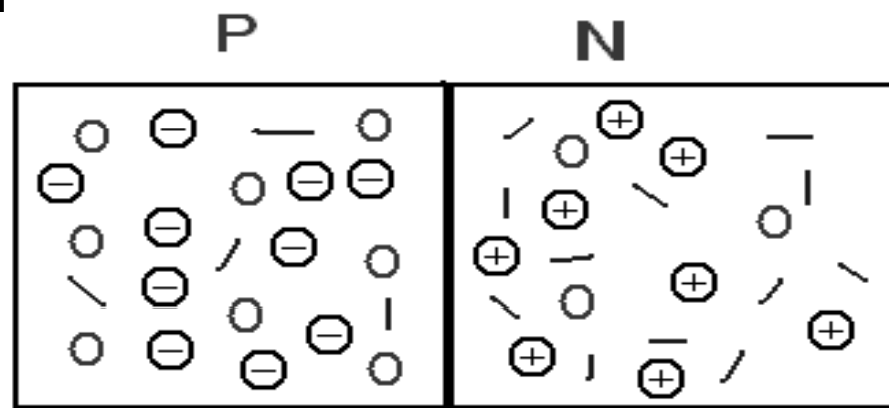

بخش اول

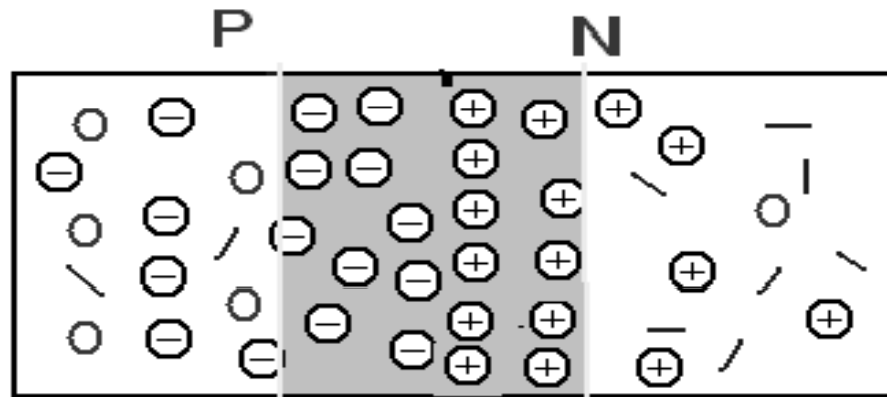
- ساختمان دیود
 - انواع دیودها
 - کاربرد دیودها
-

اتصال PN (دیود)

- اگر دو قطعه نیمه هادی نوع P و N را به هم پیوند دهیم با انتقال الکترونها و حفره ها، الکترونهای موجود در نیمه هادی نوع N جذب حفره شده لذا در محل اتصال دو نیمه هادی P و N نه الکترون آزاد وجود دارد و نه حفره.
- به محلی که الکترون و حفره وجود ندارد ناحیه تخلیه یا پیوند (junction) گویند.
- در ناحیه تخلیه یونهای مثبت و منفی وجود دارند و در بقیه قسمتهای دو نیمه هادی وضعیت عادی است.



کنارهم قرار گرفتن دو نیمه هادی قبل از جابجایی الکترون و حفره



→ ناحیه تخلیه ←

○ → جهت حرکت حفره

← جهت حرکت الکترون

کنارهم قرار گرفتن دو نیمه هادی بعد از جابجایی الکترون و حفره

depletion region ناحیه تخلیه:

۱- دارای یون های مثبت و منفی است

۲- مانند یک خازن است که دو نیمه نوع P و N جوشنهای آن هستند.

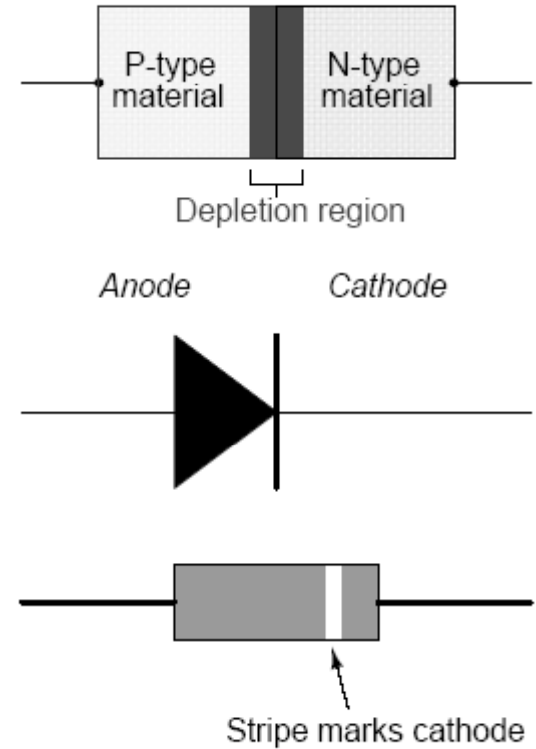
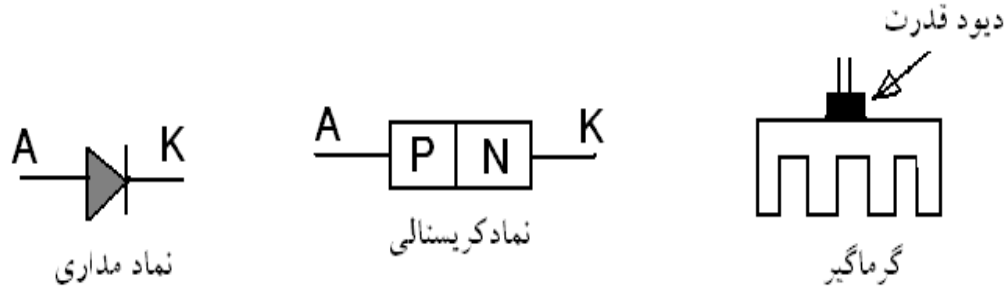
۳- میدان الکتریکی بین جوشنها ایجاد می گردد.

۴- بین جوشنها اختلاف پتانسیل ایجاد شده که به آن پتانسیل سد گویند.

۵- جهت میدان الکتریکی از نیمه هادی نوع N به سمت نیمه هادی نوع P است.

۶- مقدار پتانسیل سد به جنس نیمه هادیها بستگی دارد.

به اتصال PN دیود گویند (Diode)



وصل کردن ولتاژ dc را به دیود ،

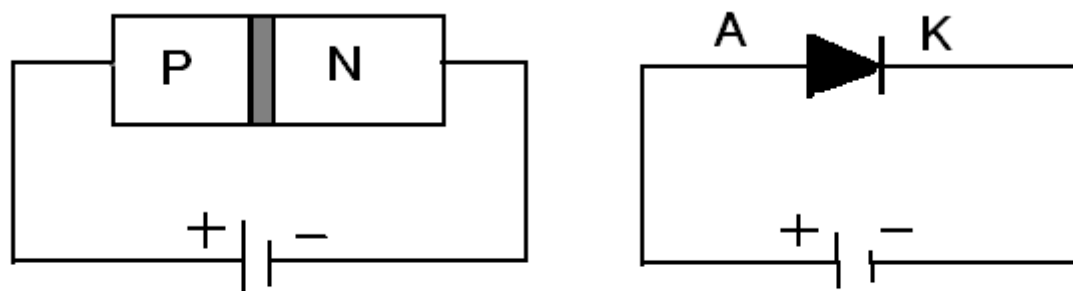
بایاس کردن گویند

1-بایاس مستقیم (Forward Bias)

2-بایاس معکوس (Reverse Bias)

انواع بایاس کردن

■ **بایاس مستقیم (forward bias):** اگر نیمه هادی نوع n را به قطب منفی منبع تغذیه و نیمه هادی نوع p را به قطب مثبت تغذیه متصل کنیم بایاس را موافق یا مستقیم گویند. در این حالت:



بایاس مستقیم

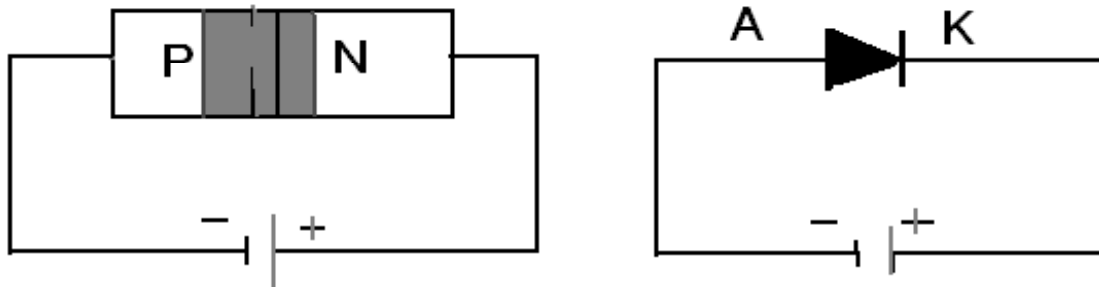
■ ۱- میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه، میدان پتانسیل سد را خنثی کرده و عرض ناحیه تخلیه و پتانسیل سد کاهش می یابد

۲- الکترونهای آزاد در نیمه هادی نوع N ، توسط بار الکتریکی منفی باتری به سمت محل پیوند رانده شده و پس از عبور از محل پیوند نیمه هادی نوع P جذب قطب مثبت باتری می شوند.

۳- حفره ها در جهت مخالف الکترونها حرکت می کنند.

۴- پس در این حالت جریان در دیود جاری می شود.

■ **بایاس معکوس** (reverse bias): اگر نیمه هادی نوع P را به قطب منفی منبع تغذیه و نیمه هادی نوع N را به قطب مثبت تغذیه متصل کنیم بایاس را معکوس گویند. در این حالت:

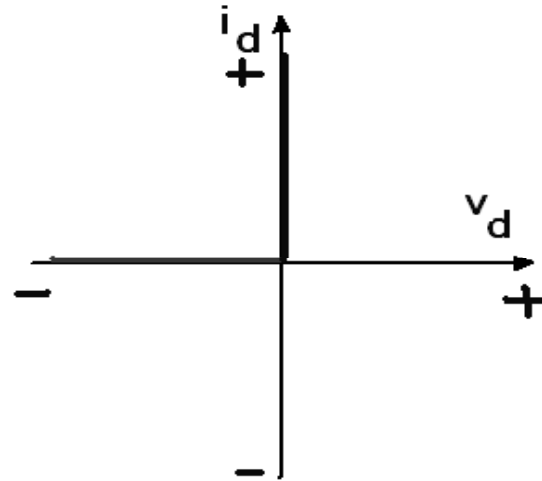
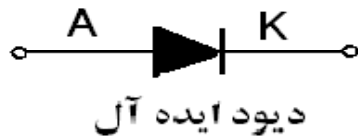


بایاس معکوس

- ۱- میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه، میدان پتانسیل سد را تقویت کرده و عرض ناحیه تخلیه و پتانسیل سد افزایش می یابد
- ۲- الکترونهاى آزاد در نیمه هادی نوع N، توسط بار الکتریکی مثبت باتری جذب می شوند.
- ۳- حفره ها در جهت مخالف الکترونها حرکت می کنند. و جذب بار الکتریکی منفی می شوند.
- ۴- پس در این حالت جریان در دیود جاری نمی شود. مگر جریان نشتی ناشی از حاملهای اقلیت
- ۵- ظرفیت خازنی پیوند تغییر پیدا می کند.

دیود ایده آل

■ دیود ایده آل یک قطعه دوپایه است که علامت و مشخصه آن بصورت شکل زیر است.



منحنی مشخصه دیود ایده آل

خصوصیات دیود ایده آل

۱- پتانسیل سد وجود نداشته در نتیجه در بایاس مستقیم مانند یک کلید بسته است.

۲- در بایاس معکوس مانند یک کلید باز است.

۳- مقاومت دیود در بایاس مستقیم صفر و در بایاس معکوس بی نهایت است

منحنی مشخصه دیود واقعی

■ توسط فیزیک نیمه هادیها مشخصه ولت-آمپر طبق معادله شوکلی زیر تعریف می گردد. که جریان دیود به دمای کار و ولتاژ تغذیه dc آن بستگی دارد.

$$i_d = I_s (e^{kV_D/T_K} - 1) \quad , \quad K = \frac{11600}{\eta}$$

در جریانهای کم $\eta(si) = 2$, $\eta(Ge) = 1$ ←←←

در جریانهای زیاد (قسمت صعودی منحنی) $\eta(si) = \eta(Ge) = 1$ ←←←

$$T_k = T_c + 273.15$$

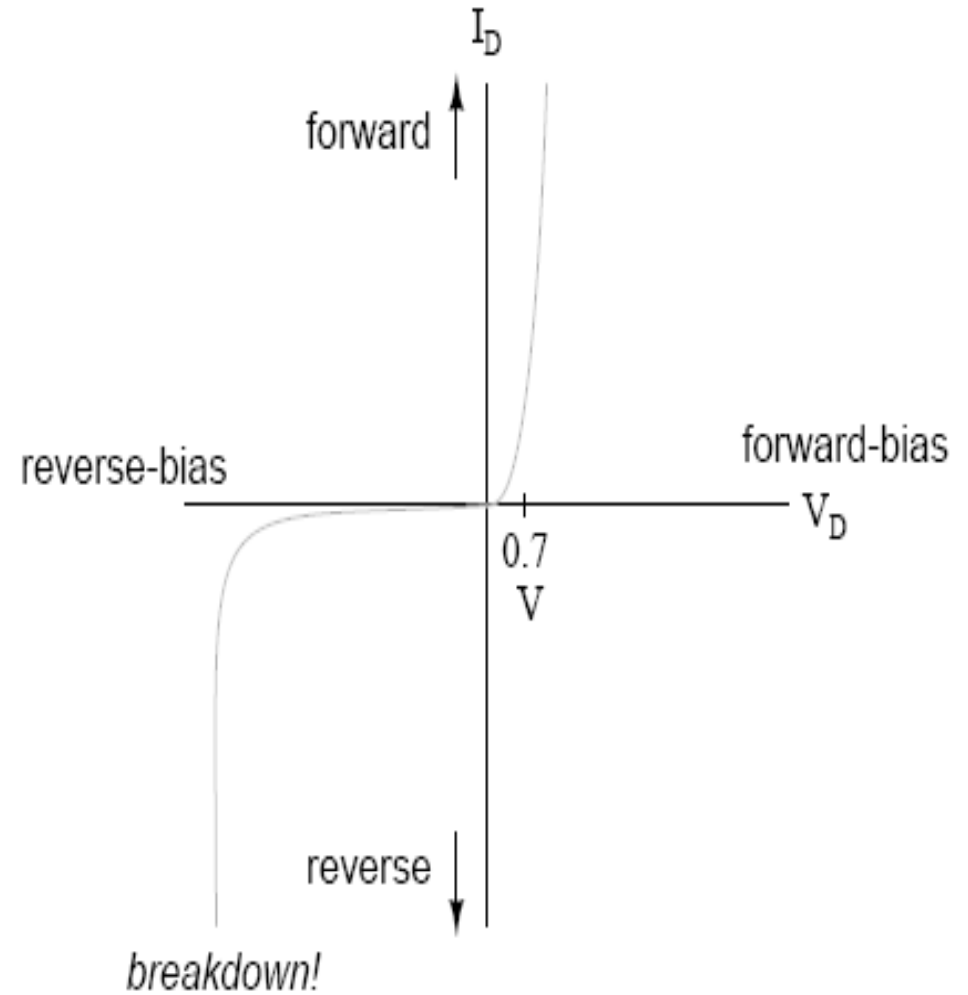
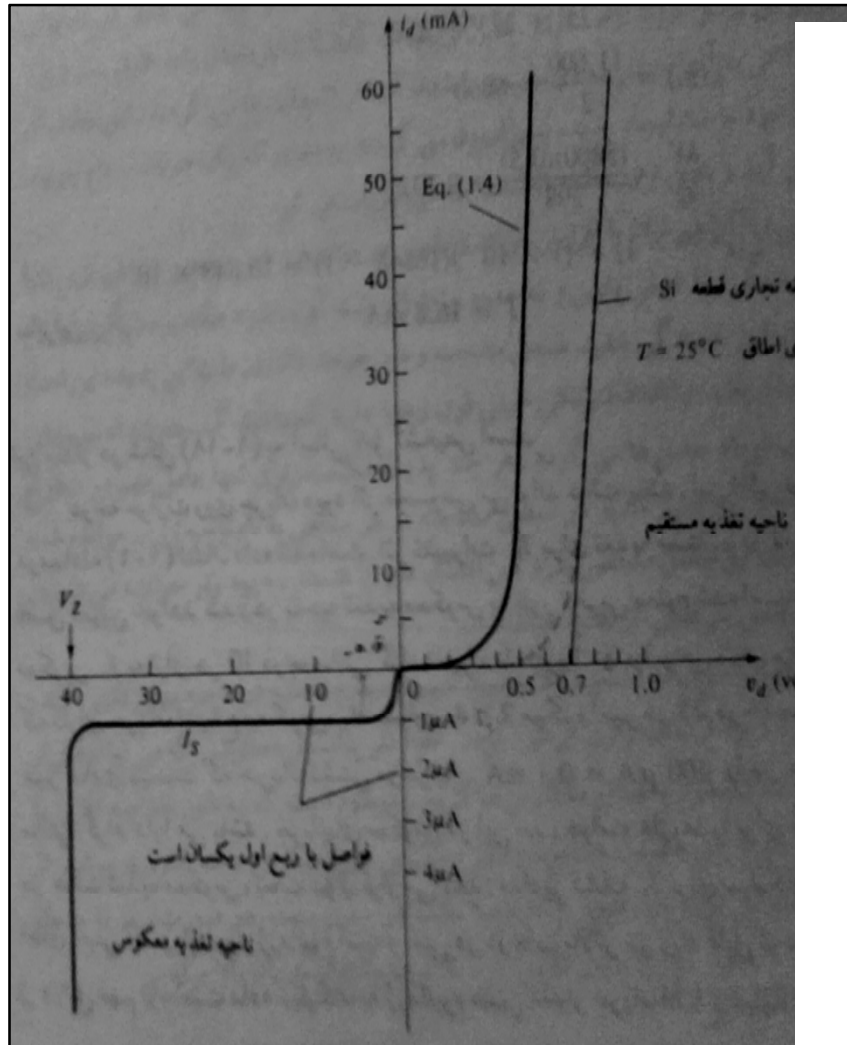
T_k ← دمای کاربر حسب کلونین

T_c ← دمای کاربر حسب سانتی گراد

I_s ← جریان نشستی معکوس دیود

رسم معادله - منحنی مشخصه

مشخصه دیود سیلیسیوم توسط معادله شوکلی ترسیم گردیده است



تمرین: باتوجه مشخصات یک دیود منحنی مشخصه آنرا توسط کامپیوتر و معادله شوکلی بدست آورید

■ مثال 1: دیود سیلیکونی در بایاس مستقیم به ولتاژ 0/5 ولت متصل می گردد اگر جریان نشتی دیود یک میکرو آمپر و دردمای محیط کار کند چه جریانی خواهد داشت؟

حل:

$$I_s = 1 \mu A = 1 \times 10^{-6} \text{ A}$$

$$T_K = T_C + 273 = 25 + 273 = 298 \text{ } ^\circ C$$

$$K (Si) = \frac{11600}{\eta} = \frac{11600}{2} = 5800$$

$$\frac{kv_D}{T_K} = \frac{(5800)(0.5)}{298} = 9.732$$

$$I = I_s (e^{\frac{kv_D}{T_K}} - 1) = 1 \times 10^{-6} (e^{9.732} - 1) = 16.848 \text{ mA}$$

ناحیه زنری

با افزایش ولتاژ در بایاس معکوس، حامل های اقلیت آزاد به اندازه کافی انرژی گرفته تا حاملهای دیگر از طریق یونیزاسیون آزاد سازند. با برخورد به الکترونهای باند ظرفیت به آنها انرژی داده تا از اتم خود جدا شوند این عمل مرتباً صورت گرفته تا جریان بهمنی و در پی آن شکست بهمنی صورت گیرد.

اگر ولتاژ معکوس همچنان افزایش یابد شکست زنری رخ خواهد داد در این در ناحیه پیوند یک میدان الکتریکی قوی بوجود آمده و باعث گسسته شدن نیروهای پیوندی می گردد و جریان به شدت افزایش می یابد دیودی که بر اساس این خاصیت کار می کند دیود زنر گویند.

۱- مقاومت استاتیکی دیود (DC)

۲- مقاومت دینامیکی (ac)

۳- مقاومت متوسط (av)

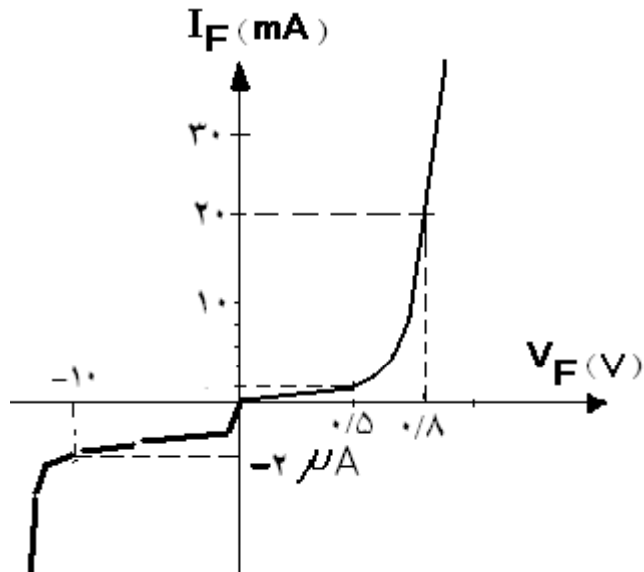
مقاومت
دیود

مقاومت استاتیکی (DC): مقاومت دیود در یک نقطه کار بخصوص را گویند.

$$R_{DC} = \frac{V_D}{I_D}$$

ولتاژ نقطه کار
جریان نقطه کار

مثال ۲: برای مشخصه شکل زیر مقاومت DC دیود را در جریانهای ۲۰ و ۲ میلی آمپر و ۲ میکرو آمپر بدست آورید؟



$$R_{DC} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8}{20mA} = 40 \Omega$$

$$R_{DC} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.5}{2mA} = 250 \Omega$$

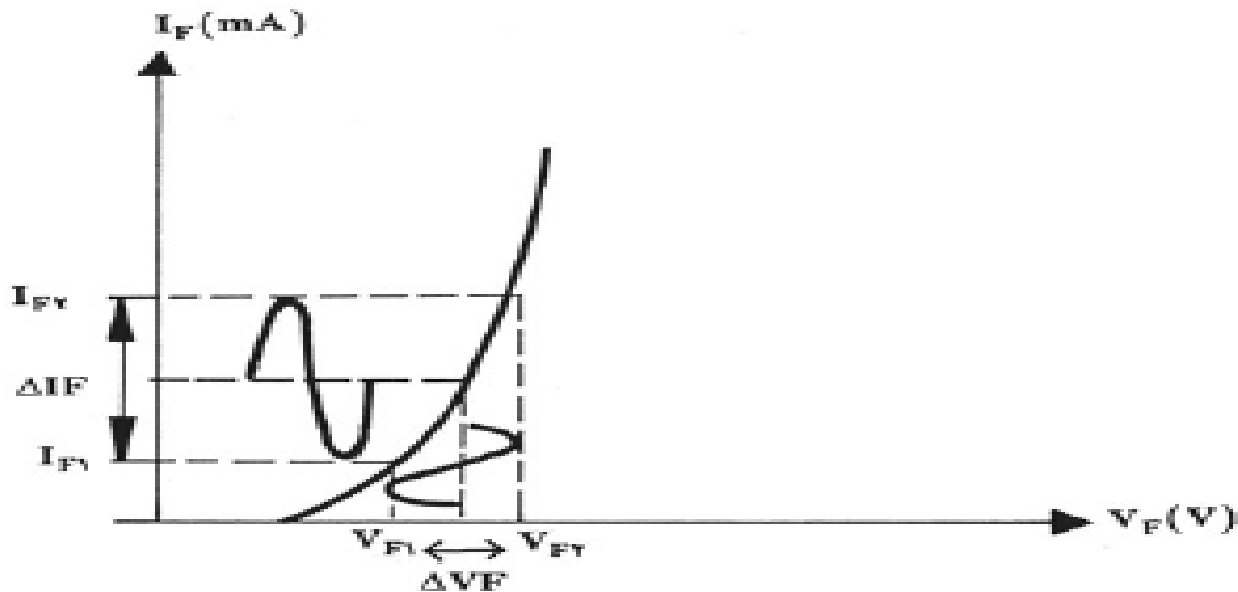
$$R_{DC} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{-10}{-2\mu A} = 5 M \Omega$$

مقاومت دینامیکی دیود: مقاومت دیود در مقابل جریان متناوب را گویند از رابطه زیر بدست می آید.

$$r_{ac} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$$

تغییرات ولتاژ حول نقطه کار
تغییرات جریان حول نقطه کار

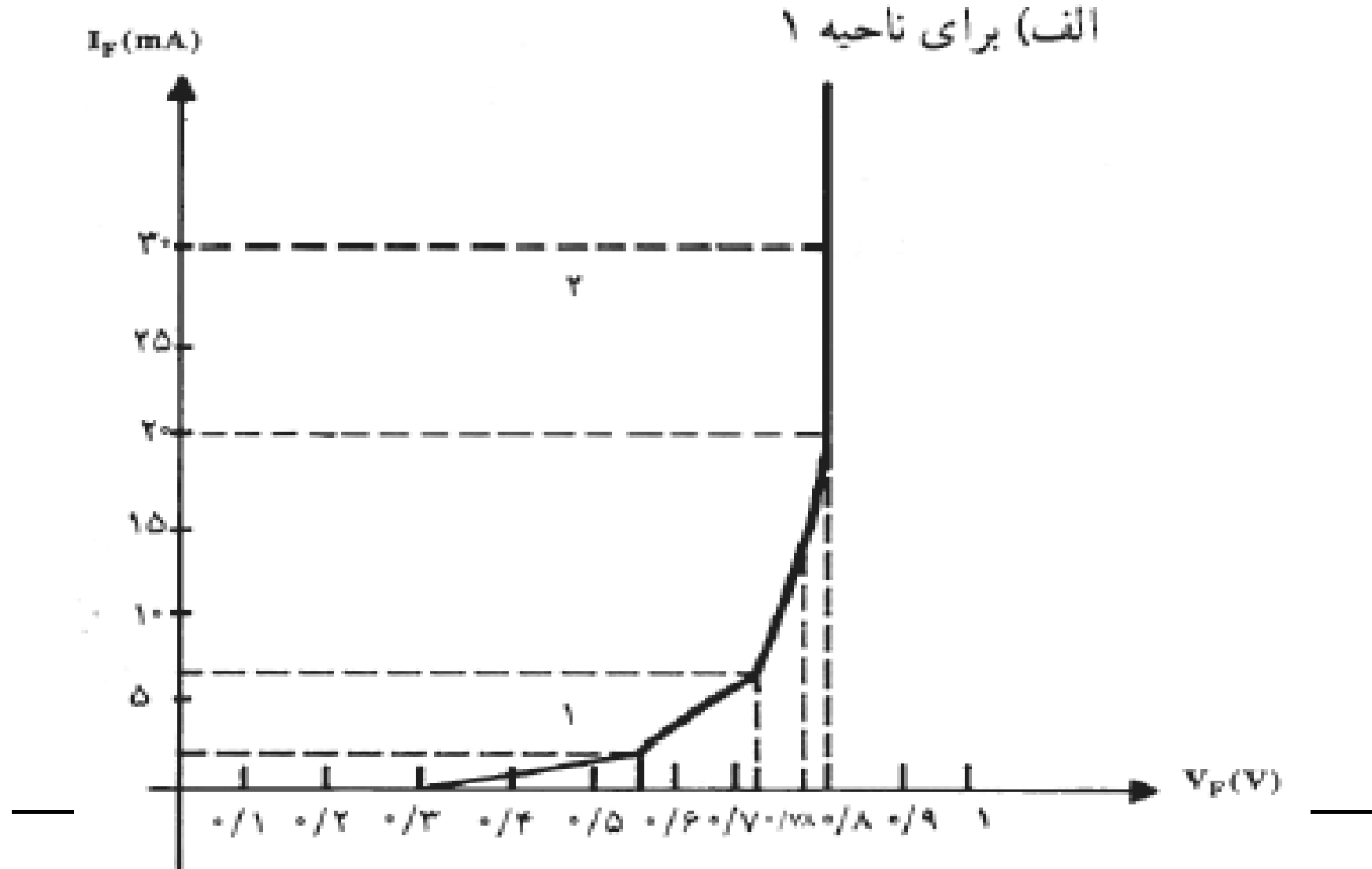
$$r_{ac} = \frac{V_{F1} - V_{F2}}{I_{F1} - I_{F2}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$



شکل ۱۶-۳- نمایش مقاومت دینامیکی

مثال ۳: برای مشخصه دیودی شکل زیر مطلوب است:

الف- مقاومت دینامیکی در ناحیه ۱ ب- مقاومت دینامیکی در ناحیه ۲ ج- مقایسه بین دو ناحیه



■ توجه : مقاومت دینامیکی را با r_d نیز نمایش می دهند.

حل: الف- در ناحیه یک داریم

$$\Delta V_D = V_{D1} - V_{D2} = 0.72 - 0.57 = 0.15 \text{ v}$$
$$\Delta I_D = I_{D1} - I_{D2} = 6 - 2 = 4 \text{ mA}$$
$$r_{d1} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0.15}{4} = 37.5 \Omega$$

ب- در ناحیه 2 داریم

$$\Delta V_D = V_{D1} - V_{D2} = 0.8 - 0.78 = 0.02 \text{ v}$$
$$\Delta I_D = I_{D1} - I_{D2} = 30 - 20 = 10 \text{ mA}$$
$$r_{d2} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0.02}{10} = 2 \Omega$$

$$\frac{r_{d1}}{r_{d2}} = \frac{37.5}{2} = 18.75$$

ج- از مقایسه مقاومت دینامیکی دو ناحیه داریم

مقاومت دینامیکی را با داشتن مشخصات نقطه کار بدست می آورند و نیازی به داشتن منحنی مشخصه دیود نیست طبق تعریف مشتق در ریاضی و با توجه به معادله شوکلی رابطه مقاومت دینامیکی عبارتند از:

$$r_d = \frac{\Delta v_d}{\Delta I_d} = \frac{26(mv)}{I_d(mA)}$$

این رابطه در قسمت صعودی منحنی درست است

مقاومت دینامیکی برابر عکس شیب خط مماس بر منحنی مشخصه در نقطه کار است

در عمل مقاومت اتصال پایه ها و غیره در نیمه هادی به مقاومت دینامیکی اضافه می شود

$$r'_d = \frac{\Delta v_d}{\Delta I_d} = \frac{26(mv)}{I_d(mA)} + r_B$$

← r_B مقاومت اتصالات

نکات

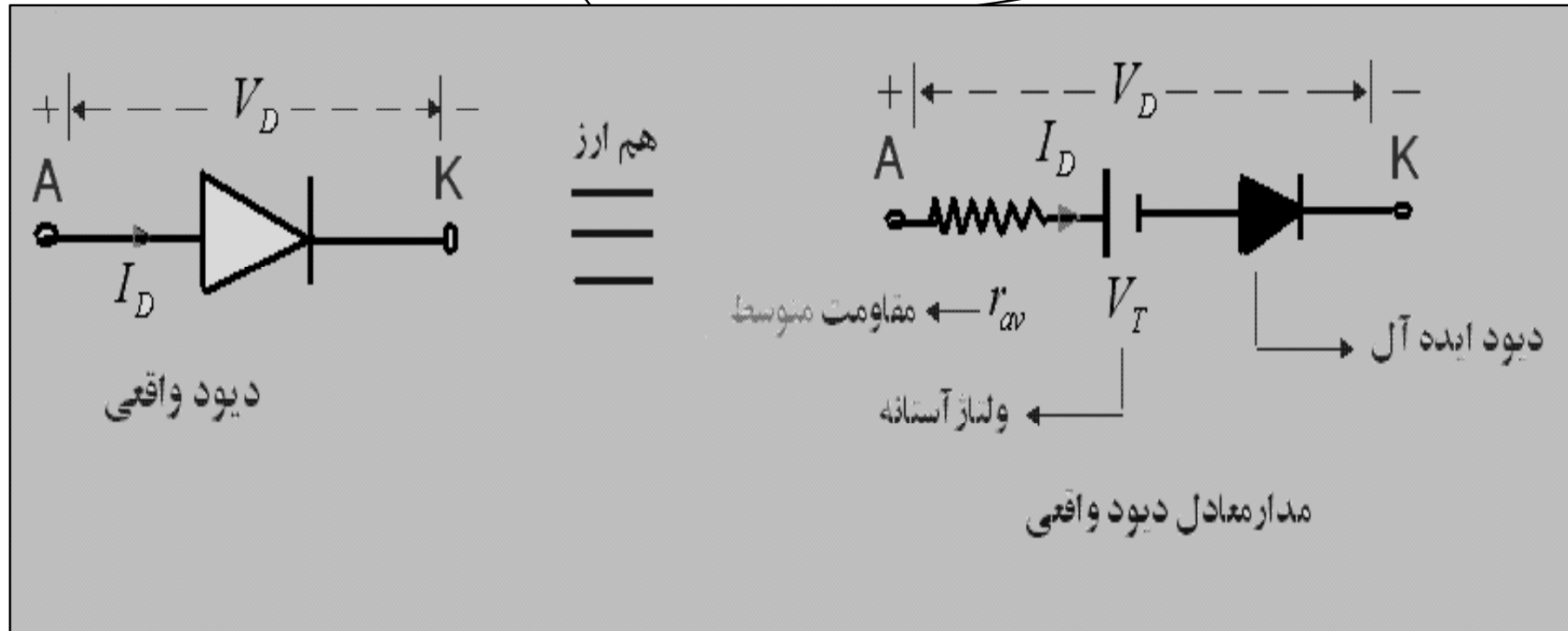
مقاومت متوسط r_{av}

تعریف: اگر سیگنال ورودی بقدر کافی بزرگ باشد بطوری که بتواند تغییرات مشخصی در منحنی مشخصه دیود ایجاد کند مقاومت مربوط به قطعه در این ناحیه را مقاومت متوسط گویند

$$r_{av} = \frac{\Delta v_d}{\Delta I_d} \Big|_{\text{point to point}} \longleftarrow \text{نقطه به نقطه}$$

سؤال: تفاوت بین مقاومت دینامیکی و مقاومت متوسط چیست؟

مدار معادل دیود واقعی



نکته بسیار مهم: با توجه به مقدار منبع و مقاومتهای موجود در مدارات دیودی می توان از تقریب مناسب استفاده کرد. که به این مدار معادل، مدار معادل خطی-تکه ای گویند.

چگونگی حل مسائل دیودی

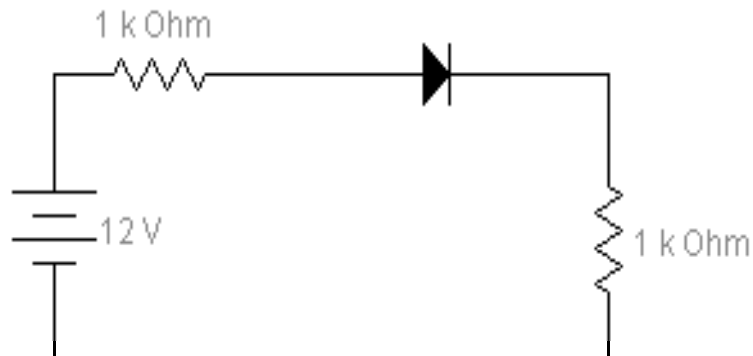
■ جهت حل مسائل مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید

۱- مدار معادل مناسب را با توجه به تقریب، برای دیود در نظر بگیرید

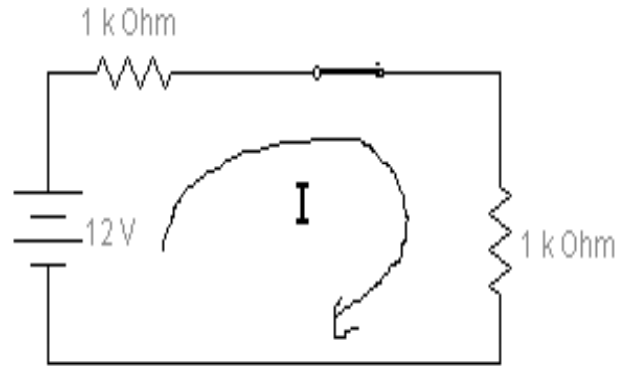
۲- نوع بایاس دیود را مشخص کنید (به جای دیود ایده آل کلید باز یا بسته رسم کنید)

۳- مسئله را از دیدگاه مداری حل نموده و خواسته را پیدا کنید.

مثال 5: در مدار شکل زیر جریان و ولتاژ دیود را پیدا کنید؟



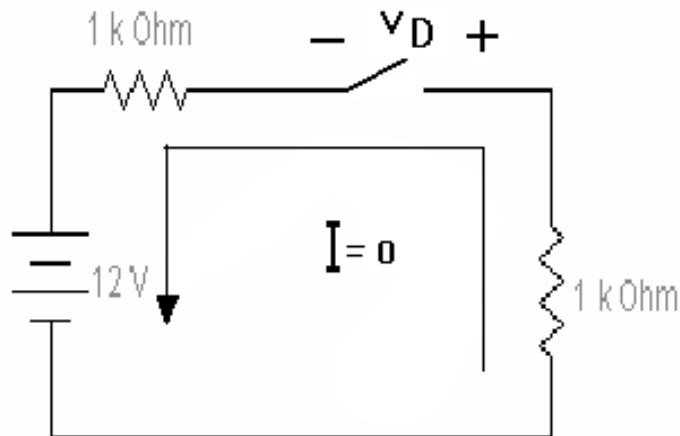
حل: دیود ایده آل است و در بایاس مستقیم قرار دارد پس مانند یک کلید بسته است



$$I = \frac{12}{1+1} = 6 \text{ mA} \Rightarrow I_D = 6 \text{ mA}$$

$V_D = 0 \rightarrow$ چون دیود ایده آل است

مثال 6: در مسئله قبل جهت دیود را عوض نموده و مجدداً حل کنید؟



$$I = 0 \text{ mA} \Rightarrow I_D = 0 \text{ mA}$$

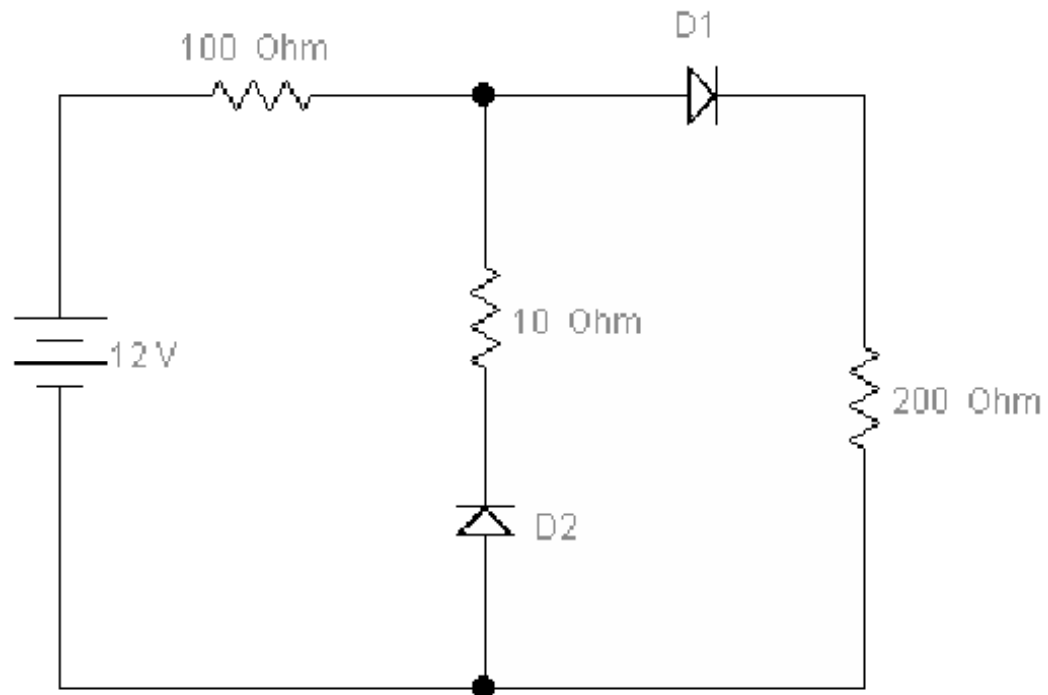
$$V_D = -12 \text{ v} \rightarrow$$

توجه: در هر دو حالت توان مصرفی دیود صفر است زیرا دیود ایده آل است.

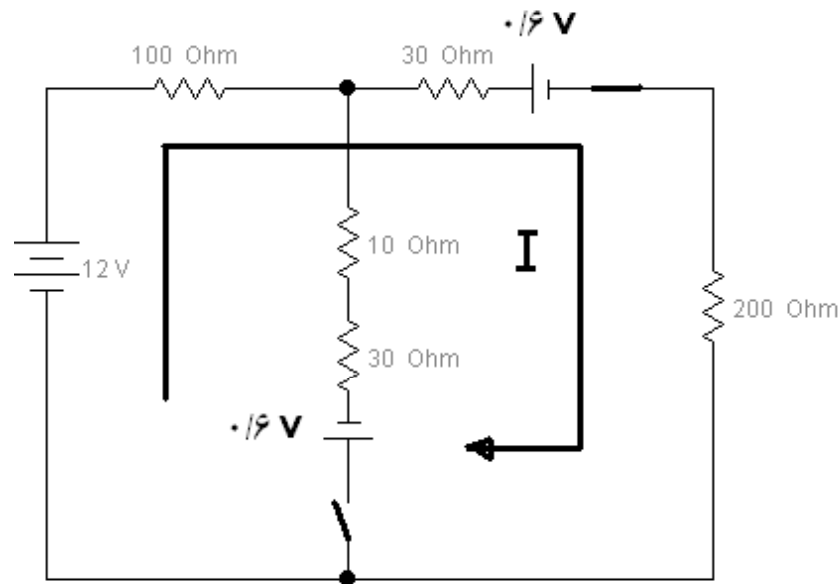
مثال ۷: در مدار شکل زیر دیودها مشابه اند جریان و ولتاژ دیودها را پیدا کنید؟

$$r_{av} = 30 \Omega$$

$$V_T = 0.6 \text{ v}$$



حل: مدار معادل دیودها را جایگزین می کنیم دیود D1 در بایاس موافق و دیود D2 در بایاس معکوس است.



$$kvl : -12 + 100 I + 30 I + 0.6 + 200 I = 0$$

$$\Rightarrow I = \frac{11.4}{330} = 34.55 \text{ m A}$$

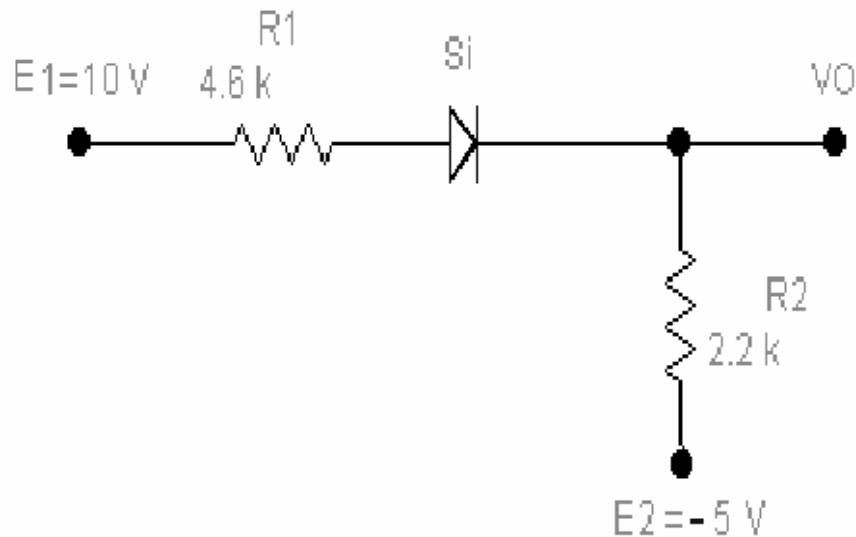
$$V_{D1} = 30 I + 0.6 = 30 \times 0.03455 + 0.6 = 1.636 \text{ V}$$

$$I_{D2} = 0$$

$$V_{D2} = -(30 I + 0.6 + 200 I) = -(230 \times 0.03455 + 0.6)$$

$$= -8.5465 \text{ v}$$

مثال ۸: مقدار I و V_o را تعیین کنید



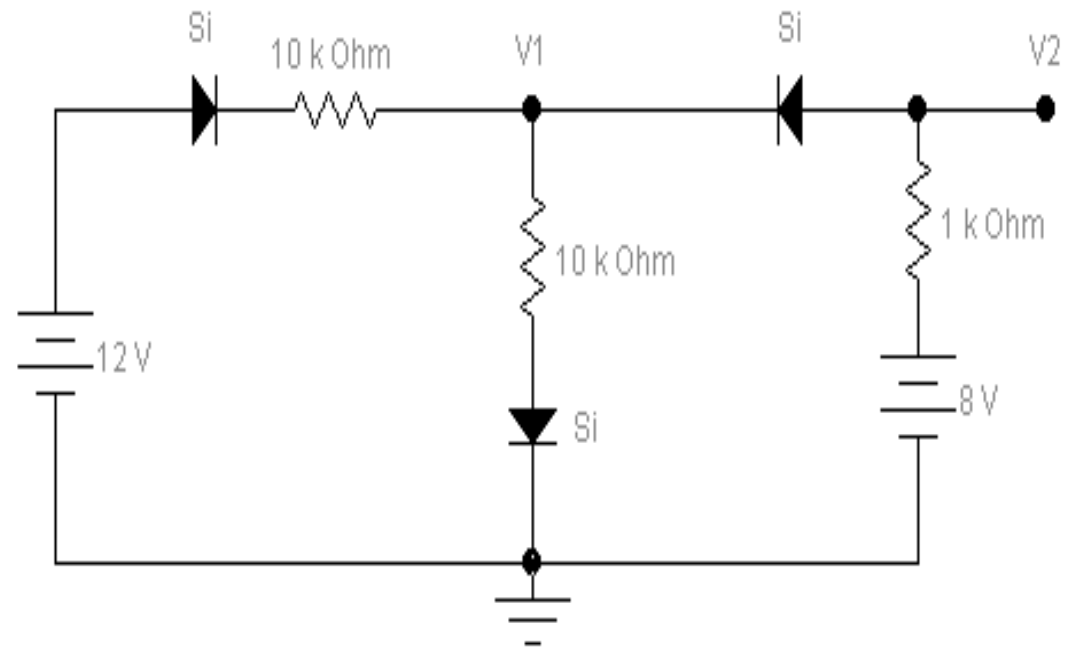
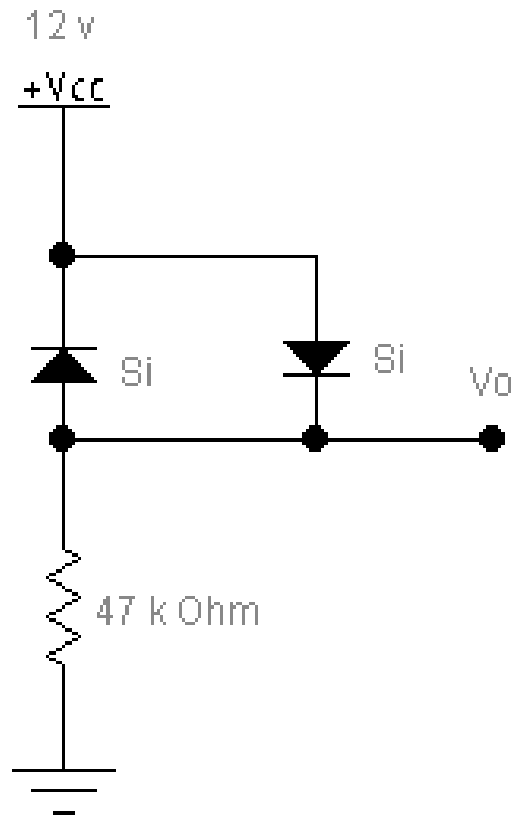
$$KVL : -E_1 + 4.6I + V_T + 2.2I + E_2 = 0$$

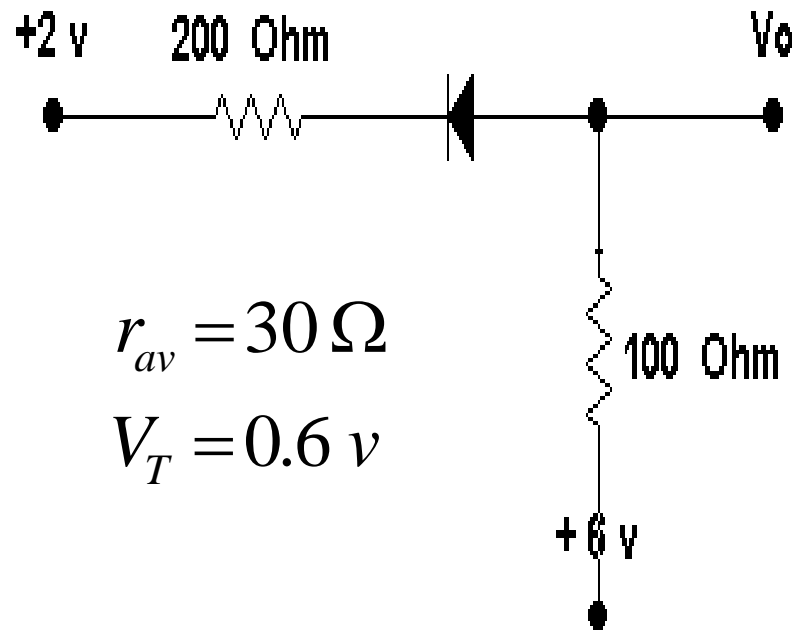
$$-10 + 4.6I + 0.7 + 2.2I + (-5) = 0$$

$$\Rightarrow I = 2.1 \text{ mA}$$

$$V_o = 2.2I - 5 = 2.2 \times 2.1 - 5 = -0.38 \text{ V}$$

تمرین کلاسی: در هر شکل V_1 , V_2 , V_o پیدا کنید؟





$r_{av} = 30\ \Omega$
 $V_T = 0.6\ \text{V}$

