

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عنوان درس : الکترونیک ۱

مدرس : دکتر مهرداد طهماسبی

شیوه ارزیابی :

1. امتحان پایان ترم ۱۵ نمره
2. حل تمرین ۵ نمره

ارتباط با مدرس : IAU.TAHMASEBI@GMAIL.COM

فصل سوم : بررسی و تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی

در فصل های اول و دوم در رابطه با پیدایش دیود و هم چنین کاربردهای آن در صنعت و الکترونیک صحبت کردیم، هم اکنون می خواهیم به بررسی و تحلیل مدارهای دیودی (مدارهای شامل دیود) پردازیم. برای این امر، این تجزیه و تحلیل را به دو قسمت، مدارهای شامل یک دیود و مدارهای شامل بیش از یک دیود تقسیم بندی می کنیم و برای هر یک راهکارهایی ارائه خواهیم داد. بنابراین دسته بندی زیر را برای تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow \text{شامل یک دیود} \Rightarrow \text{مدارهای خطی شامل تنها یک عنصر غیر خطی (1)} \\ \Rightarrow \text{روش ترسیمی (1)} \\ \Rightarrow \text{روش تحلیلی (2)} \\ \Rightarrow \text{روش استفاده از تقریب های مناسب برای دیود} \Rightarrow \text{شامل دیودها} \Rightarrow \text{مدارهای شامل بیش از یک عنصر غیر خطی (2)} \end{array} \right.$$

ابتدا از مدارهای شامل یک دیود به بررسی و تجزیه و تحلیل خواهیم پرداخت . توجه داشته باشید که دو روش ترسیمی و تحلیلی بستگی به داده های مداری و مسئله دارد و مراحل ۳ گامی که برای حل مدارهای تک دیودی گفته می شود تقریباً در هر دو روش مشابه می باشد . هم اکنون سراغ روش ۳ گام می رویم .

✓ الف (مدار خطی شامل یک عنصر غیر خطی (مدارهای شامل تنها یک دیود)

در شکل روبرو یک مدار در حالت کلی مشاهده

می کنید برای تجزیه و تحلیل این نوع مداری ، یعنی

برای به دست آوردن نقطه کاری دیود مراحل سه گام ده

زیر معرفی می شوند .

مدار خطی شامل

مقاومت و منابع

DC و AC



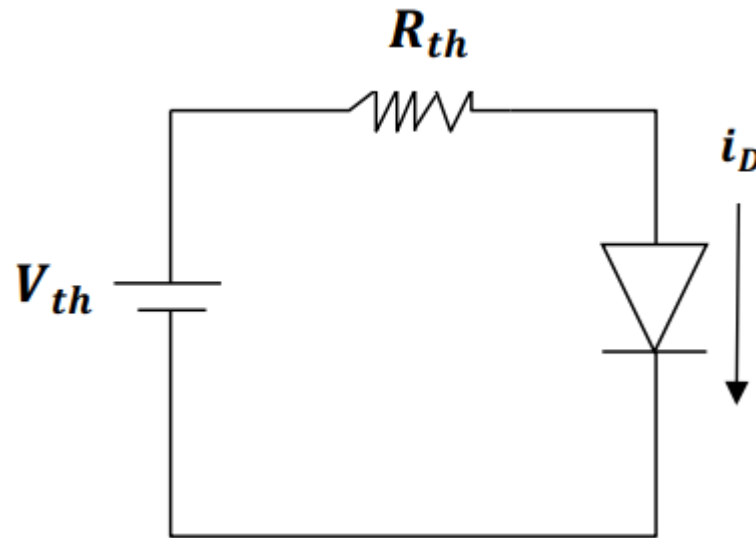
مراحل ۳ گام :

گام اول : رسم مدار معادل تونن از دو سر دیود (از مدار مورد نظر)

در این مرحله احتیاج به V_{th} و R_{th} داریم برای یافتن آنها به یادآوری زیر که از درس مدارهای الکتریکی ۱ می باشد، توجه کنید :

یافتن R_{th} : برای این منظور در مدار داده شده تمامی منابع مستقل را صفر کرده و سپس مقاومت معادل را محاسبه می کنیم . در واقع در مدار داده شده هر آنچه که باعث حیات و کارکرد مدار بود را (همان منابع مستقل مدار) از بین می بریم و سپس به محاسبه مقاومت معادل که همان مقاومت تونن می باشد می پردازیم .

یافتن V_{th} : برای محاسبه V_{th} دو سر شبکه (که همان دیود می باشد) را باز می کنیم و سپس ولتاژ مدار باز حاصل را که بنام $v_{oc} = \text{voltage, open circuit}$ می باشد را محاسبه می کنیم .



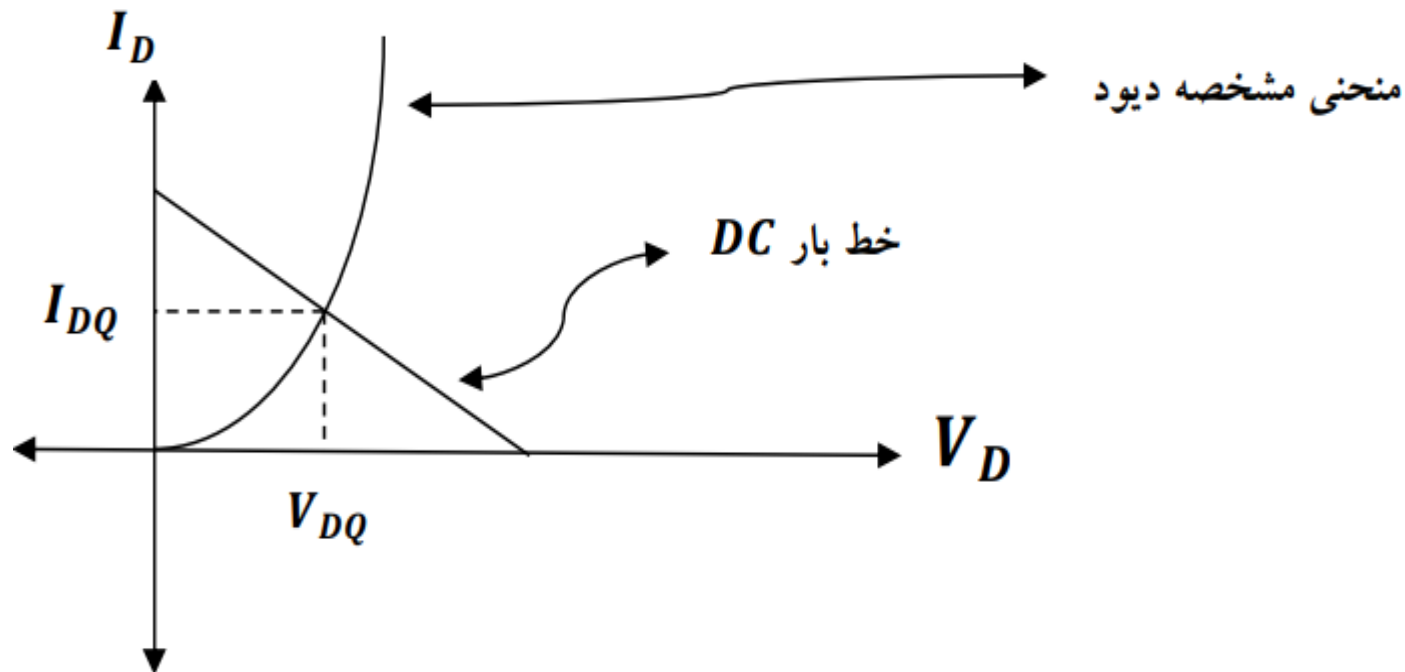
گام دوم : نوشتن قانون KVL در مدار معادل تونن

$$V_D = V_{th} - R_{th}i_D \Rightarrow I_D = \frac{V_{th} - V_D}{R_{th}} \quad \text{خط بار } DC$$

گام سوم : نوشتن و یا رسم منحنی مشخصه دیود

در این مرحله موارد کاربرد روش ترسیمی و روش تحلیلی بیان می گردد .

(۱) اگر منحنی مشخصه دیود جزء مفروضات مسئله بود و مسئله آن را داده بود به کمک رسم خط بار DC که در گام دوم به دست آوردیم ، نقطه کار دیود را از تلاقی دادن رسم خط بار DC و منحنی مشخصه دیود به دست می آوریم که این روش بنام روش ترسیمی معروف می باشد .



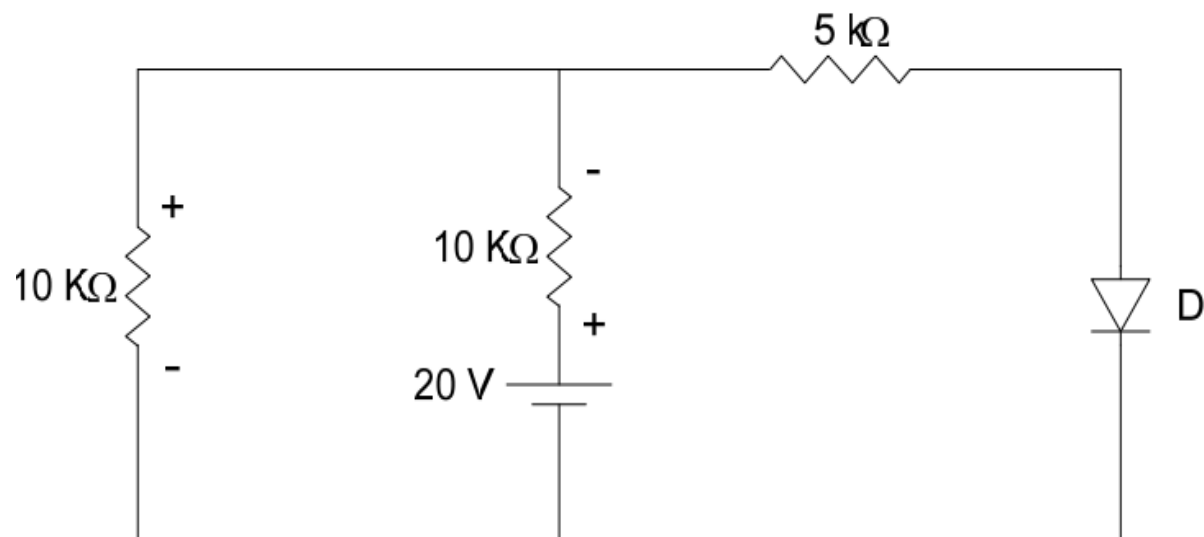
۲) اگر در مفروضات مسئله به ما I_S & ηV_T را داده بود ، باید برای یافتن نقطه کار دیود از روش تحلیلی به صورتی که بیان می شود استفاده کنیم . در این روش ابتدا معادله شماره ۱ که همان خط بار DC که در گام دوم یافتیم را نام گذاری می کنیم و سپس از رابطه کلی دیود معادله شماره ۲ را استخراج می کنیم و سپس به کمک مفروضات مسئله آن را تکمیل می نماییم و در نهایت برای یافتن نقطه کار دیود معادلات شماره ۱ و ۲ را به روش عددی که توضیح داده خواهد شد حل نموده و نقطه کار دیود را به دست می آوریم .

$$V_D = V_{th} - R_{th}i_D \Rightarrow I_D = \frac{V_{th} - V_D}{R_{th}} \quad , \quad \text{خط بار } DC \text{ (معادله شماره 1)}$$

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right) \Rightarrow V_D = \eta V_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} \right) \quad , \quad \text{(معادله شماره 2)}$$

هم اکنون معادلات شماره ۱ و ۲ را به روش عددی حل می کنیم . برای این امر ابتدا حدس اولیه برای V_D را که مقدار $V_D = 0.7$ می باشد را در معادله شماره ۱ قرار داده و یک مقدار I_D به دست می آوریم و سپس مقدار I_D به دست آمده را در معادله شماره ۲ قرار داده و مقدار V_D' را به دست می آوریم، اگر مقدار V_D' با مقدار V_D که همان حدس اولیه می باشد نزدیک بود یا اختلاف خیلی کمی داشت نقطه کار دیود $Q(I_D, V_D)$ خواهد بود در غیر این صورت باید V_D' را در معادله شماره ۱ قرار داده و سپس I_D' جدید را یافته و در معادله شماره ۲ قرار داده تا اینکه V_D'' را بیابیم و به مقایسه آن با مقدار حدس پردازیم ، اگر مقدار بدست آمده با مقداری که حدس زده بودیم اختلاف زیادی نداشت نقطه کار دیود به دست آمده است در غیر این صورت باید این مراحل را تکرار کرد تا اینکه نقطه کار دیود را با تقریب درستی به دست آوریم .

مثال ۱: در مدار زیر نقطه ی کار (Q) را بیابید .



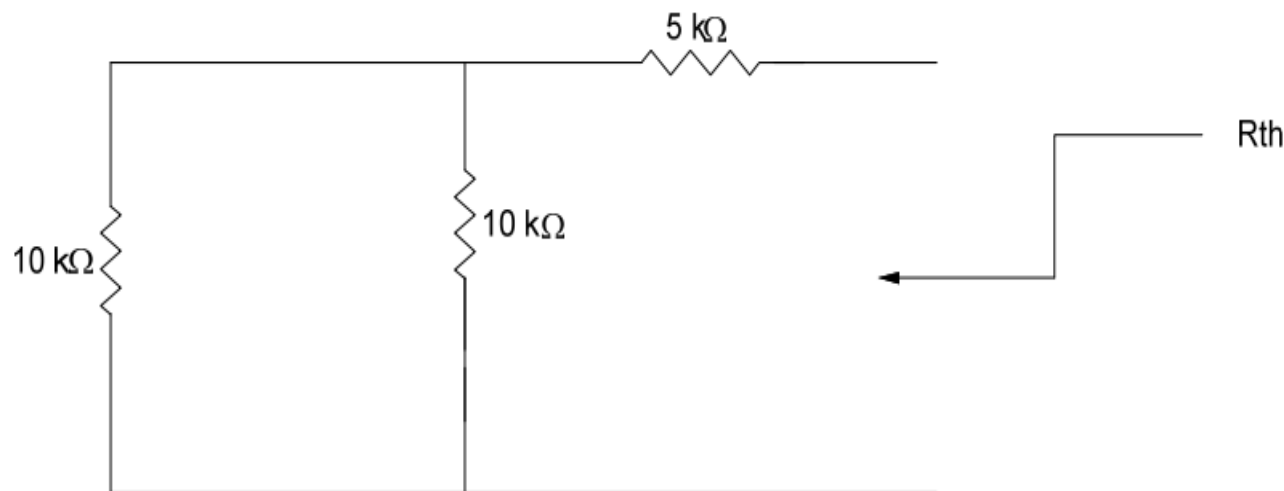
$$\eta V_T = 25\text{ mV}$$

$$I_S = 10^{-13}\text{ A}$$

حل : برای بدست آوردن نقطه کار باید مراحل ۳ گام را انجام دهیم .

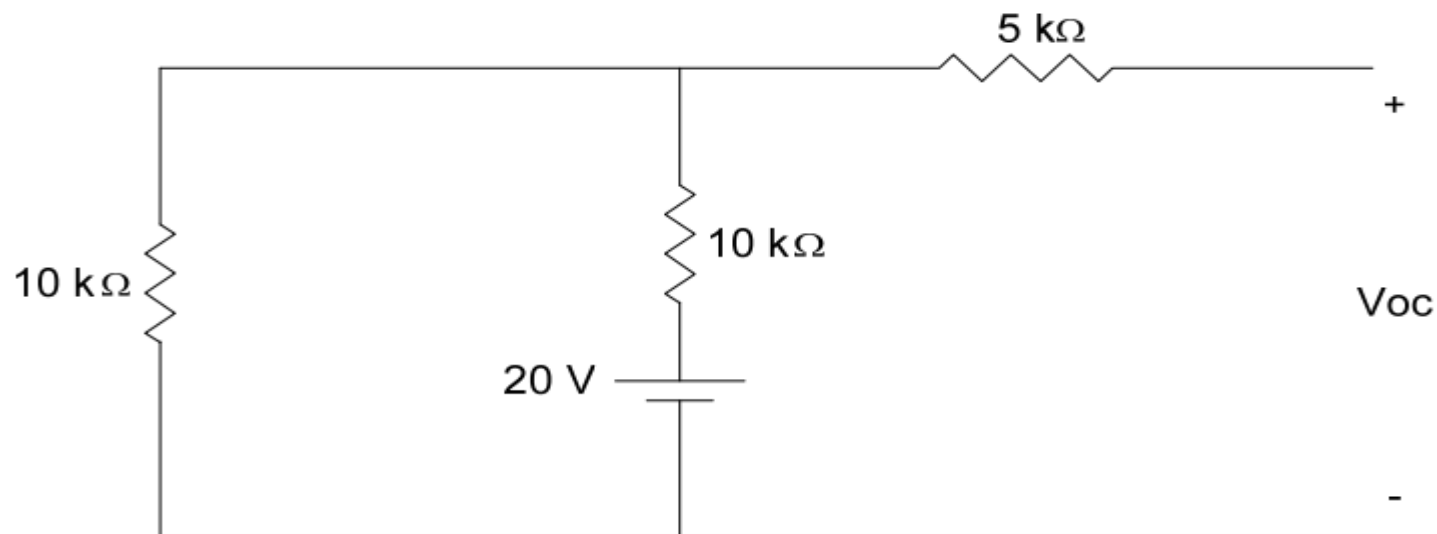
گام اول : رسم مدار معادل تونن از دو سر دیود (از مدار مورد نظر)

برای بدست آوردن مدار معادل تونن باید R_{th} و V_{th} را بدست آوریم :



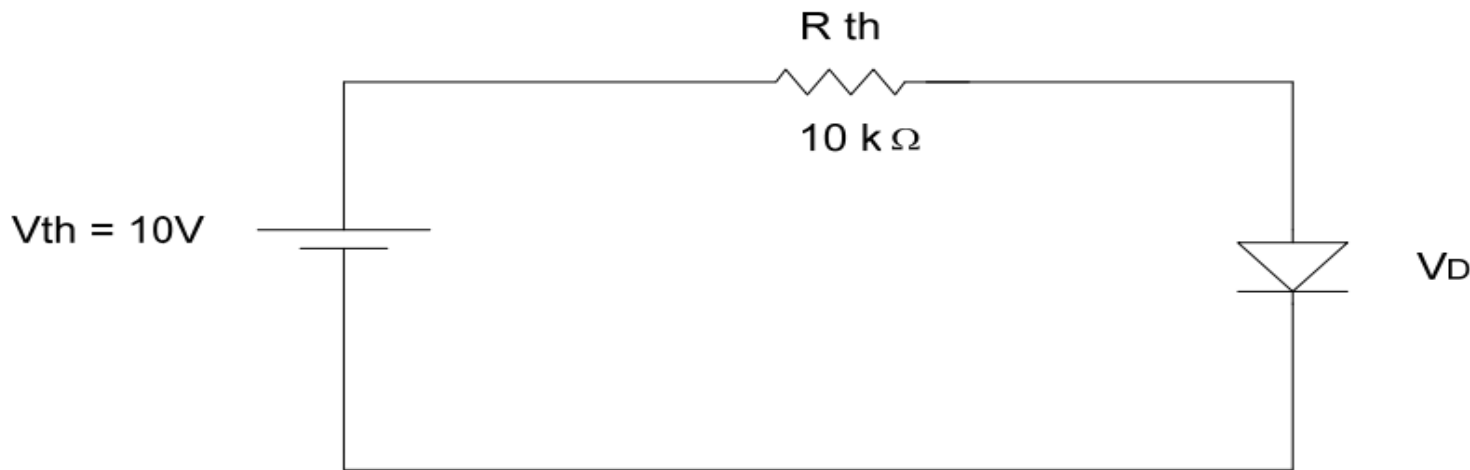
$$R_{th} = (10 \parallel 10) + 5 = 10\text{ k}\Omega$$

یافتن V_{th} : با استفاده از قاعده تقسیم ولتاژ V_{th} را به دست می آوریم :



$$V_{oc} = V_{th} = (20) \times \frac{10}{10+10} = 10V \Rightarrow V_{th} = 10V$$

بدین ترتیب مدار معادل تونن را می نویسیم .



گام دوم : نوشتن قانون KVL در مدار معادل تونن

$$I_D = \frac{V_{th} - V_D}{R_{th}} = \frac{10 - V_D}{10K}$$

گام سوم : نوشتن معادله دیود :

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right) \Rightarrow V_D = V_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} \right) = 25 \times 10^{-3} \ln \left(\frac{I_D}{10^{-3}} \right)$$

$$(1). \quad I_D = \frac{10 - V_D}{10K}$$

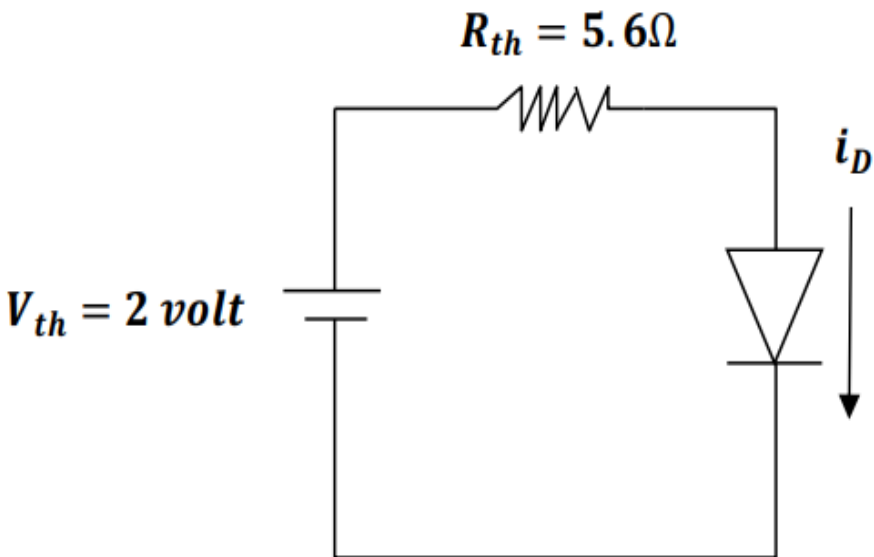
$$(2) \quad V_D = 25 \times 10^{-3} \ln\left(\frac{I_D}{10^{-3}}\right)$$

با حل این معادلات (معادلات شماره ۱ و ۲) به روش عددی می توان نقطه کار را بدست آورد که در نهایت

برای نقطه کار دیود خواهیم داشت :

$$Q(0/94mA, 0/574Volt) \Rightarrow \quad V_D = 0/574V \quad I_D = 0/94mA$$

مثال 2) در مدار شکل زیر دیود از جنس سیلیکون به همراه مشخصات $I_S = 1.9 \text{ nA}$ ، $\eta V_T = 42.8 \text{ mV}$ مفروض است. مطلوبست تعیین نقطه کار دیود ؟



حل : به کمک مراحل سه گام خواهیم داشت :

گام اول : گام اول در مسئله جزء مفروضات می باشد .

$$R_{th} = 5.6 \Omega , V_{th} = 2 \text{ Volt}$$

گام دوم : نوشتن قانون KVL در مدار معادل تونن

$$V_D = V_{th} - R_{th} i_D \Rightarrow I_D = \frac{V_{th} - V_D}{R_{th}} = \frac{2 - V_D}{5.6} , \quad \text{خط بار } DC \quad \left(\text{معادله شماره 1} \right)$$

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right) \Rightarrow V_D = \eta V_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} \right) \Rightarrow V_D = 42.8 \ln \left(\frac{I_D}{1.9} \right) , \quad \left(\text{معادله شماره 2} \right)$$

روش مورد استفاده با توجه به مفروضات مسئله روش تحلیلی می باشد. حال به حل معادلات شماره ۱ و ۲ به کمک روش حل عددی می پردازیم.

$$\text{معادله شماره 1} \Rightarrow V_D = 0.7 \Rightarrow I_D = 232 \text{ mA} \xRightarrow{\text{معادله شماره 2}} V_D = 0.797 \text{ Volt}$$

$$\Rightarrow V_D = 0.797 \xRightarrow{\text{معادله شماره 1}} I_D = 215 \text{ mA} \xRightarrow{\text{معادله شماره 2}} V_D = 0.794 \text{ Volt}$$

$$\Rightarrow V_D = 0.794 \xRightarrow{\text{معادله شماره 1}} I_D = 215 \text{ mA} \xRightarrow{\text{معادله شماره 2}} V_D = 0.794 \text{ Volt}$$

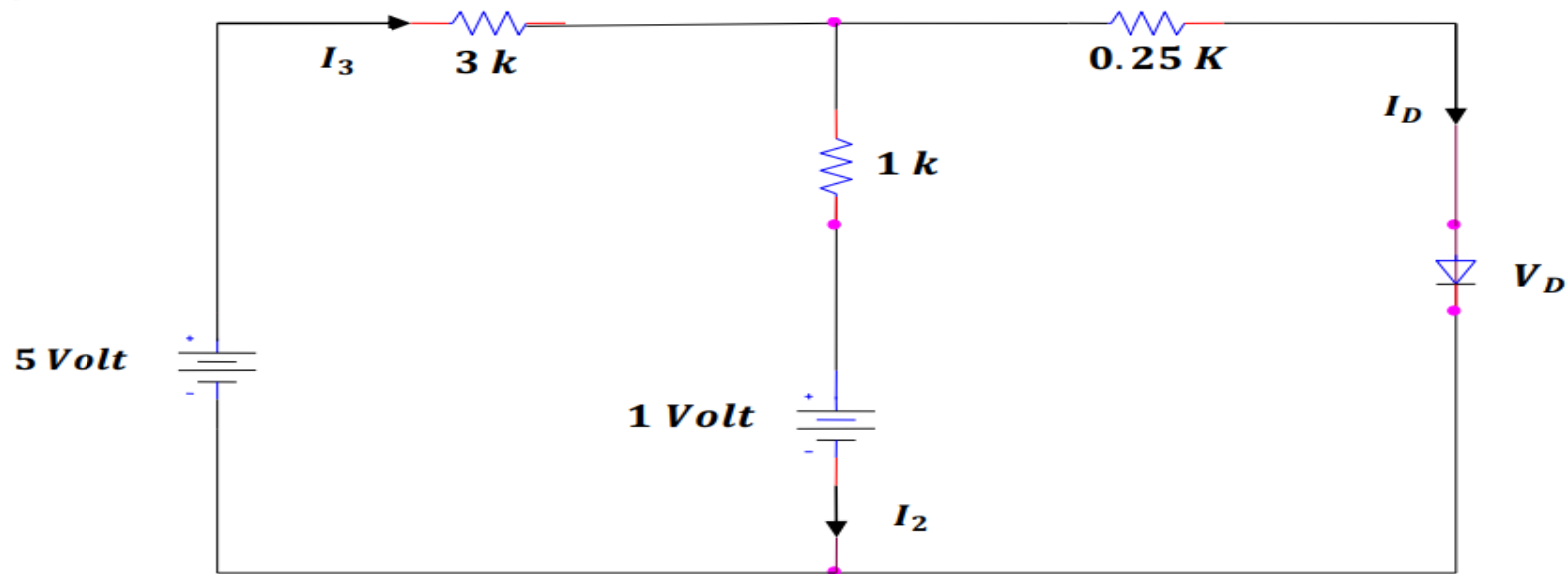
بنابراین نقطه کار دیود عبارت است از:

$$Q(215 \text{ mA}, 0.794 \text{ volt})$$

تذکر: برای محاسبات در حل معادلات به روش عددی حتما به واحد های داده شده برای مفروضات مسئله توجه کنید.

مثال 3) در مدار شکل زیر I_2 , I_3 , V_x را محاسبه کنید .

مفروضات مسئله : دیود از جنس سیلکن , $\eta V_T = 42.8 \text{ mV}$, $I_S = 10 \text{ nA}$

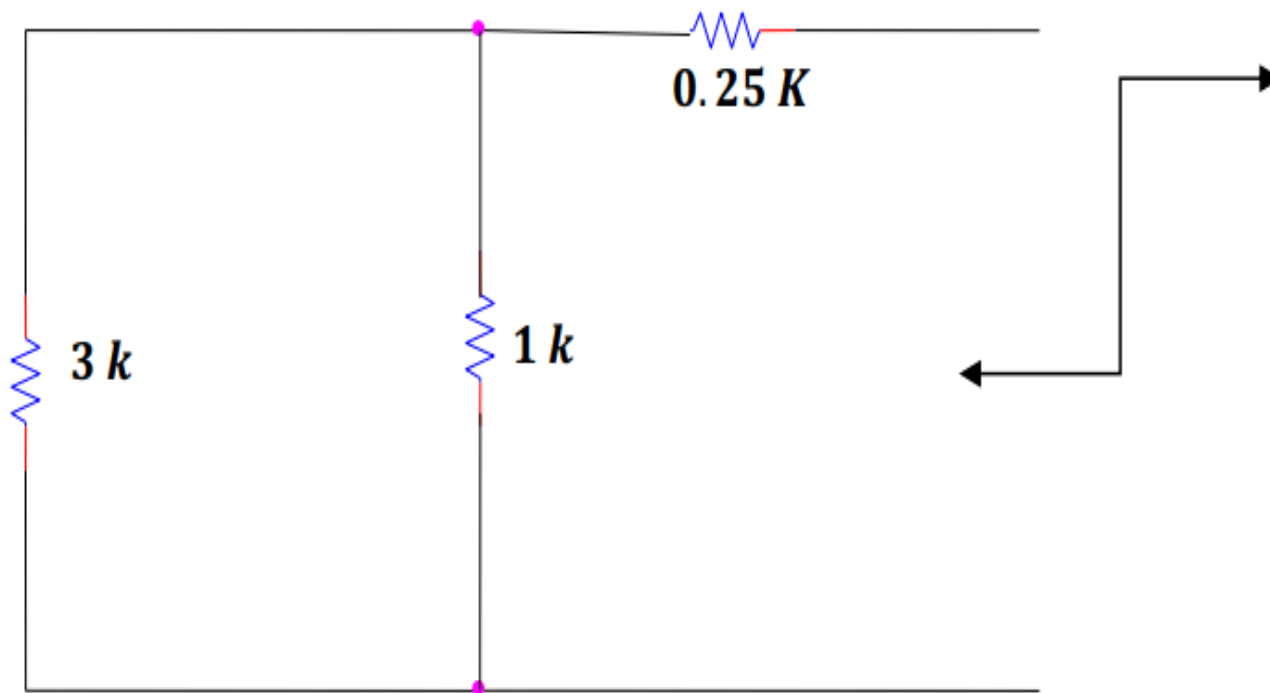


حل : در این مسئله به طور مستقیم از ما نقطه کار دیود خواسته نشده ولی همانطوریکه در شکل مشاهده می کنید برای یافتن مجهولات احتیاج به نقطه کار داریم چرا که مجهولات وابسته به نقطه کار می باشند . بنابراین ابتدا نقطه کار دیود را محاسبه می کنیم .

مراحل ۳ گام :

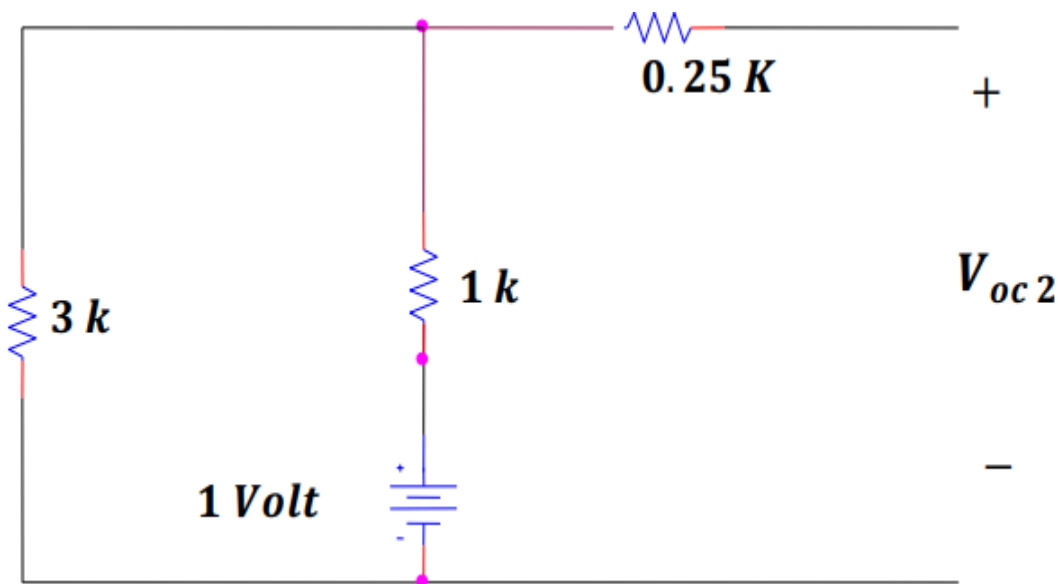
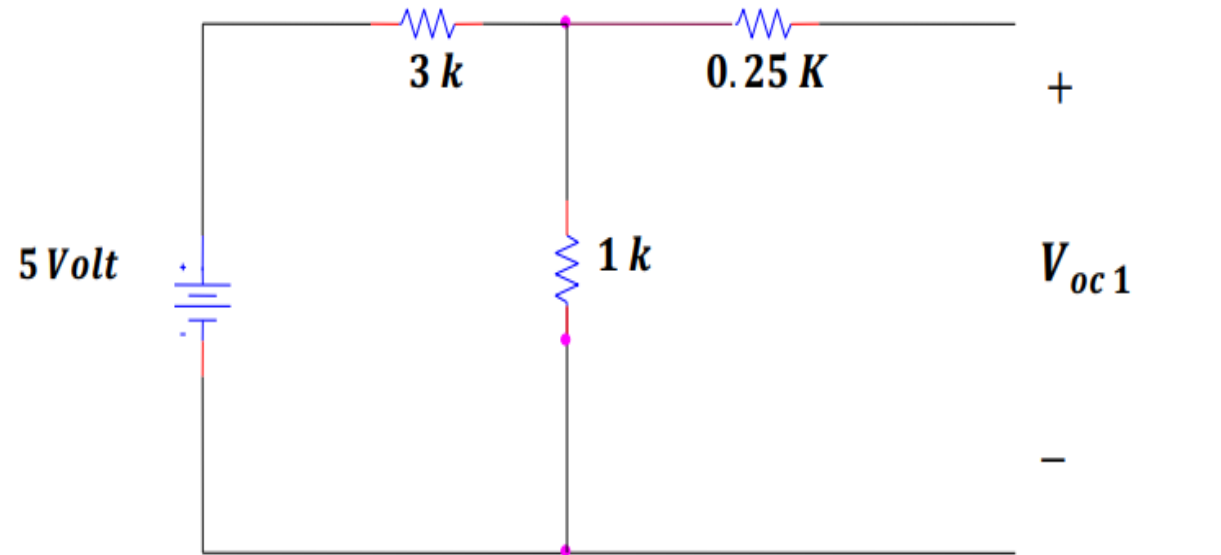
گام اول : رسم مدار معادل تونن از دو سر دیود

یافتن R_{th} :

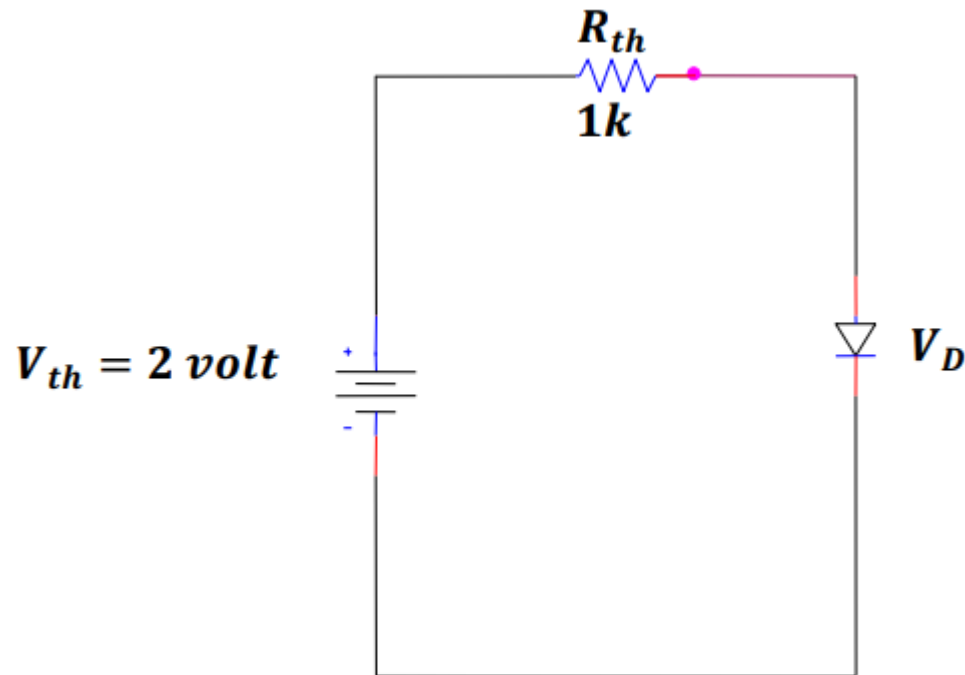


$$R_{th} = (3 \parallel 1) + 0.25 = 1\text{ K}\Omega$$

یافتن V_{th} : برای یافتن V_{th} با توجه به مدارهای زیر از قانون جمع آثار به همراه قاعده تقسیم ولتاژ استفاده می کنیم .



$$\left\{ \begin{array}{l} v_{oc1} = 5 * \frac{1}{1+3} = \frac{5}{4} \text{ Volt} \\ v_{oc2} = 1 * \frac{3}{1+3} = \frac{3}{4} \text{ Volt} \end{array} \right. \Rightarrow V_{th} = v_{oc1} + v_{oc2} = \frac{5}{4} + \frac{3}{4} = \frac{8}{4} = 2 \text{ volt}$$



گام دوم : نوشتن قانون KVL در مدار معادل تونن

$$I_D = \frac{V_{th} - V_D}{R_{th}} = \frac{2 - V_D}{1} = 2 - V_D \quad , \quad DC \text{ خط بار} \quad \left(\text{معادله شماره 1} \right)$$

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right) \Rightarrow V_D = \eta V_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} \right) \Rightarrow V_D = 26 \ln \left(\frac{I_D}{10nA} \right) \quad , \quad \left(\text{معادله شماره 2} \right)$$

روش مورد استفاده با توجه به مفروضات مسئله روش تحلیلی می باشد . حال به حل معادلات شماره ۱ و ۲ به کمک روش حل عددی می پردازیم که در نهایت برای نقطه کار دیود خواهیم داشت :

$$Q(1.4 \text{ mA} , 0.6 \text{ volt}) \Rightarrow \begin{cases} V_D = 0.6 \text{ volt} \\ I_D = 1.4 \text{ mA} \end{cases}$$

هم اکنون با توجه به مدار داده شده در صورت سوال ، مجهولات را به کمک قوانین کیرشهف به دست خواهیم آورد .

$$V_x = 0.25I_D + V_D = 0.95 \text{ volt} \Rightarrow \text{قانون } kvl \text{ شاخه سمت راست}$$

$$I_2 = \frac{V_x - 1}{1} = -0.05$$

$$I_3 = \frac{V_x - 5}{3} = -1.35$$

پایان جلسه سوم