محمد اعرابیان

جزوه درس الکترونیک کاربردی

جلسه پنجم

برای جزئیات بیشتر **اسکن کنید**

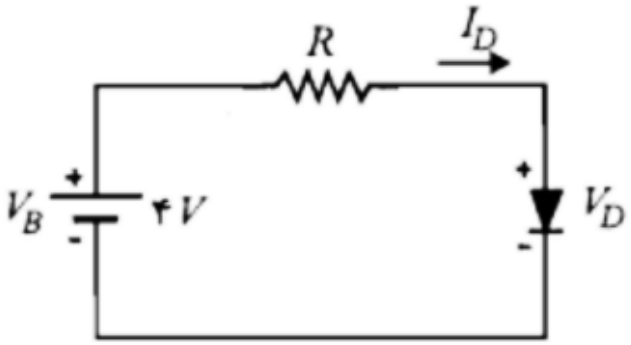
نسخه ۱.۱ | تهیه شده در بهمن ۱۴۰۰

تمامی حقوق این جزوه برای **محمد اعرابیان** محفوظ است.

مثال: در مدار شکل زیر، ولتاژ و جریان نامی دیود سیلیکن به کار رفته به ترتیب برابر۰/۷V و ۱۰mA است.

الف: برای اینکه دیود در این ولتاژ و جریان کار کند مقدار مقاومتR چقدر باید باشد

ب: مقاومت‌های استاتیکی و دینامیکی دیود را در ولتاژ و جریان نامی و در دمایK 300 محاسبه نمایید.



پاسخ:

الف: با توجه به ولتاژ و جریان دیود، داریم:

$$\mathrm{I_D} = 10\ mA \quad , \quad V_D = 0.7\ V$$

$$R = \frac{V_B - V_D}{I_D} = \frac{4 - 0.7}{10\ \mathrm{mA}} = 330\ \Omega$$

ب: با استفاده از روابط مربوط به مقاومت دینامیکی و استاتیکی داریم:

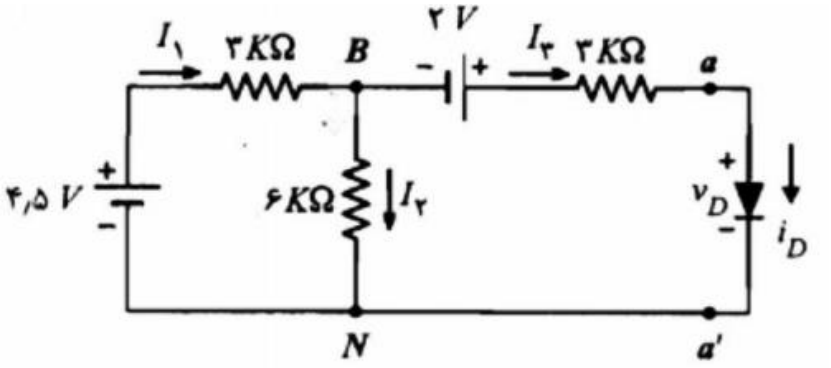
$$R_S = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.7\ \mathrm{V}}{10\ \mathrm{mA}} = 70\ \Omega$$

$$r_d = \frac{\eta \mathrm{V_T}}{\mathrm{I_D}} = \frac{2 \times 26\ \mathrm{mV}}{10\ \mathrm{mA}} = 5.2\ \Omega$$

تحلیل مدارات دیودی

تحلیل به کمک خط بار: روش تحلیل مدار به کمک خط بار را در روند حل یک مثال توضیح می دهیم:

مثال: در مدار شکل زیر جریان هر یک از شاخه ها را محاسبه نمایید:



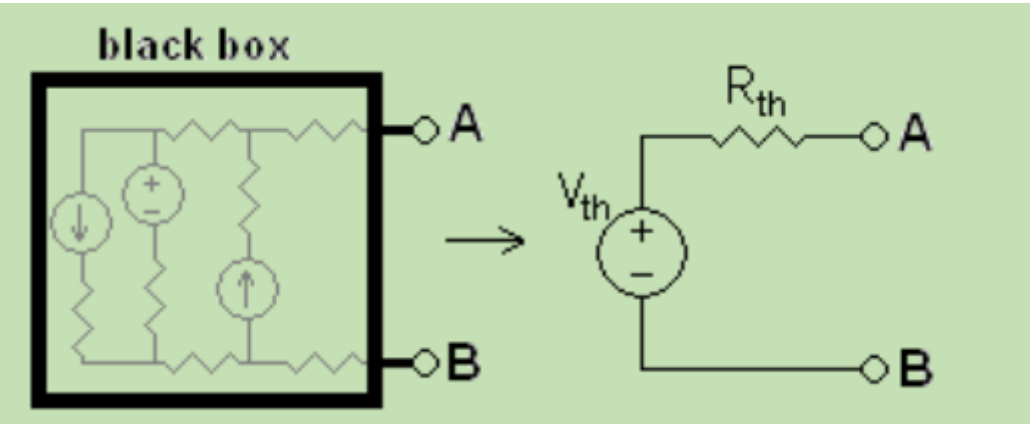
پاسخ: رفتار دیود در اینجا توسط منحنی آن توصیف می شود و اساسا ورودی مسئله در مورد دیود تنها منحنی مشخصه‌ی آن است.

در ادامه به دنبال نوشتن معادله بر حسب جریان و ولتاژ دیود هستیم که با استفاده از مدار فوق حاصل شده باشد. در این صورت با رسم منحنی محاسبه شده بر روی منحنی مشخصه‌ی دیود نقطه‌ی طلاقی که همان نقطه‌ی کار دیود است محاسبه می‌گردد.

به منظور نوشتن معادله اي بر حسب جریان و ولتاژ دیود با استفاده از مدار فوق لازم است که رفتار مدار قبل از دیود از دو سر aa' توسط یک مدار ساده تر توصیف شود، این کار توسط مدار معادل تونن صورت می گیرد.

مدار معدل تونن:

هدف در نوشتن مدار معادل تونن توصیف یک مدار پیچیده توسط یک مدار، شامل یک منبع تغذیه و مقاومت سری با آن است. که براین اساس مدار معادل تونن داراي دو مجهول است:



یادآوری

مقاومت تونن R_{th} که برای محاسبه ی آن:

۱- تمام منابع مستقل غیر فعال: منابع ولتاژ اتصال کوتاه و منابع جریان اتصال باز

۲- محاسبه‌ی مقاومت دیده شده از دو سر مربوطه (AB در شکل بالا)

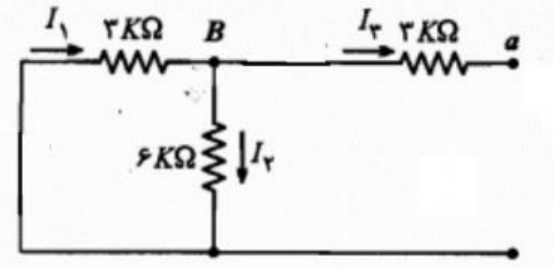
ولتاژ تونن V_{th} که براي محاسبه‌ی آن:

۱- بررسی مدار در حالت اولیه (تمام منابع: فعال)

۲- محاسبه‌ی ولتاژ دو سر مربوطه (AB در شکل بالا)

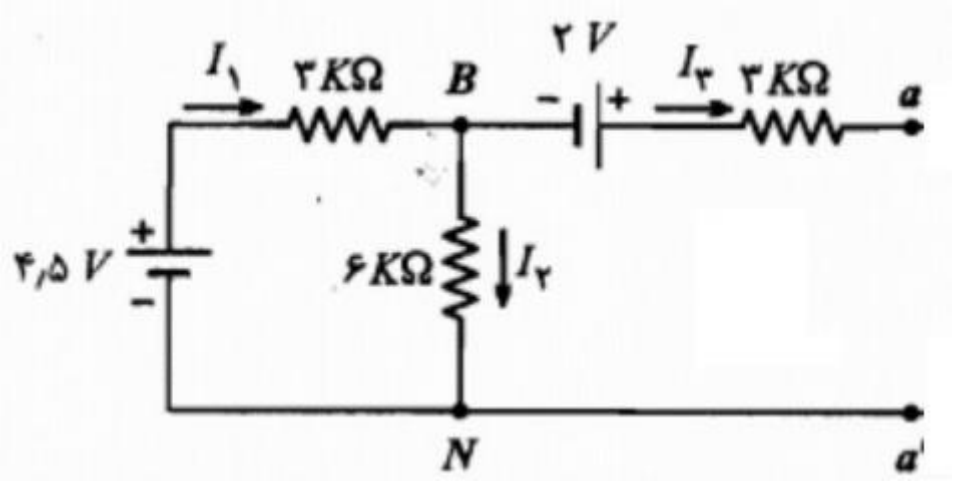
بتدا باید مدار معادل تونن سمت چپ aa' را به دست آوریم:

مقاومت تونن: با غیر فعال کردن منابع مقاومت را از دو سر aa' بدست می آوریم



$$R_{th} = 3k\Omega \parallel 6k\Omega + 3k\Omega = 5k\Omega$$

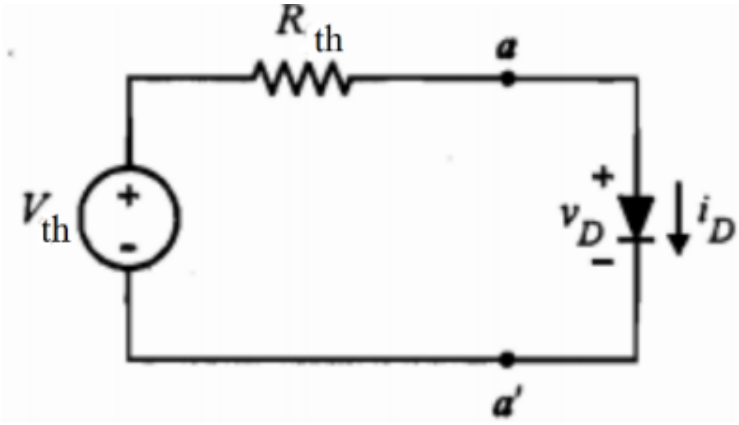
ولتاژ تونن: با فعال کردن منابع ولتاژ را در دو سر aa' بدست می آوریم براي این منظور با توجه به صفر بودن جریان I_3 می‌توان ازتقسیم ولتاژ استفاده نمود.



$$V_B = 4.5 \times \frac{6\ \text{K}\Omega}{6\ \text{K}\Omega + 3\ \text{K}\Omega} = 3\ V$$

$$V_{aa'} = V_{th} = 3\ V + 2\ V = 5\ V$$

حال که مدار معادل تونن را برای مدار فوق بدست آوردیم (مدار خلاصه شده از سر aa')دیود را به جای اول خود باز می‌گردانیم:



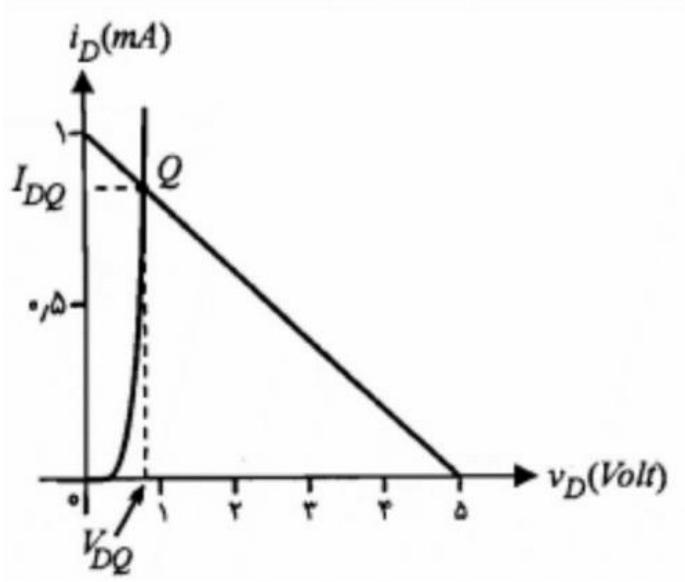
$$kvl:\ -V_{th} + R_{th}\, I_D + V_D = 0 \Longrightarrow -5 + 5k\, I_D + V_D = 0$$

خط بار دیود $\begin{cases} I_D = 0 \Longrightarrow -5 + 0 + V_D = 0 \Longrightarrow V_D = 5v \\ V_D = 0 \Longrightarrow -5 + 5k\, I_D + 0 = 0 \Longrightarrow I_D = \dfrac{5}{5k} = 1mA \end{cases}$

نقطه کار دیود $\Longrightarrow V_D = 0.7 \Longrightarrow kvl:\ -V_{th} + R_{th}\, I_D + V_D = 0$

$$\Longrightarrow -5 + 5k\, I_D + 0.7 = 0 \Longrightarrow I_D = \frac{5 - .07}{5k} = 0.86mA$$

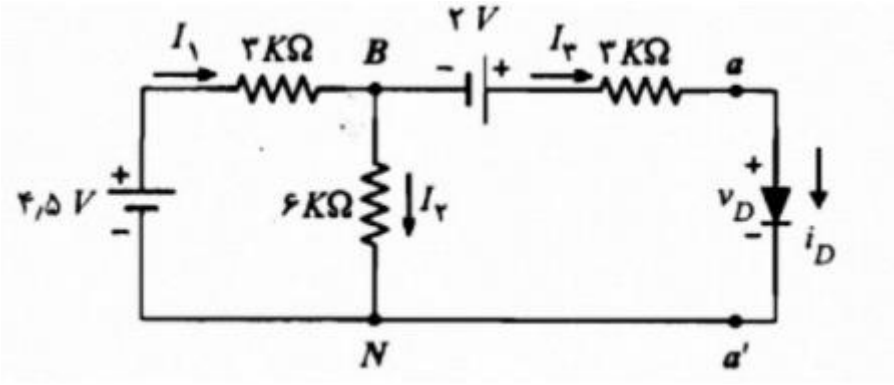
که با رسم منحنی فوق بر روی منحنی مشخصه‌ی دیود محل طلاقی این دو منحنی نشان دهنده‌ی نقطه کار دیود است.



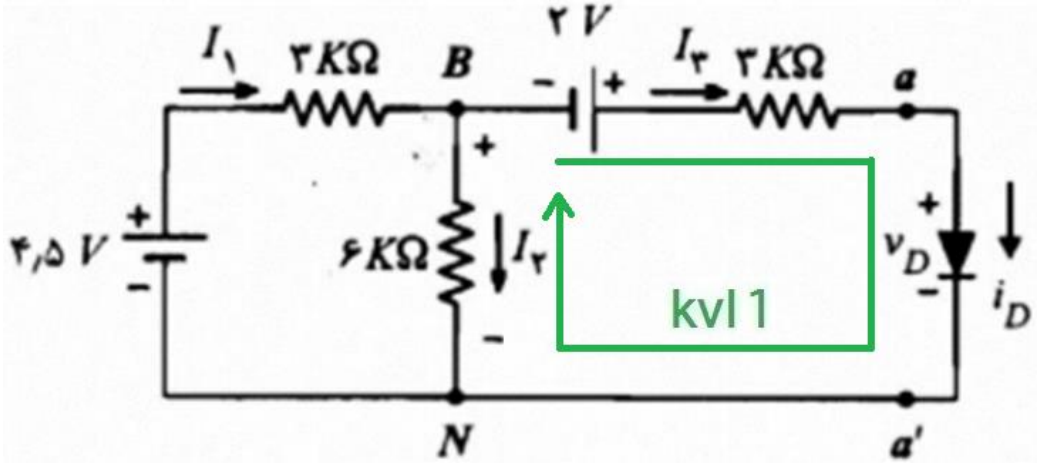
این نقطه‌ی‌کار شامل یک جریان و یک ولتاژ است که همان جریان و ولتاژ دیود می باشد:

$$I_D = 0.86mA \quad \text{و} \quad V_D = 0.7v$$

پس:



$$I_3 = I_D = 0.86mA \quad \text{و} \quad V_d = 0.7v$$



$$kcl: B \Longrightarrow I_1 = I_2 + I_3$$

$$kvl: \ -V_{BN} - 2 + 3k\, I_3 + V_D = 0 \Longrightarrow -V_{BN} - 2 + 3k\ (0.86mA) + 0.7 = 0$$

$$\Longrightarrow V_{BN} = -2 + 2.58 + 0.7 = 1.28v$$

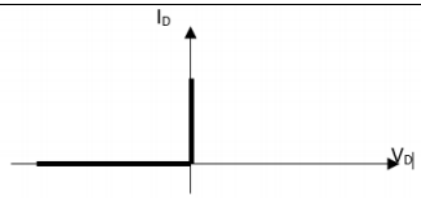
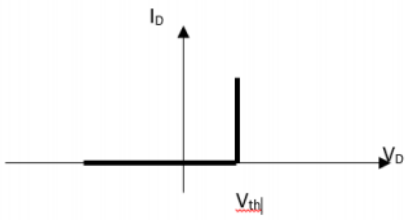
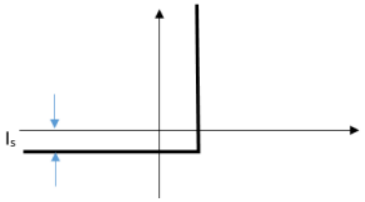
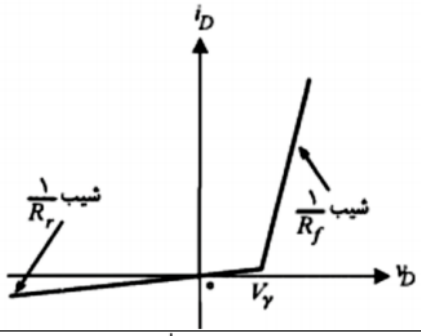
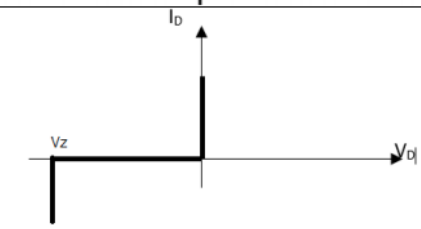
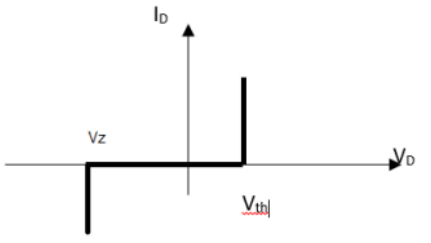
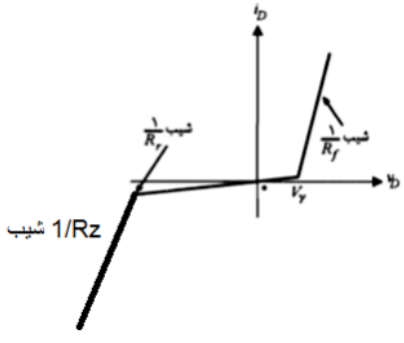
$$I_2 = \frac{V_{BN}}{R_{BN}} = \frac{1.28v}{6k\Omega} = 0.21mA$$

$$kcl: B \Longrightarrow I_1 = I_2 + I_3 \Longrightarrow I_1 = 0.21mA + 0.86mA = 1.07mA$$

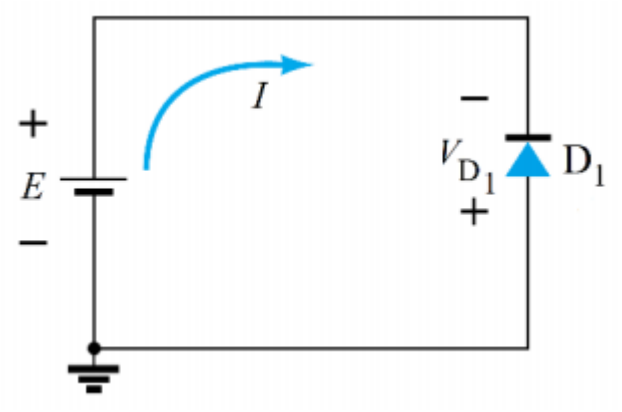
تحلیل به کمک مدار معادل:

همان گونه که در مثال قبل مشاهده نمودید حل یک مدار ساده ي دیود به کمک منحنی مشخصه‌ی آن بسیار پیچیده بود به منظور دوری نمودن از این پیچیدگی، از تقریب هایی استفاده می شود و یک مدل مداری (یک مدار شامل مقاومت و منابع تغذیه) جایگزین دیود می شود. پس در حل مسائل دیودی به کمک مدل مداری مراحل زیر را طی می نماییم:

۱- تعیین نوع تقریب: به کمک صورت سوال (مستقیم یا غیر مستقیم)
۲- تعیین وضعیت دیود (خاموش بودن یا روشن بودن دیود)
۳-جایگذاری مدل مداری مربوطه

مدل دیود ایده آل	$V_D < 0$ $V_D > 0$		در جایی که قید شود دیود ایده آل استفاده می شود در عمل وقتی ولتاژ بالا باشد ونیازی به دقت بالا نیست
تقریب (مدل) ابتدایی دیود بدون جریان اشباع معکوس	$V_D < V_{th}$ $V_D > V_{th}$ Vth		معمولا در عموم مسائل از این مدل استفاده می شود. در عمل وقتی دیود با یک مقاومت بیش از چند ده اهم سری شده باشد
تقریب (مدل) ابتدایی دیود با جریان اشباع معکوس	$V_D < V_{th}$ $V_D > V_{th}$ Vth		
مدل پاره خطی دیود	VD<Vth VD>Vth		نزدیک ترین مدل به مشخصه دیود دقیق در موارد استفاده قید می شود در عمل جایی که دقت مهم است • اندازه ی دقیق جریان زیر آستانه مهم باشد • مقاومت سری با دیود کم باشد
مدل ایده آل دیود زنر	Vz <VD<Vth Vz >VD VD>Vth		
مدل ابتدایی دیود زنر	Vz <VD<Vth Vz >VD VD>Vth		
مدل پاره خطی دیود زنر	Vz <VD<Vth Vz >VD VD>Vth		

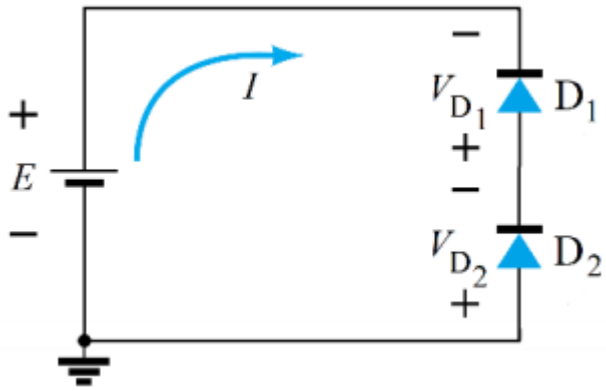
مثال: در هر یک از مدار های زیر با در نظر گرفتن جریان اشباع معکوس برای دیود ۱ و ۲ به ترتیب برابر $I_{S1} = 1.5 \times 10^{-10}$ و $I_{S2} = 10^{-10}$ جریان I را بدست آورید:



الف: با توجه به آنکه دیود به صورت معکوس بایاس شده است و نیز استفاده از تقریب ابتدایی با جریان اشباع

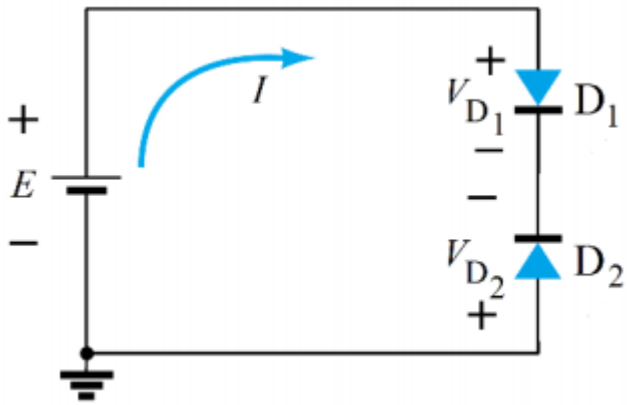
غیر صفر(جریان دیود در بایاس معکوس برابر جریان اشباع معکوس مربوطه است. بنابراین:

$$I = I_{S1} = 1.5 \times 10^{-10}$$



ب: با توجه به آنکه هر دو دیود به صورت معکوس و سری هستند، دیودی که دارای کمترین جریان اشباع معکوس است در میزان جریان عبوری تعیین کننده خواهد بود.

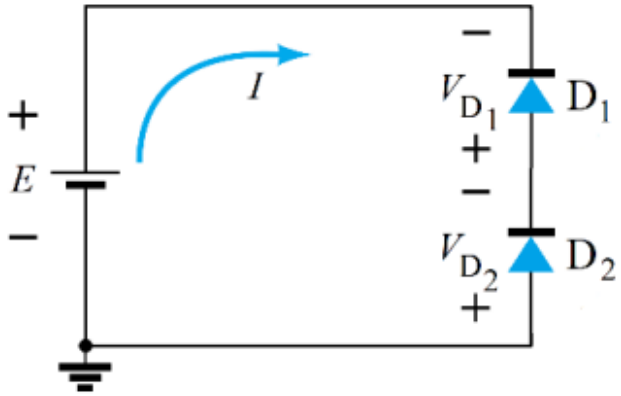
$$I = I_{S2} = 10^{-10}$$



ج: در این حالت یکی از دیود ها به صورت مستقیم بایاس شده است و دیگری به صورت معکوس بایاس شده است. از آنجا که محدودیت ایجاد شده روی جریان در اینجا توسط دیود با بایاس معکوس اعمال می شود پس جریان کل برابر جریان دیود با بایاس معکوس است:

$$I = I_{S2} = 10^{-10}$$

مثال: در مدار مقابل جریان و ولتاژ مربوط به هر یک از دیودها را بدست آورید:



$$I_{S1} = 1nA \quad و \quad I_{S2} = 2nA$$

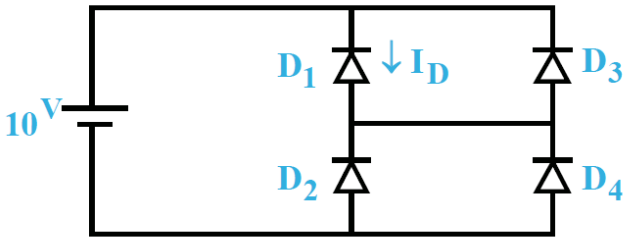
پاسخ: جریان عبوری دو دیود برابر جریان اشباع معکوس کوچکتر

$$I = I_{S1} = 1nA$$

با توجه با این که دیود ۱ محدودیت جریان را ایجاد می کند بنا براین بیشترین نیرو (اختلاف پتانسیل) روی آن است.

$$V_{D1} = E \quad و \quad V_{D2} \cong 0$$

مثال: در مدار شکل زیر جریان اشباع معکوس D_1 تا D_4 داده شده است. جریانی که از دیود D_2 عبور می‌کند چه مقدار است؟



$$\begin{cases} Is_۱ = ۱۵nA \\ Is_۲ = ۲۰nA \\ Is_۳ = ۱۵nA \\ Is_۴ = ۴۰nA \end{cases}$$

با توجه به ولتاژ اعمالی، کلیه دیودها در گرایش معکوس قرار دارند و چون ولتاژ شکست معکوس ذکر نشده، پس فرض می‌کنیم هیچ دیودی به شکست نرسیده است.

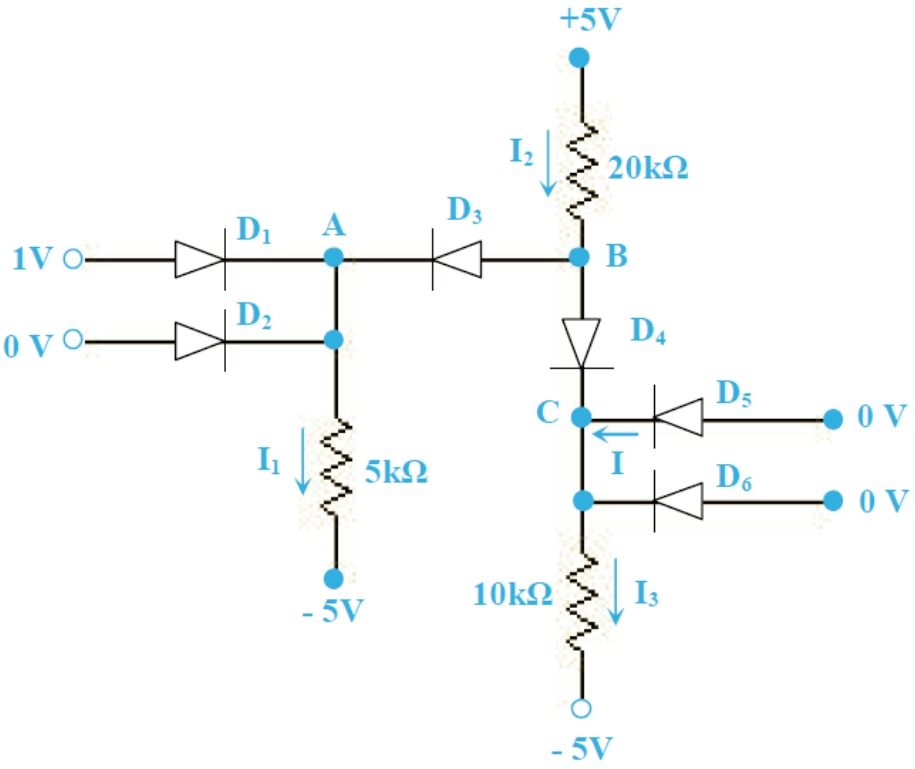
بنابراین برای کلیه دیودها $I_D < I_S$ می‌باشد و چون $I_{S_1} I_{S_3} < I_{S_2} I_{S_4}$ می‌باشد نتیجه می‌گیریم، جریان های D_2 و D_4 به اشباع نمی‌رسد. بنابراین دیودهای D_1 و D_3 دارای جریان اشباع می‌باشند.

$$I_{D_1} + I_{D_3} = I_{S_1} + I_{S_3} = 15 + 15 = 30nA$$

این جریان به نسبت جریان اشباع معکوس بین D_2 و D_4 تقسیم می‌شود.

$$I_{D_2} = 30 \times \frac{I_{S_2}}{I_{S_2} + I_{S_4}} = 10nA$$

مثال: با فرض ایده‌آل بودن دیودها در مدار نشان داده شده در شکل زیر جریان I چقدر است؟



برای حل مدارهای دیودی ابتدا با نگاهی کلی بـه مدار سعی می کنیم وضعیت قطع و وصل بودن دیودها را تعیین کنیم . در نگاه اول (بدون محاسبات) وضعیت بسیاری از دیودها کاملاً مشخص نمی شود . یعنی با یک نگاه نمی توان گفت که قطع یا وصل اند و نیاز به محاسبات دارند . برای این موارد باید یک فرض را گرفته و مسئله را حل کنیم . در آخر بررسی کنیم که این فرض درست بوده است یا خیر. اکنون در این مثال داریم: اولاً با توجه به ولتاژ کاتد دیودهای D_1 و D_2 به راحتی معلوم است، D_1 وصل D_2 قطع می باشد و این یعنی ولتاژ نقطه A برابر یک ولت است.

حالا به سراغ دیود D_3 می‌رویم. اگر فرض کنیم این دیود وصل باشد، باید ولتاژ نقطه B باولتاژ نقطه A برابر باشد، لذا $V_A = V_B = 1v$. حالا به راحتی جریان I_2 محاسبه می‌شود.

$$I_2 = \frac{5-1}{20k\Omega} = 0.2mA$$

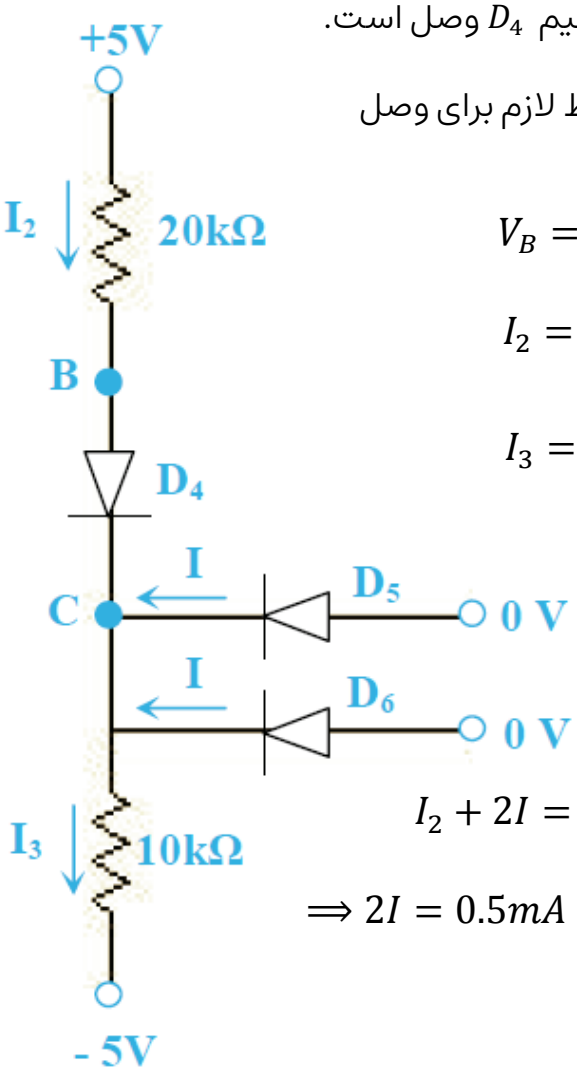
و چون $V_B = 1v$، پس D_4 حتما باید وصل باشد، در نتیجه $V_C = 1v$ و سپس D_5 و D_6 قطع هستند.

اگر یک kcl در نقطه B بزنیم.

$$I_{D_3} = I_2 - I_3 \Longrightarrow I_{D_3} = 0.2mA - 0.6mA = -0.4mA$$

این یعنی فرض اینکه D_3 وصل بوده غلط است و D_3 حتما قطع است.

پس مدار به صورت روبرو می‌شود. حال فرض می‌کنیم D_4 وصل است.



تقسیم ولتاژ بین مقاومت‌های $20k\Omega$ $10k\Omega$ شرایط لازم برای وصل بودن D_5 و D_6 را فراهم می‌کند، بنابراین

$$V_B = V_C = 0v$$

$$I_2 = \frac{5-0}{20k\Omega} = 0.25mA$$

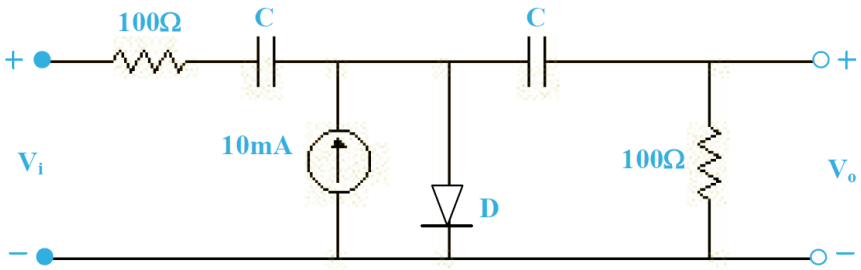
$$I_3 = \frac{0-(-5)}{10k\Omega} = 0.5mA$$

اگر یک kcl در نقطه C بزنیم.

$$I_2 + 2I = I_3 \Longrightarrow 0.25mA + 2I = 0.5mA$$

$$\Longrightarrow 2I = 0.5mA - 0.25mA \Longrightarrow I = \frac{0.25mA}{2} = 0.125mA$$

مثال: مطلوب است تعیین نسبت $\frac{V_O}{V_i}$ در مدار زیر در صورتی که V_i یک ولتاژ سیگنال کوچک ac و ظرفیت خازن ها به اندازه کافی بزرگ باشند، دیود از جنس سیلیسیم و $T = 300°K$ است.

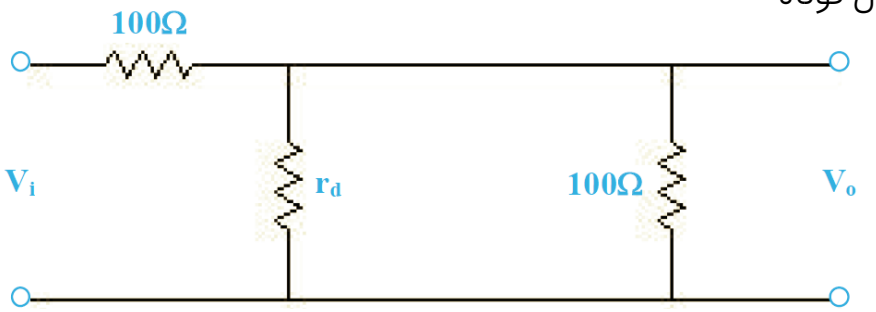


مدل ac

خازن‌ها اتصال کوتاه، سلف اتصال باز

منبع جریان اتصال باز، منبع ولتاژ اتصال کوتاه

دیود ـ مقاومت دینامیک

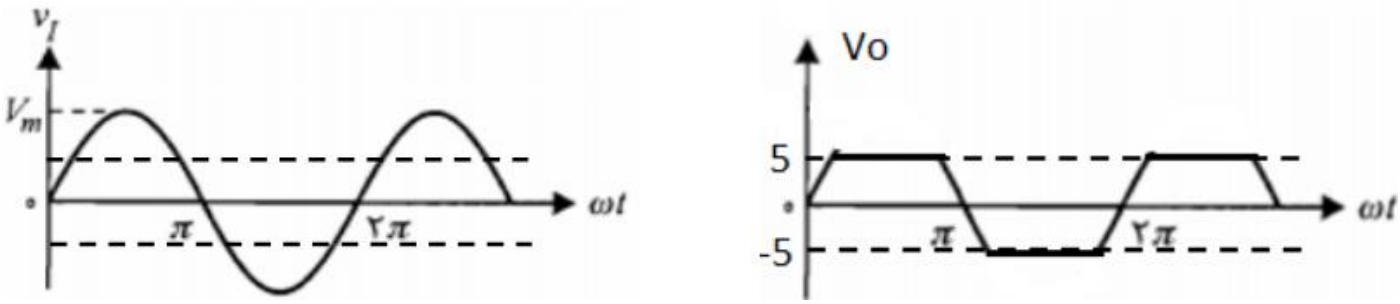


$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{25mV}{10mA} = 2.5\Omega \Longrightarrow \frac{V_O}{V_i} = \frac{r_d||(100)}{100 + (r_d||(100))} \approx \frac{r_d}{100} = 0.025$$

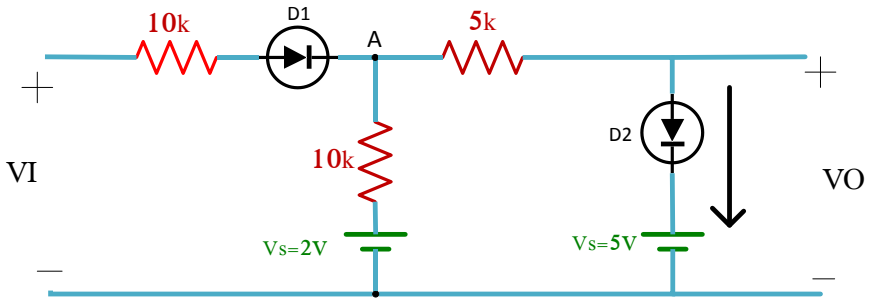
کاربرد های مدارات دیود

مدارات برش (محدود کننده‌ی ولتاژ): از این مدارات به منظور محدود کردن ولتاژ ورودی استفاده می‌شود. فرض کنید مداری داریم که ورودی آن ولتاژی بین۲ تا ۲- ولت است در صورتی که کاربر ممکن ولتاژی بین۱۰ تا ۱۰- ولت به ورودی متصل کند.

اگر ولتاژ سینوسی به ورودی اعمال کنیم ولتاژ خروجی به صورت زیر خواهد بود: (اینجا مفهوم برش گر بودن مدار مشخص می شود)



مثال: مدار زیر یک مدار برش است، منحنی مشخصه (منحنی ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ ورودی) این مدار را محاسبه نمایید:



حالت (فرض) اول :

$D_1: off \ , \ D_2: off$

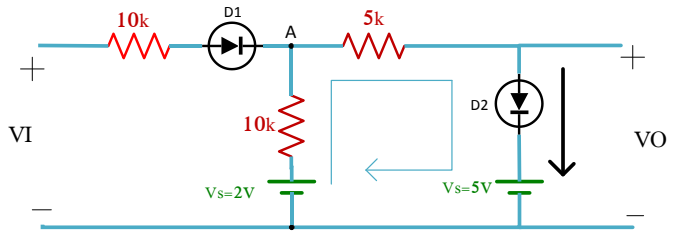
ما محدوده V_o نسبت به ورودی V_i مشخص کنیم.

$$V_i < 2 \quad \Longrightarrow \quad V_A = 2v \quad \Longrightarrow \quad V_O = 2v$$

بررسی ولتاژ دو سر دیودها قابل قبول می‌باشد.

حالت (فرض) دوم :

$D_1: off \ , \ D_2: on$



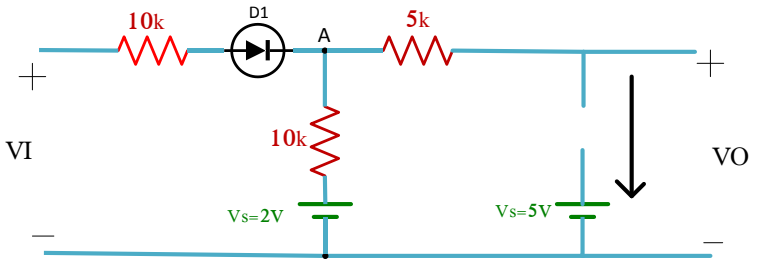
$$V_A = ? \rightarrow I_{D_2} = i \Longrightarrow kvl;\ -2 + 10k\, i + 5k\, i + 5 = 0$$

$$I_{D_2} = \frac{2-5}{15k} = -0.2mA$$

از انجایی که جریان دیود روشن منفی شد، پس فرض ما اشتباه بود.

حالت (فرض) سوم :

$D_1: on \ , \ D_2: off$



$V_A = V_O = ?$

در این صورت با استفاده از جمع آثار داریم:

$$V_O = \frac{V_i \times 10k}{10k + 10k} + \frac{2 \times 10k}{10k + 10} = \frac{1}{2}V_i + 1$$

شرط لازم برای این حالت $D_1: on \ \rightarrow \ V_i \geq 2v$ و $D_2: off \ \rightarrow \ V_O \leq 5v$

باتوجه به $V_O = \frac{1}{2}V_i + 1 \Longleftarrow V_i \leq 8v \Longleftarrow 2 \leq V_i \leq 8$

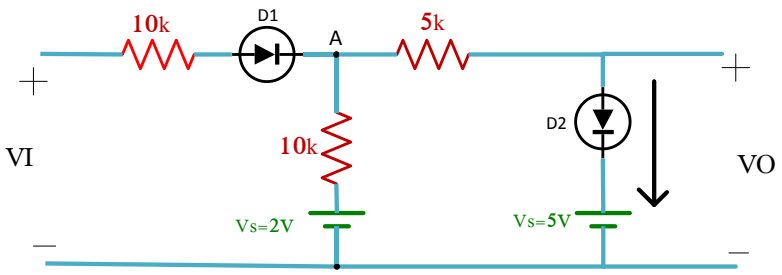
حالت (فرض) چهارم :

$D_1: on \ , \ D_2: on$

$$V_O = 5v$$

$$D_2: on \Longrightarrow V_A \geq 5v$$

با استفاده از kcl در گره‌ی A خواهیم داشت:



$$\frac{V_i - V_A}{10k} = \frac{V_A - 2}{10k} + \frac{V_A - 5}{5k} \Rightarrow \frac{V_i - V_A}{10k} = \frac{V_A - 2}{10k} + \frac{2V_A - 10}{10k}$$

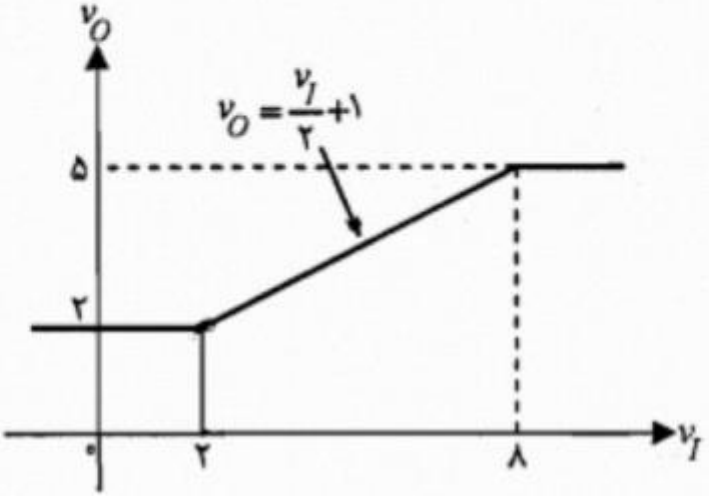
$$V_i - V_A = V_A - 2 + 2V_A - 10$$

$$V_i + 12 = 4V_A \Rightarrow V_A = \frac{1}{4}V_i + 3$$

حال با توجه به رابطه‌ی $V_A \geq 5v$ و $V_A = \frac{1}{4}V_i + 3$ داریم

$$V_i \geq 8v$$

ولتاژ خروجی V_o	ولتاژ ورودی V_i	دیود D_2	دیود D_1
$v_O = ۲V$	$v_I < ۲V$	قطع	قطع
$v_O = \frac{v_I}{۲} + ۱$	$۲V \leq v_I < ۸V$	قطع	وصل
$v_O = ۵V$	$۸V < v_I$	وصل	وصل



پایان جلسه پنجم

روزگار خوشی را برای شما آرزومندم.

محمد اعرابیان