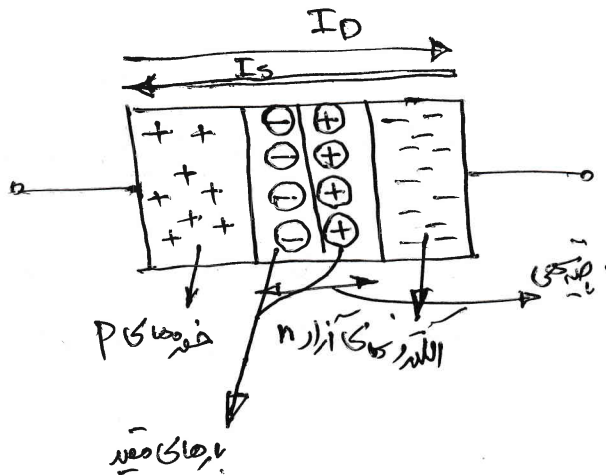


فصل ۲

دیود نیمه هادی: از اتصال یک ماده نوع N و یک ماده نوع P یک دیود ایجاد می شود. با اتصال این دو نیمه هادی یک ماده یکپارچه یا حتی یک لایه P و N ایجاد می شود. کل یک اتصال P-N در حالت ایستادگی

نشان می دهد

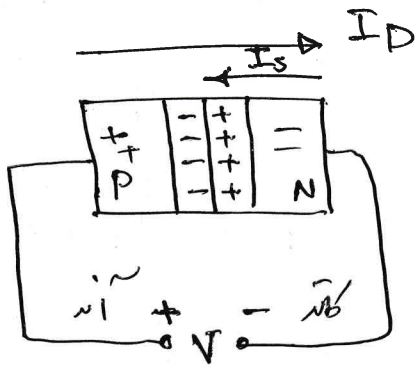


انواع بایاس دیود:

(Forward Bias)

الف: بایاس مستقیم:

اگر کاتد دیود با پتانسیل مثبت و آنود با پتانسیل منفی و آنرا به ولتاژ مستقیم وصل می شود (دیود در حالت بایاس مستقیم قرار می گیرد)



خصوصیات بایاس مستقیم:

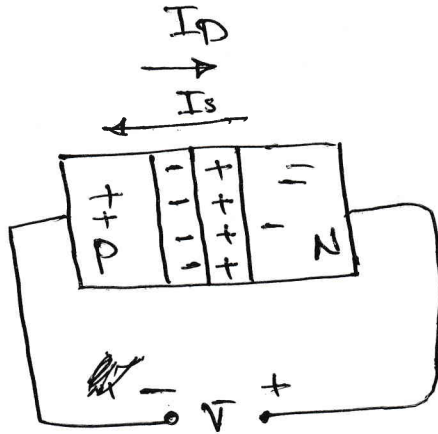
۱. در این نوع بایاس جریان نیمه یکپارچه کمی می شود.
۲. با افزایش ولتاژ حاملهای اکثریت از اثرات خواص رسانندگی و حاملهای اقلیت تقریباً ثابت می ماند.
۳. جریان در دیود توسط حاملهای اکثریت ایجاد می شود.

I_S

I_D

Reverse Bias

ب. ناهیه معکوس



در ناهیه P به ولتاژ مثبتی و ناهیه N به ولتاژ منفی وصل شوند. (در دور حالت (ناهیه معکوس) بیایس می شود)

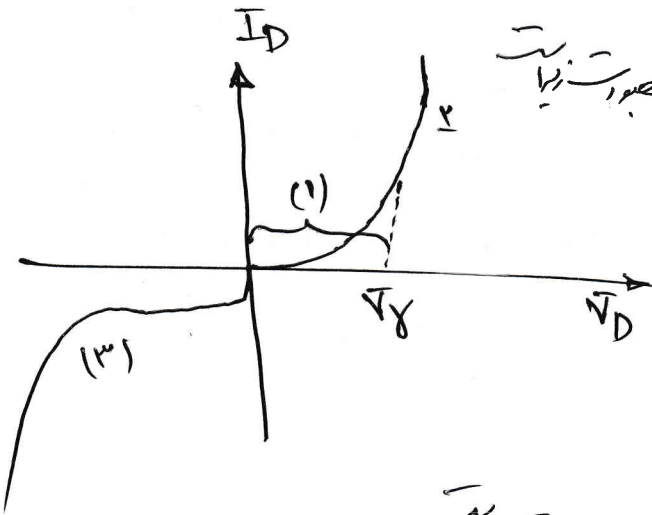
۱. در این نوع بیایس ناهیه تخلیه عین زیادی پیدا کرده و با آن اثر می شود

ولتاژ معکوس عین ناهیه تخلیه زیادی می شود

۲. جریان حاملهای اکثریت تقریباً صفر می شود و حاملهای اقلیت باقی می ماند

منحنی مشخصه دیود:

منحنی $V_D - I_D$ (در سمت چپ تصویر) برای



این منحنی جهت تحلیل به ۳ ناهیه تقسیم می شود
و ناهیه جدا تحلیل می شود

V_T ، ولتاژ آستانه هدایت دیود

الف: ناهیه (۱): (از صفر تا V_T) در این ناهیه مداره جریانی دیود بصورت زیر است

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

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

V_T : ولتاژ مداره حرارتی که در دمای اتاق 25°C $\frac{P}{C}$

$k = 1.38 \times 10^{-23}$: ثابت بولتزمن؛ $q = 1.6 \times 10^{-19}$: بار الکتریکی

V_D : ولتاژ دیود
 I_D : جریان دیود
 n : ضریب ثابت جهش ۱

ب: ناهیه ۲، $(V_D > V_T)$ در این ناحیه دیود بصورت کامل در آرایش مستقیم بیس نشسته است، معادله جریان

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{V_T}} \right) \quad V_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

دیود بصورت شدید ظاهر می شود.

ج: ناهیه ۳، در این ناحیه دیود بیس معکوس است، معادله جریانی دیود بصورت شدید است.

$$I_D = -I_S$$

نکته: I_S جریان اشباع معکوس دیود است و به جریانی گفته می شود که اگر دیود در آرایش معکوس بیس نشسته شود از کاتد به آن



آنند جاری می شود.

- تغییرات I_S در اثر تغییرات دمای محیط ۱. در اثر افزایش دمای محیط I_S زیاد می شود و به ازای هر 10°C افزایش دمای محیط

جریان اشباع معکوس ۲ برابر می شود. رابطه تغییرات I_S با دما بصورت زیر است:

$$I_S(T_2) = I_S(T_1) \times 2^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

$I_S(T_2)$: I_S در دمای T_2 ، $I_S(T_1)$: I_S در دمای اول

مثال: یک دیود از نوع Si معادله $I_S = 10 \text{ nA}$ در دمای 30°C است. اگر دمای محیط به 50°C برسد معادله

$$I_S(50) = I_S(30) \times 2^{\frac{50-30}{10}} = 10 \times 2^{\frac{50-30}{10}} = 40 \text{ nA}$$

I_S در این حالت ۴۰ برابر می شود.

* تغییرات V_T با تغییرات دمای محیط

و ثابت است به عبارت دیو (V_T) به ازای هر درجه افزایش دمای محیط به اندازه 2 mV یا 2.5 mV کم می شود.

رابطه تغییرات V_T با دما بصورت زیر است:

$$V_T(T_2) = V_T(T_1) - 2 \text{ mV} \times (T_2 - T_1)$$

PIV

* ولتاژ شکست مطلق دیود :

حداکثر ولتاژی که می توان بگذرد مطلقا به دو سر دیود اعمال کرد به طوری که دیود آسیب نبیند و ولتاژ شکست مطلق دیود را متناقص

* ولتاژ هدایت دیود که لایس تنظیم V_g :

حداقل ولتاژ لازم برای روشن شدن دیود به بایس تنظیم که دو سر دیود افت پایداری کند را V_g می نامند

ناحیه شکست زنگنه : اگر ولتاژ مطلق دو سر دیود از PIV کمی بزرگتر شود دیود وارد ناحیه شکست زنگنه می شود و جریان رجعت عکس I_D شروع به بزرگ شدن می کند

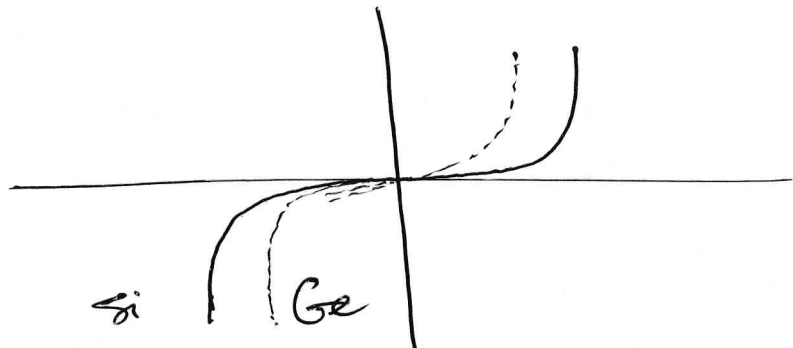
ناحیه شکست چھوچه : اگر ولتاژ مطلق دو سر دیود به ولتاژ لازم برای شکست زنگنه بزرگتر شود دیود وارد ناحیه شکست چھوچه می شود و شکله کریستالی دیود آسیب دیده و جریان دیود بسیار بزرگ می شود.

$$\begin{cases} PIV_{max}(Si) = 1000 \text{ V} \\ PIV_{max}(Ge) = 400 \text{ V} \end{cases}$$

تفاوت بین دیودهای Si و Ge :

$$\begin{cases} 0.5 < V_g(Si) < 0.7 \\ 0.2 < V_g(Ge) < 0.3 \end{cases} \quad \begin{cases} Max(T)(Si) = 400^\circ C \\ Max(T)(Ge) = 100^\circ C \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_s(Ge) = 1-2 \mu A \\ I_s(Si) = 10 \text{ nA} \end{cases}$$



الف: مدار معادل دیود جهت کار با ولتاژ AC :

صورت زیر را ببینید



$$r_d = \frac{\eta V_T}{I_D}$$

$$r'_d = r_d + r_B$$

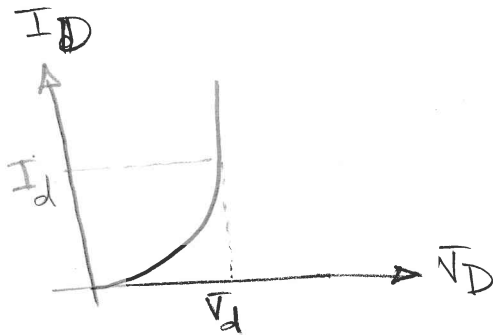
$$r_d = r'_d$$

r_B : مقاومت بنده دیود (مقاومت استاتیکی دیود)

r_d : مقاومت دیود (مقاومت دینامیکی دیود)

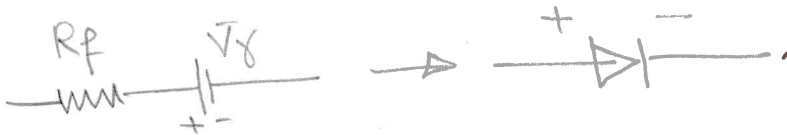
آزاد می شود $r_B = 0$ $\leftarrow r_d = r'_d$

$\eta = 1$



ب: مدار معادل دیود جهت کار با ولتاژ DC :

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



$R_F : R_{\text{forward}}$

نکته: R_F از روی منحنی دیود و با توجه به نقطه کار دیود بدست می آید

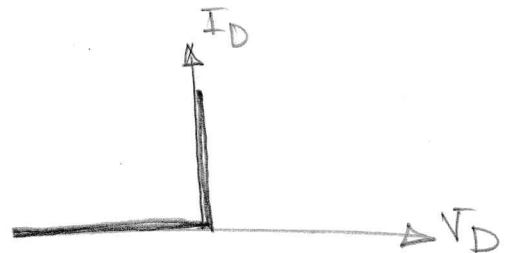
* مدار معادل دیود و منحنی های مربوط جهت های مختلف:



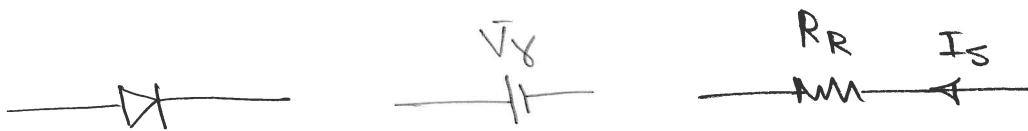
دیود ایده آل

راش مستقیم

راش معکوس

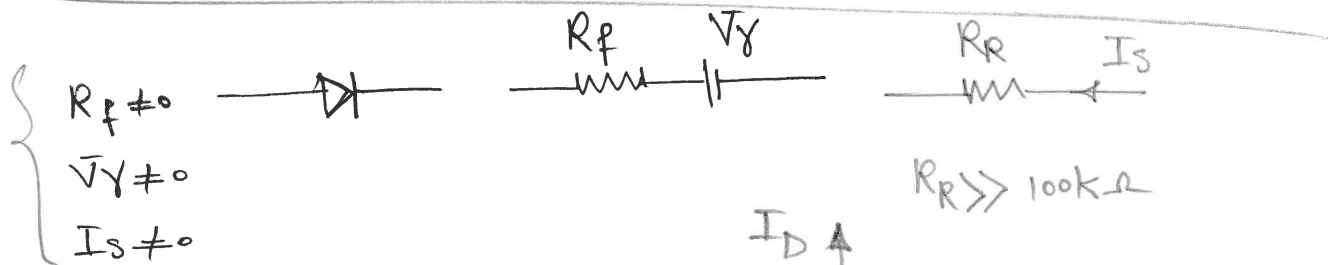
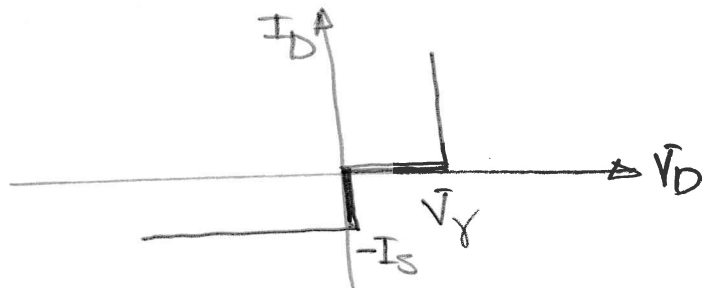


$$\begin{cases} V_\gamma = 0 \\ R_F = 0 \\ I_S = 0 \end{cases}$$



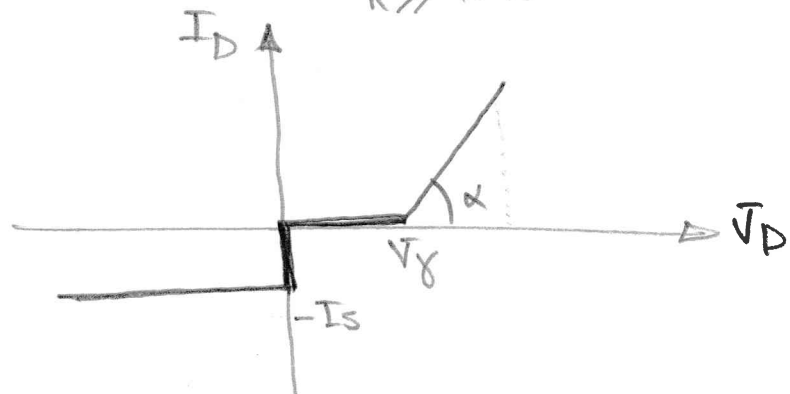
$$\begin{cases} R_f = 0 \\ V_Y \neq 0 \\ I_S \neq 0 \end{cases}$$

$$R_R \gg 100k\Omega$$



$$\begin{cases} R_f \neq 0 \\ V_Y \neq 0 \\ I_S \neq 0 \end{cases}$$

$$R_R \gg 100k\Omega$$



$$\tan \alpha = \frac{1}{R_f}$$

تغییرات مقاومت دینامیکی دیود به حسب تغییرات دما:

نحوه تغییرات و مقاوت دینامیکی دیود با دما به طبق جدول زیر است

$$\frac{r_d(T_1)}{r_d(T_2)} = \frac{T_1^{ok}}{T_2^{ok}} = \frac{\theta_1^{\circ C} + 273}{\theta_2^{\circ C} + 273}$$

مثال: دمای ۲۷°C مقاومت دینامیکی دیود چقدر است تا اگر دمای محیط به ۱۲۷°C برسد مقاومت دینامیکی آن

$$\frac{r_d(T_1)}{40} = \frac{27+273}{127+273}$$

$$\rightarrow r_d(T_1) = 30\Omega$$

۴۰ اهم

* ظرفیت خازنی دیود

7/E

الف خازن انتقالی: C_T در اثر اتصال نواح P و N به طرفین خازنی بینا خازن انتقالی ای دی شود و در طبق فرمول زیر محاسبه می شود

$$C_T = k \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

d : ضخامت ناحیه تخلیه

$k \epsilon_0$: ضریب دی الکتریک ماده

A : سطح مقطع

ب. خازن نفوذی (C_D): در اثر حرکت حاملها در دیود یک ظرفیت خازنی بینا م خازن نفوذی ایجاد می شود که حده آن طبق فرمول زیر محاسبه می شود.

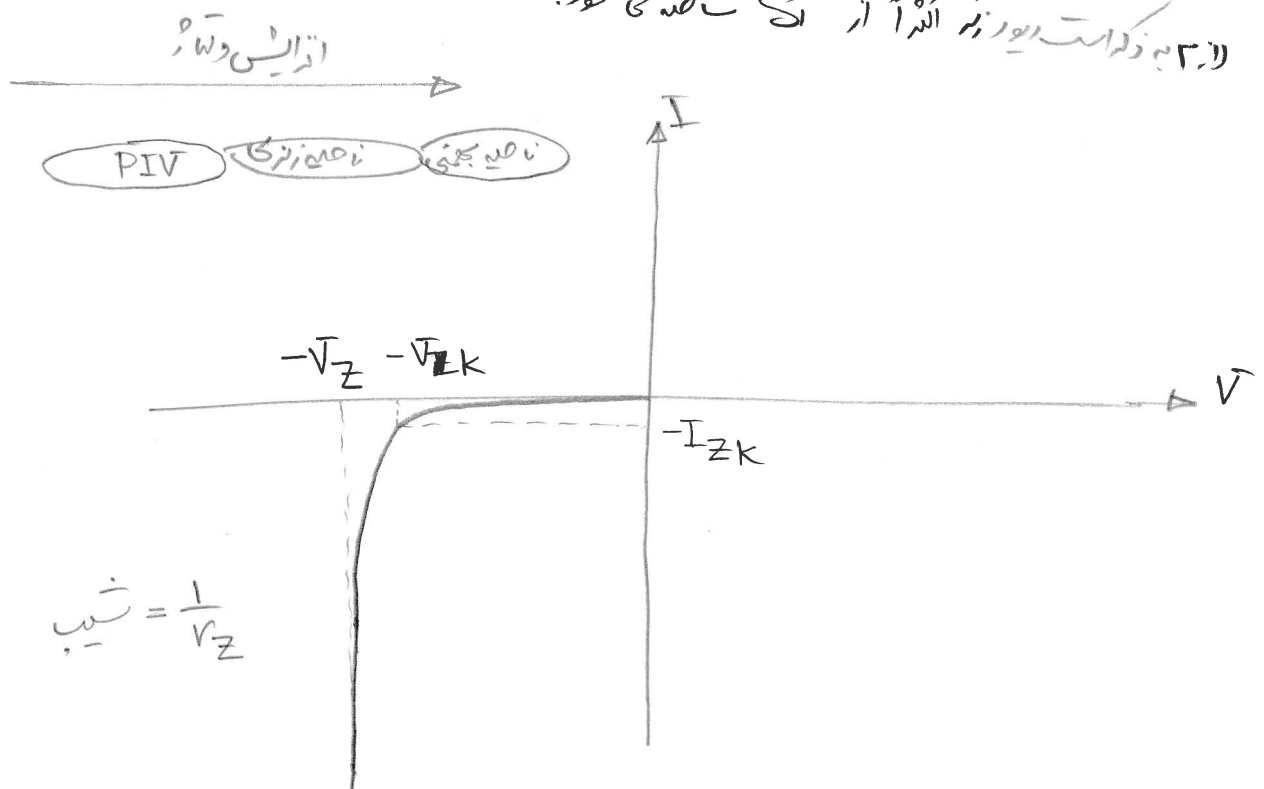
$$C_D = \frac{C_T}{V_F} \cdot I_D$$

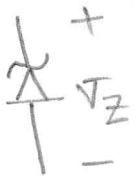
I_D : جریان دیود در نقطه بایاس

C_T : زمان گذر متوسط (توسط زمان لازم برای نفوذ حاملها از یک طرف به طرف دیگر ماده) از P به N

دیود زنر:

گاه با تغییرات مقادیر ناخالصی در دیود منجر به PIV آن کاهش می دهد و همچنین با اعمال تغییراتی ساختاری ایجاد کنیم که دیود پس از واردا شدن در ناحیه زنی آسیب نبیند، در این حالت یک دیود زنر ساخته می شود.

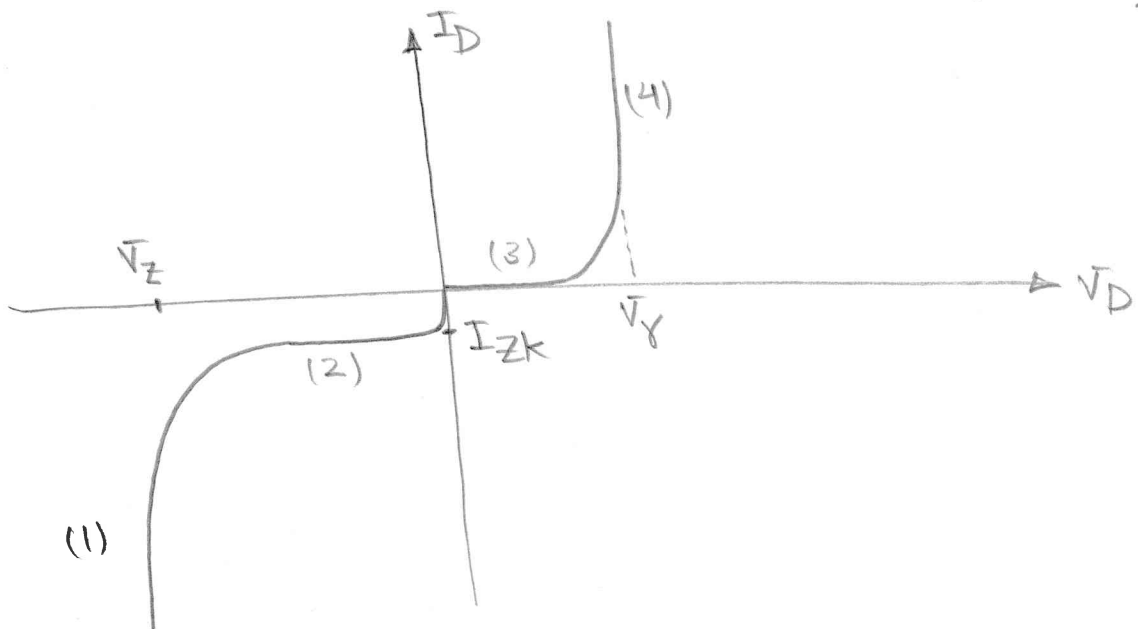




پایین مناسب برای دیود زنر:

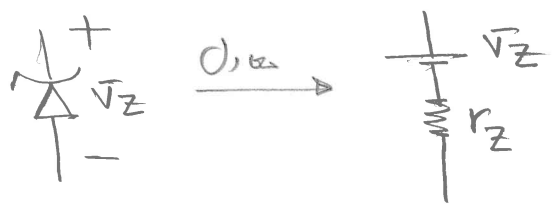
دیود زنر برای کار در ناحیه زنی باید بصورت معادل نیس شود:

* نواحی کار دیود زنر:
 ۱. ناحیه کار در صورتی که دیود زنر در ناحیه زنی کار می کند



الف: ناحیه زنی (۱)

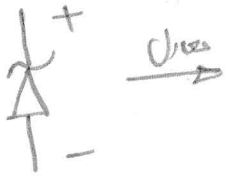
این ناحیه با اعمال ولتاژ مناسب مطابق با ولتاژ زنر است. در این ناحیه دیود زنر ایجاب می کند که ولتاژ زنر و ولتاژ دین در آن ثابت می ماند. برای روشن بودن یک دیود زنر و کار در ناحیه زنی مطابق جدول زیر است:



$$I_Z \uparrow \begin{cases} I_Z > I_{ZK} \\ V_D \gg V_Z \end{cases}$$

ب: خاصیه خاموشی دیود زبر (۲)

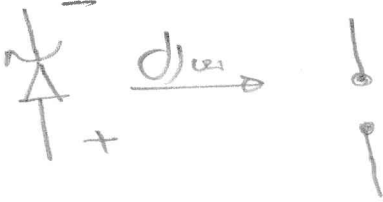
۹
E



اگر ولتاژی کمتر از ولتاژ نامی دیود زبر در دو سر آن مطابق با حالت نگه نه در قبل ،
دیود زبر زبر میماند . دیود زبر روشن نخواهد شد . جیاری دیود متشکل اتصال باز
عمل نمیکنند

ج: خاصیه خاموشی زبر و هدایت بصورت دیود عاری (۳)

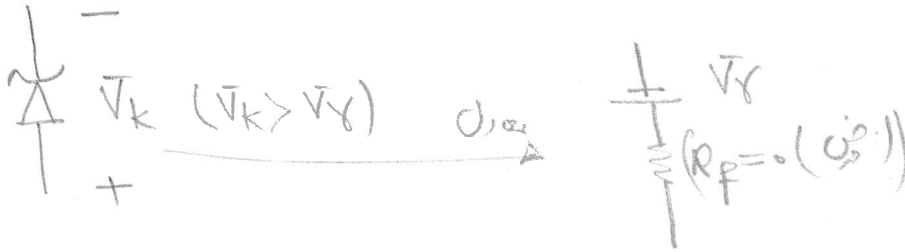
در این حالت بیاییم دیود زبر بصورت رو برداشت ولی ولتاژ کافی برای روشن شدن بصورت دیود عاری ظهور ندارد



لذا مدار معال آن بصورت اتصال باز است

د: خاصیه کل ماته دیود معمولی (۴)

اگر مطابق با ولتاژیه دیود زبر به دیود زبر ولتاژ دارد شود متشکل دیود عاری دو سر آن V_K افت پیدا خواهد کرد.



- انواع دیود دیود :

۱. دیود شتابی (دیود با حاملهای داغ) : در این دیود اتصال بین کاتد و آنود یک ولتاژ مستقیم میگیرد و حاملها در این

نوع دیود فقط الکترودها هستند و کاربرد آن در آشکارسازها و سوئیچهای سریع است



- تعریف دیود شتابی : دیود شتابی

۱. PIV دیود شتابی کمتر از PIV دیود شتابی است

۲. I_S دیود شتابی زیادتر از I_S دیود شتابی است

۳. توان مصرفی دیود شتابی کمتر از توان مصرفی دیود شتابی است

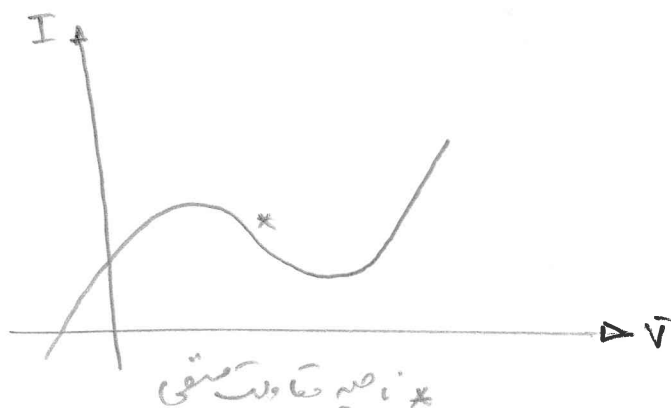
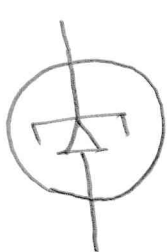
۲. تفاوت این دیود با دیودهای عادی در حالتی بسیار بالای تفاضلی در



نیمه‌های نوع P و N است. در این دیود ممکن است تخلیه بسیار کمتری در دیودهای عادی

در حدود ۰.۰۱ ولت افت باشد. همچنین سخت سطح وصل این دیود بسیار زیاد است.

حفاظت، مستقیماً بر روی فشار این دیود دارای مقاومت متغی است و کاربرد آن در نوسان سازه است.



۳. دیودهای نوری (نوری): (LED) دیودهای نوری معمولاً از کریستال نیمه‌هادی‌های گالیوم-آرسنیک

(Ga-As) ساخته می‌شوند و تفاوتی با دیودهای عادی نه لحاظ کار دارند و ولتاژ V_A آن‌ها می‌باشد

برای مثال ولتاژ ON شدن دیود نوری یا LED قوی‌ترین تابش‌دهنده بین ۲.۹-۱.۵ ولت بوده دارد.



۴. دیود نورک: در این نوع دیود جریان اشباع معکوس به نسبت نور تابیده شده به سطح اید می‌باشد و تابش نور

آشکار ساز نورک از آن استفاده می‌شود. لازم به ذکر است اید نوری بطور معکوس بیاید شده و در مدار اید می‌گیرد.

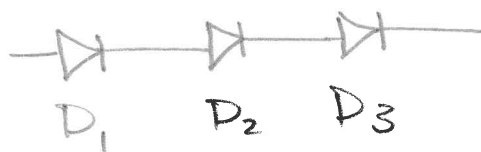


۵. دیودهای قدرت: همان دیودها که نوع آن‌ها هستند این تفاوت که توان قابل تحمل آن‌ها به دلیل وسعت سطح

اتصال P-N در آن‌ها زیاد تر از دیودهای معمولی است.

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

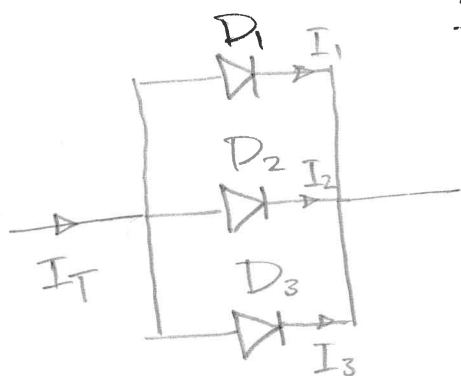
$$PIV_T = PIV_1 + PIV_2 + PIV_3$$



هدف از موازی کردن دیودها افزایش جریان عبوری از کل مجموعه دیودهاست.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

به نحوی که



نکات مهم در تحلیل سُل دیودها:

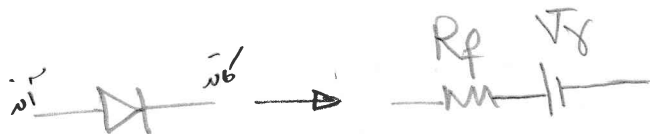
۱. برای تحلیل سُل دیود باید وقت شود که نسبت انواع بایس دیود مشخص شود. حال بسته به نوع بایس دیود

معادل آنرا در مدار قرار می‌دهیم. وقت شود شرط عددیاتی دیود بصورت دیوانت



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

پس از عددیاتی دیود باید جای دیود در معادل دیود قرار داد



وقت شود که ولتاژ اولیه V_γ به دیود بصورتی باشد که باید مثبت منبع V_γ به سمت آن باشد یا به عبارتی جریان تولیدی توسط

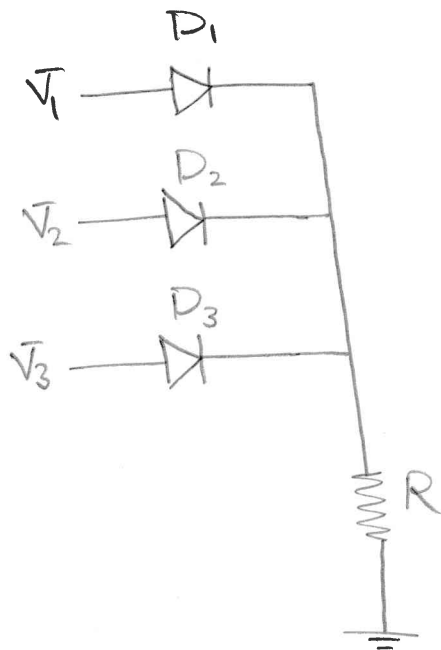
V_γ برخلاف جهت فلش دیود باشد. در اکثر مسائل که تقادست R_f هدف تعریفی شود نو کافی است به جای دیود

که منبع ولتاژ V_γ قرار دهیم

اگرچه تمام از مقایسه V_1 ، R_f و ولتس بود و در این حالت در فکری نیستیم و به جای آن در بایس مستقیم اتصال کوتاه و به بایس معکوس اتصال ندری باشد.

در حالت کار با ولتاژ AC لازم به ذکر است مدار اتصال دیود یک تعادلت r_d می باشد

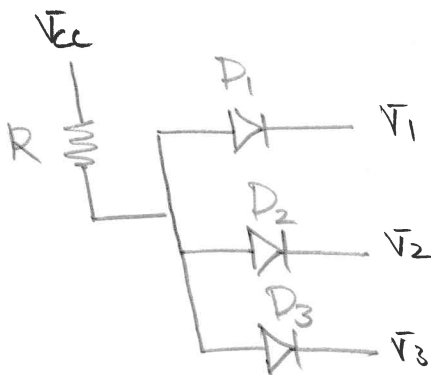
۲. اگر چند دیود دارای کاتد مشترک باشند دیودی هدایت می کند که در آن خود ولتاژ بیشترین نسبت به سایر دیودها دارد



$$\text{if } V_1 > V_2 > V_3$$

$$\rightarrow \begin{cases} D_1: \text{ON} \\ D_2, D_3: \text{off} \end{cases}$$

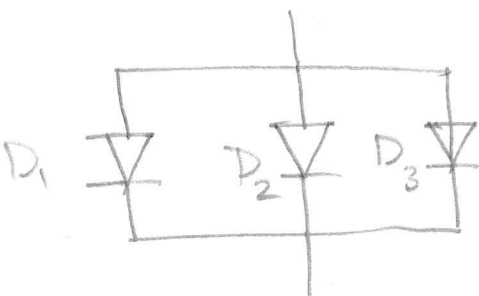
۳. اگر چند دیود دارای آنود مشترک باشند دیودی هدایت می کند که در کاتد خود ولتاژ کمتری نسبت به بقیه دیودها دارد



$$\text{if } V_1 > V_2 > V_3$$

$$\begin{cases} D_3: \text{ON} \\ D_1, D_2: \text{off} \end{cases}$$

۴. اگر تعدادی دیود با V_1 های مختلف با هم خطای شوند، دیودی هدایت می کند که ولتاژ کمتری است



$$\text{if } V_1(D_1) > V_1(D_2) > V_1(D_3)$$

$$\begin{cases} D_3: \text{ON} \\ D_1, D_2: \text{off} \end{cases}$$

5. اگر تعدادی دیود بصورت سری که لایحه یکلو س باشند جریان آنها برابر جریان I_S دیودی است.

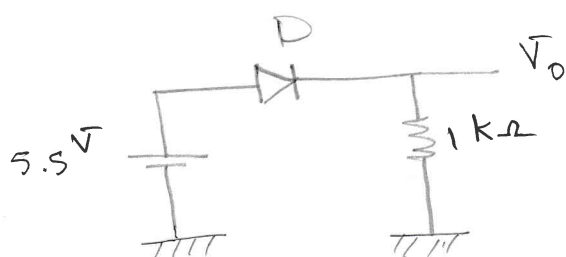


$$I_S(D_1) > I_S(D_2) > I_S(D_3)$$

$$I = I_S(D_3)$$

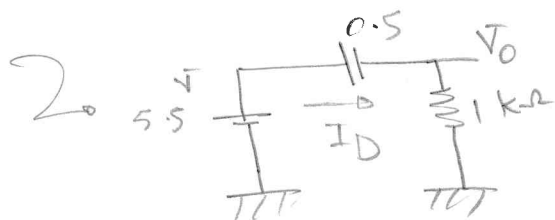
کمترین مقدار را دارد

مثال: در مدار زیر ولتاژ خروجی و جریان دیود را حساب کنید ($I_S = 1 \text{ nA}$, $V_T = 0.5 \text{ V}$)



باید بدانیم که ولتاژ آنده نسبت به کاتده می باشد

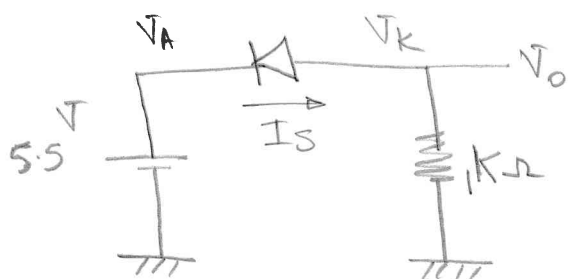
(مثبت تر است) دیود بایس مستقیم است



$$\text{KVL: } -5.5 + 0.5 + 1 \times I_D = 0$$

$$\rightarrow I_D = 5 \text{ mA}$$

$$V_0 = 1 \text{ k} \times 5 \text{ mA} = 5 \text{ V}$$



$$I_D = -I_S = -1 \text{ nA}$$

$$V_0 = 1 \text{ k} \times 1 \text{ nA} = 1 \times 10^{-6} \text{ V}$$

تاریخ فصل ۱

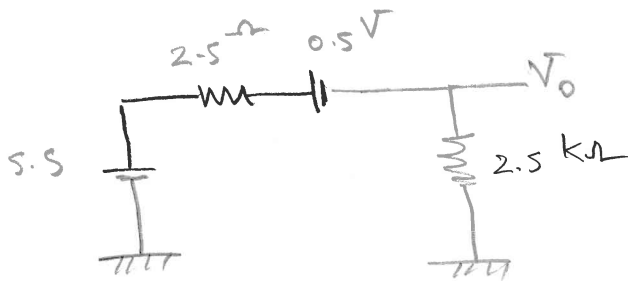
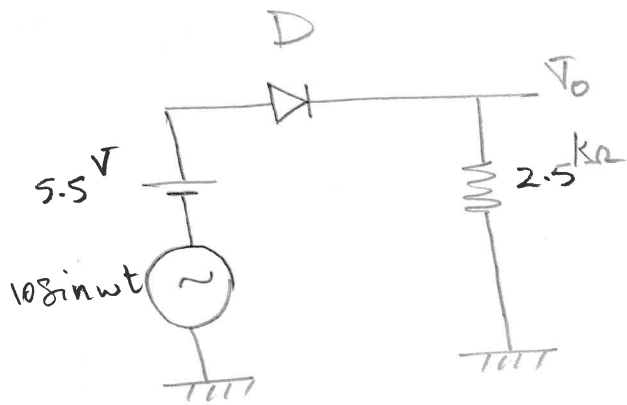
۱۰ - ۹ - ۸ - ۷ - ۶ - ۵ - ۴ - ۳ - ۲ - ۱

۱۹ - ۱۸ - ۱۷ - ۱۶ - ۱۵ - ۱۴ - ۱۳ - ۱۲ - ۱۱ - ۱۰ - ۹ - ۸ - ۷ - ۶ - ۵ - ۴ - ۳ - ۲ - ۱

فصل ۲

نیل، حسین و ونانژ فرولی باله مدرسه زیر کیت آدیه

$$\frac{14}{E} (V_T = 26 \text{ mV}, \eta = 1, R_f = 2.5 \text{ k}\Omega, V_Y = 0.5 \text{ V})$$

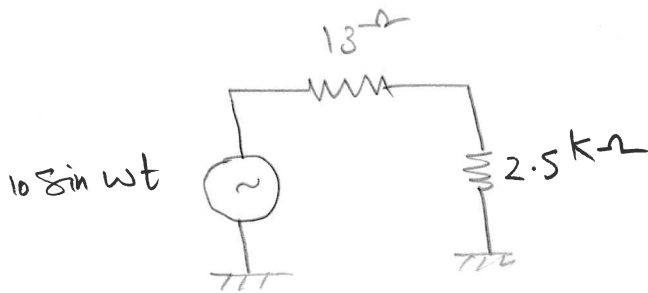


$$I_D = \frac{5.5 - 0.5}{2.5 \text{ } \Omega + 2.5 \text{ k}\Omega} \approx 2 \text{ mA}$$

(DC)

$$V_{O(DC)} = 2.5 \text{ k}\Omega \times 2 \text{ mA} = 5 \text{ V}$$

CHS AC: $r_d = \frac{\eta V_T}{I_D} = \frac{1 \times 26 \text{ mV}}{2 \text{ mA}} = 13 \text{ } \Omega$



$$I_{D(ac)} = \frac{10 \sin wt}{13 \text{ } \Omega + 2.5 \text{ k}\Omega} = 3.9 \times 10^{-3} \sin wt \text{ A}$$

$$V_{O(ac)} = 2.5 \times 3.9 \sin wt = 9.94 \sin wt$$

$$V_O = V_{O(DC)} + V_{O(AC)} = 5 + 9.94 \sin wt$$