دیود وارد شکست بهمنی یا زنری شود را ولتاژ ماکزیمم معکوس گویند و با PIV نشان می‌دهند.

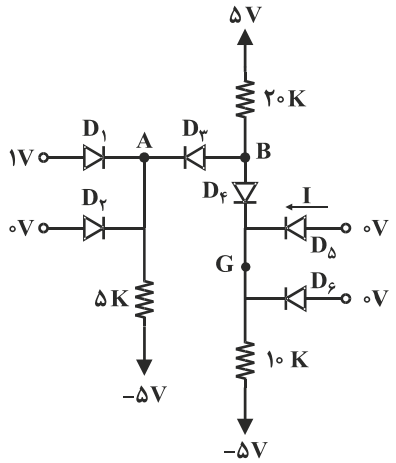
PIV=Peak Inverse Voltage

- در مداراتی که فقط یک عنصر غیر خطی وجود داشته باشد (مثل دیود)، برای بدست آوردن نقطه کارمدار، ابتدا مدار معادل قسمت خطی را بدست می‌آوریم و سپس در مدار حاصله، معادله‌ی KVL را می‌نویسیم. جریان و ولتاژ دیود باید هم در این معادله و هم در منحنی مشخصه‌ی خود صدق کنند.

برای دیودهایی که وصل هستند، مثبت بودن جریان دیود $(i_D > ۰)$ و برای دیودهایی که قطع هستند، منفی بودن ولتاژ آن، $(V_D < ۰)$ بررسی می‌شود.

مثال ۲:

با فرض ایده‌آل بودن دیودها در مدارنشان داده شده در شکل زیر جریان I برابر است با:



۱) ۰
۲) ۰/۱۲۵mA
۳) ۰/۲۵ mA
۴) ۰/۳۷۵ mA

* **حل**: با توجه به شکل مدار دیود D_1 هدایت کرده و D_2 قطع است.

(چون به یک گره نمی‌توان بیش از یک ولتاژ را نسبت داد)

دیودهای $D_۳, D_۴, D_۵, D_۶$ نمی‌توانند همگی قطع باشند. وضعیت $D_۵, D_۶$ همواره مثل یکدیگر است. اگر فرض کنیم $D_۴$ روشن بوده و $D_۳, D_۵, D_۶$ قطع باشند، ولتاژ نقطه‌ی B برابر ۱/۶- ولت شده و دیودهای $D_۳, D_۵, D_۶$ هدایت خواهند کرد. پس این فرض درست نیست.

اگر فرض کنیم $D_۳, D_۵, D_۶$ وصل بوده و $D_۴$ قطع باشد، دیود $D_۴$ هدایت خواهد کرد. این فرض هم درست نیست به نظر می‌رسد فرض درست این است که $D_۴, D_۵, D_۶$ هدایت کرده و $D_۳$ قطع باشد. شرط روشن بودن $D_۴, D_۵, D_۶$ و قطع بودن $D_۳$ را بررسی می‌کنیم.

$$I_{D۴} = \frac{۵-۰}{۲۰K} = ۰/۲۵mA > ۰$$

$$V_{D۳} = V_B - V_A = ۰-۱ = -۱ < ۰$$

جریان مقاومت ۱۰^K برابر است با:

$$I_{۱۰K} = \frac{۰-(-۵)}{۱۰^K} = ۰/۵mA$$

بنابراین اگر یک Kcl در نقطه‌ی c بزنیم خواهیم داشت:

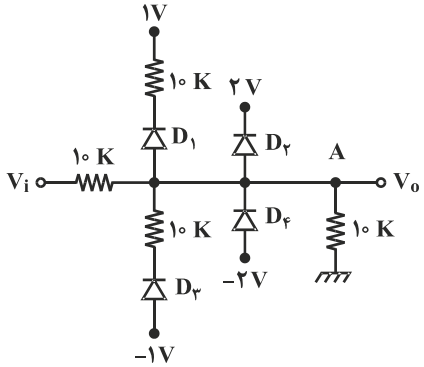
$$\left.\begin{array}{l} I_{D۴} + I_{D۵} + I_{D۶} = ۰/۵m \\ I_{D۵} = I_{D۶} \end{array}\right\} \Rightarrow ۲I_{D۵} = +۰/۲۵^m \Rightarrow I = I_{D۵} = I_{D۶} = ۰/۱۲۵mA$$

پاسخ گزینه «۲»

برای تحلیل مدارهای دیودی دو روش وجود دارد. (بدست آوردن مشخصه‌ی خروجی برحسب ورودی). ۱) شروع کردن v_i از $-\infty$ تا $+\infty$ و تحلیل وضعیت روشن و خاموش شدن دیودها در حین انجام این‌کار. ۲) بررسی تمامی حالت‌های ممکن برای روشن و خاموش بودن دیودها و بدست آوردن ولتاژ خروجی در هر حالت. (دقت کنید که بعضی حالت‌ها امکان‌پذیر نیستند).

مثال ۳:

در مدار شکل زیر دیودها ایده‌آل هستند. سیگنال v_i از $^V۴/۵-$ تا $^V۴/۵+$ تغییر می‌کند. سیگنال خروجی v_o درچه حوزه‌ای تغییر می‌کند؟



۱) $-۲ < V_o < ۲$

۲) $-۱/۵ < V_o < ۱/۵$

۳) $-۲/۲۵ < V_o < ۲/۲$

۴) $-۱/۸۳ < V_o < ۱/۸۳$

حل: با توجه به دیودهای $D_۴ , D_۲$ ولتاژ $v_۰$ نمی‌تواند از ۲+ ولت بیشتر و از ۲- ولت کوچکتر شود. اگر $v_i = ۴/۵^{V}$ باشد، $D_۴, D_۳$ قطع خواهند بود. حال اگر $D_۲, D_۱$ هر دو هدایت کنند، ولتاژ $v_۰$ برابر ۲ ولت شده ولیکن Kcl در گره A نقض خواهد شد.

$$Kcl: \frac{۴/۵-۲}{۱۰^{K}} = \frac{۲-۱}{۱۰^{K}} + \frac{۲}{۱۰^{K}} + I_{D۲}$$

$$\Rightarrow I_{D۲} = (۰/۲۵ - ۰/۱ - ۰/۲)mA = -۰/۰۵mA$$

بنابران دیود $D_۲$ قطع و دیود $D_۱$ وصل خواهد بود. در این حالت خواهیم داشت:

$$\frac{۴/۵-v_۰}{۱۰^{K}} = \frac{v_۰-۱}{۱۰^{K}} + \frac{v_۰}{۱۰^{K}} \Rightarrow \frac{۳v_۰}{۱۰^{K}} = \frac{۵/۵}{۱۰^{K}} \Rightarrow v_۰ = \frac{۵/۵}{۳} = ۱/۸۳Volt$$

پاسخ گزینه «۴»

مقاومت دینامیکی دیود

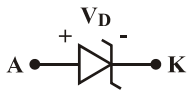
$$r_d = \frac{۲۵^{m}}{I_D} + r_B \leftarrow \text{شیب منحنی مشخصه در نقطه‌ی } (I_D, v_D) \quad \rightarrow \text{مقاومت ناشی از اتصالات فلزی}$$

مولفه‌ی DC جریان دیود

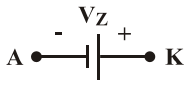
- در اغلب حالت‌ها می‌توان r_d را صفر در نظر گرفت.
- در یک پیوندpn هر چه ناخالصی کمتر باشد، ولتاژ شکست بیشتر است.

دیودزنر

یک دیود زنر در حالت بایاس مستقیم همانند دیودهای معمولی کار می‌کند و درحالت بایاس معکوس، قبل از رسیدن به ولتاژ شکست زنری، جریان بسیار ناچیز I_S از آن عبور کرده و تقریباً خاموش است. ولیکن به محض رسیدن ولتاژ دو سر دیود زنر به ولتاژ شکست آن، به یکباره جریان بسیار بالایی از دیود عبور کرده و دیود همانند یک منبع ولتاژ Dc عمل خواهد کرد که اندازه‌ی آن برابر ولتاژ شکست زنر مربوطه خواهد بود که با V_Z نشان داده می‌شود. جهت پلاریته این منبع ولتاژ، عکس جهت پلاریته دیود می‌باشد. شکل زیر گویای این مطلب است.



دیود زنر



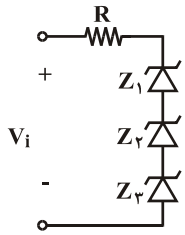
در این حالت می‌توان دیود را با یک منبع ولتاژ Dc ولی با پلارتیه معکوس جایگزین کرد.

- فرض کنید چند دیود زنر با یکدیگر سری شده باشند. اگر بخواهیم همهٔ آن‌ها در ناحیه‌ی زنری قرار بگیرند باید ولتاژی برابر مجموع ولتاژ شکست آن‌ها به مجموعه اعمال شود. در این حالت حداقل جریان عبوری از مجموعه‌ی سری، برابر بیشترین I_{Zmin} است و این جریان باید کمتر از کمترین I_{Zmax} در بین دیودهای سری باشد.

مثال ٤:

در شکل مقابل حداقل ولتاژی که باید به مجموعه‌ی سری دیودهای زنر اعمال شود، چقدر است؟

۱) ۱۵
۲) ۱۸,۲
۳) ۱۶,۸
۴) ۲۵



حل:

$V_{Z۱} = ۶/۸^{V}$

$V_{Z۲} = ۸/۲^{V}$

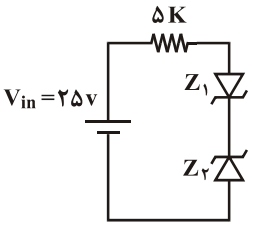
$V_{Z۳} = ۱۰^{V}$ $\qquad V_i = V_{Z۱} + V_{Z۲} + V_{Z۳} = ۲۵^{V}$

پاسخ گزینه «۴»

مثال ٥:

در شکل زیر وضعیت دیودها را مشخص کنید.

۱) $Z_۱$ بایاس مستقیم، $Z_۲$ قطع
۲) $Z_۱$ قطع، $Z_۲$ بایاس مستقیم
۳) $Z_۱$ حالت زنری، $Z_۲$ بایاس مستقیم
۴) $Z_۱$ بایاس مستقیم، $Z_۲$ حالت زنری



حل:

$V_{Z۱} = V_{Z۲} = ۲۰^{V}$

$V_{t۱} = V_{t۲} = ۰/۶^{V}$

در این مدار دیود $Z_۱$ در حالت بایاس مستقیم و دیود $Z_۲$ در ناحیه‌ی زنری بایاس شده است.

پاسخ گزینه «۴»

رگولاتور ولتاژ با دیود زنر

- در رگولاتورهای ولتاژ، به منظور این که محدوده‌ی تغییرات مجاز R_L را بدست آوریم، باید در دو حالت مدار را از جنبه‌ی Kcl مورد بررسی قرار دهیم.

زنر کمترین مقدار را بکشد $\rightarrow$ باربیشترین مقدار را بکشد $\rightarrow$ ورودی کمترین مقدار را بدهد $\Rightarrow$بدترین حالت

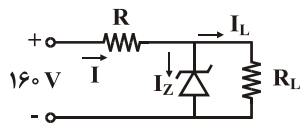
زنر بیشترین جریان را بکشد $\rightarrow$ بار کمترین مقدار را بکشد $\rightarrow$ورودی بیشترین مقدار را بدهد $\Rightarrow$بهترین حالت

- اگر این دو حالت تضمین شوند، باقی حالت‌ها نیز تضمین می‌شوند.
- در جمله بالا، "مقدار" می‌تواند اشاره به جریان یا ولتاژ داشته باشد. (با توجه به‌صورت سوال مشخص می‌شود)
- البته با توجه به سؤالی که قصد حل آن را دارید شاید ورودی و یا بار ثابت باشند، که در این موارد، بدترین و بهترین حالت را باید بتوانید از شکل مسأله بیرون بکشید.
- برای این که توان مصرفی زنر حداقل باشد، لازم است که حداقل جریان را بکشد. (همین طور برای بار)
- برای این که توان مصرفی زنر حداکثر باشد، لازم است که حداکثر جریان را بکشد. (همین طور برای بار)

مثال ٦:

در شکل مقابل، مقاومت R را طوری بیابید که رگولاتور درست کارکند.

$I, I_{Z\max}$ را نیز پیدا کنید.



$$I_{Z\min} = ۵\text{mA} \quad I_{Z\min} = ۰ \qquad V_Z = ۰$$

$$P_{Z\max} = ۱۰\text{kw} \quad V_Z = ۴۰^{V}$$

حل: $P_{Z\max} = V_z.I_{Z\max} \Rightarrow I_{Z\max} = \dfrac{۱۰۶^{\text{kw}}}{۴۰^{V}} = ۴۰\text{mA}$

در تمامی زمان‌ها و به ازای هر نوع بار قابل قبول، رابطه‌ی زیر برقرار می‌باشد.

$$\Rightarrow I = I_{z\max} + I_{L\min} = I_{Z\min} + I_{L\max}$$

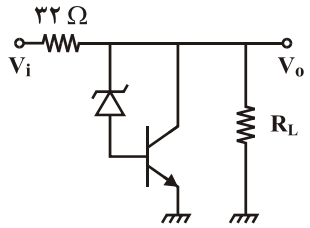
$$\Rightarrow I = ۴۰^{m} + ۰ = ۴۰^{m} = ۵^{m} + I_{L\max}$$

$$\Rightarrow I_{L\max} = ۳۵\text{mA}$$

$$\Rightarrow R = \frac{۱۶۰ - ۴۰}{۴۰^{m}} = ۳^{k\Omega}$$

مثال ۷:

در مدار تنظیم کننده‌ی ولتاژ مقابل داریم: $P_{Z\max}=۲۵mw\ ,\ I_{Zk}=۰/۵mA\ ,\ V_{BE(ON)}=۰/۸^{v}\ ,\ \beta=۵۰\ ,\ V_i=۱۵^{v}$ **و** $R_L.V_Z=۶/۲^{v}$ **در چه محدوده‌ای می‌تواند تغییر کند تا رگولاتور، کارخود را به خوبی انجام دهد؟**



۱) $R_L>۱۵۸^{\Omega}$

۲) $R_L<۱۵۸^{\Omega}$

۳) $۳۱^{\Omega}<R_L<۱۵۸^{\Omega}$

۴) $R_L>۳۱^{\Omega}$

حل: اگر دیود زنر درست کارکند، $v_{\circ}$ برابر خواهد بود با:

$$V_{\circ}=V_{BE}+V_Z=۰/۸+۶/۲=۷v$$

جریان عبوری از مقاومت ۳۲^{Ω} برابر است با:

$$I=\frac{۱۵-۷}{۳۲}=\frac{۸}{۳۲}=\frac{۱}{۴}=۰/۲۵A=۲۵۰mA$$

با زدن Kcl خواهیم داشت:

$$\left.\begin{matrix}I=۲۵۰^{m}=I_Z+I_Q+I_L\\ I_Q=\beta I_Z\end{matrix}\right\}\Rightarrow ۲۵۰^{m}=۵۱I_Z+I_L$$

اگر زتر کمترین جریان را بکشد، بار بیشترین جریان خود را خواهد کشید و بالعکس. خواهیم داشت:

$$I_Z=\frac{۲۵۰^{m}-I_L}{۵۱}$$

$$I_{Z\min}<I_Z<I_{Z\max}\qquad P_{Z\max}=V_Z.I_{Z\max}$$

$$\rightarrow I_{Z\max}\cong ۴mA$$

$$۰/۵<\frac{۲۵۰-I_L}{۵۱}<۴\Rightarrow ۴۶<I_L<۲۲۴/۵\qquad I_L=\frac{V_{\circ}}{R_L}=\frac{۷}{R_L}$$

$$\Rightarrow ۴۶<\frac{۷}{R_L}<۲۲۴/۵\quad\Rightarrow ۳۱/۱۸^{\Omega}<R_L<۱۵۲/۱۷^{\Omega}$$

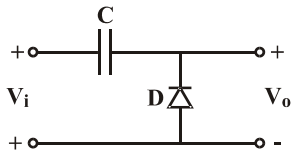
پاسخ گزینه «۳»

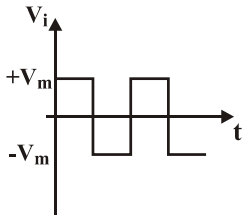
کاربردهای دیود

در این جا دیودها را ایده‌آل در نظر می‌گیریم.

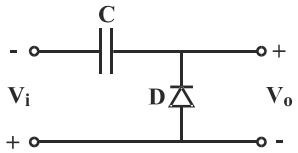
مدار محدود کننده (clamper)

شکل مقابل را در نظر بگیرید. اگر سیگنال ورودی (v_i) را به شکل زیر داشته باشیم مدار را تحلیل کرده و خروجی ($v_\circ$) را بدست می‌آوریم.



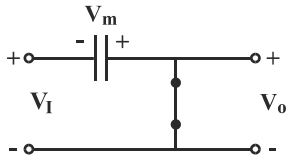


سگینال v_i به‌صورت دیجیتالی بوده و دارای دو حالت $+V_m, -V_m$ می‌باشد. در ابتدا زمانی که $v_i = +v_m$ است، دیود خاموش است و خازن خالی است. وقتی در نیم سیکل دوم $v_i = -v_m$ می شود، دیود هدایت کرده و خازن شروع به شارژ شدن می‌نماید. چون در مدار مقاومت نداریم، خازن سریعاً شارژ شده و مدار به صورت شکل زیر در می‌آید.



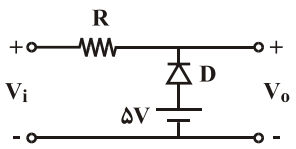
در این حالت خازن تا حداکثر مقدار ممکن در این مدار، شارژ می‌شود. حال اگر دوباره $v_i = +v_m$ گردد، با توجه به خازن شارژ شده که دیگر همانند یک منبع ولتاژ عمل می‌کند، دیود دیگر نمی‌تواند روشن شود و ولتاژ خروجی برابر $v_\circ = v_i + v_m$ خواهد بود که در این جا $v_\circ = ۲v_m$ می‌گردد.

پس در سیکل‌های بعدی هرگاه $v_i = -V_m$ باشد، دیود روشن بوده و خروجی $v_\circ = ۰$ خواهد بود و هرگاه $v_i = +V_m$ باشد، دیود خاموش بوده و خروجی $v_\circ = v_i + v_m$ خواهد بود.

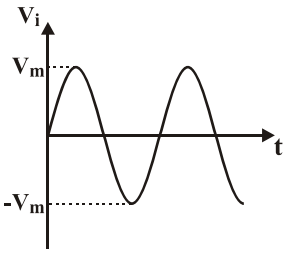


مدار برش (clipper)

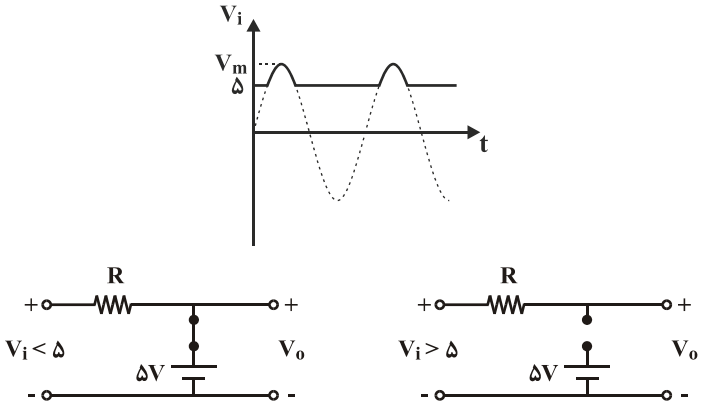
این مدار قسمتی از شکل موج ورودی را قطع می‌کند. شکل زیر را در نظر بگیرید.



فرض کنید که سیگنال ورودی به صورت زیر است.



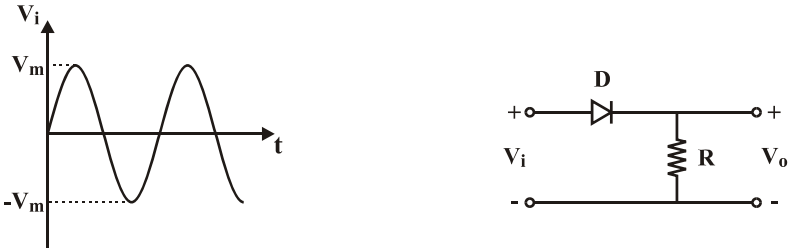
در نیم سیکل منفی دیود خاموش است. در نیم سیکل مثبت به ازای $V_i > ۵$ نیز دیود خاموش است. برای روشن شدن دیودD در این مدار، باید ولتاژ پایه‌ی آند از ولتاژ پایه‌ی کاتد (که در این جا ۵ ولت است) بیشتر باشد. بنابراین دیود فقط بـه ازای $v_i > ۵$ روشن خواهد شد. زمانی که دیود خاموش است $v_\circ = v_i$ است و زمانی که دیود روشن است، $v_\circ = ۵$ است.



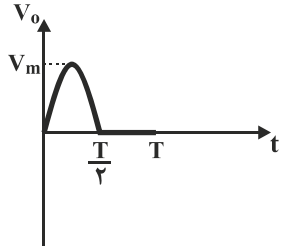
مدارهای یکسوساز

یکسوساز نیم موج

شکل زیر و سیگنال ورودی v_i رادر نظر بگیرید.



واضح است که دیود فقط در نیم سیکل اول هدایت می‌کند. بنابراین شکل موج خروجی بدین‌صورت خواهد بود.



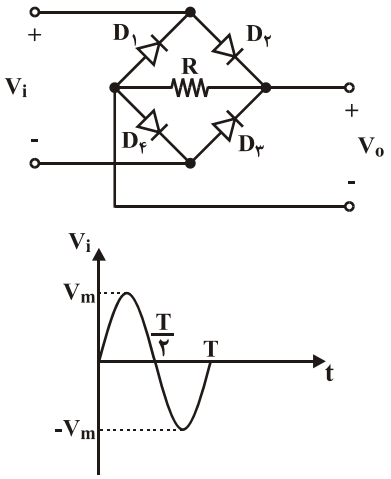
متوسط سیگنال خروجی v_o برابر است با: $V_{oaVe} = \frac{V_m}{\pi}$

البته باید توجه داشت که پیک منفی از PIV دیود بیشتر نباشد. $V_m \le PIV$

یکسوساز تمام موج

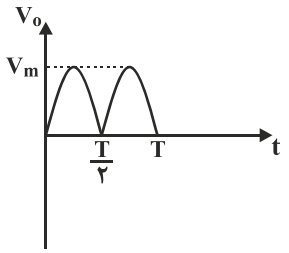
شکل زیر و سیگنال ورودی (v_i) را در نظر بگیرید.

در سیکل مثبت ورودی، $D_۴, D_۲$ هدایت می‌کنند و $v_o = v_i$ خواهد بود. در سیکل منفی، $D_۳, D_۱$ هدایت می‌کنند و $v_o = -v_i$ خواهد بود.



بنابراین شکل موج خروجی به‌صورت زیر خواهد بود.

$$V_{oaVe} = \frac{۲V_m}{\pi} \quad V_m \le PIV$$

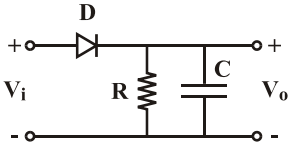


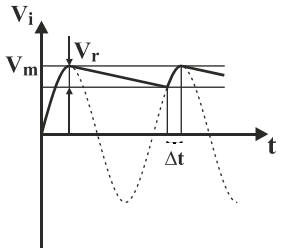
آشکارساز پیک

مدار شکل زیر دارای یک خروجی تقریباً Dc است که مقداری ریپل را به همراه خود دارد. اگر فرض کنیم $Rc >> T$ باشد، (T پریود موج ورودی و Rc ثابت زمانی مدار)، آن‌گاه در نیم سیکل مثبت، دیود وصل بوده و خازن به آرامی در مقاومت دِشارژ می‌شود

که این امر بوجود آورنده ریپل در خروجی است. این کار ادامه پیدا می‌کند تا جایی که سیکل مثبت فرا رسیده و اندازه‌ی ولتاژ ورودی بیشتر از اندازه‌ی ولتاژ دو سرخازن گردد. پس دیود فقط در زمان Δt هدایت می‌کند.

$$V_r = \frac{V_m}{Rcf} = \frac{I_{dc}}{cf}$$
$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r}{۲}$$



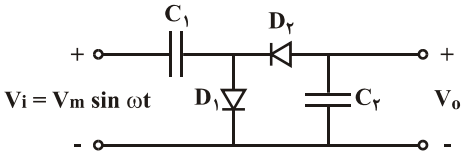


اگر در این مدار به جای دیود، از پل دیودی تمام موج استفاده کنیم، فرکانس ریپل دوبرابر می‌شود یعنی دامنهٔ ولتاژ ریپل نصف شده و مقدارDc بهبود می‌یابد.

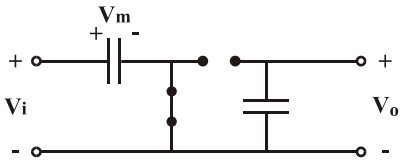
$$V_r = \frac{V_m}{۲Rcf} = \frac{I_{dc}}{۲cf}$$
$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r}{۲}$$

چند برابر کننده‌ی ولتاژ

شکل زیر یک دوبرابر کننده‌ی ولتاژ است.

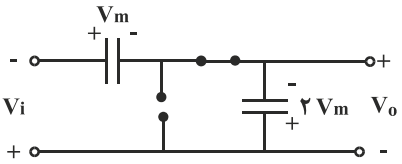


در سیکل مثبت ولتاژ ورودی، $D_۱$ هدایت کرده و $D_۲$ خاموش است و ولتاژ دوسرخازن $C_۱$ به اندازه‌ی V_m شارژ می‌شود. شکل زیر بیانگر این حالت است.



در نیم سیکل منفی $D_۱$ قطع و $D_۲$ روشن می‌شود و خازن $C_۲$ به اندازه‌ی $۲V_m$ شارژ می‌شود. شکل زیر بیانگر این حالت است.

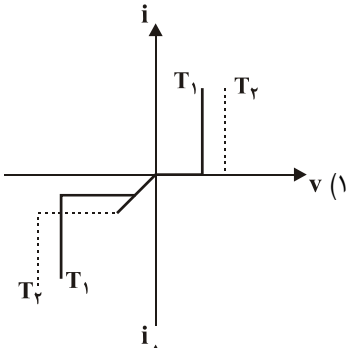
با توجه به این که خازن‌های $C_۱, C_۲$ شارژ شده‌اند، در سیکل‌های بعدی، هیچ کدام از دیودهای $D_۱, D_۲$ روشن نخواهند شد و در نتیجه $|V_o| = ۲V_m$ باقی می‌ماند.

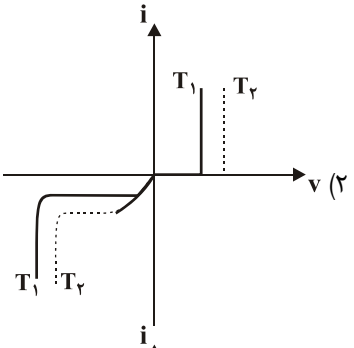


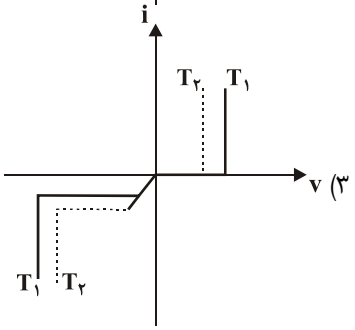
با تعمیم این مدار می‌توان چندبرابر کننده‌ی ولتاژ ساخت.

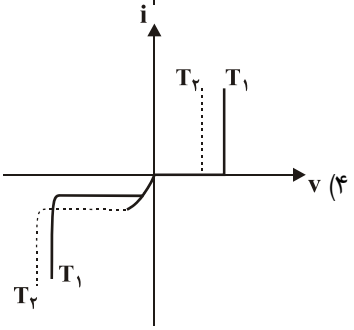
مثال۸ :

کدام گزینه بیانگر مشخصه دیود در دمای $(T_۲ > T_۱)$ می‌باشد؟ (ولتاژ شکست دیود در دمای $T_۱$ برابر -۲۰^{V} است.) (مهندسی برق ۸۱)

۱)


۲)


۳)


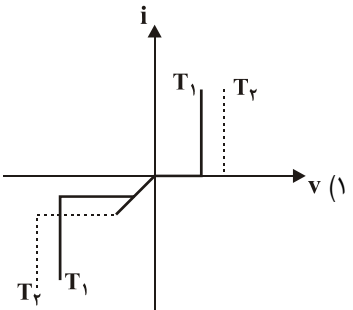
۴)


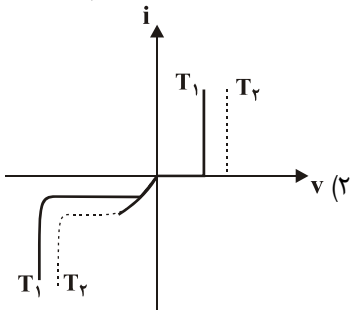
حل: با توجه به ولتاژ شکست این دیود، مشخص می‌شود که دارای شکست بهمنی است. دانستن این نکته برای حل این سؤال مهم است. ولتاژ آستانه‌ی دیود با افزایش دما، کاهش می‌یابد و ولتاژ شکست بهمنی با افزایش دما، افزایش می‌یابد.

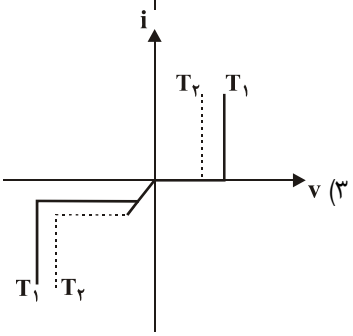
پاسخ گزینه «۴»

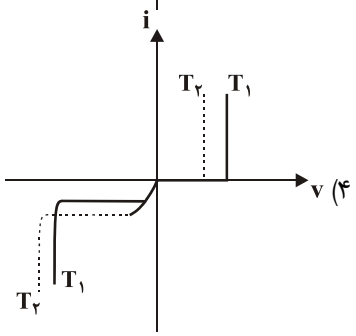
تست‌های آخر فصل

۱- کدام گزینه بیانگر مشخصهٔ دیود در دمای $(T_۲ > T_۱)$ می‌باشد؟ (ولتاژ شکست دیود در دمای $T_۱$ برابر ۲۰V- است). (مهندسی برق ۸۱)

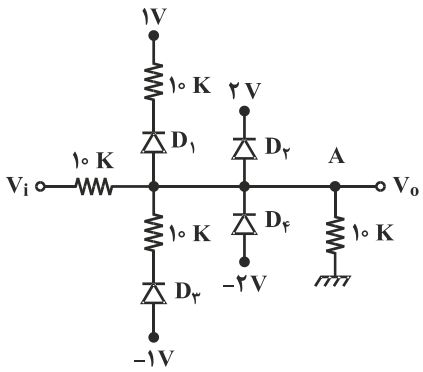
۱)


۲)


۳)


۴)


۲- در مدار شکل زیر دیودها ایده‌آل هستند. سیگنال V_i از ۴/۵V- تا ۴/۵V+ تغییر می‌کند، سیگنال خروجی V_o در چه حوزه‌ای تغییر می‌کند؟ (مهندسی برق ۸۲)



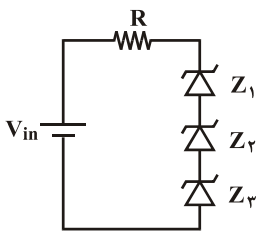
۱) $-۲V < V_o < ۲V$

۲) $-۱/۵V < V_o < ۱/۵V$

۳) $-۲/۲۵V < V_o < ۲/۲V$

۴) $-۱/۸۳V < V_o < ۱/۸۳V$

۳- در مدار زیر ولتاژ ورودی چند باشد تا همهٔ دیودها در ناحیهٔ زنری فعالیت کنند؟



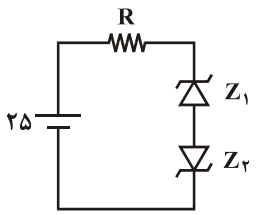
۱) ۱۵

۲) ۱۸/۲

۳) ۱۶/۸

۴) ۲۵

۴- در مدار زیر وضعیت دیودهای $Z_۱$, $Z_۲$ را بیان کنید.



$V_{Z۱} = V_{Z۲} = ۲۰v$

$V_{t۱} = V_{t۲} = ۰/۶v$

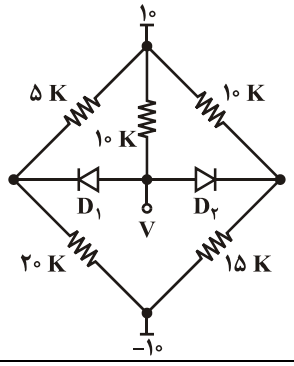
۱) $Z_۱$ با یاس مستقیم - $Z_۲$ قطع

۲) $Z_۱$ قطع- $Z_۲$ بایاس مستقیم

۳) $Z_۱$ حالت زنری- $Z_۲$ بایاس مستقیم

۴) $Z_۱$ بایاس مستقیم - $Z_۲$ حالت زنری

۵- با فرض دیودهای ایده‌آل ولتاژ V در مدار زیر به کدام گزینه نزدیکتر است؟ (مهندسی برق ۷۶)



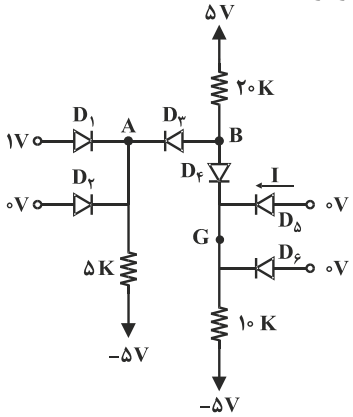
۱) ۵ V

۲) ۵/۵ V

۳) ۷/۱ V

۴) ۱۰ V

۶- با فرض ایده‌آل بودن دیودها در مدار نشان داده شده در شکل زیر جریان I برابر است با: (مهندسی برق ۷۴)



۱) ۰

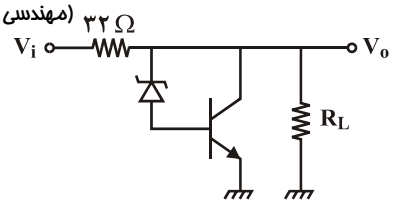
۲) ۰/۱۲۵ mA

۳) ۰/۲۵ mA

۴) ۰/۳۷۵ mA

۷- در مدار تنظیم کننده ولتاژ زیر داریم

$V_i = ۱۵v$, $\beta = ۵۰$, $V_{BE(on)} = ۰/۸v$, $I_{zk} = ۰/۵mA$, $p_{z(max)} = ۲۵mw$, $V_z = ۶/۲v$ ، R_L **در چه محـدوده‌ای می‌تواند تغییر کند تا رگولاتور کار خود را به خوبی انجام دهد؟** (مهندسی برق ۷۹)



۱) $R_L > ۱۵۸\Omega$

۲) $R_L < ۱۵۸\Omega$

۳) $۳۱\Omega < R_L < ۱۵۸\Omega$

۴) $R_L > ۳۱\Omega$

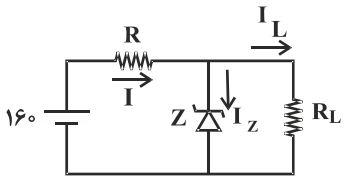
۸- در مدار زیر مقاومت R را طوری بیابید که رگولاتور درست کار کند.

$V_Z = ۴۰V$

$I_{Z\min} = ۵m$

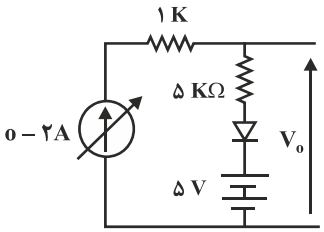
$I_{L\min} = ۰$

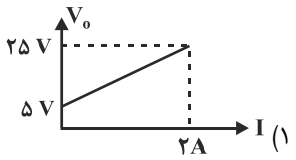
$P_{Z\max} = ۱/۶kw$

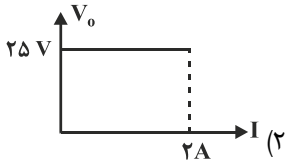


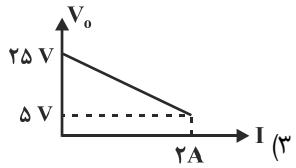
۱) ۳k ۲) ۴k ۳) ۵k ۴) ۶k

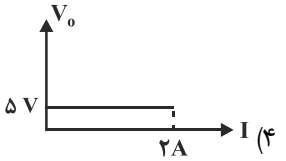
۹- مشخصه انتقالی $V_۰ = f(I)$ مدار زیر کدام است؟ (سراسری۸۰)



۱)


۲)


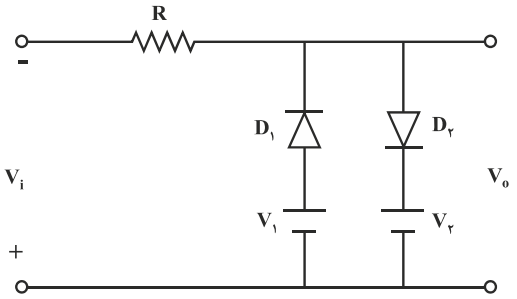
۳)


۴)


۱۰- کدامیک از دیودها دارای ناحیهٔ مقاومت منفی هستند؟ (سراسری۸۰)

۱) تونلی ۲) زنر ۳) واراکتور ۴) نوردهنده

۱۱- در مدار شکل زیر به ازاء $V_۱ < V_i < V_۲$ خروجی $V_۰$ برابر است با: (سراسری۸۰)



۱) $V_۱$
۲) $V_۲$
۳) V_i
۴) صفر