

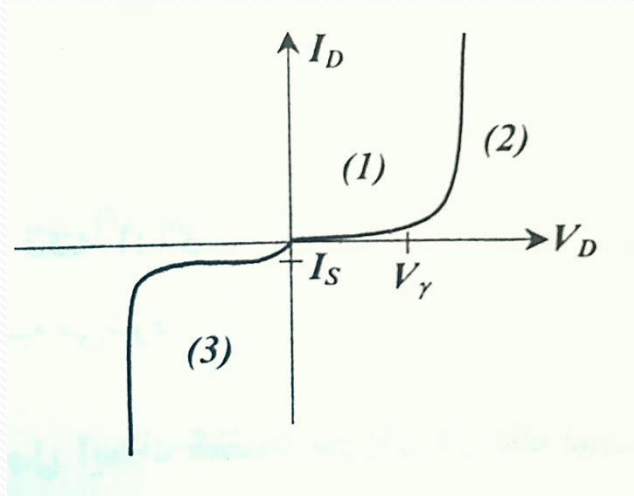
الکترونیک ۱

جلسه دوم

مدرس : سجاد قراگوزلو حصاری

دانشکده فنی انقلاب اسلامی

منحنی مشخصه دیود



ناحیه ۱:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

$$V_T = \frac{Kq}{T}$$

I_D : جریان عبوری از دیود

K : ثابت بولتزمن ($1/38 \times 10^{-23}$)

V_T : ولتاژ معادل حرارتی که در دمای اتاق 25 mV می باشد

V_D : ولتاژ دو سر دیود

I_S : جریان اشباع معکوس

Q : بار الکترون ($1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

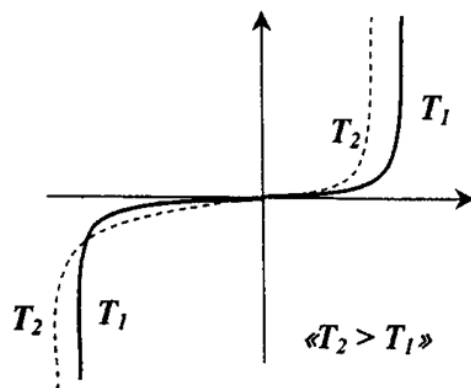
η : ضریب ثابت

ناحیه ۳:

$$I_D = -I_S$$

ناحیه ۲:

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right)$$



تغییرات منحنی (I – V) دیود با تغییرات دما :

منحنی ولت آمپر دیود با تغییرات دمای محیط از سمت راست به سمت چپ حرکت می کند. یا به عبارتی می توان گفت که با افزایش دمای محیط V_γ کم و I_s افزایش دارد.

ولتاژ شکست معکوس دیود یا PIV :

حداکثر ولتاژی را که می توان به طور معکوس دو سر دیود اعمال کرد تا حدی که دیود آسیب نبیند ولتاژ شکست معکوس دیود می نامند.

ولتاژ هدایت دیود در گرایش مستقیم یا V_γ :

حداقل ولتاژ لازم برای روشن شدن دیود در بایاس مستقیم که دو سر دیود افت پیدا می کند را V_γ می نامند.

ناحیه شکست زنری :

اگر ولتاژ معکوس دو سر دیود از PIV کمی زیادتر شود دیود وارد ناحیه شکست زنری می شود. و جریان در جهت عکس I_D شروع به زیاد شدن می کند.

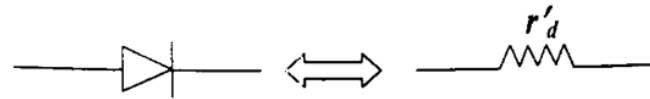
ناحیه شکست بهمنی :

اگر ولتاژ معکوس دو سر دیود از ولتاژ لازم برای شکست زنری زیادتر شود دیود وارد ناحیه شکست بهمنی می شود. و شبکه کریستالی دیود آسیب دیده و جریان دیود بسیار زیاد می شود.

مدار معادل دیود

الف) مدار معادل دیود در حالت کار با ولتاژ AC :

مدار معادل دیود در حالت کار با ولتاژ AC به صورت زیر است :



r_B : مقاومت بدنه دیود

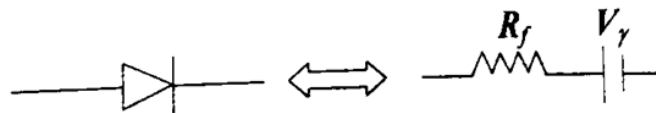
$$r_d = \frac{\delta V_d}{\delta I_d} = \frac{\eta V_T}{I_D}, \quad r'_d = r_d + r_B$$

r'_d : مقاومت دینامیکی دیود.

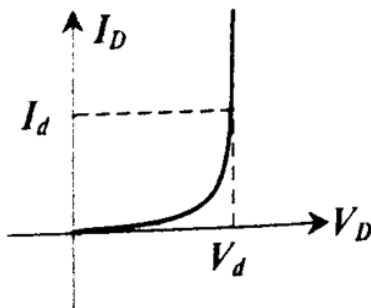
اگر r_B صفر فرض شود در نتیجه داریم : $(r_d = r'_d)$

ب) مدار معادل دیود در حالت کار با ولتاژ DC :

مدار معادل دیود در حالت کار با ولتاژ DC به صورت زیر است :

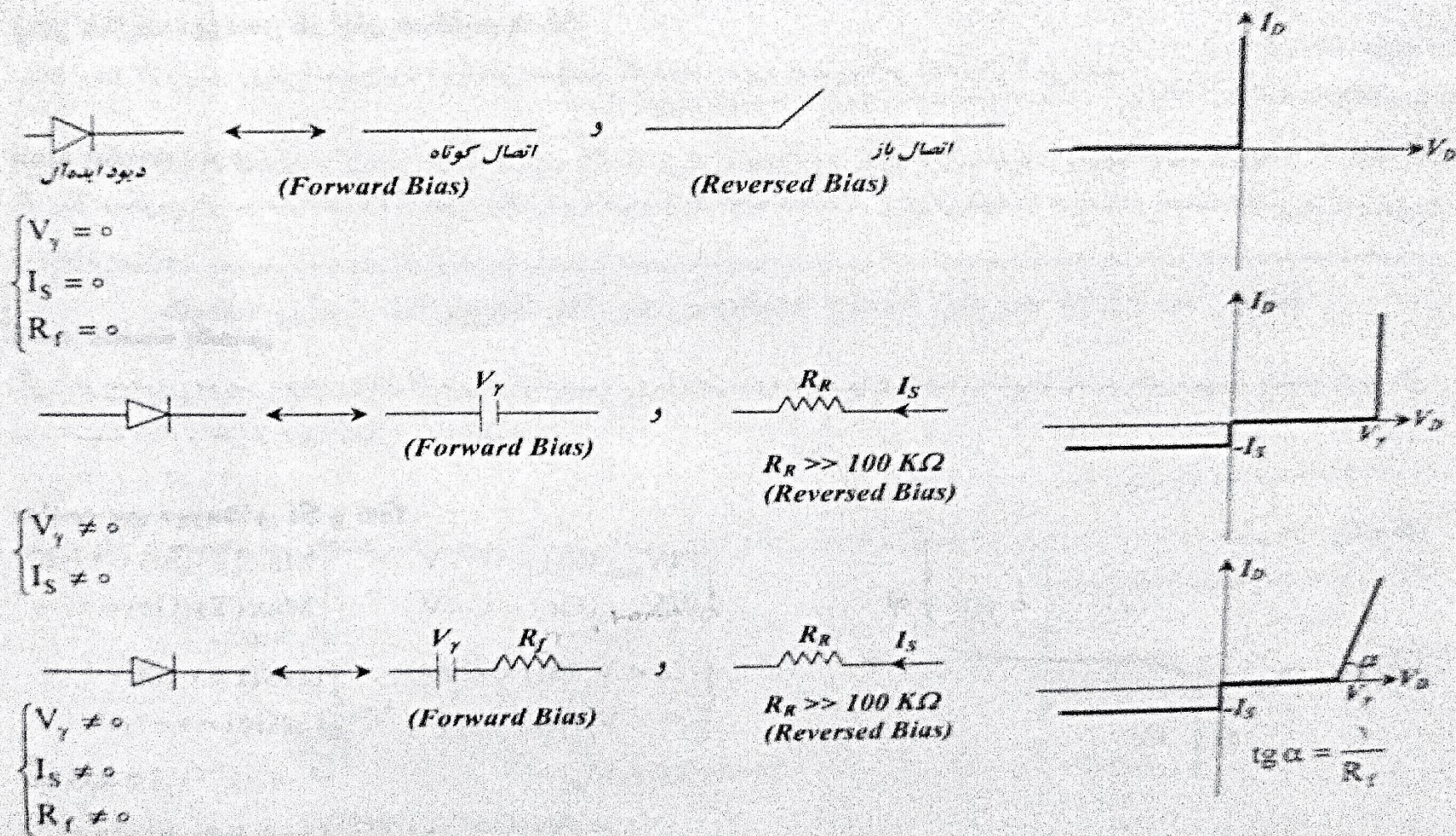


R_f : مقاومت استاتیکی دیود

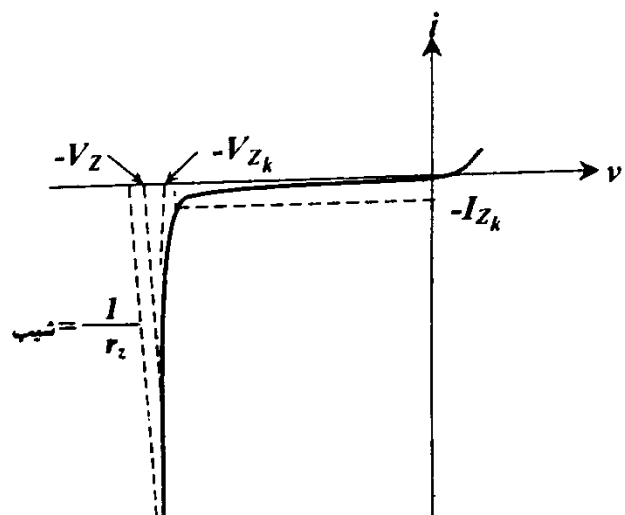
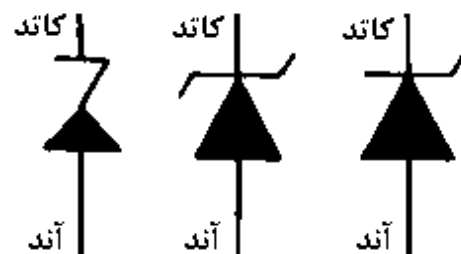


$$R_f = \frac{V_D}{I_D}$$

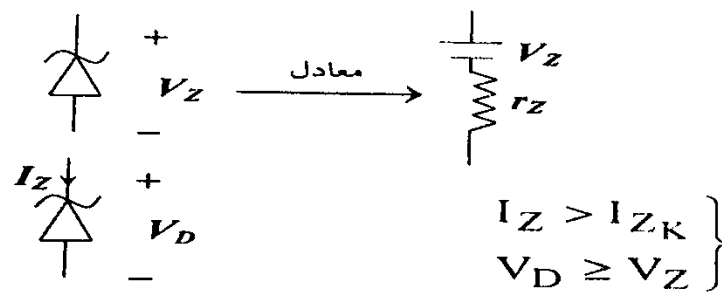
مدار معادل دیود و منحنی های مربوطه در حالت های مختلف



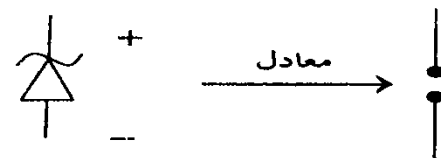
دیود زener



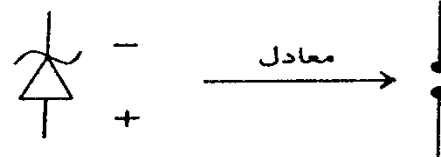
ناحیه ۱



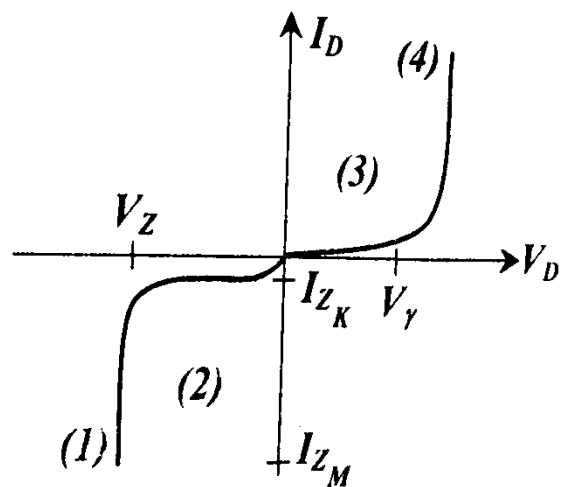
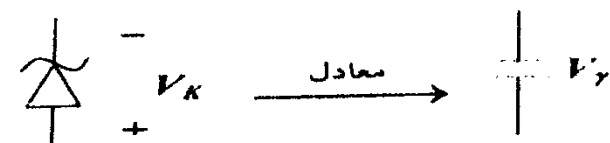
ناحیه ۲



ناحیه ۳



ناحیه ۴



رابطه توان تلفاتی در دیود زener

I_Z : جریان عبوری از دیود زener

$$P_Z = V_{Z_n} \cdot I_Z$$

محدودیت‌ها در کارکرد دیود زener

$I_{Z_{max}}$: حداکثر جریان عبوری از دیود زener

$$I_{Z_{min}} < I_Z < I_{Z_{max}}$$

$I_{Z_{min}}$: حداقل جریان عبوری از دیود زener برای روشن ماندن

$$P_Z < P_{Z_{max}}$$

$P_{Z_{max}}$: حداکثر توان قابل تحمل دیود زener ($P_{Z_{max}} = I_{Z_{max}} \cdot V_Z$)

تغییرات ولتاژ زener با تغییرات دمای محیط :

V_{Z_n} : ولتاژ نامی دیود زener

$$T_C = \frac{\Delta V_Z}{V_{Z_n} \cdot \Delta T}$$

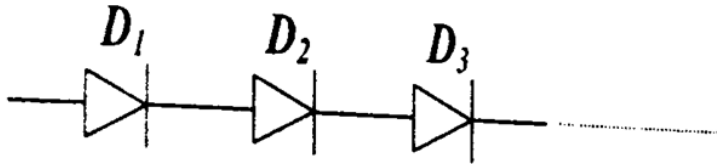
ΔT : تغییرات دمای محیط

$$\Delta V_Z = T_C \cdot V_{Z_n} \cdot (T_r - T_n)$$

$$\begin{cases} \text{if } T_C > 0 & \Rightarrow V_{Z_{new}} = V_{Z_n} + \Delta V_Z \quad (\text{برای شکست بهمنی}) \\ \text{if } T_C < 0 & \Rightarrow V_{Z_{new}} = V_{Z_n} - \Delta V_Z \quad (\text{برای شکست زنری}) \end{cases}$$

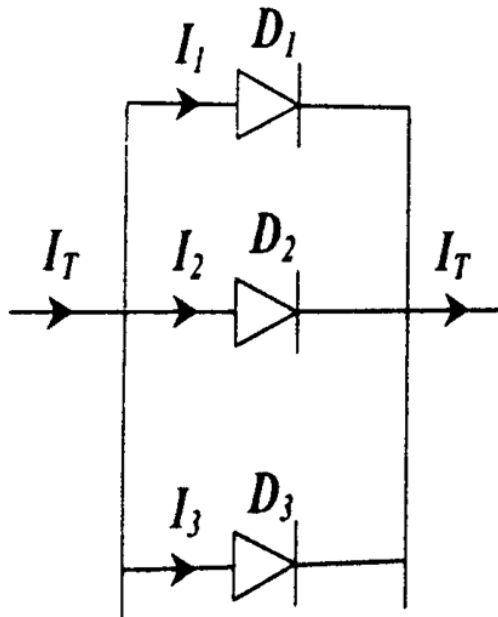
T_C : ضریب حرارتی دیود زener

سری و موازی کردن دیودها



هدف از سری کردن دیودها، افزایش PIV در دیود معادل آنهاست
به نحوی که:

$$PIV_T = PIV_1 + PIV_2 + \dots$$



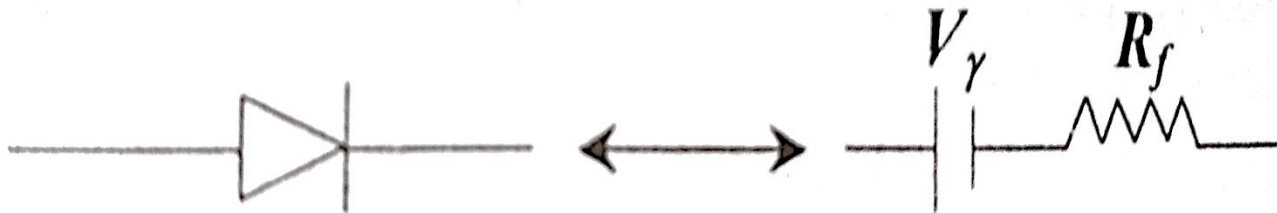
هدف از موازی کردن دیودها افزایش جریان عبوری از کل مجموعه
دیودهاست به نحوی که:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

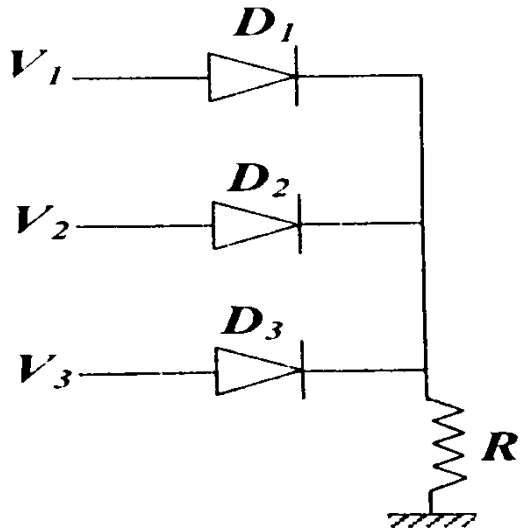
نکات مهم در تحلیل مسائل دیودی



$$V_A \geq V_K + V_\gamma$$

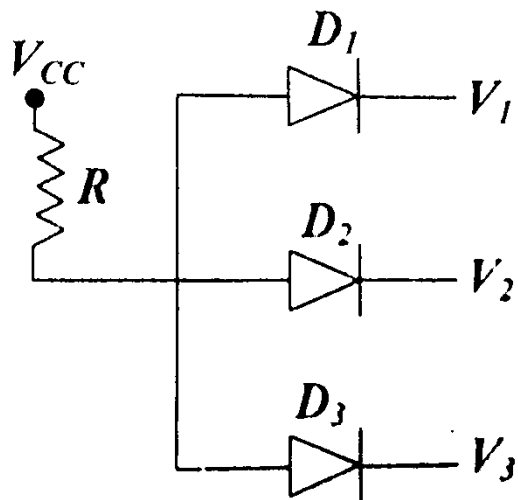


نکات مهم در تحلیل مسائل دیودی



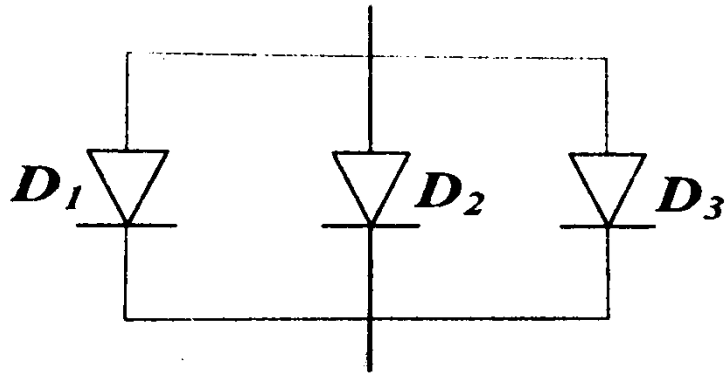
$$V_1 > V_2 > V_3$$

$$\Rightarrow \begin{cases} D_1 & \text{on} \\ D_2, D_3 & \text{off} \end{cases}$$

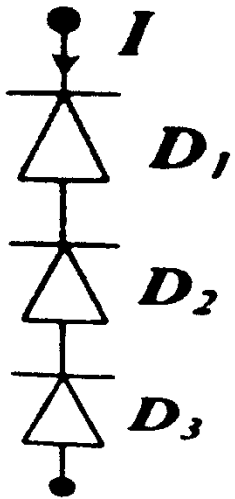


$$V_{CC} > V_1 > V_2 > V_3 \Rightarrow \begin{cases} D_3 & \text{on} \\ D_1, D_2 & \text{off} \end{cases}$$

نکات مهم در تحلیل مسائل دیودی

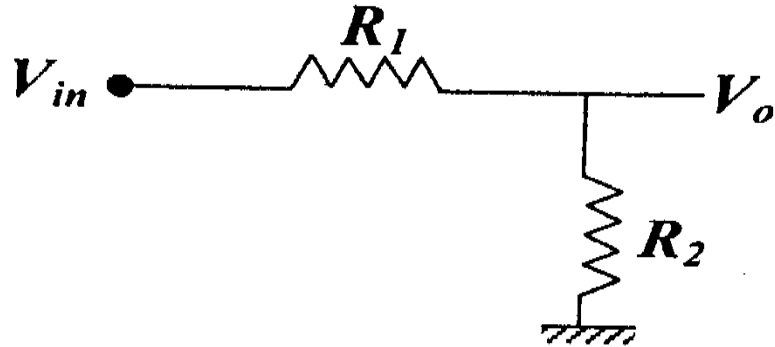


$$V_{\gamma}(D_1) > V_{\gamma}(D_2) > V_{\gamma}(D_3) \Rightarrow \begin{cases} D_1, D_2 \text{ (off)} \\ D_3 \text{ (on)} \end{cases}$$

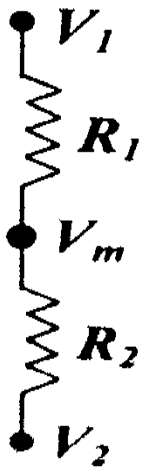


$$I_S(D_1) > I_S(D_2) > I_S(D_3) \Rightarrow I = I_S(D_3)$$

نکات مهم در تحلیل مسائل دیودی

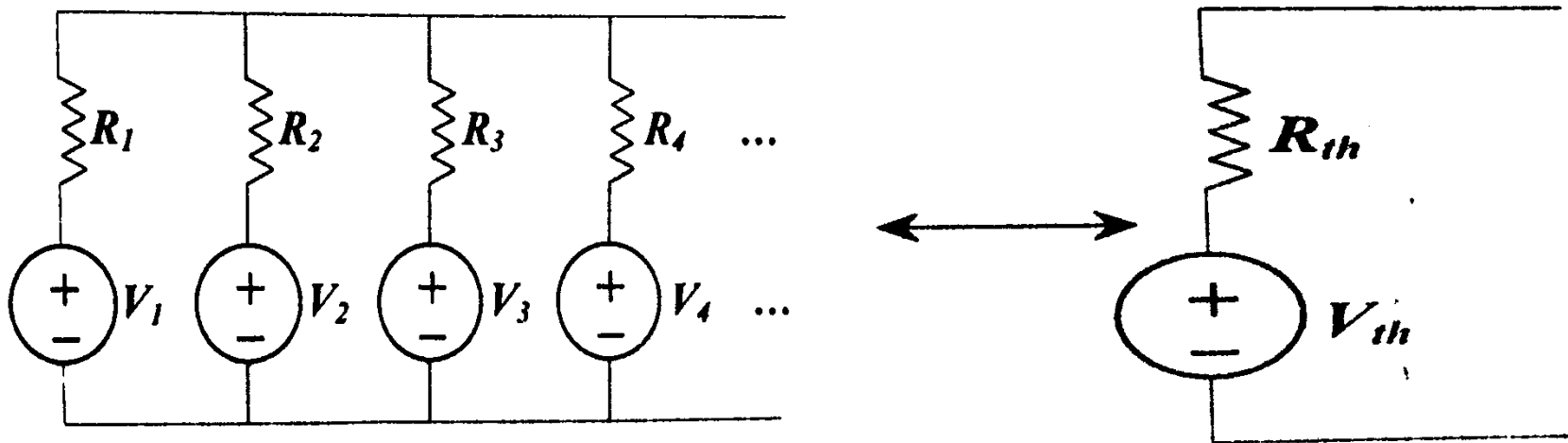


$$V_o = \frac{V_{in} \times R_2}{R_1 + R_2}$$



$$V_m = \frac{V_1 \times R_2 + V_2 \times R_1}{R_1 + R_2}$$

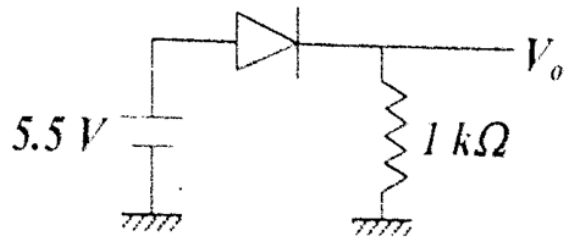
نکات مهم در تحلیل مسائل دیودی



$$R_{th} = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \parallel \dots$$

$$V_{th} = R_{th} \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \dots \right)$$

مثال : در مدار روبرو ولتاژ خروجی و جریان دیود را حساب کنید.

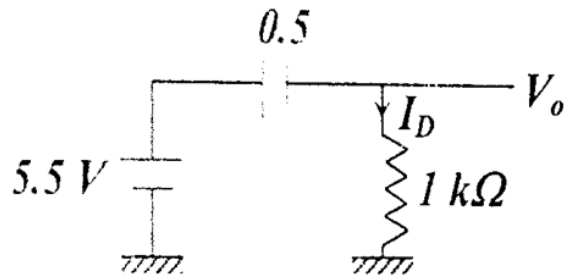


$$V_f = 0.5 V$$

$$I_S = 1 nA$$

✓ پاسخ : باتوجه به اینکه ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت تر است ،

لذا دیود در گرایش مستقیم بایاس شده است ، بنابراین داریم :



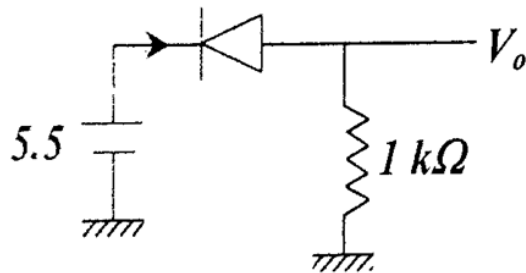
$$I_D = \frac{5/5 - 0/5}{1K\Omega} = 5mA$$

$$V_O = I_D \times 1K\Omega = 5 \times 1 = 5V$$

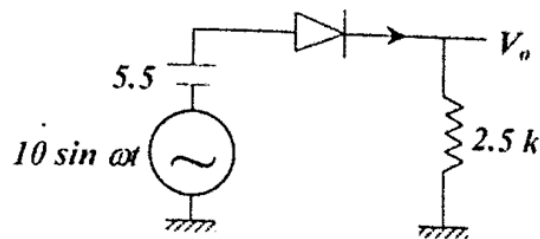
حال فرض شود که دیود به صورت معکوس در مدار باشد آنگاه حل مسئله به صورت زیر است :

باید توجه شود که چون دیود در این حالت در گرایش معکوس

بایاس شده است جریان I_S از کاتد به سمت آند در آن جریان دارد.

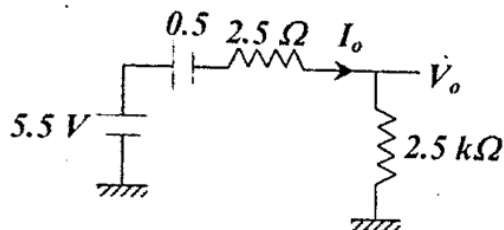


$$I_D = -I_S = -1nA \quad , \quad V_O = I_S \times 1K\Omega = 1 \times 1 = 1 \times 10^{-6} V$$



مثال : جریان و ولتاژ خروجی را در مدار زیر به دست آورید.

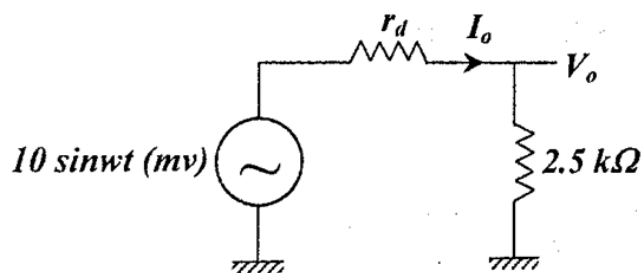
$V_f = 0.5 V$
 $R_f = 2.5 \Omega$
 $\eta = 1$
 $V_T = 26 mV$



$$I_{O_{DC}} = \frac{0.5 - 0.5}{2.5 + 2500} \approx 2 mA, \quad V_o(DC) = I_o \times 2.5k = 2 \times 2.5 \approx 5V$$

پاسخ: ☒ برای تحلیل مدار بالا باید مدار در دو حالت ac و dc تحلیل شود. لازم به ذکر است که ابتدا تحلیل DC انجام می گیرد. در تحلیل DC منبع ولتاژ ac اتصال کوتاه می شود. با گذاشتن مدار معادل دیود در مدار داریم:

تحلیل ac: در این حالت منبع ولتاژ DC اتصال کوتاه می شود و معادل ac دیود در مدار قرار می گیرد.



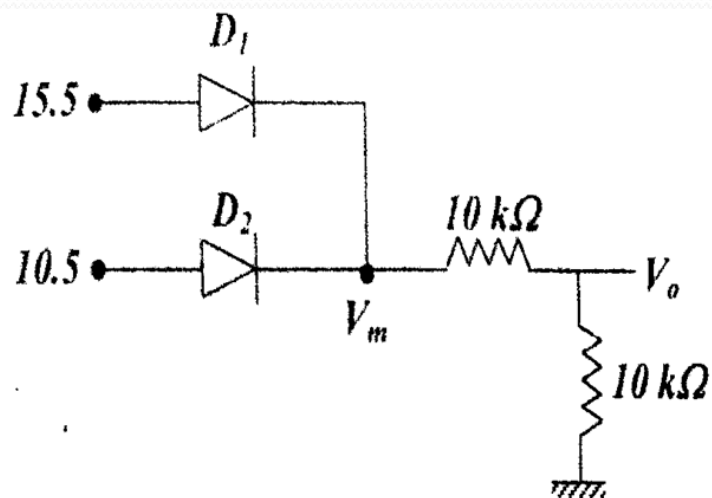
$$r_d = \frac{\eta \cdot V_T}{I_d} = \frac{1 \times 26 mV}{2 mA} = 13 \Omega$$

$$V_{o_{ac}} = \frac{10 \sin \omega t \times 2500}{r_d + 2500} = \frac{10 \sin \omega t \times 2500}{13 + 2500} = 9.94 \sin \omega t (mV)$$

$$I_{o_{ac}} = \frac{10 \sin \omega t}{2500 + 13} = 3.9 \sin \omega t (\mu A)$$

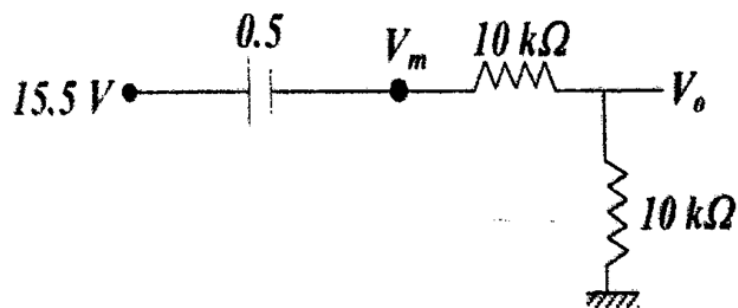
$$V_o = V_o(DC) + V_o(ac) = 5 + 9.94 \sin \omega t (mV)$$

$$I_o = I_{o(ac)} + I_{o(dc)} = 2 mA + 3.9 \sin \omega t (\mu A)$$



مثال : در مدار روبهرو کدام V_o کدام است؟ ($V_\gamma = 0.5$)

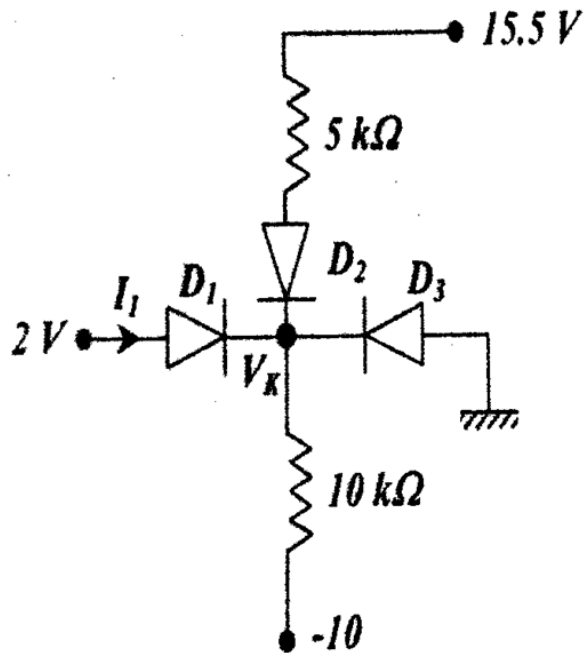
پاسخ: ☒ باتوجه به قضایای گفته شده در مورد دو دیود با کاتد مشترک داریم:



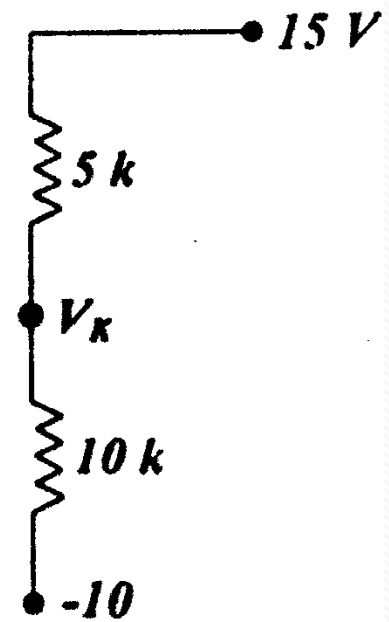
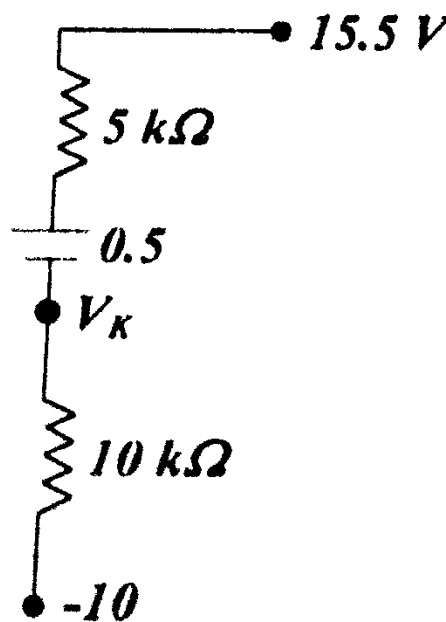
$$\begin{cases} D_1 & \text{on} \\ D_2 & \text{off} \end{cases}, \quad V_m = 15/5 - 0.5 = 15V$$

$$V_o = \frac{V_m \times 10K}{10K + 10K} = 7.5V$$

مثال: در مدار رویرو ولتاژ V_K و I_1 را حساب کنید. ($V_\gamma = 0.5$)



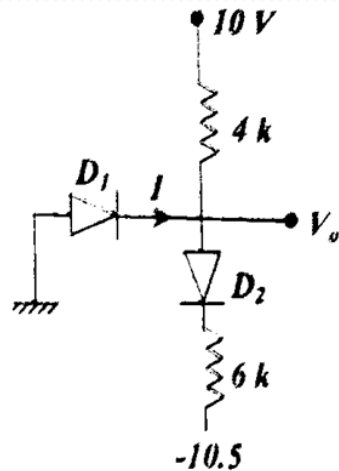
پاسخ:



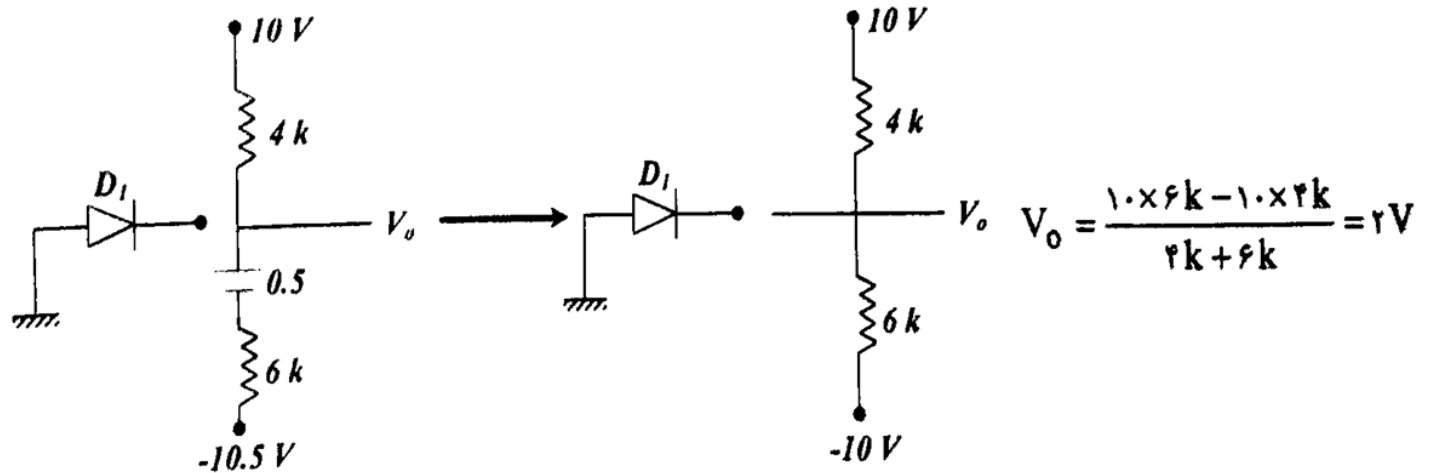
$$V_K = \frac{10 \times 10 - 10 \times 5}{10 + 5} \Rightarrow V_K = 6.66 \text{ V}$$

$$\begin{cases} V_K = 6.66 \text{ V} \\ I_1 = 0 \text{ (D}_1 \text{ off)} \end{cases}$$

مثال : دو مدار زیر مقدار V_o و I کدام است؟ ($V_f = 0.5$)

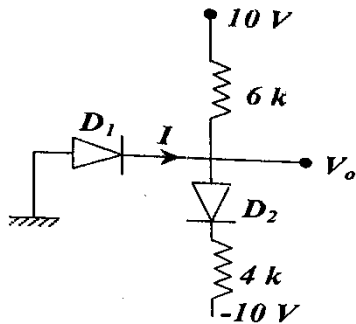


پاسخ : باتوجه به اینکه ولتاژ دو سر دیود D_2 از D_1 به صورت ظاهری زیادتر است دیود D_2 به عنوان دیود برتر انتخاب می شود و با فرض هدایت آن در مورد هدایت بقیه دیودها تصمیم گیری می شود لذا دیود D_1 از مدار جدا شده و V_o از تقسیم ولتاژ حساب می شود.



باتوجه به مقدار به دست آمده برای V_o امکان هدایت دیود D_1 وجود ندارد و در بایاس معکوس است لذا V_o همان ۲ ولت می ماند و $I = 0$ می شود.

مثال: در مدار زیر مقدار V_o و I کدام است؟ ($V_\gamma = 0$)



پاسخ: باتوجه به ولتاژ (آند - کاتد) دو سر دیودها دیود D_2 دیود برتر است لذا با فرض هدایت D_2 و باز کردن D_1 در مورد هدایت D_1 تصمیم می گیریم.

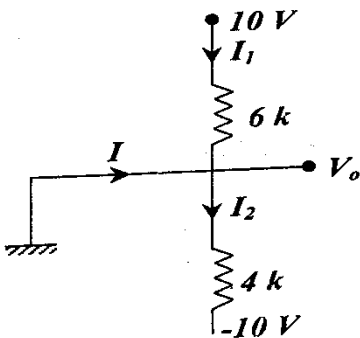
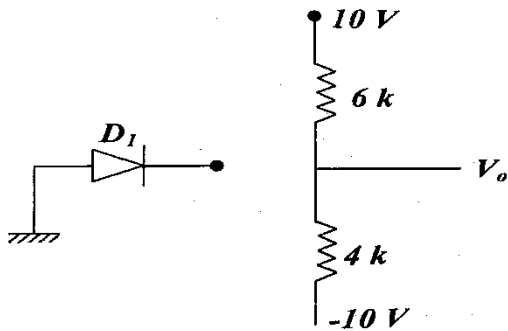
$$V_o = \frac{10 \times 4 - 10 \times 6}{6 + 4} = -2$$

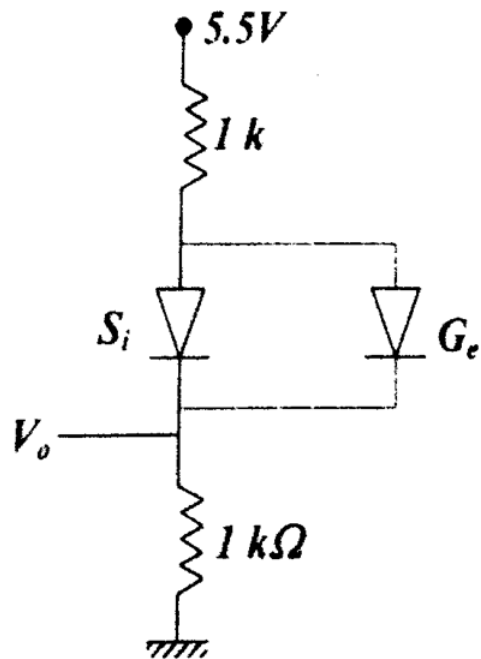
باتوجه به مقدار به دست آمده برای V_o دیود D_1 در بایاس مستقیم قرار گرفته و هدایت می کند. دقت شود چون $V_\gamma = 0$ است به جای دیودهای روشن (دیود D_1) اتصال کوتاه گذاشته می شود.

$$\Rightarrow V_o = 0$$

$$\text{KCL: } I_1 + I = I_2 \Rightarrow \frac{10 - 0}{6k} + I = \frac{0 - (-10)}{4k}$$

$$\Rightarrow I = 0.84 \text{ mA}$$

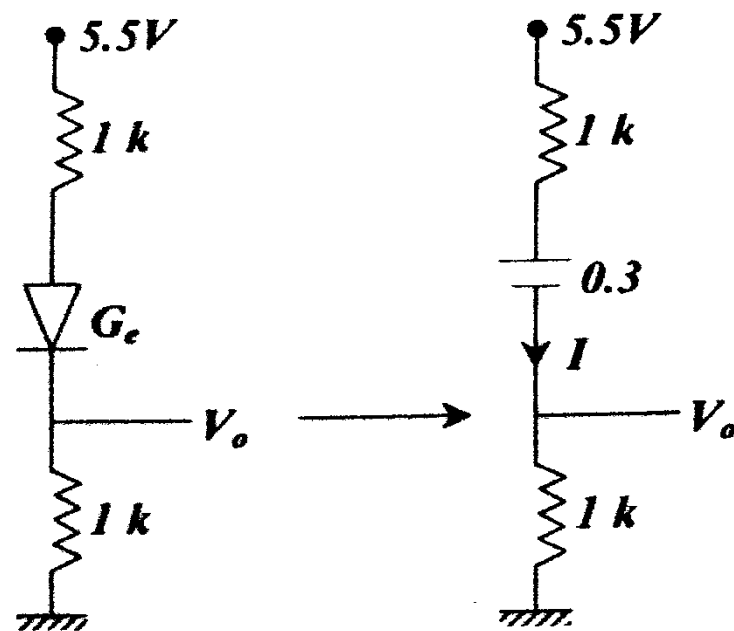




$$V_{\gamma}(Si) = 0.5$$

$$V_{\gamma}(Ge) = 0.3$$

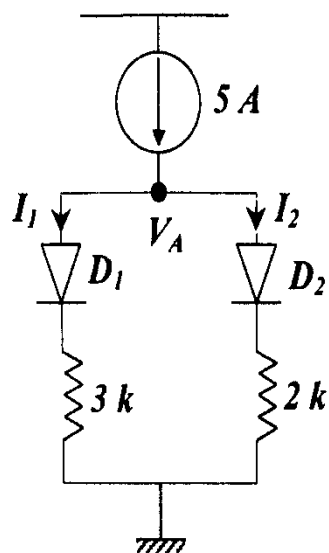
مثال : V_o در مدار روبهرو کدام است؟



$$I = \frac{5.5 - 0.5}{1K + 1K} = 2.5 \text{ mA}$$

$$V_o = 1K \times I = 1 \times 2.5 = 2.5 \text{ V}$$

مثال : مقادیر I_1 و I_2 را حساب کنید.

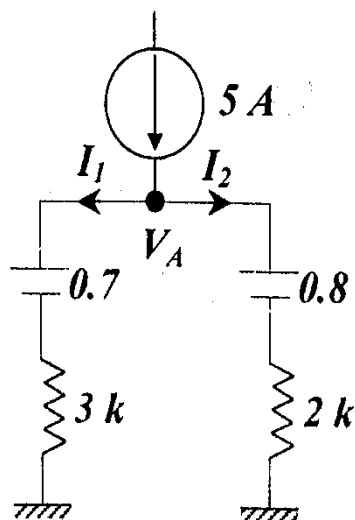


$$V_f(D_1) = 0.7$$

$$V_f(D_2) = 0.8$$

پاسخ :

در این مثال باتوجه به جریان زیاد 5 A و تولید ولتاژ زیاد در V_A هر دو دیود D_1 و D_2 هدایت می کنند.



$$I_1 + I_2 = 5A$$

$$V_A = 0.7 + 3K \times I_1$$

$$V_A = 0.8 + 2K \times I_2$$

$$\Rightarrow 0.7 + 3 \times I_1 = 0.8 + 2 \times I_2 = V_A$$

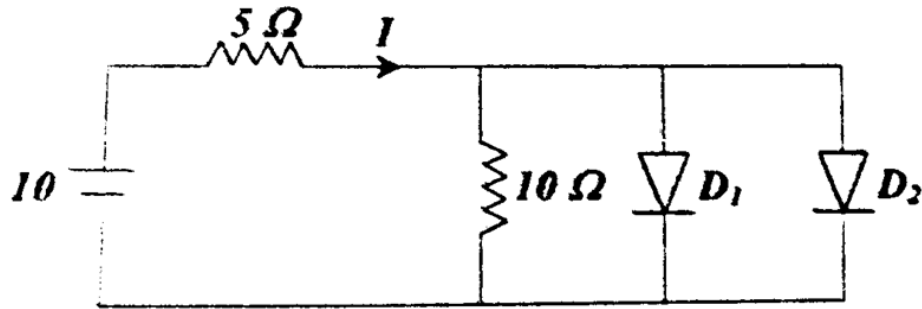
$$\begin{cases} I_1 + I_2 = 5A \\ 0.7 + 3I_1 = 0.8 + 2I_2 \end{cases}$$

$$\Rightarrow$$

$$I_1 = 2/0.2A$$

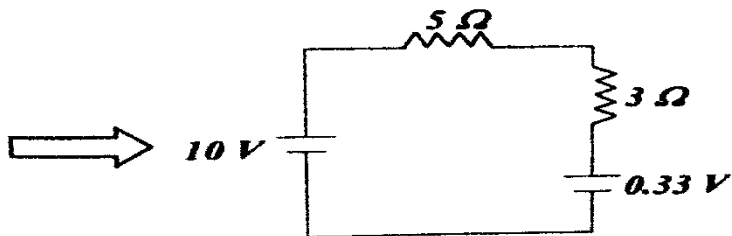
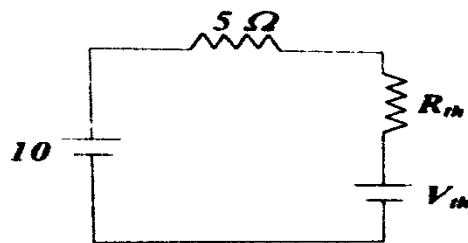
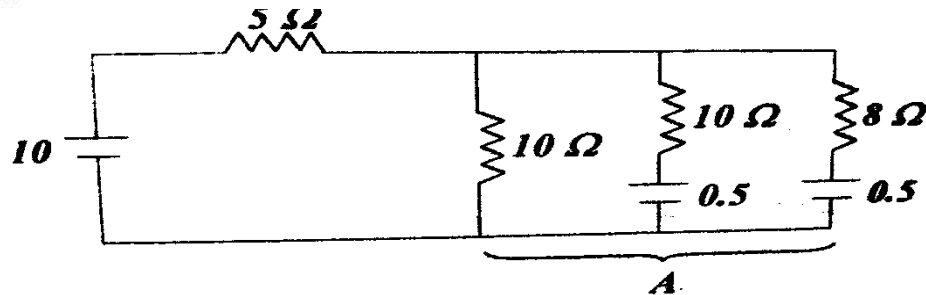
$$I_2 = 2/98A$$

مثال: در مدار روبرو مقدار جریان I را حساب کنید؟



$$D_1 \begin{cases} V_f = 0.5 \text{ V} \\ R_f = 10 \Omega \end{cases}$$

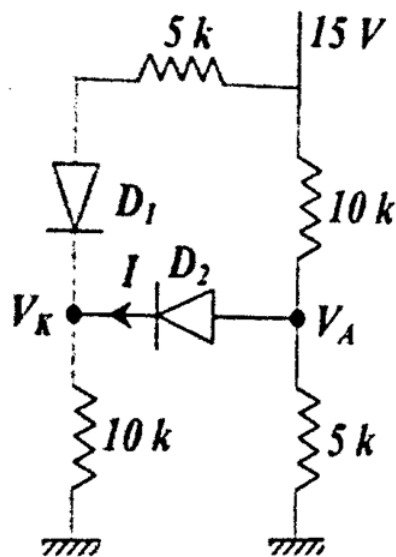
$$D_2 \begin{cases} V_f = 0.5 \text{ V} \\ R_f = 8 \Omega \end{cases}$$



$$R_{th} = 10 \parallel 10 \parallel 8 \approx 3 \Omega$$

$$V_{th} = 10 \times \left(0 + \frac{0.5}{10} + \frac{0.5}{8} \right) = 0.33$$

$$I = \frac{10 - 0.33}{5 + 3} = 1.2 \text{ A}$$



مثال : در مدار رویرو مقدار I کدام است؟ ($V_Y = 0$)

✓ پاسخ : چون مشخص نیست که کدام دیود هدایت می کند ، ابتدا V_K و V_A را حساب می کنیم تا هدایت یا عدم هدایت دیودها معین شود لذا ابتدا فرض می کنیم D_1 خاموش باشد و D_2 هدایت کند لذا به جای D_2 مدار باز و به جای D_1 اتصال کوتاه می گذاریم :

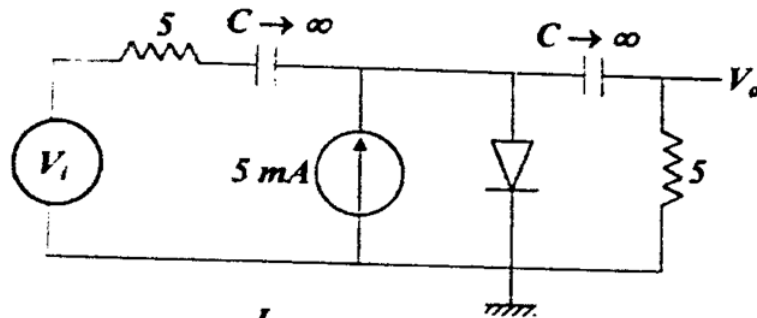
$$V_K = \frac{15 \times 10K}{10K + 5K} = 10V \quad \& \quad V_A = \frac{15 \times 5K}{5K + 10K} = 5V$$

چون V_{AK} دیود D_1 منفی می شود لذا دیود D_2 خاموش است و چون V_{AK} برای دیود D_1 مثبت می شود لذا دیود D_1 روشن می شود. پس فرض هدایت D_1 و عدم هدایت D_2 صحیح است.

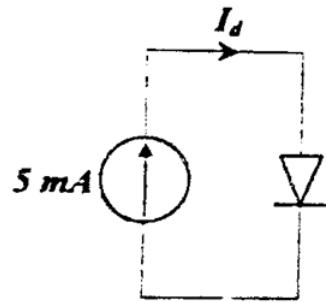
$$\begin{cases} D_1 : \text{on} \\ D_2 : \text{off} \end{cases}$$

$$D_2 : \text{off} \Rightarrow I = 0$$

مثال : در مدار رویرو V_o را حساب کنید.



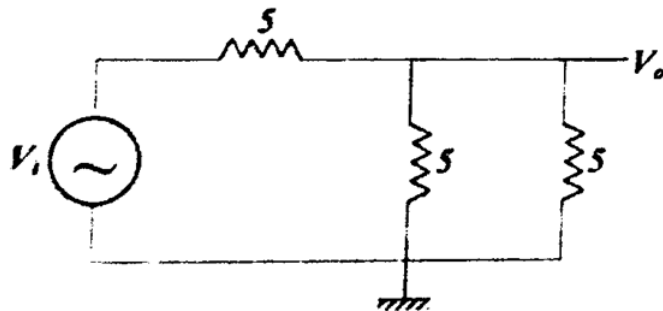
$$\begin{aligned} V_T &= 0.5 \text{ V} \\ V_T &= 25 \text{ mV} \\ V_i &= 100 \sin \omega t \text{ (mV)} \end{aligned}$$



✓ پاسخ : برای حل این مسئله ابتدا تحلیل DC در مدار انجام می دهیم. لازم به ذکر است در حالت DC خازن اتصال باز می باشد.

$$r_d = \frac{V_T}{I_d} = \frac{25 \text{ mV}}{5 \text{ mA}} = 5 \Omega$$

تحلیل ac : در حالت ac باتوجه به اینکه مقادیر خازن ها به سمت ∞ میل دارد به جای آنها اتصال کوتاه قرار می دهیم.

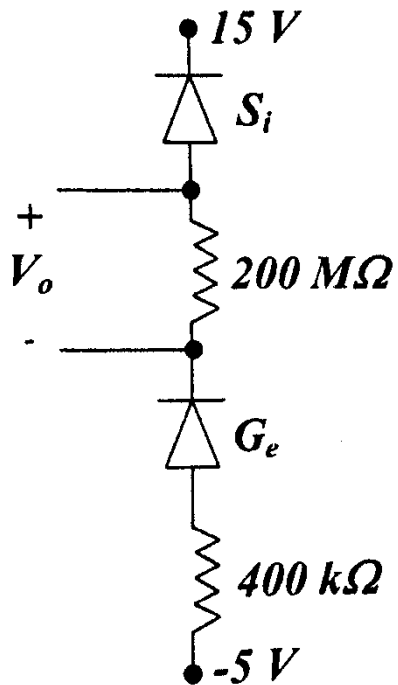


$$V_o = \frac{V_i \times (5 \parallel 5)}{5 \parallel 5 + 5}$$

$$\Rightarrow V_o = \frac{100 \sin \omega t \times 2.5}{2.5 + 5} = 33.33 \sin \omega t \text{ (mV)}$$

لازم به ذکر است که باتوجه به وجود خازن در مسیر خروجی ولتاژ خروجی دارای مؤلفه dc نمی باشد و فقط مؤلفه ac در خروجی وجود دارد.

مثال : در مدار روبرو مقدار V_o کدام است؟



$$I_S = (Si) = 5 \text{ nA}$$
$$I_S (Ge) = 0.9 \text{ } \mu\text{A}$$

$$I = I_S(Si) = 5 \text{ nA} \quad \& \quad V_o = I \times 200 \text{ M}\Omega = 5 \text{ nA} \times 200 \text{ M}\Omega = 1 \text{ V}$$