بسم الله الرحمن الرحیم

الکترونیک عمومی

رشته :برق صنعتی وتاسیسات الکتریکی

۳ واحد

نحوه ارزشیابی

حل تمرینات وسئوالات تحقیقی	%10
امتحان میان ترم (زمان وحجم درسی بعداًاعلام می شود)	%10
حضورفعال در کلاس درس وتبادل اطلاعات علمی	%5
امتحان پایان ترم	%75

فهرست مطالب این درس

- **فصل اول:** ساختمان نیمه هادیها
- **فصل دوم:** ساختمان دیود،انواع دیود ها،کاربرد دیودها
- **فصل سوم:** ساختمان ترانزیستور دوقطبی(BJT) ،انواع تغذیه آن
- **فصل چهارم:** ساختمان ترانزیستور اثر میدان(FET) ،روشهای تغذیه آن
- **فصل پنجم:** تقویت کننده های قدرت ،رگولاتورهای ولتاژوجریان
- **فصل ششم:** بررسی تقویت کننده هادر حالت سیگنال کوچک
- **فصل هفتم:** تقویت کننده های عملیاتی وکاربردهای آن

مراجع درس:

1-قطعات ومدارات الکترونیک مولف:نشلسکی مترجم:خلیل باغانی ودکترقدرت سپید نام

2- مبانی الکترونیک مولف:دکتر میرعشقی نشر:شیخ بهایی

3-تحلیل وطراحی مدارهای الکترونیک مولف:مهندس شفیعی نشر:شیخ بهایی

4-تحلیل وطراحی مدارات الکترونیک مولف :دونالد نیمن مترجم:حبیبیان نشر:نص

فصل اول:ساختمان نیمه هادیها

۱-مقدمه

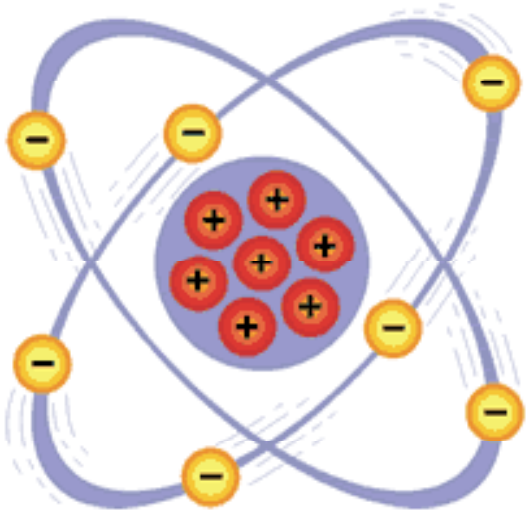
۱-۱-مدل اتمی بوهر

۱-۲-انواع اجسام ازنظر هدایت الکتریکی

۱-۳-تراز انرژی در اجسام ومقایسه بین آنها

2-نیمه هادیها وانواع آنها

*تعریف اتم :کوچکترین جزء یک عنصر که دارای خواص آن است ؛طبق مدل اتمی بوهر دارای هسته ومدارات الکترونی است.



*تعداد الکترونهای هرلایه ازرابطه $2n^2$ تعیین می گردد.

لایه والانس :لایه آخر هر اتم را لایه والانس یا ظرفیت گویند وتعداد الکترونهای این لایه را الکترونهای والانس گویند.که در شناخت اجسام اهمیت زیادتری دارند.

الکترونهای لایه والانس در هدایت الکتریکی اجسام نقش مهمی دارند.

۱-۲-اجسام در طبیعت ازنظرهدایت الکتریکی (رسانایی) به سه گروه تقسیم می شوند.

الف-هادی :دارای هدایت خوبی هستند ،به راحتی جریان الکتریکی راعبورمیدهند. تعدادالکترونهای لایه ظرفیت این گروه اجسام کمتر از ۴ تااست مثل:فلزات یک تا سه ظرفیتی (نقره ،مس،آلومینیوم و...)وبعضی از اسیدها،بازهاونمکها

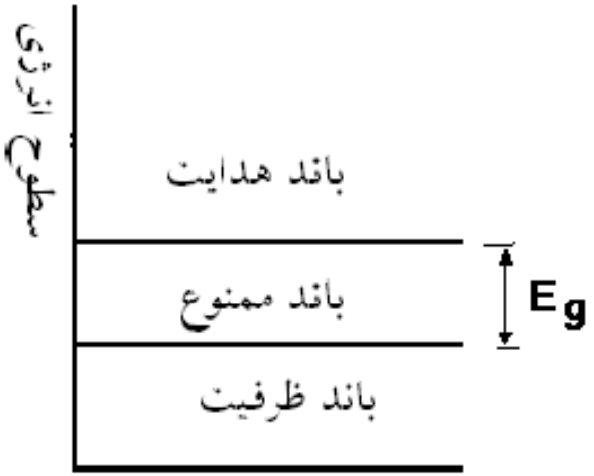
ب-نیمه هادی :هدایت کمتری نسبت به هادیها دارندوتحت شرایط خاص (مثل دادن انرژی)،جریان الکتریکی را از خود عبور می دهند.تعدادالکترونهای لایه ظرفیت این گروه اجسام برابر ۴ تااست مثل کربن ،ژرمانیوم،سیلیسیوم یا بعبارتی تمامی **عناصر گروه چهارم جدول مندلیف**

ج-عایق یا نارسانا : درشرایط عادی هدایت جریان الکتریکی نیستند،به سختی عبورمیدهند. تعدادالکترونهای لایه ظرفیت این گروه اجسام بیشتراز ۴ تااست مثل:شیشه ،هوا ،روغن و....

۱-۳-باند انرژی در اجسام:

الکترونهای لایه ظرفیت درفعل وانفعالات شیمیایی وترکیبات اجسام با یکدیگر نقش دارند

سطوح انرژی در اجسام عبارتنداز:



الف-باند ظرفیت :الکترونهای لایه آخر با تحریک انرژی خارجی از مدار الکترونی جدا می شوند.

ب-باند ممنوع :این باند نشان می دهدکه چه مقدار انرژی لازم است تا الکترونها از مدارآخرآزادگردند.

ج- باند هدایت :الکترونهای آزاد در اجسام با تحریک خارجی از جمله میدان الکتریکی می توانندبه راحتی در داخل اجسام به حرکت در آیند

Eg = مقدار انرژی که یک الکترون نیاز داردکه از تراز ظرفیت به تراز هدایت رودیعنی همان عرض باند ممنوع از نظر سطح انرژی را طی کند.

$1ev = 1.6 \times 10^{-19} \quad j$

این انرژی برحسب الکترون ـولت سنجیده می شود

مقایسه ترازهای انرژی در اجسام مختلف:

دردمای صفر مطلق ،تمام الکترونهای ظرفیت در نیمه هادی در مدار ظرفیت قرار دارند.

$$E_g(si) = 1.1\ ev$$

$$E_g(Ge) = 0.67\ ev$$

باافزایش دما(مثلاًدمای اطاق)،تعدادقابل توجهی الکترون انرژی کافی کسب نموده واز باند ممنوع (شکاف انرژی)عبور نموده وبه باند هدایت می رسند(اعداد داده شده در صفر مطلق است)

توجه :شکاف انرژی بین باند هدایت وباند ظرفیت برای عایق حدود **۵** الکترون –ولت یا بیشتر است.

نکته مهم: اگر ناخالصی های معینی به مواد نیمه هادی خالص افزوده یا دمای کارآن افزایش یابدباعث کاهش انرژی باند ممنوع شده ونیمه هادی به هادی تبدیل می شود.

سئوالات وتمرینات

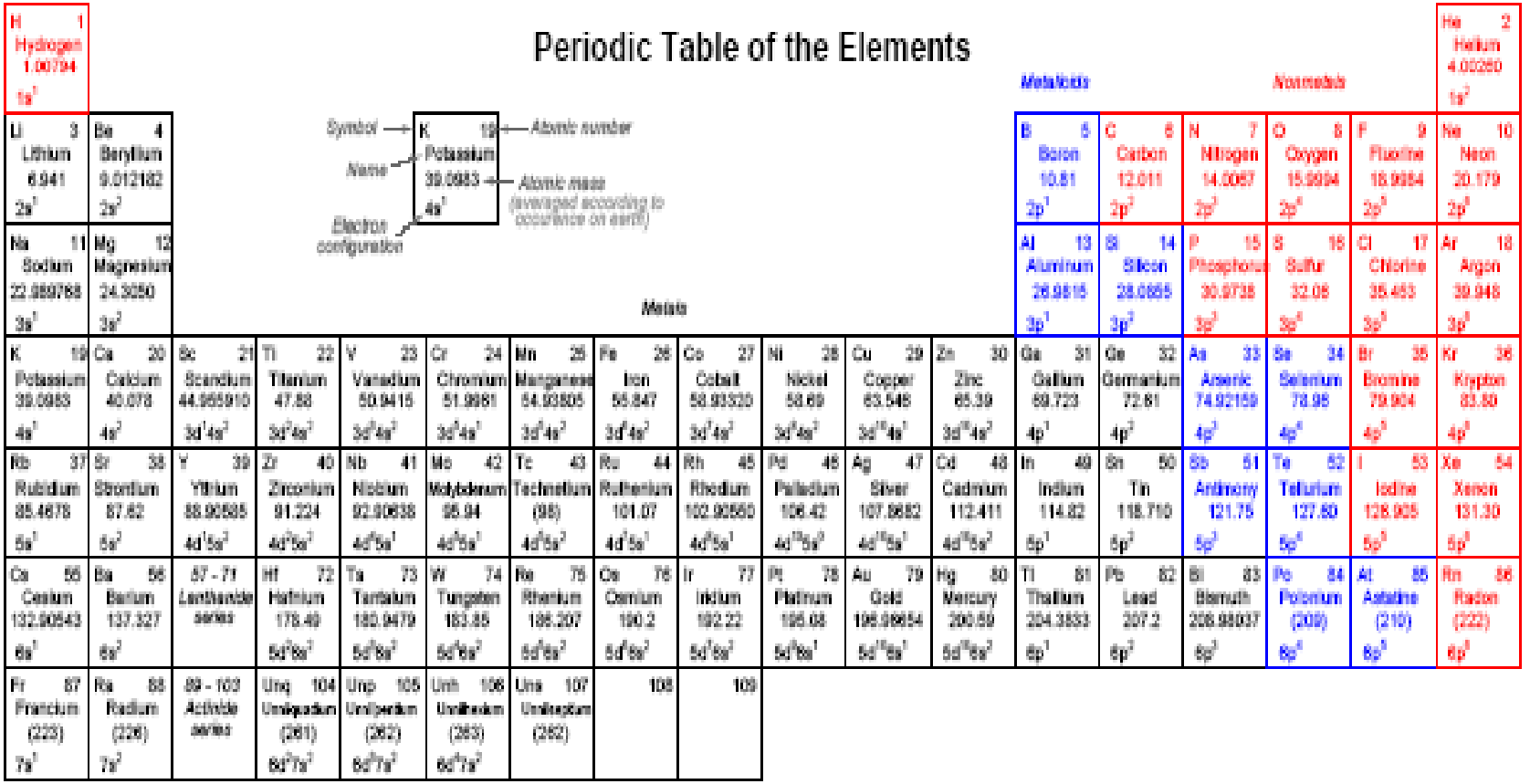
۱-ابر رسانا ها چه اجسامی هستند ؟(تحقیق کنید)

۲-عرض باند ممنوع چه ارتباطی با تعدادالکترونهای ظرفیت اجسام هم گروه ودیگر گروه ها دارد.

۳-روشهای کاهش باند ممنوع از نظر نوع انرژی بررسی کنید.

۴-آیا دانستن انرژی باند ممنوع درعایقها ضرورت دارد چرا؟

Periodic Table of the Elements



۲- نیمه هادیها وانواع آنها

خصوصیات نیمه هادیها عبارتند از:

۱-از نظر هدایت الکتریکی بهتر از عایق ها وبدتر ازهادیها هستند

۲-عرض باند ممنوع در نیمه هادیها بیشتر از هادیها وکمتر از عایقها است

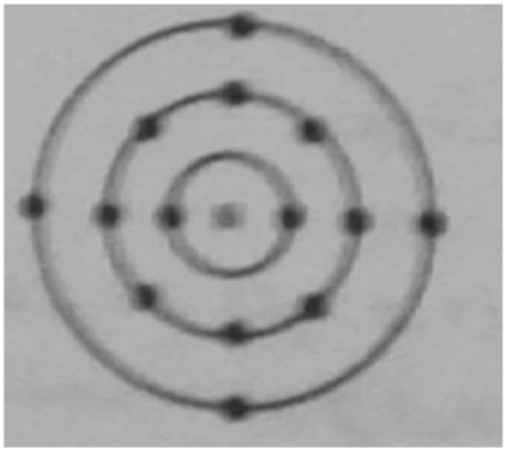
۳-کریستال نیمه هادی در دمای صفر مطلق عایق است.

۴-با دریافت انرژی کمی از خارج هادی می شوند

۵-مقاومت مخصوص نیمه هادیها بیشتر از هادیها است.

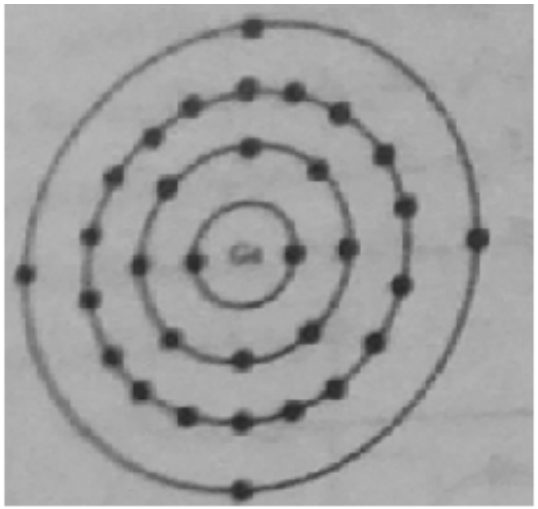
عدداتمی	علامت شیمیایی	نام عنصر
٦	C	کربن
١٤	Si	سیلیسیم
٣٢	Ge	ژرمانیوم
٩٠	Tm	توریم
٤٠	Zr	زیرکونیوم
٧٢	Hf	هافینوم

ساختمان اتمی ژرمانیوم وسیلیسیم



مدل اتمی سیلیسیم

Z=۱۴



مدل اتمی ژرمانیوم

Z=۳۲

خصوصیات کریستال نیمه هادی

1-بصورت یک بلور سه بعدی هستند

2-بعلت وجود پیوند اشتراکی در اتمها ،شبکه کریستالی فاقد الکترون آزاد است.

3-کریستال نیمه هادی یک عایق خوب است.

4-دراثر افزایش دما ،تعدادی از پیوندها شکسته شده والکترون آزاد بوجود می آیند

برای ناخالص کردن کریستال نیمه هادیها،عناصر با اتمهای 5 یا 3 ظرفیتی رابه آنها اضافه می نمایند

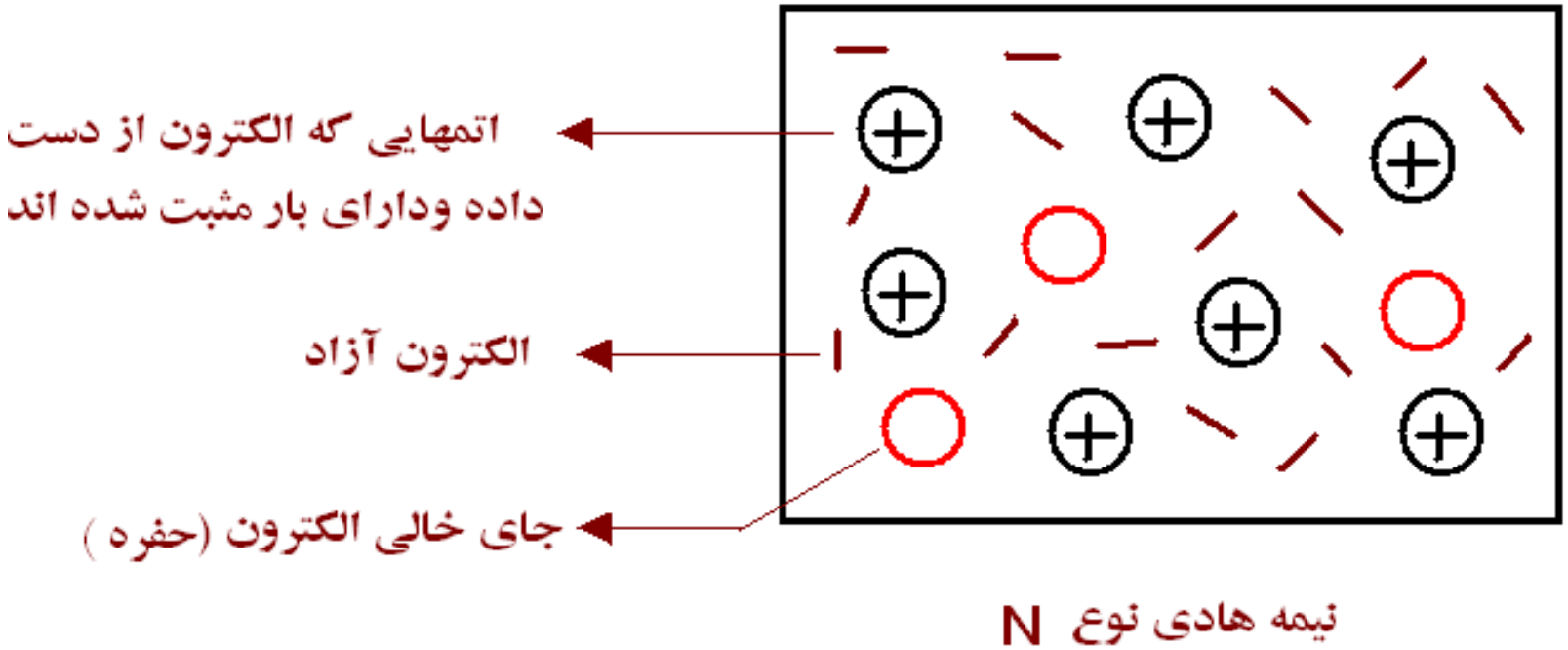
نیمه هادی نوع N (negative)

اگر یک عنصر 5 ظرفیتی مانند آرسنیک یا آنتیموان را به نیمه هادی سیلیسیم یا ژرمانیوم اضافه کنیم ،4 الکترون مدار آخر آرسنیک با چهار اتم مجاور نیمه هادی پیوند اشتراکی تشکیل داده والکترون پنجم آن ،بصورت الکترون آزاد باقی می ماند.

با تنظیم مقدار ناخالصی ،می توان تعداد الکترونهای آزادراکنترل نمود

نیمه هادی که ناخالصی آن اتم 5 ظرفیتی باشد نیمه هادی نوع N گویند

در نیمه هادی نوع N،الکترونها حاملهای اکثریت وحفره ها حاملهای اقلیت هستند

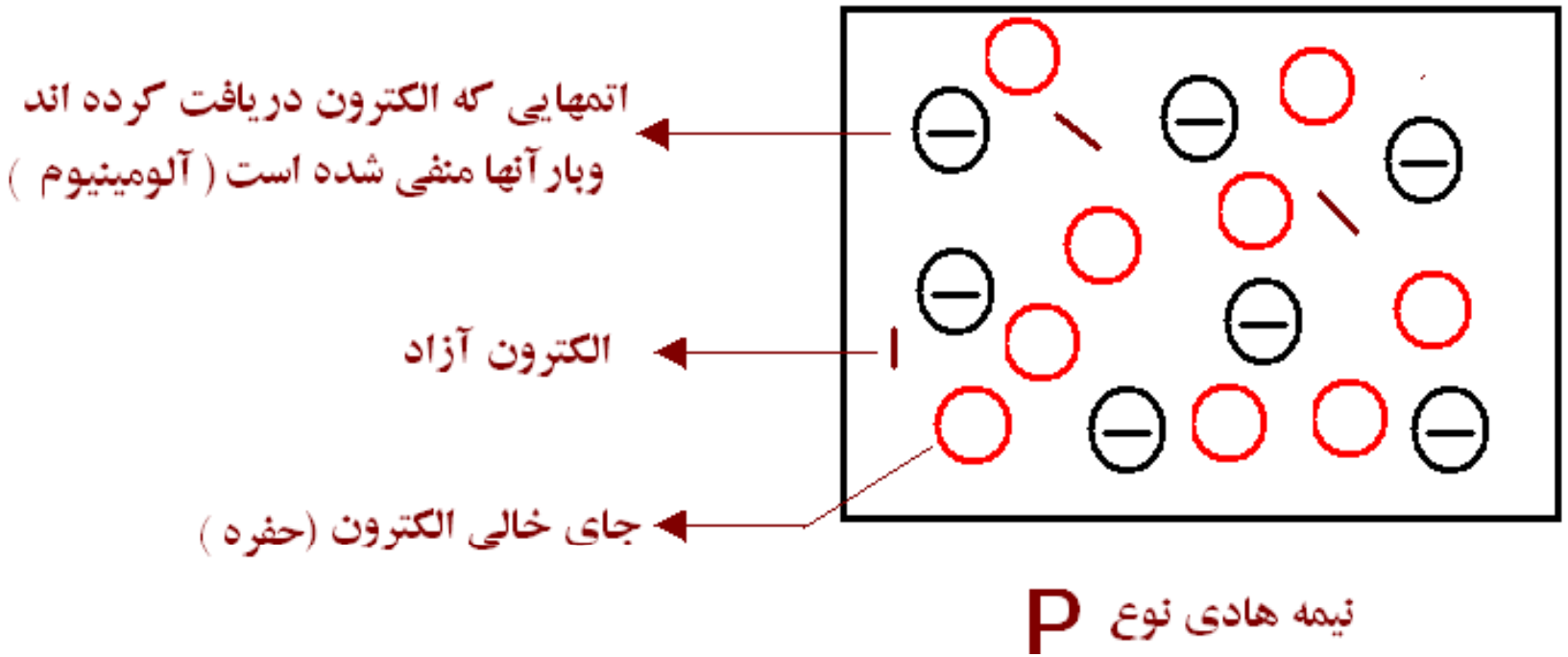


نیمه هادی نوع P

اگر یک عنصر ۳ ظرفیتی مانند آلومینیوم ،گالیوم را به نیمه هادی سیلیسیم یا ژرمانیوم اضافه کنیم ،۳ الکترون مدار آخر آلومینیوم با سه اتم مجاور نیمه هادی پیوند اشتراکی داده وپیوندچهارم دارای کمبود الکترون است یا می توان گفت که یک حفره ایجادشده است.در این نیمه هادی الکترونها فقط در اثرشکسته شدن پیوندها بوجود می آیند.
تعداد حفره ها را توسط ناخالصی سه ظرفیتی باتغییر درصد ترکیب ،تغییر داد.

نیمه هادی که ناخالصی آن از اتم سه ظرفیتی باشد نیمه هادی نوع P گویند

در نیمه هادی نوع P،الکترونها حاملهای اقلیت وحفره ها حاملهای اکثریت هستند



امروزه به دلایل زیر از نیمه هادی سیلیکونی بیشتر استفاده می شود

- سیلیسیوم به مقدار زیاد بصورت سیلیس (SiO_2) در طبیعت یافت می شود
- خالص کردن سیلیسیوم راحت تر از ژرمانیوم است
- تکنولوژی ساخت دیود،ترانزیستورومدارات مجتمع (IC) باسیلیسیوم راحت تر است
- تحمل درجه حرارت سیلیسیوم بیشتر است
- باند ممنوع سیلیسیوم پهن تر وجریان اشباع معکوس آن کمتراست
- چگالی جریان سیلیسیوم اززرمانیوم بیشتر است.

فصل دوم

- ساختمان دیود
- انواع دیودها
- کاربرد دیودها

اتصال PN (دیود)

- اگردوقطعه نیمه هادی نوع NوP را به هم پیونددهیم باانتقال الکترونها وحفره ها،الکترونهای موجوددر نیمه هادی نوع N جذب حفره شده لذادر محل اتصال دونیمه هادی NوP نه الکترون آزاد وجود داردونه حفره.
- به محلی که الکترون وحفره وجود ندارد ناحیه تخلیه یا پیوند(junction) گویند.
- در ناحیه تخلیه یونهای مثبت ومنفی وجود دارندودر بقیه قسمتهای دونیمه هادی وضیعت عادی است.

ناحیه تخلیهdepletion region:

۱-دارای یون های مثبت ومنفی است

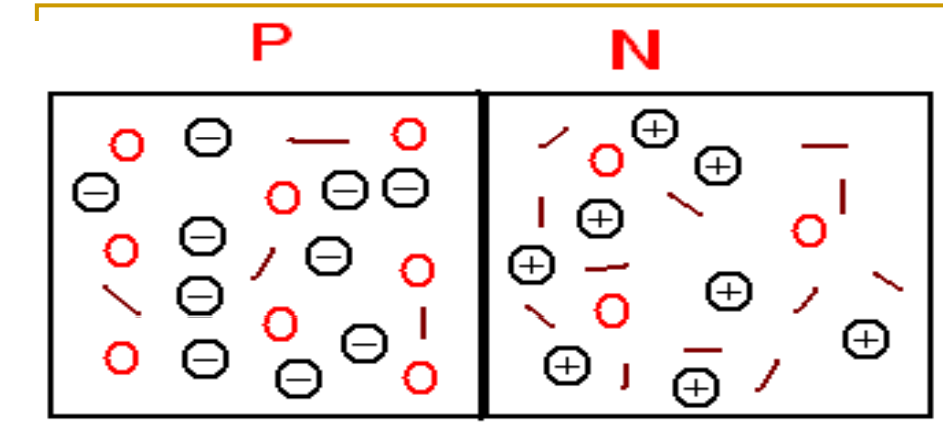
۲-مانند یک خازن است که دونیمه نوعPوN جوشنهای آن هستند.

۳-میدان الکتریکی بین جوشنها ایجاد می گردد.

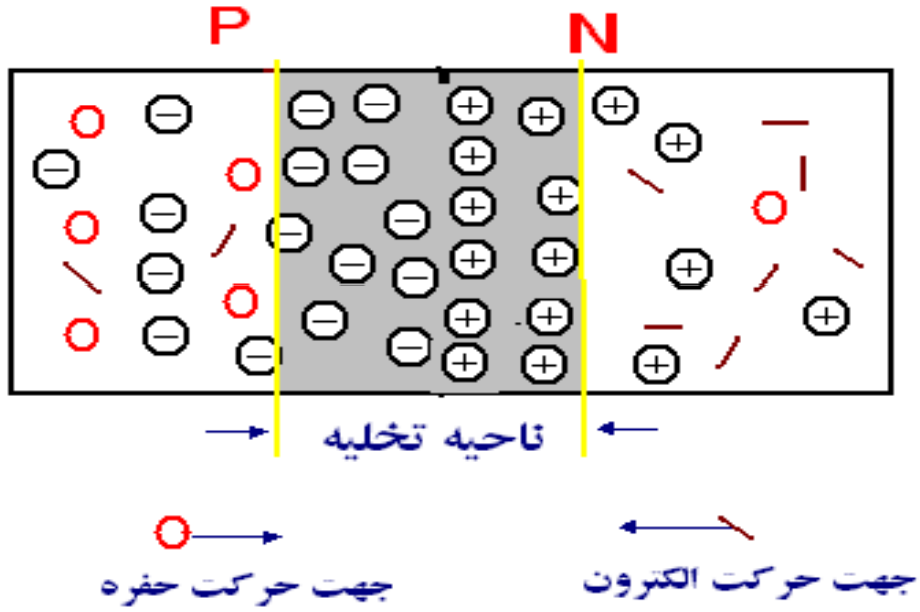
۴-بین جوشنها اختلاف پتانسیل ایجاد شده که به آن پتانسیل سد گویند.

۵-جهت میدان الکتریکی ازنیمه هادی نوع N به سمت نیمه هادی نوع Pاست.

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

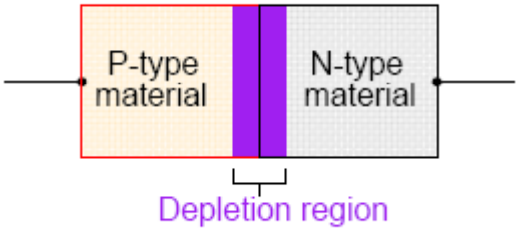


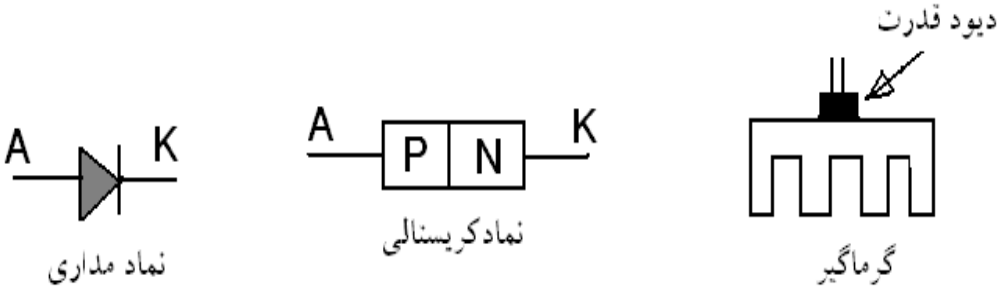
کنارهم قرارگرفتن دو نیمه هادی قبل از جابجایی الکترون وحفره

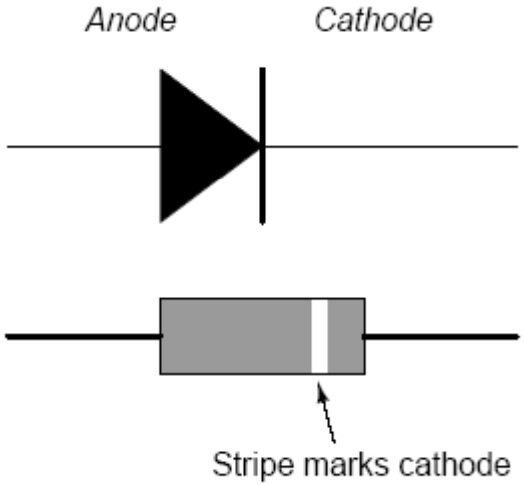


کنارهم قرارگرفتن دو نیمه هادی بعد از جابجایی الکترون وحفره

به اتصال PN دیود گویند(Diode)







وصل کردن ولتاژ dc را به دیود ،

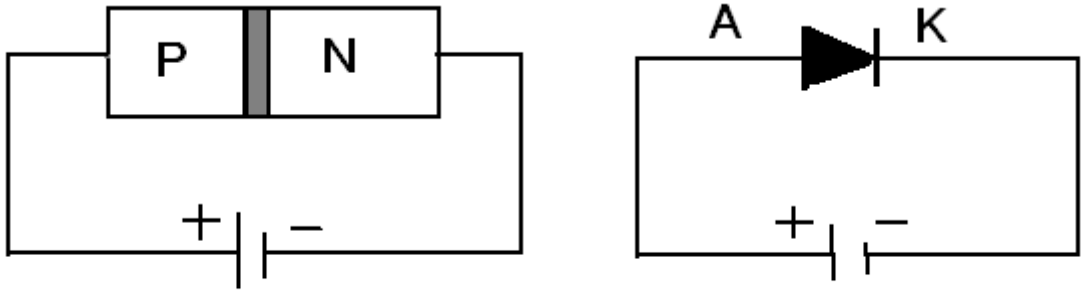
بایاس کردن گویند

انواع بایاس کردن

1-بایاس مستقیم(Forward Bias)

2-بایاس معکوس (Reverse Bias)

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



بایاس مستقیم

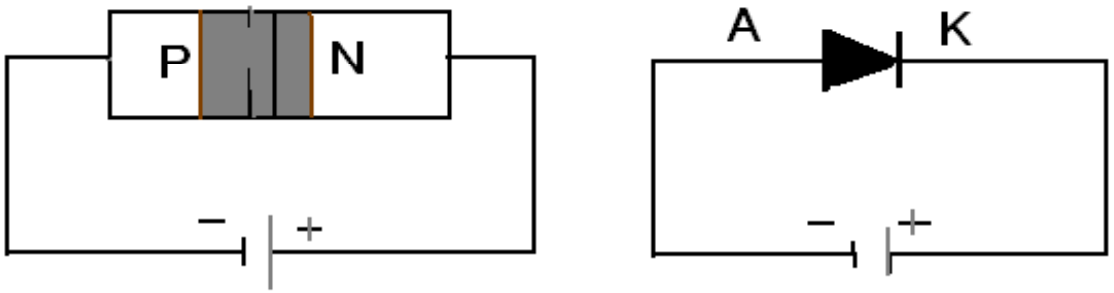
- ۱–میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه ،میدان پتانسیل سد را خنثی کرده وعرض ناحیه تخلیه وپتانسیل سد کاهش می یابد

۲–الکترونهای آزاددر نیمه هادی نوعN،توسط بار الکتریکی منفی باتری به سمت محل پیوند رانده شده وپس از عبور از محل پیوندونیمه 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 ونیمه 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 وعرض ناحیه تخلیه وپتانسیل سد افزایش می یابد

۲–الکترونهای آزاددر نیمه هادی نوعN،توسط بار الکتریکی مثبت باتری جذب می شوند.

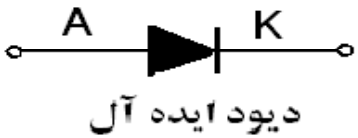
۳–حفره ها در جهت مخالف الکترونها حرکت می کنند.وجذب بار الکتریکی منفی می شوند.

۴–پس در این حالت جریان در دیود جاری نمی شود.مگر جریان نشتی ناشی از حاملهای اقلیت

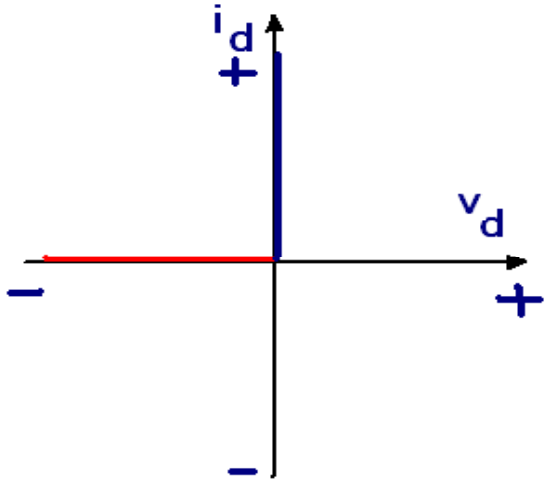
۵–ظرفیت خازنی پیوند تغییر پیدا می کند.

دیود ایده آل

- دیود ایده آل یک قطعه دوپایه است که علامت ومشخصه آن بصورت شکل زیر است.



دیود ایده آل



منحنی مشخصه دیود ایده آل

خصوصیات دیود ایده ال

۱-پتانسیل سد وجودنداشته درنتیجه دربایاس مستقیم مانند یک کلید بسته است.

۲-دربایاس معکوس مانند یک کلید باز است.

۳-مقاومت دیود دربایاس مستقیم صفر ودربایاس معکوس بی نهایت است

منحنی مشخصه دیود واقعی

- توسط فیزیک نیمه هادیها مشخصه ولت –آمپر طبق معادله شوکلی زیر تعریف می گردد.که جریان دیودبه دمای کاروولتاژتغذیه dc آن بستگی دارد.

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

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

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

$$T_k = T_c + 273.15$$

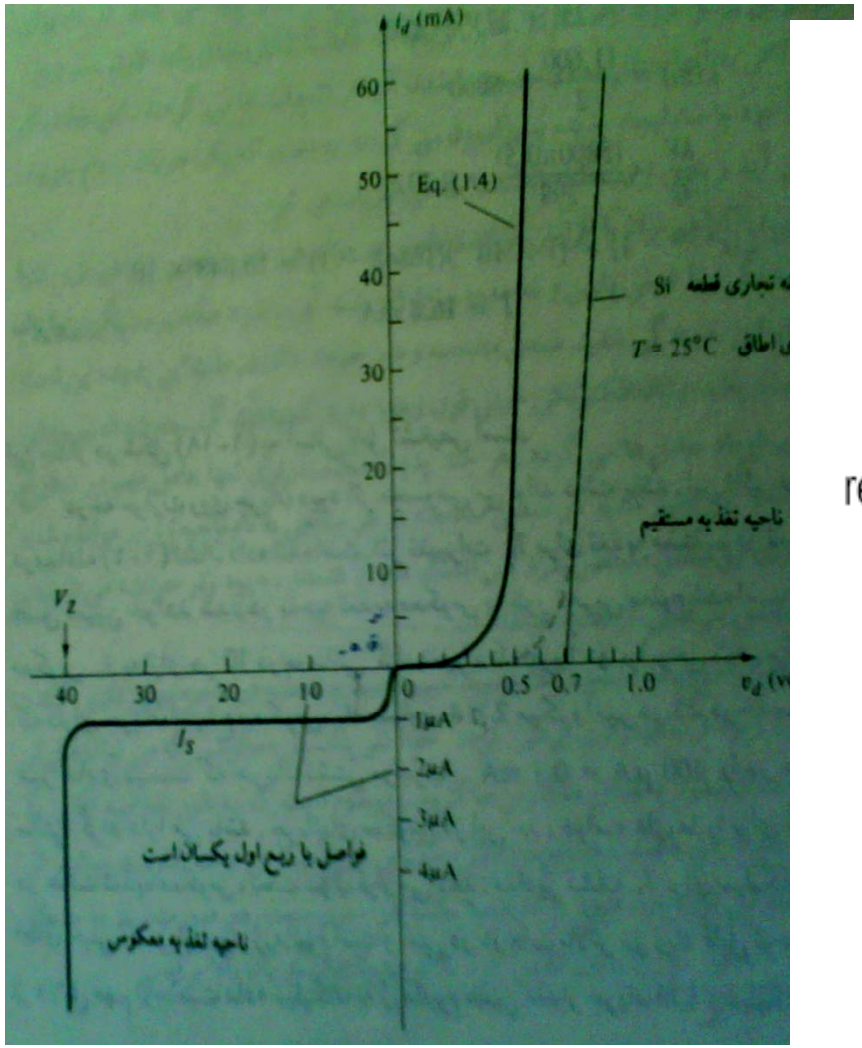
T_k ⟵ دمای کاربرحسب کلوین

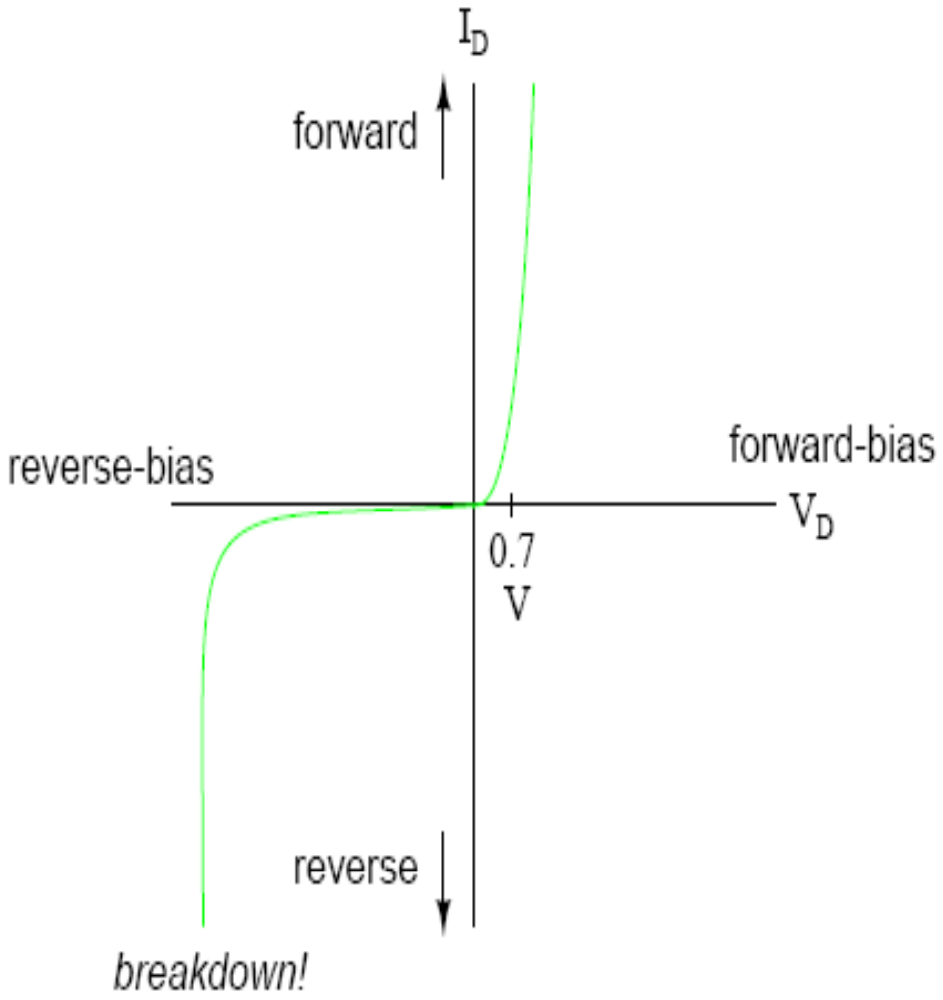
T_c ⟵ دمای کاربرحسب سانتی گراد

I_s ⟵ جریان نشتی معکوس دیود

اگر معادله بالا را ترسیم کنیم منحنی مشخصه دیود واقعی بدست میآید.

مشخصه دیود سیلیسیوم توسط معادله شوکلی ترسیم گردیده است





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

- مثال 1: دیود سیلیکونی درباياس مستقیم به ولتاژ 0/5 ولت متصل می گرددا گرجریان نشتی دیود یک میکروآمپر ودردمای محیط کار کند چه جریانی خواهد داشت؟

حل:

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

$$T_K = T_C + 273 = 25 + 273 = 298 \quad ^{OC}$$

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

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

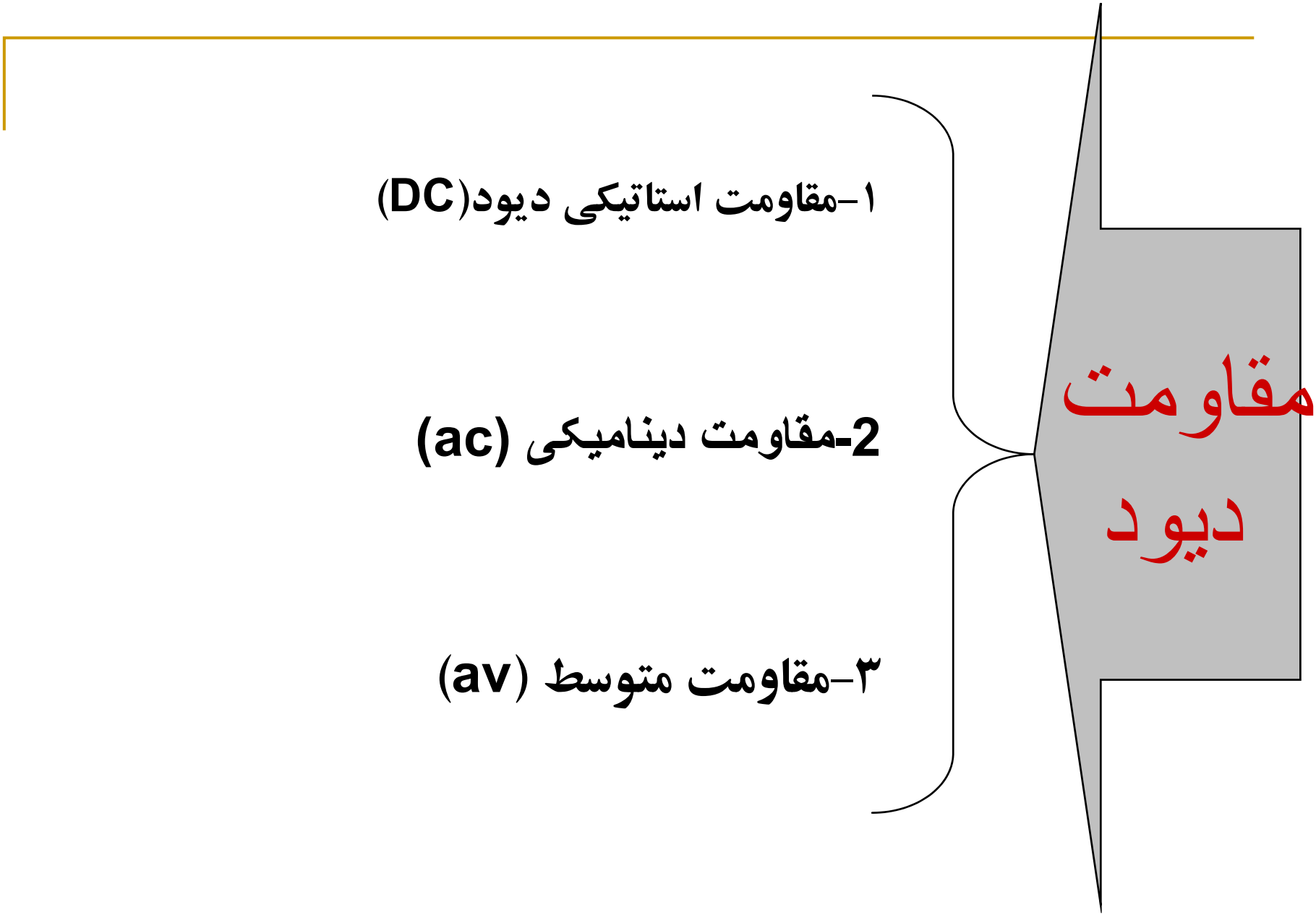
$$I_D = I_S\left(e^{\frac{kv_D}{T_K}} - 1\right) = 1 \times 10^{-6}\left(e^{9.732} - 1\right) = 16.848 \quad mA$$

ناحیه زنری

با افزایش ولتاژدر بایاس معکوس ،حامل های اقلیت آزادبه اندازه کافی انرژی گرفته تاحاملهای دیگر از طریق یونیزاسیون آزاد سازند.با برخورد به الکترونهای باند ظرفیت به آنهاانرژی داده تاازاتم خود جداشونداین عمل مرتباًصورت گرفته تا جریان بهمنی ودرپی آن شکست بهمنی صورت گیرد.

اگر ولتاژ معکوس همچنان افزایش یابد شکست زنری رخ خواهد داد در این درناحیه پیوند یک میدان الکتریکی قوی بوجود آمده وباعث گسسته شدن نیروهای پیوندی می گرددوجریان به شدت افزایش می یابد

دیودی که براساس این خاصیت کار می کند دیود زنر گویند.


مقاومت
دیود
۱-مقاومت استاتیکی دیود(DC)
2-مقاومت دینامیکی (ac)
۳-مقاومت متوسط (av)

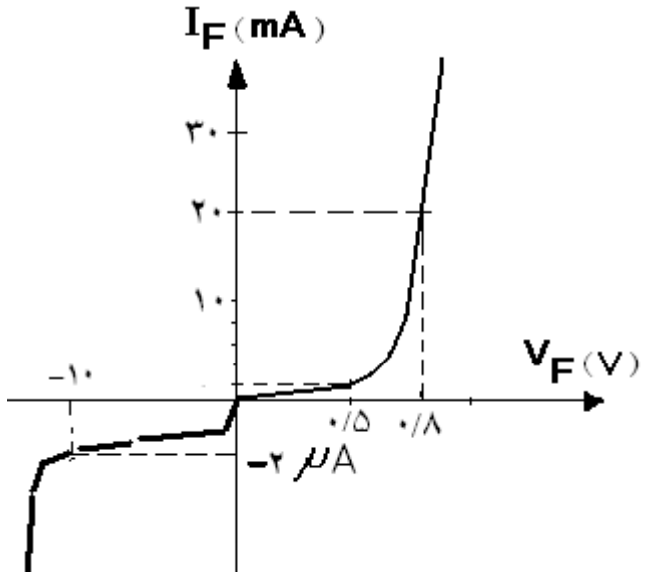
مقاومت استاتیکی (DC): مقاومت دیوددریک نقطه کار بخصوص راگویند.

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

V_D ← ولتاژنقطه کار

I_D ← جریان نقطه کار

مثال ۲:برای مشخصه شکل زیرمقاومت DCدیودرا در جریانهای ۲۰ و۲ میلی آمپر و۲ میکروآمپر بدست آورید؟



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

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

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

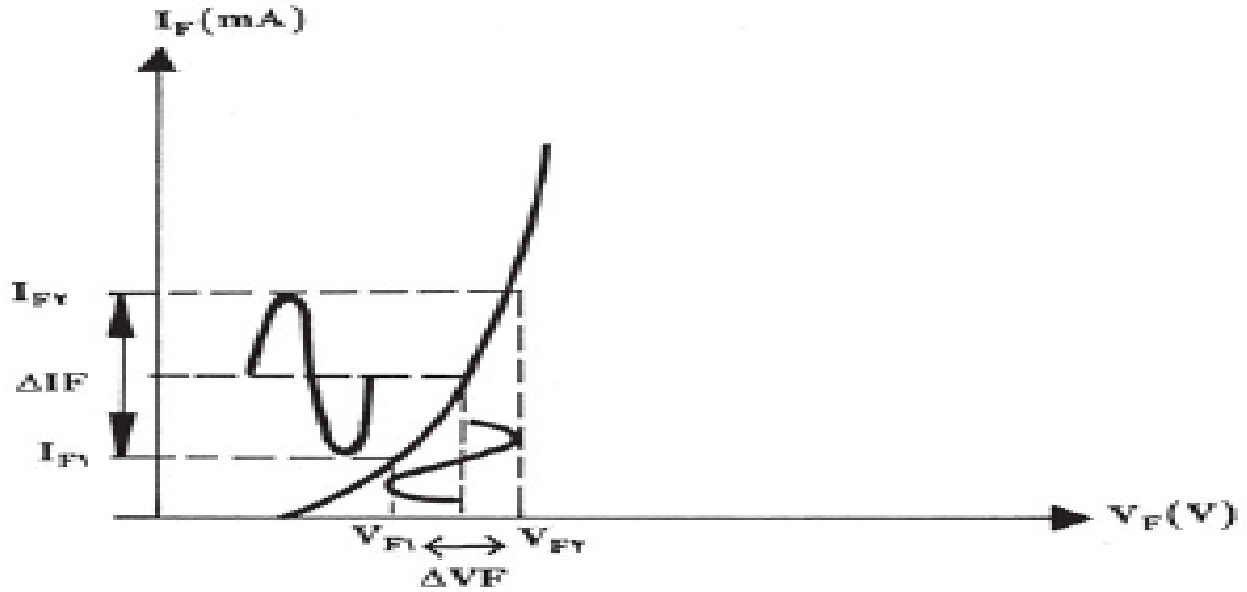
مقاومت دینامیکی دیود: مقاومت دیود درمقابل جریان متناوب را گویند
رابطه زیر بدست می آید.

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

ΔV_D ⟵ تغییرات ولتاژحول نقطه کار

ΔI_D ⟵ تغییرات جریان حول نقطه کار

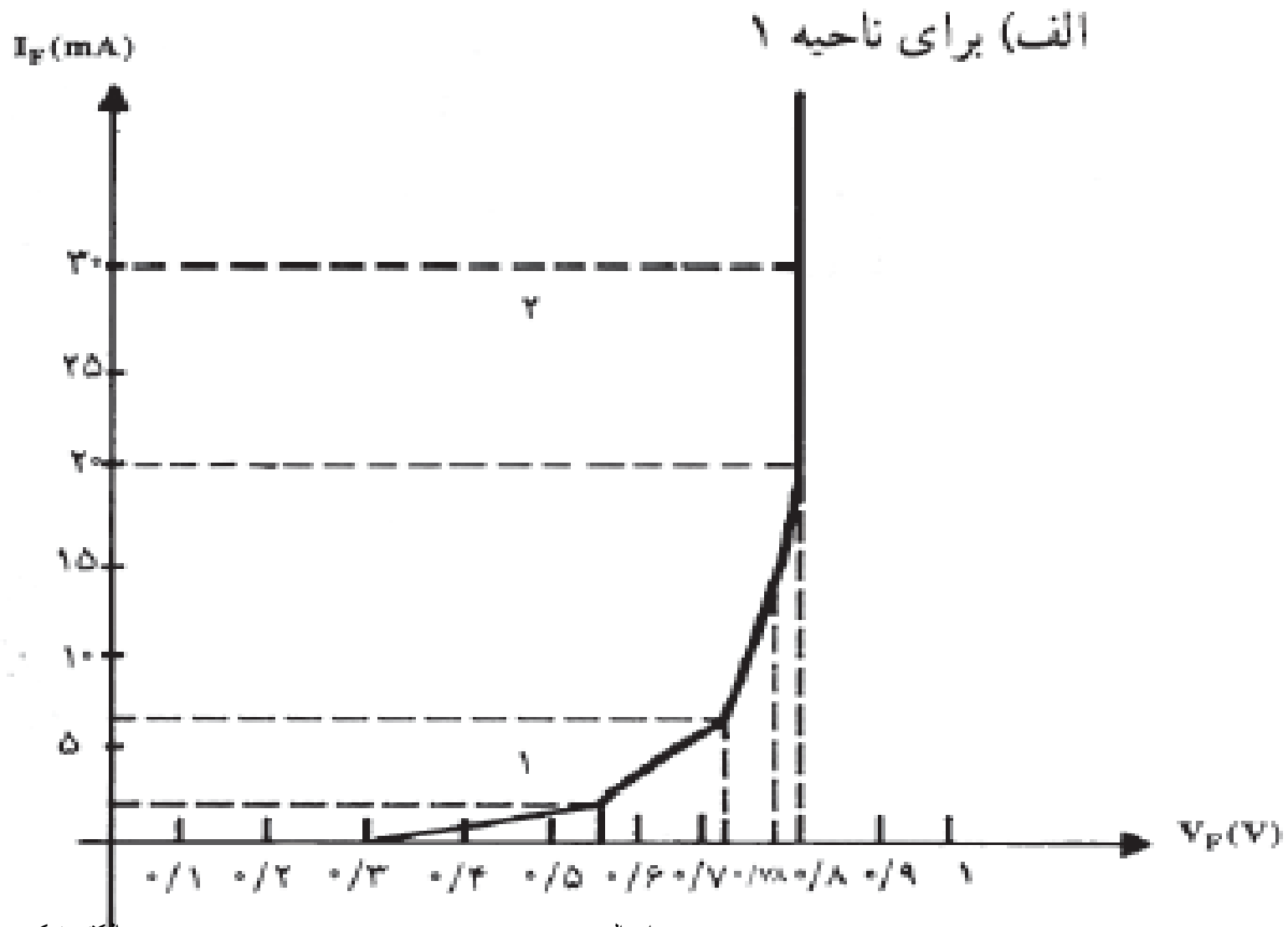
$$r_{ac} = \frac{V_{F_2} - V_{F_1}}{I_{F_2} - I_{F_1}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$



شکل ۱۶ــ۳ــ تمایش 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 دوناحیه



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

حل: الف- در ناحیه یک داریم

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

ب-درناحیه 2 داریم

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

ج-ازمقایسه مقاومت دینامیکی دوناحیه داریم

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

مقاومت دینامیکی را باداشتن مشخصات نقطه کار بدست می آورندونیازی به داشتن منحنی مشخصه دیود نیست طبق تعریف مشتق در ریاضی وبا توجه به معادله شوکلی رابطه مقاومت دینامیکی عبارتند از:

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

نکات

این رابطه در قسمت صعودی منحنی درست است

مقاومت دینامیکی برابرعکس شیب خط مماس برمنحنی مشخصه در نقطه کار است

درعمل مقاومت اتصال پایه هاوغیره 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**

مقاومت متوسط av

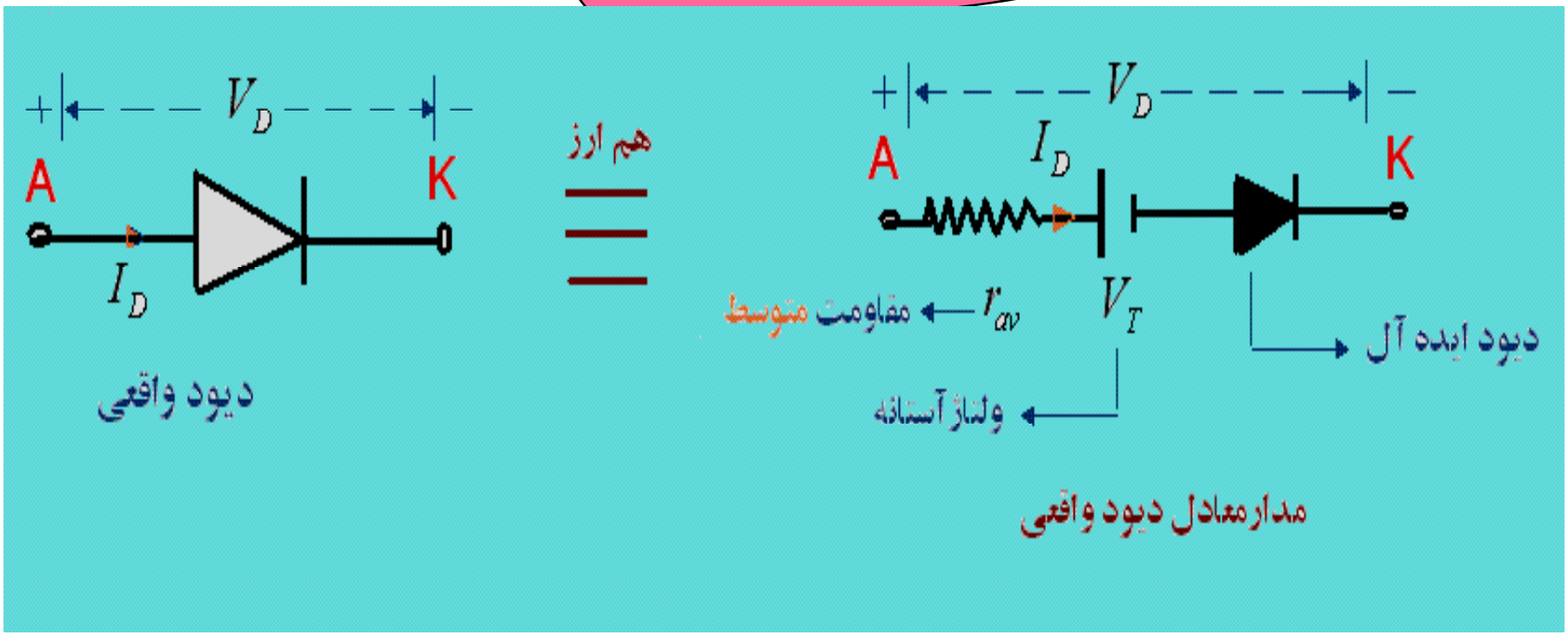
تعریف: اگر سیگنال ورودی بقدرکافی بزرگ باشدبطوری که بتواند تغییرات مشخصی در منحنی مشخصه دیود ایجاد کندمقاومت مربوط به قطعه در این ناحیه را مقاومت متوسط گویند

$$r_{av} = \left.\frac{\Delta v_d}{\Delta I_d}\right|_{point\ \ to\ \ point}$$

نقطه به نقطه

سئوال : تفاوت بین مقاومت دینامیکی ومقاومت متوسط چیست؟

مدارمعادل دیود واقعی



نکته بسیار مهم : باتوجه به مقدارمنبع ومقاومتهای 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

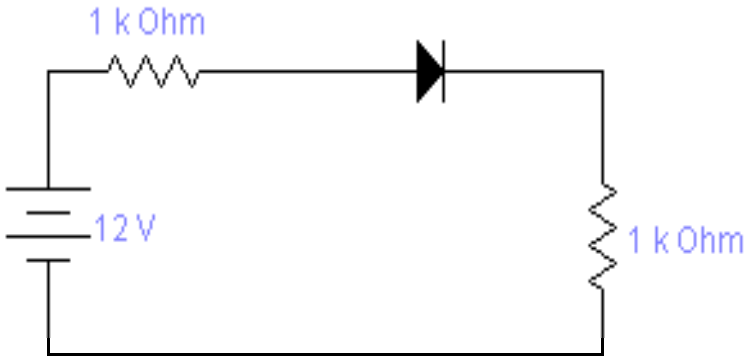
- جهت حل مسائل مراحل زیررابه ترتیب انجام دهید

۱-مدار معادل مناسب را باتوجه به تقریب ،برای دیود درنظربگیرید

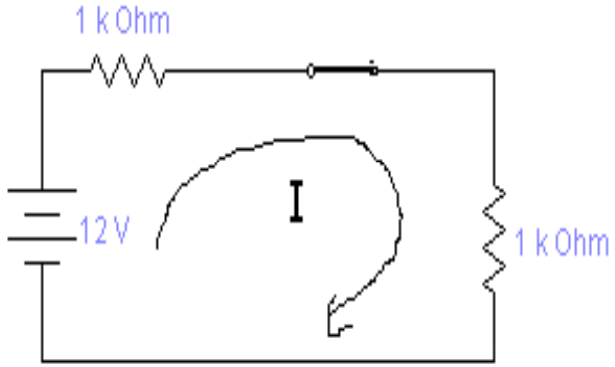
۲-نوع بایاس دیودرا مشخص کنید (به جای دیود ایده آل کلید باز یا بسته رسم کنید)

۳-مسئله راازدیدگاه مداری حل نموده وخواسته را پیدا کنید.

مثال 5:در مدار شکل زیر جریان وولتاژدیود راپیدا کنید؟



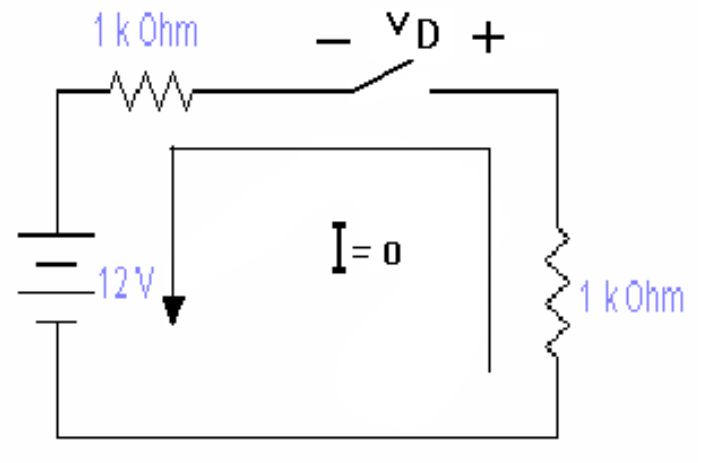
حل: دیودایده آل است ودربایاس مستقیم قراردارد پس مانند یک کلید بسته است



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

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

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



$$I = 0\,mA \Rightarrow I_D = 0\,mA$$

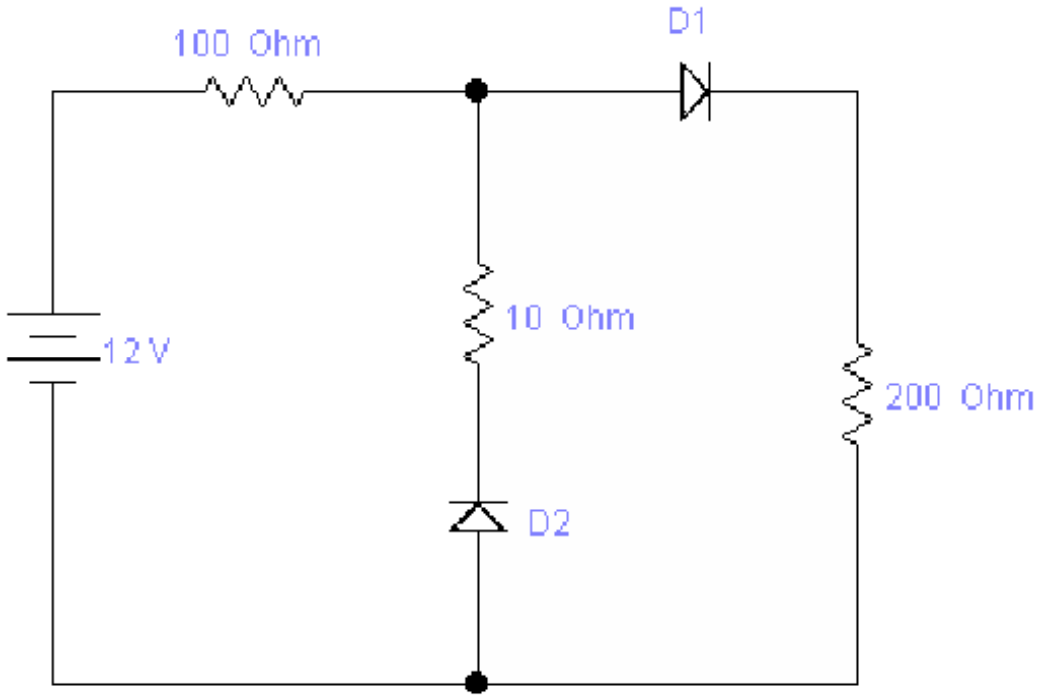
$$V_D = -12v \rightarrow$$

توجه :درهردوحالت توان مصرفی دیود صفر است زیرا دیود ایده آل است.

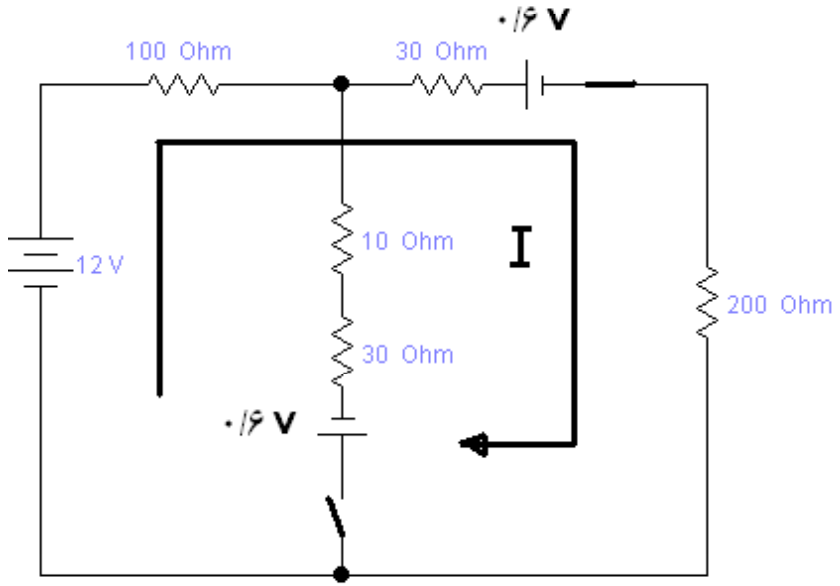
مثال ۷: درمدارشکل زیردیودها مشابه اندجریان وولتاژ دیودها راپیدا کنید؟

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

$$V_T = 0.6\,v$$



حل: مدارمعادل دیودهاراجایگزین می کنیم دیود D1درباياس موافق ودیود D2درباياس معکوس است.



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

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

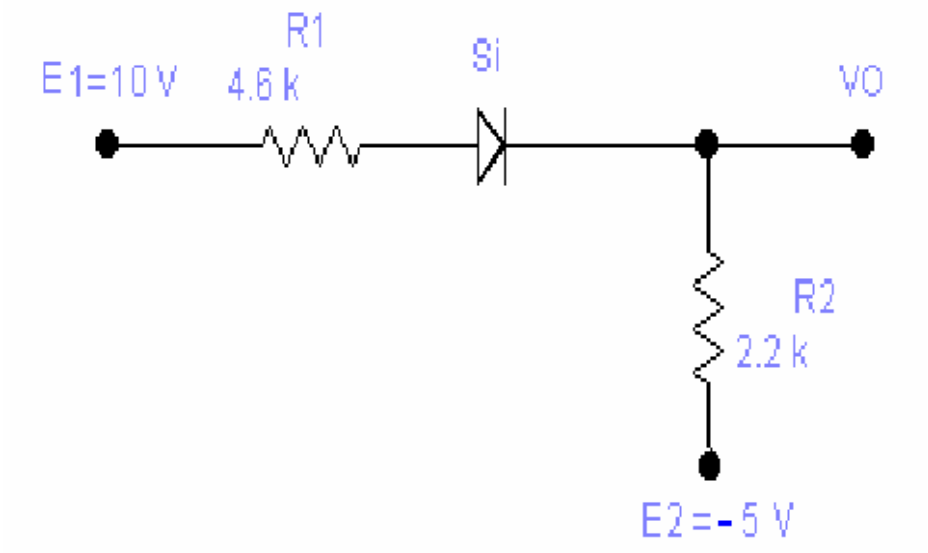
$$V_{D1} = 30\ I + 0.6 = 30 \times 0.03455 + 0.6 = 1.636 \quad V$$

$$I_{D2} = 0$$

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

$$= -8.5465 \quad v$$

مثال ۸ : مقدار I و Vo را تعیین کنید؟



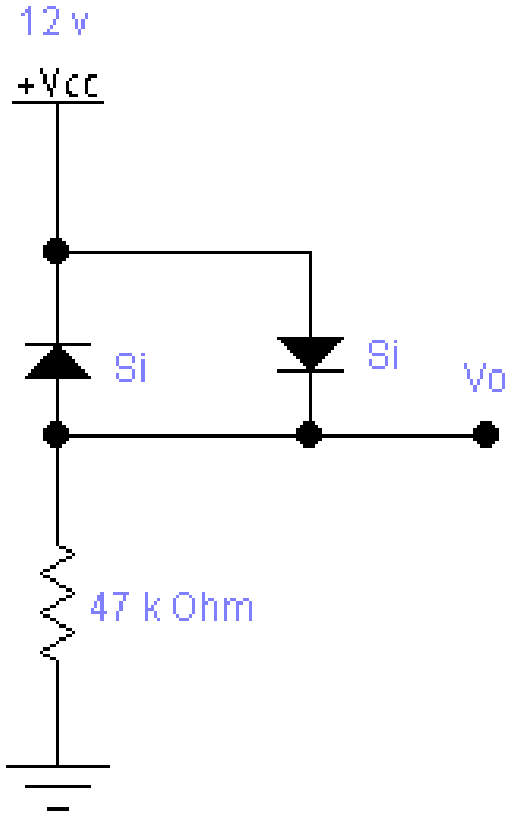
$$KVL: -E_1 + 4.6I + V_T + 2.2I + E_2 = 0$$

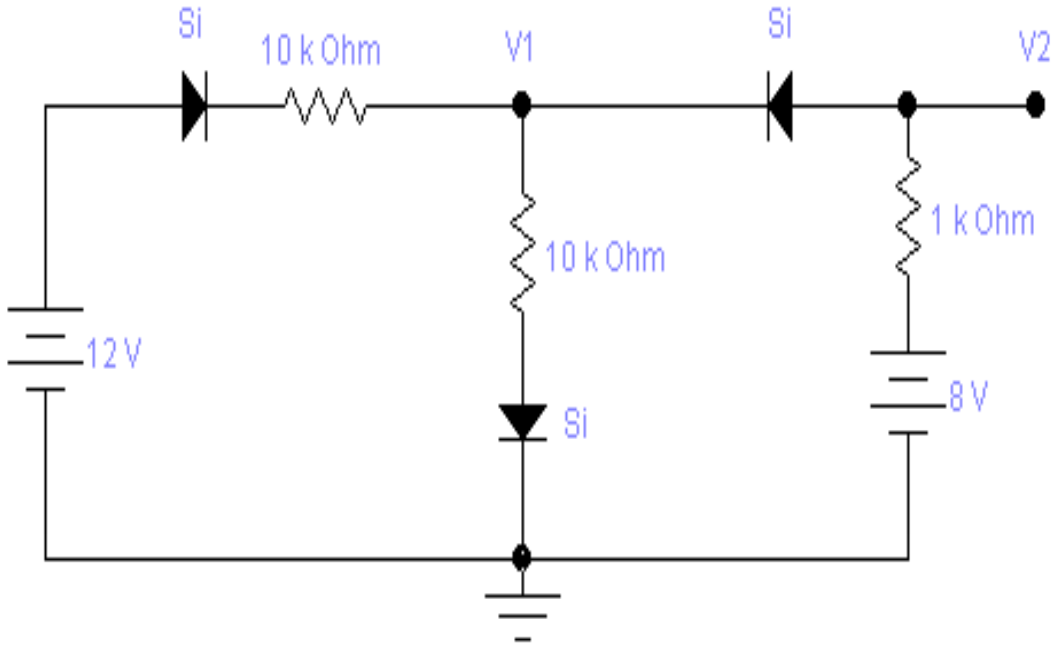
$$-10 + 4.6I + 0.7 + 2.2I + (-5) = 0$$

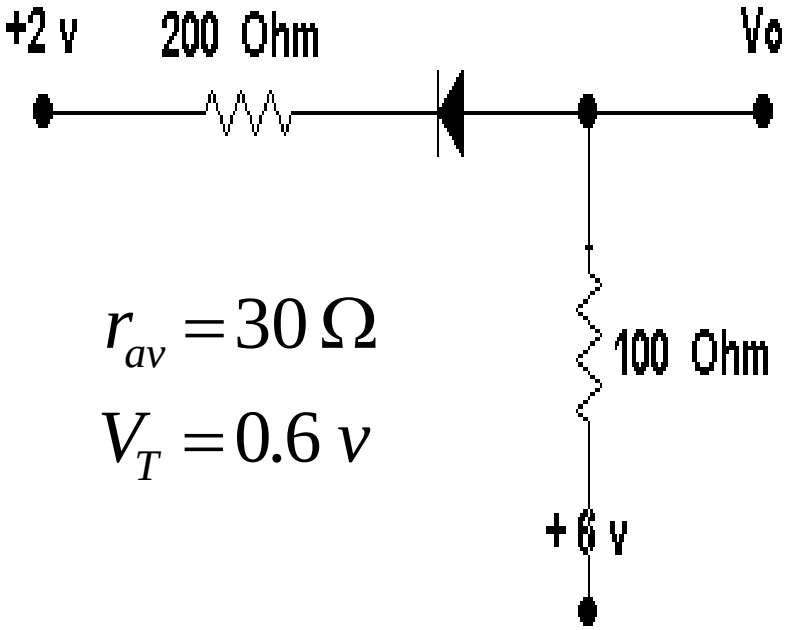
$$\Rightarrow I = 2.1\ mA$$

$$V_O = 2.2I - 5 = 2.2 \times 2.1 - 5 = -0.38\ V$$

تمرین کلاسی :درهرشکل V_O ,V_2 ,V_1 پیداکنید؟

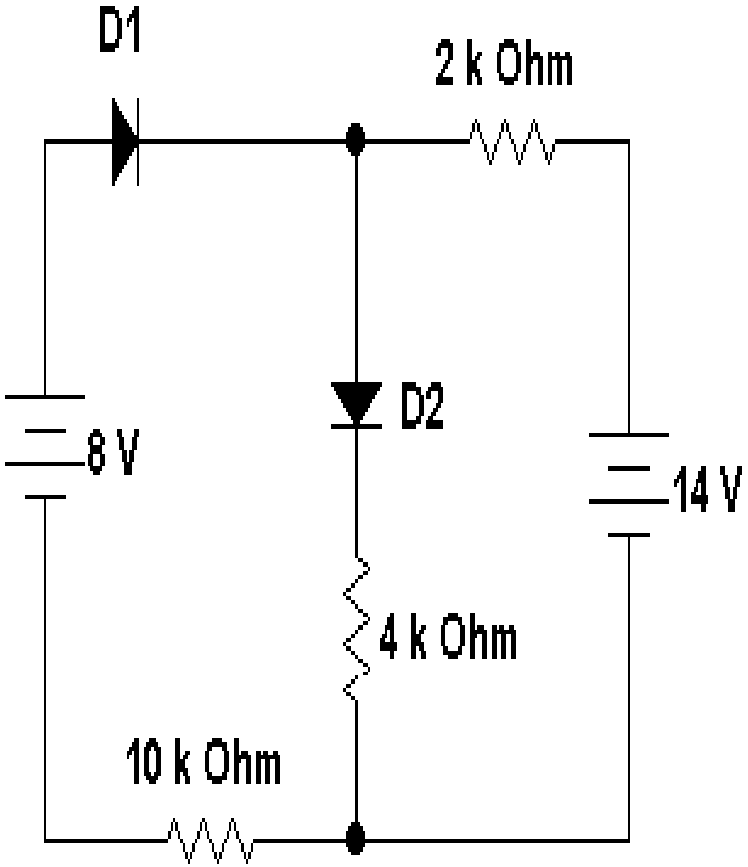


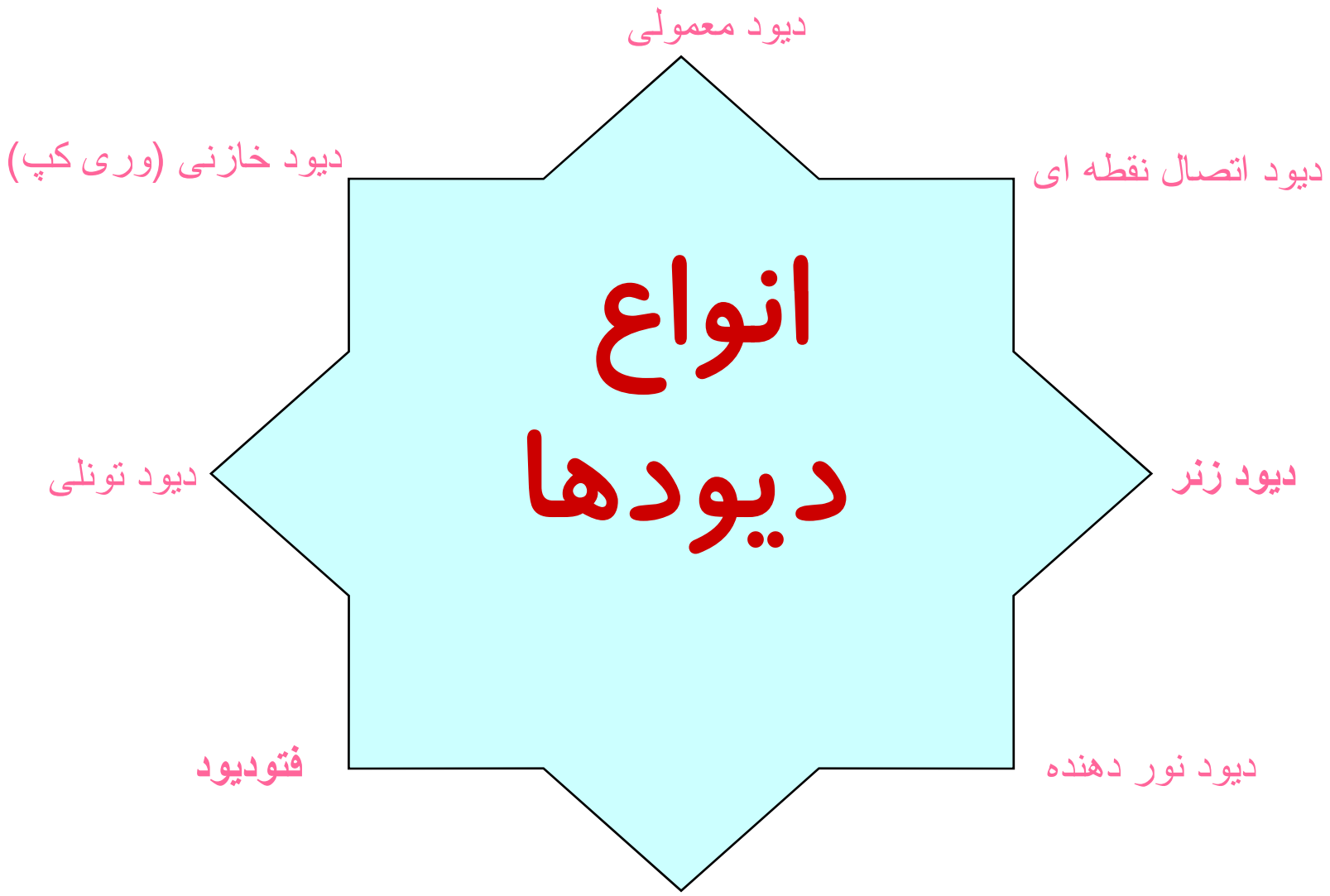




$$r_{av} = 30\,\Omega$$

$$V_T = 0.6\,v$$




دیود معمولی
دیود اتصال نقطه ای
دیود زنر
دیود نور دهنده
فتودیود
دیود تونلی
دیود خازنی (وری کپ)
انواع
دیودها