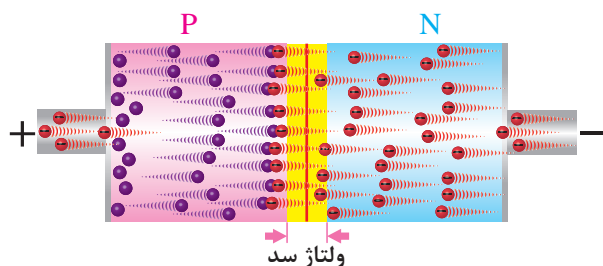


شکل ۳-۳۸ - بایاس معکوس دیود

ب) بایاس معکوس: در صورتی که نیمه‌هادی نوع P را به قطب منفی باتری و نیمه‌های نوع N را به قطب مثبت آن وصل کنید، این حالت را بایاس معکوس می‌نامند (ر.ک.: شکل ۳-۳۸).

رفتار دیود در بایاس مستقیم (بایاس موافق-گرایش مستقیم)

شکل ۳-۳۹ اتصال یک دیود را به ولتاژ باتری در بایاس مستقیم نشان می‌دهد.



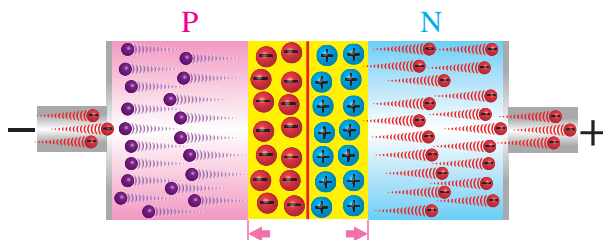
شکل ۳-۳۹ - دیود در بایاس مستقیم

اگر در این بایاس، ولتاژ باتری بیشتر از پتانسیل سد باشد، میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ باتری، میدان الکتریکی پتانسیل سد دیود را خنثی می‌کند، زیرا جهت میدان باتری، عکس جهت میدان پتانسیل سد است؛ لذا منطقه تخلیه و پتانسیل سد از بین می‌رود به عبارت دیگر لایه سد، در اثر میدان الکتریکی ولتاژ باتری می‌شکند. در نتیجه، الکترون‌های واقع در نیمه‌هادی نوع N، توسط بار الکتریکی منفی باتری به سمت محل پیوند رانده شده و از آن عبور می‌کنند. بعد از عبور از نیمه‌هادی نوع P، جذب پتانسیل مثبت باتری می‌شوند. در همین حال حفره‌ها که در اثر ولتاژ مثبت باتری به سمت محل پیوند رانده شده‌اند وارد نیمه‌هادی نوع N می‌گردند و جذب قطب منفی باتری می‌شوند. به این ترتیب، الکترون‌ها از قطب منفی خارج شده و وارد قطب مثبت می‌شوند؛ یعنی در مدار، جریان برقرار می‌شود.

به این نکته توجه داشته باشیم که وقتی الکترون‌ها از محل پیوند عبور می‌کنند و وارد نیمه‌هادی نوع P می‌شوند و مرتباً با حفره‌ها ترکیب می‌گردند. پیوندهای تشکیل شده، به سبب میدان خارجی مرتباً شکسته می‌شود و الکترون آزاد می‌کند. الکترون آزاد شده با حفره مجاور ترکیب می‌شود، به این ترتیب با ترکیب‌های زیاد و شکسته شدن مجدد پیوندها، الکترون‌ها از نیمه‌هادی نوع P عبور می‌کنند و جذب قطب مثبت باتری می‌شوند؛ بنابراین الکترون‌ها از طریق حفره‌ها به قطب مثبت می‌رسند. همان‌طور که حفره‌ها عکس جهت حرکت الکترون‌ها حرکت می‌کنند و جذب قطب منفی می‌شوند. اگر نیمه‌هادی نوع P به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی نوع N به قطب منفی آن وصل شود و ولتاژ باتری از پتانسیل سد دیود بیشتر باشد، در مدار جریان برقرار خواهد شد.

رفتار دیود در بایاس معکوس (مخالف)

شکل ۳-۴۰ اتصال بایاس معکوس یک دیود را نشان می‌دهد.



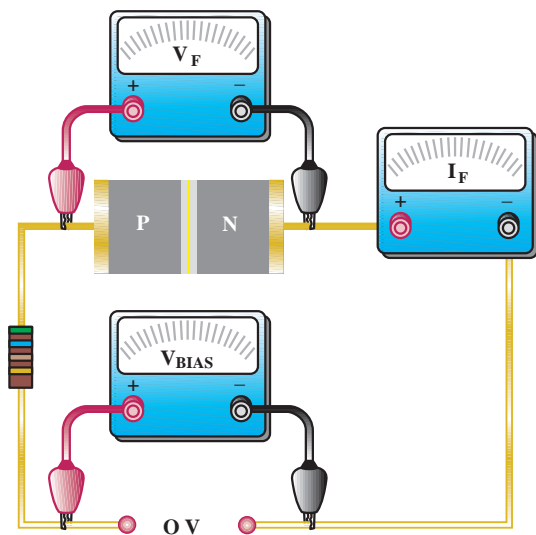
شکل ۳-۴۰- اتصال معکوس دیود

الکترون‌های آزاد واقع در نیمه‌هادی نوع N، به سبب پتانسیل مثبت باتری، به سمت راست و حفره‌ها به دلیل پتانسیل منفی باتری، به سمت چپ کشیده می‌شوند. در این حالت، عرض ناحیه تخلیه زیادتر می‌گردد و ولتاژ باتری، پتانسیل سد را تشدید می‌کند؛ بنابراین به دلیل افزایش پتانسیل سد و خالی‌تر شدن ناحیه تهی از الکترون‌ها و حفره‌ها، جریانی در مدار برقرار نخواهد شد. اگر قطب مثبت باتری به نیمه‌هادی نوع N و قطب منفی باتری به نیمه‌هادی نوع P وصل شود، جریانی در مدار نخواهیم داشت. به عبارت دیگر در بایاس معکوس جریانی در مدار برقرار نمی‌شود.

البته فراموش نکنیم که بر اثر گرما، پیوندها شکسته شده و دوباره ترکیب می‌شوند. در نهایت جریان بسیار ضعیفی به وجود خواهد آمد که به **جریان اشباع معکوس** معروف است. مقدار این جریان، به جنس نیمه‌هادی و گرمای محیط بستگی دارد، زیرا این جریان تنها در اثر شکستن پیوندها ایجاد می‌شود. در المان‌هایی که از سیلیسیم ساخته می‌شوند، این جریان بسیار کم است. گاهی مقدار آن از نانو آمپر تجاوز نمی‌کند؛ لذا در بیشتر موارد از آن صرف‌نظر می‌کنند.

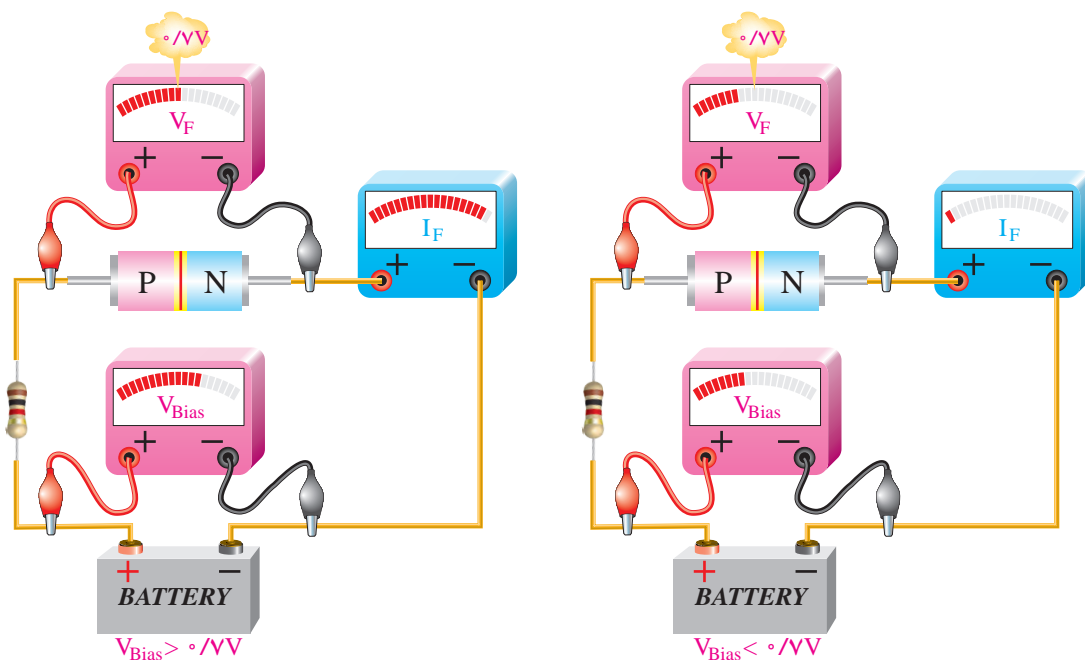
منحنی مشخصه ولت- آمپر دیود

در مدار شکل ۳-۴۱ دیود در بایاس مستقیم قرار دارد. در این مدار یک میلی‌آمپر متر با دیود سری شده‌است. در ولتاژ صفر، مقدار جریان عبوری از دیود صفر است. چنانچه ولتاژ تغذیه را تا ۰/۵ ولت زیاد کنیم، میلی‌آمپر متر تقریباً جریانی را نشان نمی‌دهد. زمانی که ولتاژ از ۰/۵ ولت بیشتر می‌شود، به دلیل اینکه جنس دیود از سیلیسیم است، جریان بسیار ضعیفی در مدار برقرار می‌شود.



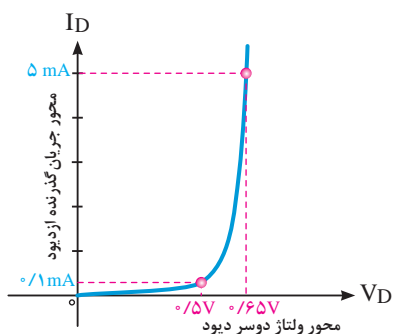
شکل ۳-۴۱- اتصال دیود به ولتاژ صفر ولت

شکل ۳-۴۲ ولتاژ بایاس دیود را کمتر از 0.7 ولت و جریان ناچیز عبوری از دیود را نشان می‌دهد. هنگامی که ولتاژ دیود به حدود 0.7 ولت می‌رسد، جریان به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. زیاد شدن ناگهانی جریان، به دلیل غلبه ولتاژ خارجی بر پتانسیل سد است. هنگامی که ولتاژ خارجی، از ولتاژ سد بیشتر شد، مقاومت دیود کم و جریان زیاد می‌شود. اگر این جریان محدود نشود، به سوختن دیود منجر می‌گردد. کارخانه‌های سازنده، حداکثر این جریان را که به ازای آن دیود نمی‌سوزد، مشخص می‌کنند. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود، لازم است مقاومتی را با دیود سری کنیم. شکل ۳-۴۳ نشان می‌دهد که ولتاژ بایاس از 0.7 ولت بیشتر است و ولتاژ دو سر دیود تقریباً 0.7 ولت ثابت مانده است؛ ولی جریان عبوری از دیود بسیار زیاد است.



شکل ۳-۴۳- هدایت دیود با ولتاژ بیشتر از 0.7 ولت

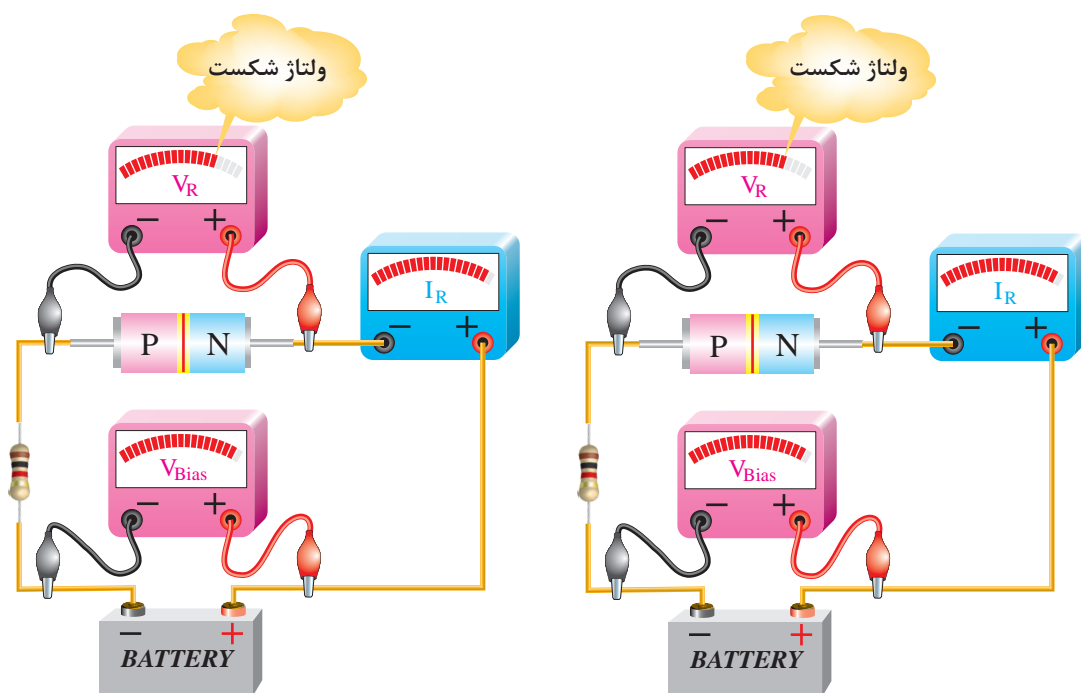
شکل ۳-۴۲- ولتاژ بایاس دیود کمتر از 0.7 ولت



شکل ۳-۴۴- منحنی مشخصه دیود

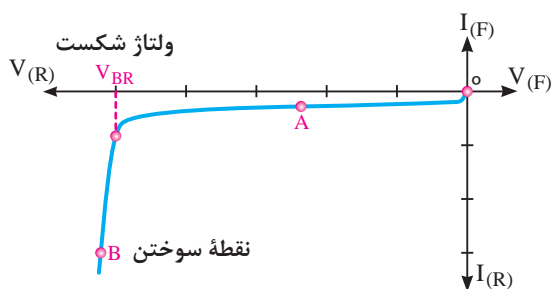
چنانچه مراحل فوق را برای ولتاژهای مختلف تکرار کنیم و به ازای ولتاژهای مختلف مثلاً در پله‌های $(0.1, 0.2, 0.1, 0.1)$ و غیره (ولت) جریان گذرنده از دیود را اندازه بگیریم و مقادیر را در جدولی ثبت کنیم، از روی مقادیر به دست آمده می‌توانیم نمودار $I_D - V_D$ را در یک مختصات رسم کنیم. نمودار بدست آمده منحنی مشخصه ولت آمپر دیود را در بایاس مستقیم نشان می‌دهد. شکل ۳-۴۴ یک نمونه نمودار (ولت آمپر دیود) را نشان می‌دهد.

اگر دیود را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ خارجی را زیاد کنیم، جریان بسیار ضعیفی از مدار می‌گذرد. این جریان همان جریان اشباع معکوس یا **جریان نشتی** دیود است. شکل ۳-۴۵ حالت بایاس معکوس دیود را نشان می‌دهد. در این شکل جریان عبوری از دیود و ولتاژ دو سر دیود را می‌توانید مشاهده کنید. کارخانه‌های سازنده مقدار ولتاژ بیشینه قابل تحمل توسط دیود در بایاس معکوس را مشخص می‌کنند. این ولتاژ به عنوان یک مشخصه مهم در دیود معمولی به کار می‌رود. شکل ۳-۴۶ دیود را در حالتی نشان می‌دهد که مقدار ولتاژ معکوس آن به حد شکست رسیده است. در دیود معمولی اگر مقدار ولتاژ معکوس به حد شکست برسد دیود می‌سوزد.



شکل ۳-۴۶- ولتاژ دو سر دیود در مرز شکست

شکل ۳-۴۵- نحوه بایاس معکوس دیود



در شکل ۳-۴۷ منحنی مشخصه ولت آمپر دیود معمولی در گرایش معکوس نشان داده شده است.

شکل ۳-۴۷- منحنی مشخصه دیود در بایاس معکوس

نکته



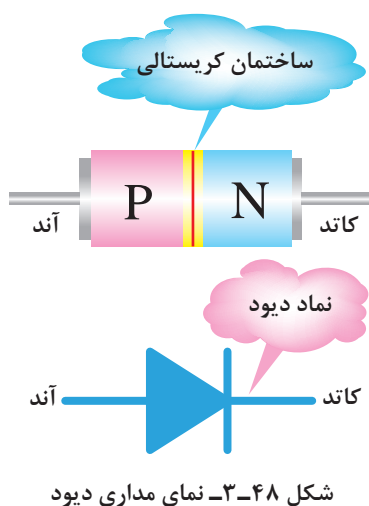
در صورتی که دیودهای معمولی در بایاس معکوس در حالت شکست قرار گیرند و جریان و ولتاژ آنها افزایش یابد، به طوری که توان اتلافی آنها از حد مجاز عبور کند، دیود آسیب می بیند.

تحقیق کنید



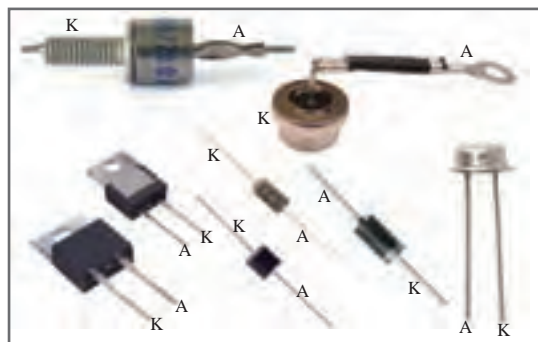
آیا از دیود می توان برای حفاظت دستگاه های الکترونیکی در مقابل اتصال ولتاژ با قطب های اشتباه استفاده کرد؟ تحقیق خود را به صورت یک گزارش کوتاه ارائه دهید.

علامت اختصاری و ساختمان ظاهری دیود معمولی



شکل ۳-۴۸- نمای مداری دیود

دیودهای معمولی، از نظر ظاهری به شکل های مختلفی ساخته می شوند؛ ولی علامت اختصاری همه آنها یکسان است. در شکل ۳-۴۸ ساختمان کریستالی و نماد مداری دیود نشان داده شده است. در نماد مداری، علامت مثلث، جهت قراردادی جریان را نشان می دهد. نیمه هادی نوع P را آند و نیمه هادی نوع N را کاتد، نام گذاری می کنند.



شکل ظاهری چند نمونه دیود را در شکل ۳-۴۹ مشاهده می کنید. پایه های آند و کاتد روی دیودها مشخص شده اند. معمولاً کاتد را با یک نوار یا علامت K یا سایر علائم مشخص می کنند. در نمونه هایی که پایه به بدنه اتصال دارد، کاتد بدنه است. برای نصب پایه های این دیودها داخل سوراخ های مدار چاپی قرار می گیرد و از طرف دیگر لحیم می شوند. به این قطعات DIP می گوئیم.

شکل ۳-۴۹- شکل ظاهری چند نمونه دیود تجاری DIP

قطعات نصب سطحی را SMD می‌نامند. شکل ۳-۵۰ دیودهای نصب سطحی را نشان می‌دهد. دیود نصب سطحی، روی سطح مس فیبر مدار چاپی لحیم می‌شوند. این دیودها معمولاً برای عبور از سوراخ مدار چاپی پایه مستقل ندارند و مستقیماً روی سطح مس مدار چاپی لحیم می‌شوند.

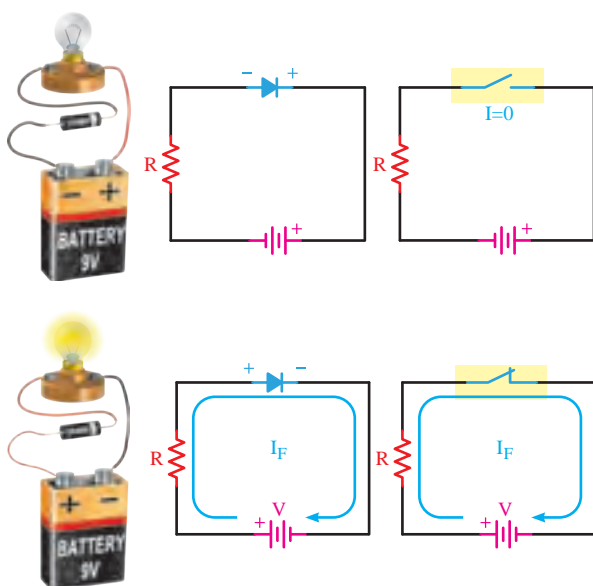


شکل ۳-۵۰- چند نمونه دیود SMD

بررسی دیود در حالت ایده‌آل

یک دیود در حالت ایده‌آل مانند کلیدی است که در بایاس مستقیم به صورت کلید بسته و در بایاس معکوس به صورت کلید باز عمل می‌کند. شکل ۳-۵۱ دیود در بایاس مستقیم و معکوس و معادل کلیدی آن را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در دیود ایده‌آل از ولتاژ هدایت دیود، یعنی 0.7 ولت صرف‌نظر می‌کنیم.

اگرچه دیود ایده‌آل در عمل وجود ندارد، ولی می‌توان برای ساده‌تر شدن محاسبات در تشریح مدارهای الکترونیکی دیود ایده‌آل را به کار برد. همواره در دیود واقعی هنگامی که دیود در بایاس موافق قرار دارد، از آن جریان عبور می‌کند و در دو سر آن افت ولتاژی در حدود 0.7 تا $1/5$ ولت به وجود می‌آید در کارخانه‌های سازنده دیود مقدار دقیق افت ولتاژ را به ازای یک جریان معین، مشخص می‌کنند.

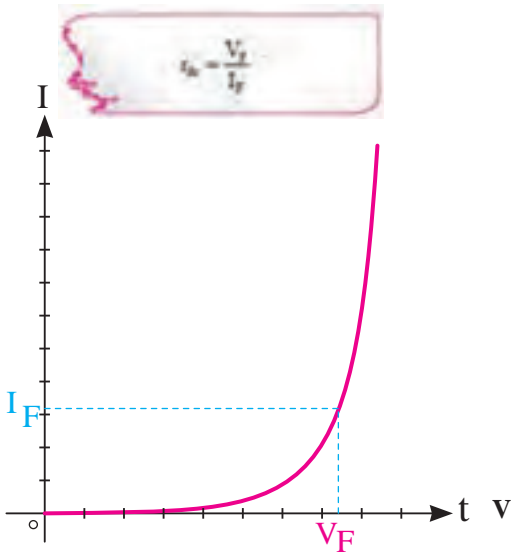


شکل ۳-۵۱- (تصویر پایینی) دیود در بایاس مستقیم به صورت کلید بسته است. (تصویر بالایی) دیود در بایاس معکوس به صورت کلید بسته عمل می‌کند.

مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود معمولی

مقاومت استاتیکی دیود از تقسیم افت ولتاژ دو سر دیود بر جریان عبوری از آن به دست می آید. مقاومت دیود در مقابل عبور جریان مستقیم و متناوب متفاوت است. مقاومت دیود در مقابل عبور جریان مستقیم را مقاومت استاتیکی می نامند و مقدار آن از رابطه روبه رو به دست می آید (شکل ۳-۵۲)

مقدار مقاومت استاتیکی یک دیود مشخص، به ازای جریان مستقیم عبوری معین از آن ثابت است.



شکل ۳-۵۲- نحوه محاسبه مقاومت استاتیکی

برای مشخصه شکل زیر، مقاومت استاتیکی (DC) را در جریان های ۲۰ mA، ۲ mA، ۲ mA - به دست آورید.
راه حل:

مثال ۱۴



$$I_F = 2 \text{ mA} \rightarrow V_F = 0.8 \text{ V}$$

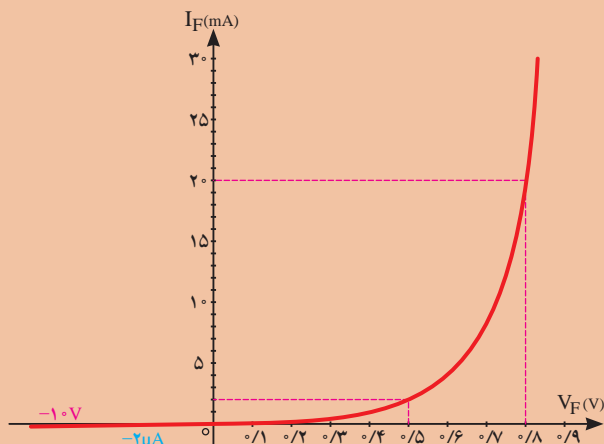
$$r_k = \frac{V_F}{I_F} = \frac{0.8 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 400 \Omega$$

$$I_F = 2 \text{ mA} \rightarrow V_F = 0.5 \text{ V}$$

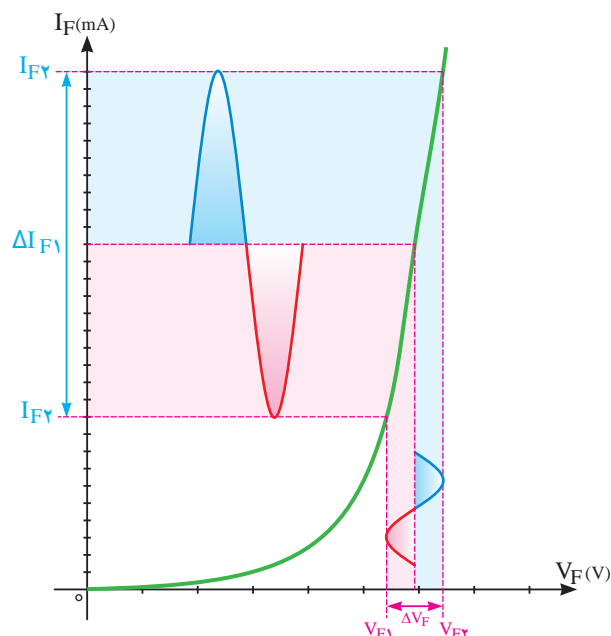
$$r_k = \frac{V_F}{I_F} = \frac{0.5 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 250 \Omega$$

$$I_F = -2 \mu\text{A} \rightarrow V_F = -10 \text{ V}$$

$$r_k = \frac{V_F}{I_F} = \frac{-10 \text{ V}}{-2 \mu\text{A}} = 5 \text{ M}\Omega$$



مقاومت دیود در مقابل جریان متناوب را مقاومت دینامیکی می‌نامند و آن را از رابطه زیر به دست می‌آورند (شکل ۳-۵۳).



شکل ۳-۵۳- نمایش مقاومت دینامیکی

مقاومت دینامیکی دیود از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r_{ac} = \frac{V_{F2} - V_{F1}}{I_{F2} - I_{F1}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$

تغییرات ولتاژ یا جریان را با دلتا (Δ) نشان می‌دهند. مقاومت دینامیکی در اثر تغییر مقاومت لایه سد به دلیل تغییرات حاصل از جریان متناوب به وجود می‌آید و مقدار آن در اثر افزایش ولتاژ خارجی کم می‌شود.

مدار معادل دیود معمولی

همان‌طور که دیدیم، یک دیود دارای مقاومتی دینامیکی و یک پتانسیل سد حدود ۰/۶ ولت برای نیمه‌هادی نوع سیلیسیومی و ۰/۲ ولت برای نیمه‌هادی نوع ژرمانیمی است. در ضمن، دیود می‌تواند فقط در یک جهت، جریان را عبور دهد. لذا، با توجه به مطالب بالا می‌توان مدار معادل دیود را به صورت شکل ۳-۵۴ نشان داد.

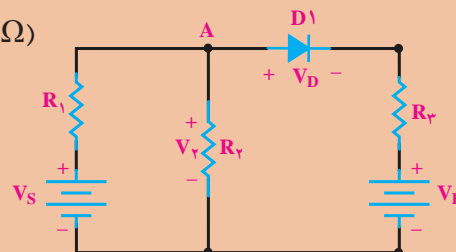


شکل ۳-۵۴- مدار معادل دیود



در مدار زیر مشخص کنید آیا دیود ایده‌آل هدایت می‌کند یا خیر؟

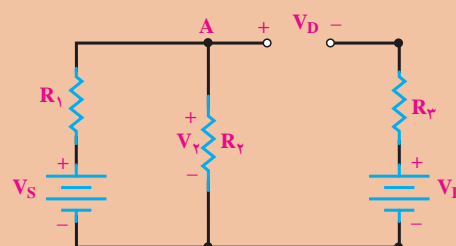
$$(V_S = 12V; V_B = 11V; R_1 = 5\Omega; R_r = 10\Omega; R_f = 10\Omega)$$



راه‌حل:

برای حل دو حالت را در نظر گرفته و صحت هریک را بررسی می‌کنیم. در حالت اول فرض می‌کنیم دیود قطع است و آن را با مدار باز جایگزین می‌کنیم. بنابراین، برای ولتاژ دو سر مقاومت دوم داریم:

$$V_r = \frac{R_r}{R_1 + R_r} V_S = \frac{10}{5 + 10} \cdot 12 = 8V$$



از طرف دیگر با اعمال KVL به مش سمت راست بدست می‌آید:

$$V_r = V_D + V_B \Rightarrow V_D = 8 - 11 = -3V$$

این تناقض نشان می‌دهد که فرض قطع بودن دیود اشتباه است و در واقع دیود وصل است.

به دو مورد زیر پاسخ دهید:



الف) در ادامه مثال بالا جریان عبوری از دیود را حساب کنید.

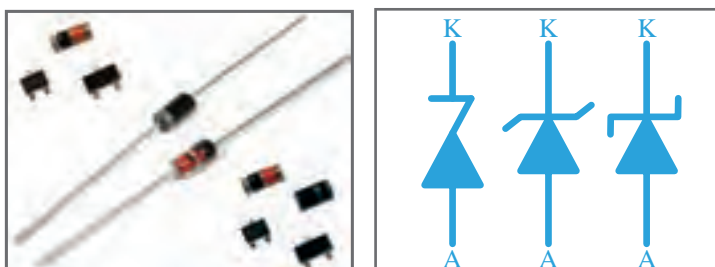
ب) اگر ولتاژ $V_B = 14$ باشد مثال ۱۵ را مجدداً حل کنید.

دیود زنر (Zener Diode)

دیود زنر، مانند دیود معمولی از دو نیمه‌هادی نوع P و N ساخته می‌شود. اگر یک دیود معمولی را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ معکوس را اضافه کنیم، در یک ولتاژ خاص، دیود در بایاس معکوس نیز شروع به هدایت می‌کند. ولتاژی که دیود در بایاس مخالف، شروع به هدایت می‌کند به ولتاژ زنر معروف است. این ولتاژ در دیودهای معمولی نسبتاً زیاد است. زنر نام شخصی است که اولین بار در سال ۱۹۳۳ این پدیده را کشف کرد. پدیده زنر در جهت معکوس و با ولتاژ زیادی که عملاً در ناحیه تخلیه قرار می‌گیرد اتفاق می‌افتد، زیرا که E بسیار قوی در این ناحیه به وجود می‌آید. این میدان قوی، قادر خواهد بود که پیوندهای سد را بشکند. در نتیجه شکسته شدن سد، الکترون آزاد و حفره ایجاد می‌شود. الکترون‌های آزاد بر اثر این میدان

قوی سرعت می گیرند و می توانند با برخورد به اتم های دیگر، الکترون های دیگری را آزاد کند. به این طریق، در اثر این پدیده زنجیری، تعداد زیادی از پیوندها شکسته می شود و در دیود جریان جاری می گردد. این پدیده شبیه جریان اشباع معکوس است، با این تفاوت که تعداد پیوندهای شکسته شده، بر اثر گرما نبوده، بلکه به سبب میدان قوی ای است که در دو سر آن قرار می گیرد. این پدیده را شکست بهمنی می نامند. در دیودهای زنر، با تنظیم ناخالصی، می توان شکسته شدن پیوندها را با میدان های مختلف (در نتیجه ولتاژهای مختلف) کنترل کرد؛ بنابراین با این روش می توان دیودهایی ساخت که به ازای یک ولتاژ معین در بایاس معکوس، جریان در مدار برقرار کنند.

ولتاژی که دیود زنر، به ازای آن در بایاس معکوس هادی می شود به ولتاژ زنر معروف است. جنس نیمه هادی به کار برده شده در دیود زنر، سیلیسیم است. این دیود در بایاس مستقیم مانند یک دیود معمولی عمل می کند. دیود زنر، در بایاس معکوس استفاده می شود و با توجه به اینکه ولتاژ زنر تقریباً در جریان های مختلف معکوس ثابت است. از این خاصیت جالب زنر، برای تثبیت ولتاژ می توان استفاده کرد. نمادهای مداری دیود زنر را در مدارهای الکترونیکی مطابق شکل ۳-۵۵ (الف) نشان می دهند. در شکل ۳-۵۵ (ب) چند نمونه دیود زنر را مشاهده می کنید.

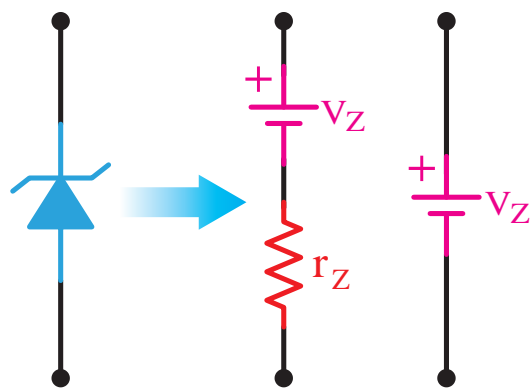


شکل ۳-۵۵- نمای مداری و چند نمونه دیود زنر

همان طور که گفته شد، دیود زنر در بایاس معکوس به کار می رود؛ بنابراین مدار معادل کامل آن، شامل یک مقاومت کوچک دینامیکی (r_z) و یک ولتاژ dc مساوی با ولتاژ زنر (V_Z) است. مقدار r_z از رابطه زیر به دست می آید:

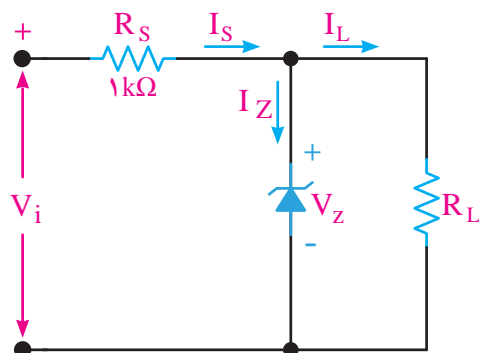
$$r_z = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}$$

در صورتی که کلیه مقاومت های خارجی متصل به دیود، نسبت به r_z بزرگ باشد، از مقاومت معادل زنر (r_z) صرف نظر می شود. شکل ۳-۵۶ مدار معادل کامل دیود زنر و بدون r_z را نشان می دهد.



شکل ۳-۵۶- مدار معادل کامل و تقریبی دیود زنر

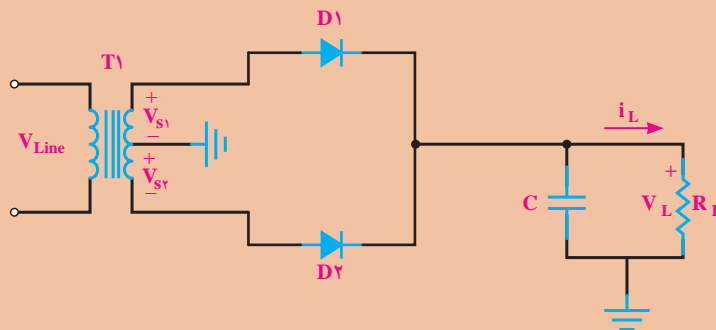
عادی‌ترین کاربرد دیود زنر، استفاده از آن در تولید یک ولتاژ مبنای ثابت برای مقایسه و تغذیه است. ساده‌ترین مداری که می‌تواند یک ولتاژ نسبتاً ثابتی بدهد، در شکل ۳-۵۷ نشان داده شده است. در این مدار به ازای تغییرات بار (R_L) یا تغییرات ولتاژ ورودی (V_i) می‌توان در محدوده معینی، ولتاژ خروجی ثابت دریافت کرد.



شکل ۳-۵۷- تنظیم‌کننده ولتاژ زنری

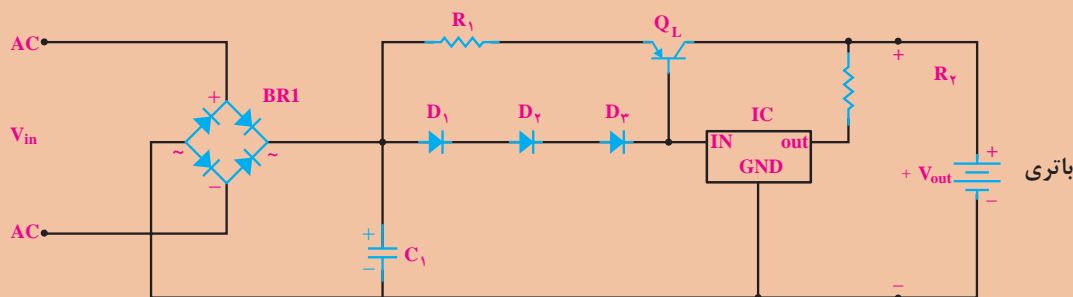
در مورد نحوه عملکرد و کاربرد مدار زیر تحقیق کنید.

تحقیق کنید

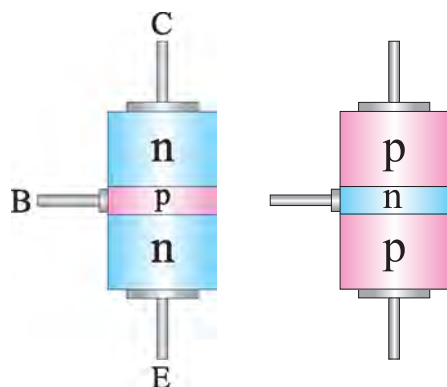


در مدار زیر آی سی LM7812 استفاده شده و باری ۱۲ ولتی به حساب می‌آید. برق تغذیه ورودی هم از یک ترانسفورماتور ۱۸ ولتی تأمین می‌شود. در مورد عملکرد مدار توضیح دهید. برای بررسی صحت توضیحات خود مدار را بسازید.

تحقیق کنید



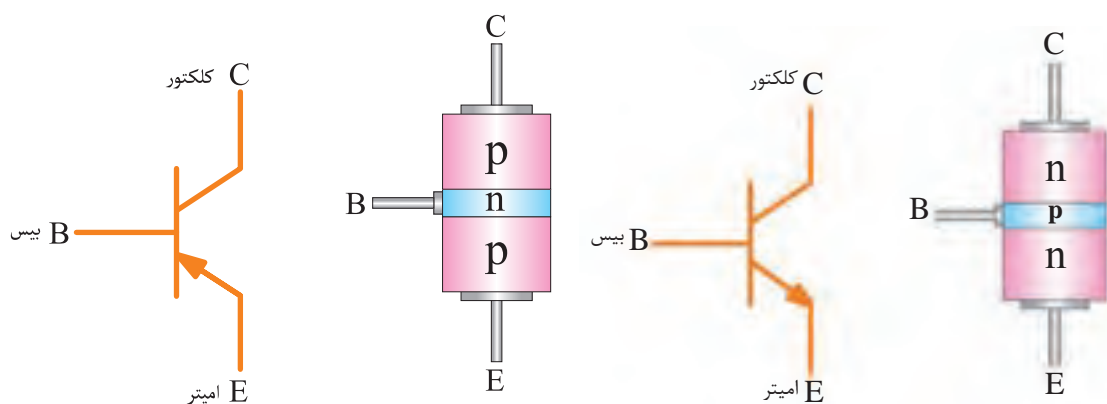
ترانزیستور



شکل ۳-۵۸- ساختار داخلی ترانزیستور

ترانزیستور^۱ معمولی از سه نیمه‌هادی نوع P و N تشکیل شده است. ترتیب قرار گرفتن نیمه‌هادی‌های P و N در کنار هم به صورت یکی از حالت‌های ۳-۵۸ است.

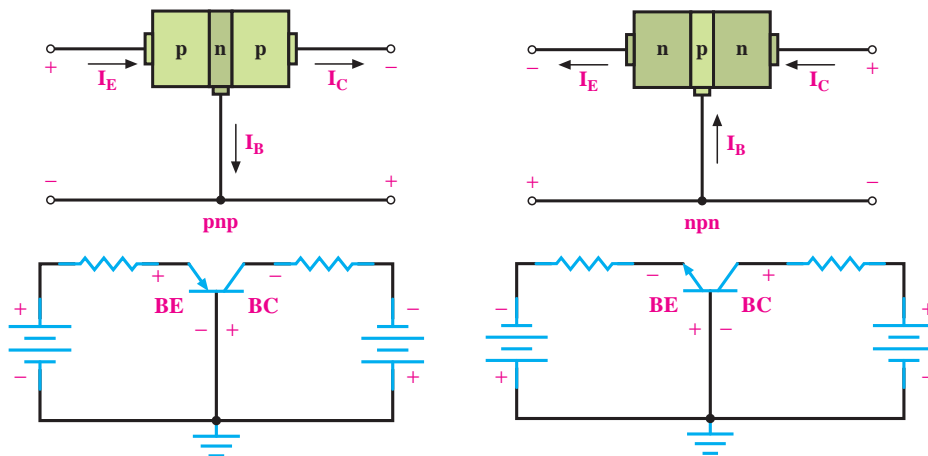
با توجه به شکل مشاهده می‌شود دو نوع ترانزیستور وجود دارد که به یکی «NPN» و دیگری «PNP» گفته می‌شود. سه پایه ترانزیستور نیز «امیتر»^۲ یعنی منتشرکننده، «بیس»^۳ یعنی پایه و «کلکتور»^۴ یعنی جمع‌کننده نام‌گذاری شده‌اند. هر ترانزیستور در دو محل دارای پیوند P-N است. نمای مداری ترانزیستورهای PNP و NPN در شکل ۳-۵۹ مشخص شده است.



شکل ۳-۵۹- نمای مداری ترانزیستور

بایاس کردن ترانزیستور

برای اینکه بتوانیم از ترانزیستور به صورت تقویت‌کننده یا کلید و نظایر آن استفاده کنیم، ابتدا باید ترانزیستور را با ولتاژ DC تغذیه کنیم. تغذیه کردن پایه‌های ترانزیستور را **بایاس کردن** «ترانزیستور» گویند. برای بایاس کردن ترانزیستور به دو پیوند امیتر-بیس و کلکتور-بیس ولتاژ DC اعمال می‌شود. چون ترانزیستور سه پایه دارد، یکی از پایه‌ها را مشترک و دو پایه دیگر را یکی ورودی و دیگری خروجی در نظر می‌گیریم. در شکل ۳-۶۰ این حالت برای دو نوع ترانزیستور PNP و NPN نشان داده شده است.



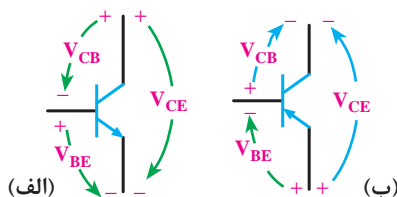
شکل ۳-۶۰- نحوه بایاس کردن و جهت جریان‌ها در ترانزیستورها

با توجه به شکل، مشاهده می‌کنیم پیکان روی امیتر معروف جهت قراردادی جریان است که با استفاده از آن می‌توان نوع ترانزیستور را تشخیص داد. حامل‌های باری که از امیتر حرکت می‌کنند مقدار ناچیزی از آنها در بیس، جریان بیس (I_B) را می‌سازند و بقیه حامل‌ها به کلکتور رسیده، جریان کلکتور (I_C) را تشکیل می‌دهند. از این‌رو، می‌توان بیان کرد: **جریان امیتر (I_E) برابر با مجموع جریان بیس و جریان کلکتور است** (یعنی $I_E = I_B + I_C$). این رابطه از روابط اساسی در حل مدارهای ترانزیستوری بوده که از قانون KCL هم قابل استنتاج است.

نواحی کاری در ترانزیستور

اعمال ولتاژ DC به ترانزیستور برای بایاس کردن آن، روی پایه‌های ترانزیستور افت ولتاژی ایجاد می‌کند. ولتاژی که بین پایه‌های بیس-امیتر ترانزیستور قرار می‌گیرد با V_{BE} نشان داده می‌شود. همچنین بین کلکتور-امیتر با V_{CE} و ولتاژ بین کلکتور-بیس با V_{CB} مشخص می‌گردد. در شکل ۳-۶۱ این حالت نشان داده شده است.

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$



شکل ۳-۶۱- نمایش ولتاژهای بین پایه‌های ترانزیستور

با توجه به اینکه در هر ترانزیستور دو پیوند بیس-امیتر و بیس-کلکتور وجود دارد و هر پیوند می‌تواند قطع یا وصل باشد، چهار حالت کاری مختلف به وجود می‌آید. این حالت‌ها در جدول زیر خلاصه شده‌اند.

جدول ۳-۳- نواحی کاری ترانزیستورها

کاربرد	حالت ترانزیستور	پیوند بیس-کلکتور	پیوند بیس-امیتر
کلید قطع شده	ناحیه قطع	قطع	قطع
تقویت کننده جریان	ناحیه فعال	وصل	قطع
کلید وصل شده	ناحیه اشباع	وصل	وصل
بدون کاربرد	ناحیه فعال معکوس	قطع	وصل

در **ناحیه فعال**، ترانزیستور مانند تقویت کننده جریان عمل کرده که جریان بیس را تقویت می‌کند و در آن $I_c = \beta I_B$ برقرار است. β ضریب تقویت جریان است که عموماً عدد بسیار بزرگی می‌باشد؛ به عنوان مثال در ترانزیستور ۲N۲۲۲۲، $\beta = 50$ است.

در **نواحی قطع و اشباع** ترانزیستور مانند یک کلید عمل می‌کند که با استفاده از ولتاژ اعمالی به بیس می‌توان وضعیت قطع یا وصل بودن آن را کنترل کرد. این حالت در بخش بعد توضیح داده شده است. برای اینکه ترانزیستور NPN در ناحیه فعال باشد باید پیوند بیس-امیتر قطع و پیوند بیس-کلکتور قطع باشند. برای این منظور به ترتیب $V_{BE} \geq V_{\gamma_1}$ و $V_{BC} < V_{\gamma_2}$ است. ولتاژ آستانه پیوند بیس-امیتر قطع و پیوند بیس-کلکتور هستند که مقدار آنها به ابعاد ناحیه‌های بیس، امیتر، کلکتور و جنس نیمه‌هادی بستگی دارد. به دلیل اینکه نواحی ابعاد مختلفی دارد، بنابراین V_{γ_1} و V_{γ_2} مقادیر مختلفی خواهند داشت که در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۳-۴- مقادیر ولتاژهای آستانه هدایت پیوندها در ترانزیستورها

نوع ترانزیستور	V_{γ_1}	V_{γ_2}
سیلیکون	۰/۷	۰/۵
ژرمانیوم	۰/۲	۰/۱

در ترانزیستور NPN اگر $V_{BE} < V_{\gamma_1}$ و $V_{BC} < V_{\gamma_2}$ باشد، ترانزیستور در ناحیه قطع و برای $V_{BE} \geq V_{\gamma_1}$ و $V_{BC} \geq V_{\gamma_2}$ در ناحیه اشباع قرار دارد. در جدول صفحه بعد روابط ریاضی بین ولتاژها و جریان‌های ترانزیستور NPN در نواحی کاری مختلف آورده شده است.

جدول ۵-۳- جریان‌ها و ولتاژهای ترانزیستور در نواحی کاری مختلف

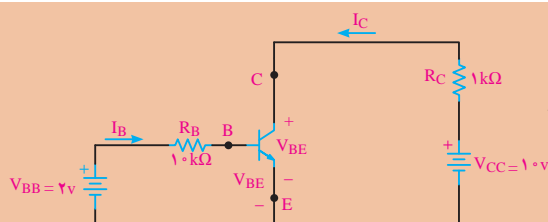
جریان‌ها	ولتاژها	ناحیه کاری
$I_B = 0$ و $I_E \cong I_C = 0$	$V_{BC} < V_{\gamma_r}$ و $V_{BE} < V_{\gamma_1}$	ناحیه قطع
$I_E, I_C, I_B > 0$ و $I_E \cong I_C = \beta I_B$	$V_{CE} \geq 0$ ، $V_{BC} < V_{\gamma_r}$ ، $V_{BE} = 0.7$ $V_{CESat} = 0.2$	ناحیه فعال
$I_E, I_C, I_B > 0$ و $0 < I_E \cong I_C = \beta I_B$	$V_{BE} = 0.7$ ، $V_{BC} = 0.5$ ، $V_{CE} =$ $V_{CESat} = 0.2$	ناحیه اشباع

V_{CESat} ولتاژ پیوند کلکتور-امیتر در حالت اشباع است و ولتاژ اشباع نام دارد. برای ترانزیستور سیلیکونی

$$V_{CESat} = V_{CB} + V_{BE} = V_{BE} - V_{BC} = V_{\gamma_1} - V_{\gamma_r} = 0.7 - 0.5 = 0.2$$

و برای ترانزیستور ژرمانیومی $V_{CESat} = 0.1$ است.

مثال ۱۶

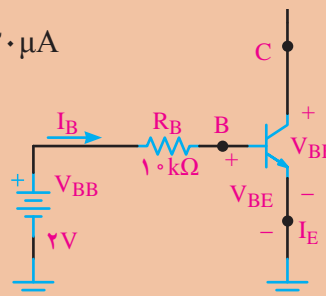


مدار ترانزیستوری شکل زیر را در نظر بگیرید. مقادیر I_B و I_C را به دست آورید. ترانزیستور سیلیکونی و در ناحیه فعال با $\beta = 50$ است.

راه حل:

با توجه به اینکه ترانزیستور در ناحیه فعال است و $V_{BE} = 0.7$ می باشد، ابتدا در حلقه ورودی KVL می نویسیم:

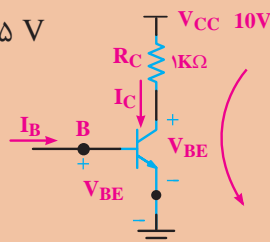
$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = 0 \rightarrow -2 + 1 \cdot I_B + 0.7 = 0 \rightarrow I_B = \frac{2 - 0.7}{1} = 1.3 \mu A$$



$$I_C = \beta I_B \rightarrow I_C = 50 \times 1.3 \times 10^{-6} = 6.5 \mu A$$

$$V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = 10 - 1 \times 6.5 \times 10^{-3} = 9.35 V$$

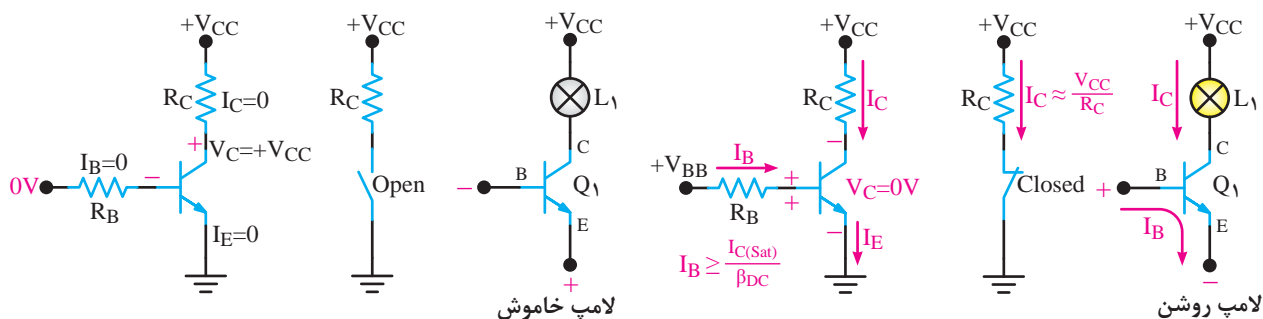


چون ترانزیستور در ناحیه فعال است:

حال در حلقه خروجی KVL می نویسیم:

کاربرد ساده ترانزیستور به عنوان کلید

در شکل ۳-۶۲ کاربرد ساده‌ای از ترانزیستور به منزله کلید نشان داده شده است. اگر موج ورودی صفر باشد ترانزیستور قطع است. از این رو جریان کلکتور صفر و LED خاموش می‌شود. زمانی که موج ورودی دارای ولتاژ غیر صفر (و به اندازه کافی بزرگ) باشد، ترانزیستور وصل می‌شود و جریان کلکتور از LED عبور کرده، آن را روشن می‌کند. بدین ترتیب LED با تغییر ولتاژ روشن و خاموش می‌شود و چشمک می‌زند.

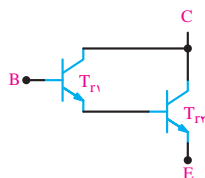


شکل ۳-۶۲- تغییر وضعیت ترانزیستور با تغییر ولتاژ اعمالی به بیس

برخی کاربردهای عملی مدارات ترانزیستوری

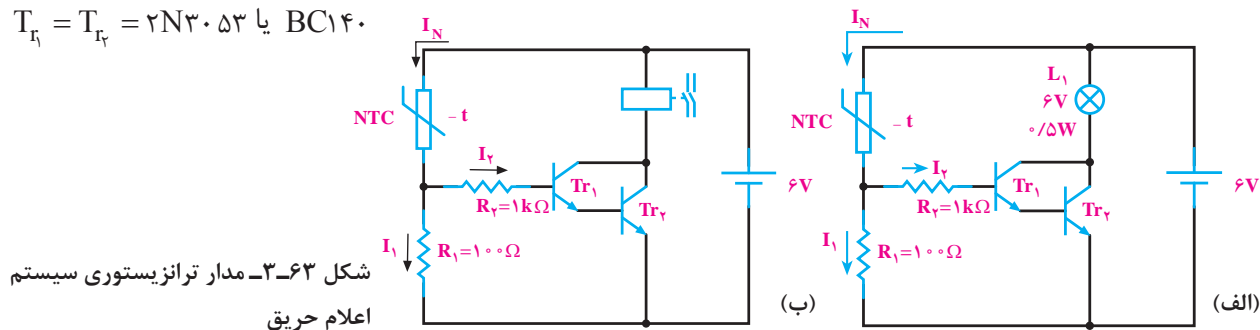
در شکل ۳-۶۳ (الف) مدار یک سیستم اعلام حریق ساده رسم شده است. با افزایش حرارت مقاومت ترمیستور NTC کاهش یافته و جریان عبوری از آن زیاد می‌شود، در نتیجه جریان‌های I_1 و I افزایش می‌یابند که این امر سبب هدایت ترانزیستورهای T_{r1} و T_{r2} می‌شود و لامپ L_1 را روشن می‌کند.

اتصال دو ترانزیستور به صورت ضریب بهره جریان بزرگی را ایجاد می‌کند و سبب می‌شود جریان کم در بیس ترانزیستور T_{r1} به جریان بزرگی در کلکتور ترانزیستور T_{r2} تبدیل شود و به این ترتیب می‌توان لامپ‌های با توان بیشتر یا موتورهای با توان متوسط را روشن کرد. به این شکل اتصال ترانزیستورها زوج دارلینگتون می‌گویند.



اگر بخواهیم از این مدار به عنوان راه‌انداز یک مدار دیگر استفاده کنیم باید از یک رله به جای لامپ L_1 مطابق شکل ۳-۶۳ (ب) بهره بگیریم.

$$T_{r1} = T_{r2} = \text{BC140 یا } 2N3053$$



شکل ۳-۶۳- مدار ترانزیستوری سیستم اعلام حریق

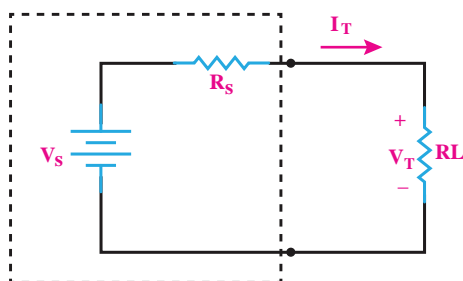


در مورد مقاومت ترمیستور تحقیق کنید و نحوه عملکرد، انواع و کاربرد آنها را مشخص کرده و در مورد کاربرد آنها در کلاس بحث کنید.

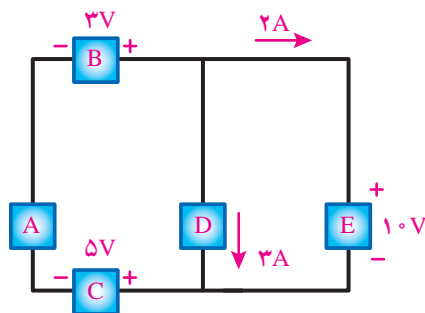
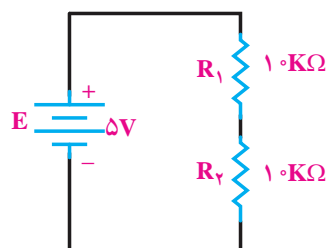
ارزشیابی پایانی

- ۱ اگر زمان تناوب یک موج سینوسی ۱۰ میلی ثانیه باشد، فرکانس آن چقدر است؟
- ۲ زمان تناوب برق شهر در کشور ایران چقدر است؟
- ۳ موارد زیر را پاسخ دهید:
الف) معادله ولتاژ متناوبی را بنویسید که فرکانس آن ۶۰ هرتز و ماکزیمم ولتاژ آن ۱۵۶ ولت باشد.
ب) مقدار لحظه‌ای ولتاژ در $t=3$ ثانیه را به دست آورید.
ج) مقدار مؤثر، متوسط، پیک و پیک تا پیک را مشخص کنید.
- ۴ در مدار زیر جریان و ولتاژ بار، مقدار توان تولیدی منبع و مقدار توان تلف شده در مقاومت بار را تعیین کنید. چه نسبتی از توان تولیدی منبع به بار رسیده است؟

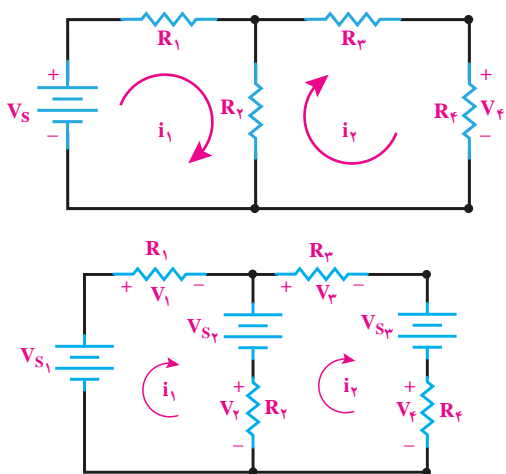
$$V_S = 12\text{V} \quad , \quad R_S = 5\text{K}\Omega \quad , \quad R_L = 7\text{K}\Omega$$



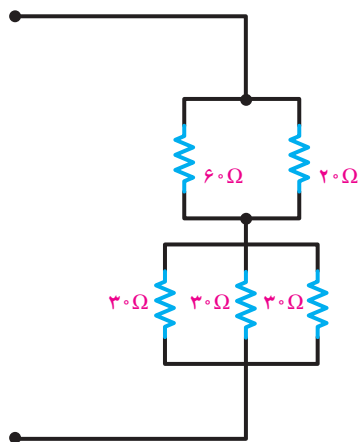
۵ در مدار زیر عناصر تلف کننده و تولید کننده توان را مشخص کنید. ۸ در مدار زیر مقاومت معادل و ولتاژ هر یک از مقاومت ها را تعیین کنید.



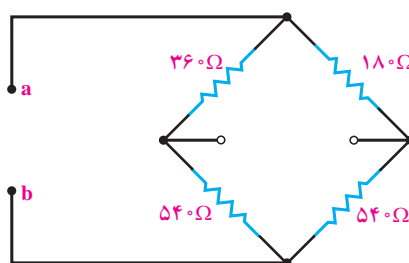
۹ در مدار زیر تعداد حلقه ها، گره ها و شاخه ها را مشخص کنید.

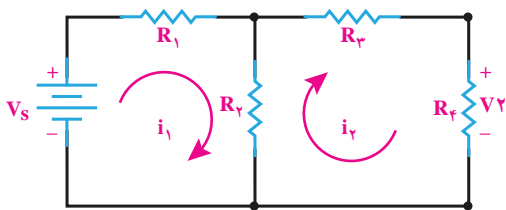


۶ در مدار زیر مقاومت معادل را تعیین کنید.



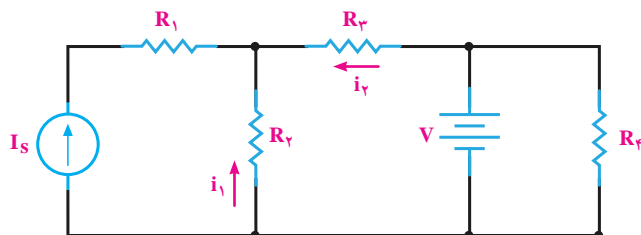
۷ مقاومت معادل مدار زیر را از دو سر a و b تعیین کنید.



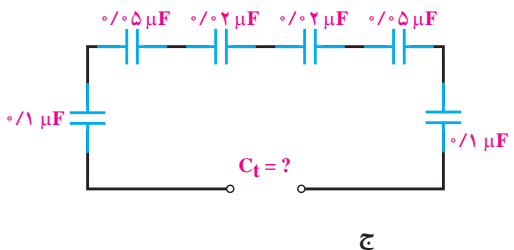


۱۰ تعداد گره‌ها و حلقه‌ها را در مدار روبه‌رو تعیین کنید و معادلات KVL را بنویسید.

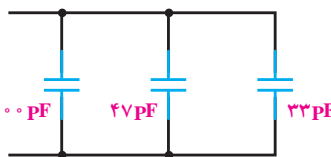
۱۱ در مدار زیر قوانین KCL را بنویسید.



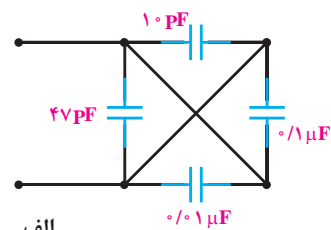
۱۲ در مدارات زیر مقدار ظرفیت خازنی معادل را حساب کنید.



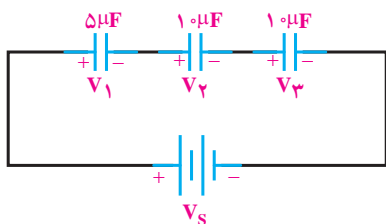
ج



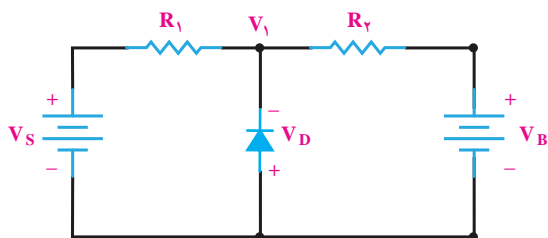
ب



الف



۱۳ در مدار شکل زیر اگر مقدار بار ذخیره شده در مجموعه خازنی ۱۰۰ میکروکولن باشد، ولتاژ دو سر هر خازن چقدر است؟



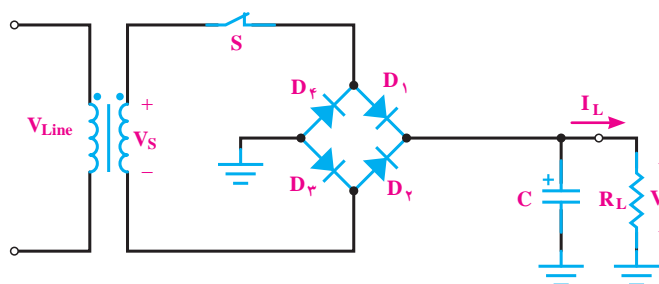
۱۴ در شکل روبه‌رو مشخص کنید آیا دیود هدایت می‌کند یا خیر. دیود را ایده‌آل در نظر بگیرید.

$V_S = 12V$, $V_B = 11V$, $R_1 = 5\Omega$, $R_2 = 4\Omega$

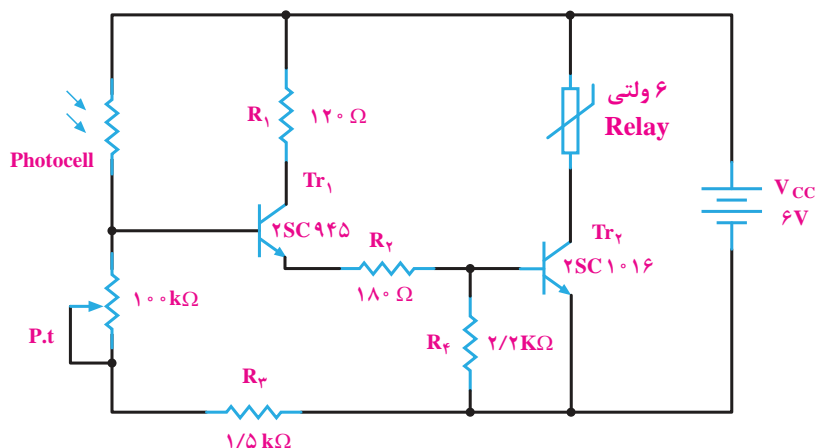
۱۵ در مدار زیر دیودها ایده‌آل هستند. به سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف) نحوه عملکرد مدار زیر توضیح دهید.

ب) شکل موج ولتاژ خروجی را برای دو حالت وجود و عدم وجود خازن ترسیم کنید.



۱۶ نحوه عملکرد مدار زیر توضیح دهید. برای آن چند کاربرد عملی بنویسید.



۱۷ در مدار زیر مشخص کنید ترانزیستور در چه ناحیه کاری قرار دارد.

$$R_B = 62/7 \text{ K}\Omega ; R_C = 375 \text{ K}\Omega ; V_{BB} = 10 \text{ V} ; V_{CC} = 15 \text{ V} ; V_{\gamma} = 0/6 \text{ V}$$

