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

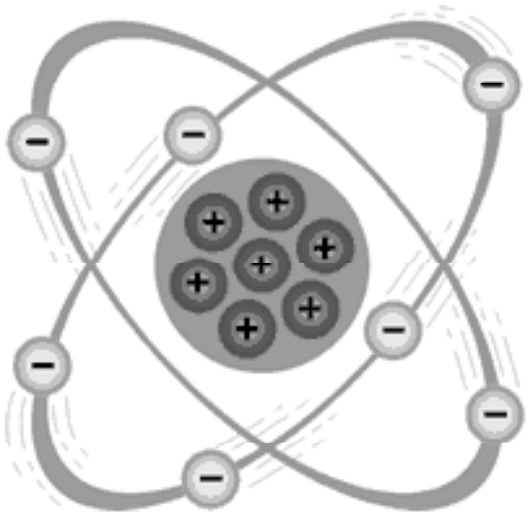
۱-۱-مدل اتمی بوهر

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

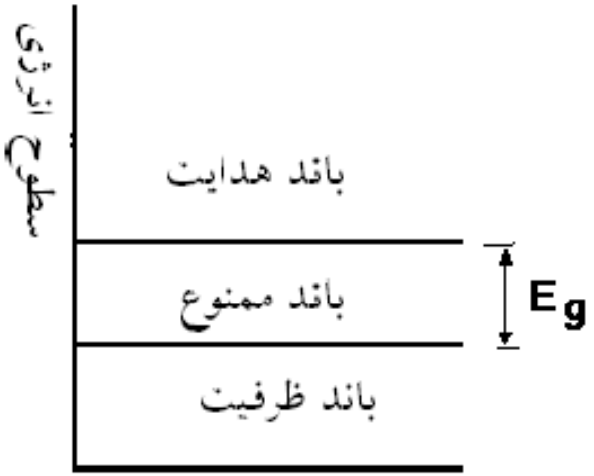
ب-نیمه هادی :هدایت کمتری نسبت به هادیها دارندوتحت شرایط خاص (مثل دادن انرژی)،جریان الکتریکی را از خود عبور می دهند.تعدادالکترونهای لایه ظرفیت این گروه اجسام برابر ۴ تااست مثل کربن ،ژرمانیوم،سیلیسیوم یا بعبارتی تمامی **عناصر گروه چهارم جدول مندلیف**

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.

این انرژی برحسب الکترون –ولت سنجیده می شود

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

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.

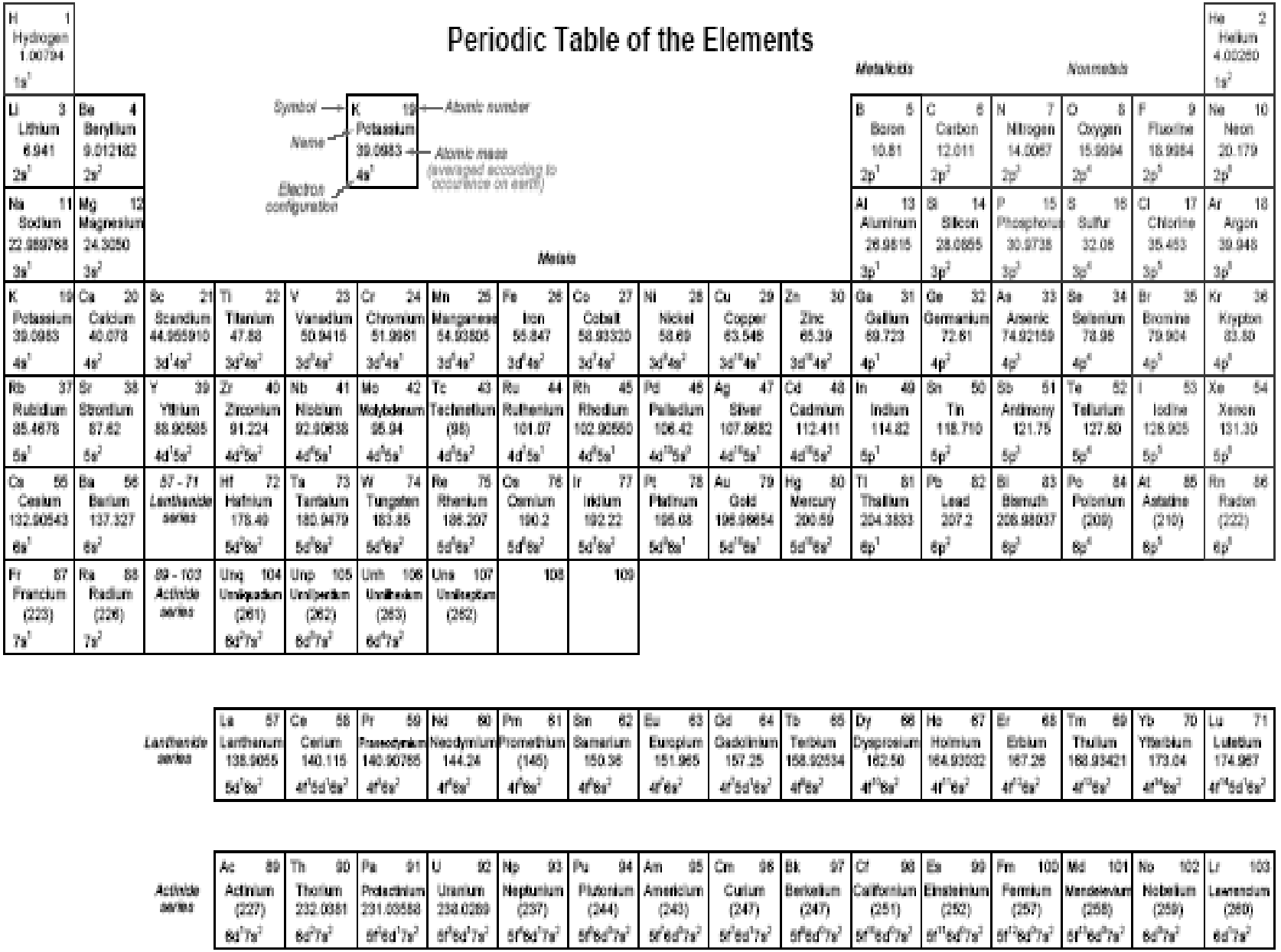
سئوالات وتمرینات

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
Symbol
Name
Electron configuration
Atomic number
Atomic mass (averaged according to occurrence on earth)
Metals
Metalloids
Nonmetals
H 1 Hydrogen 1.00794 1s1
He 2 Helium 4.00260 1s2
Li 3 Lithium 6.941 2s1
Be 4 Beryllium 9.012182 2s2
B 5 Boron 10.81 2p1
C 6 Carbon 12.011 2p2
N 7 Nitrogen 14.0067 2p3
O 8 Oxygen 15.9994 2p4
F 9 Fluorine 18.9984 2p5
Ne 10 Neon 20.179 2p6
Na 11 Sodium 22.989768 3s1
Mg 12 Magnesium 24.3050 3s2
Al 13 Aluminum 26.9815 3p1
Si 14 Silicon 28.0855 3p2
P 15 Phosphorus 30.9738 3p3
S 16 Sulfur 32.06 3p4
Cl 17 Chlorine 35.453 3p5
Ar 18 Argon 39.948 3p6
K 19 Potassium 39.0983 4s1
Ca 20 Calcium 40.078 4s2
Sc 21 Scandium 44.955910 3d14s2
Ti 22 Titanium 47.88 3d24s2
V 23 Vanadium 50.9415 3d34s2
Cr 24 Chromium 51.9961 3d54s1
Mn 25 Manganese 54.93805 3d54s2
Fe 26 Iron 55.847 3d64s2
Co 27 Cobalt 58.93320 3d74s2
Ni 28 Nickel 58.69 3d84s2
Cu 29 Copper 63.546 3d104s1
Zn 30 Zinc 65.39 3d104s2
Ga 31 Gallium 69.723 4p1
Ge 32 Germanium 72.61 4p2
As 33 Arsenic 74.92159 4p3
Se 34 Selenium 78.96 4p4
Br 35 Bromine 79.904 4p5
Kr 36 Krypton 83.80 4p6
Rb 37 Rubidium 85.4678 5s1
Sr 38 Strontium 87.62 5s2
Y 39 Yttrium 88.90585 4d15s2
Zr 40 Zirconium 91.224 4d25s2
Nb 41 Niobium 92.90638 4d45s1
Mo 42 Molybdenum 95.94 4d55s1
Tc 43 Technetium (98) 4d55s2
Ru 44 Ruthenium 101.07 4d75s1
Rh 45 Rhodium 102.90550 4d85s1
Pd 46 Palladium 106.42 4d105s0
Ag 47 Silver 107.8682 4d105s1
Cd 48 Cadmium 112.411 4d105s2
In 49 Indium 114.82 5p1
Sn 50 Tin 118.710 5p2
Sb 51 Antimony 121.75 5p3
Te 52 Tellurium 127.60 5p4
I 53 Iodine 126.905 5p5
Xe 54 Xenon 131.30 5p6
Cs 55 Cesium 132.90543 6s1
Ba 56 Barium 137.327 6s2
57 - 71 Lanthanide series
Hf 72 Hafnium 178.49 5d26s2
Ta 73 Tantalum 180.9479 5d36s2
W 74 Tungsten 183.85 5d46s2
Re 75 Rhenium 186.207 5d56s2
Os 76 Osmium 190.2 5d66s2
Ir 77 Iridium 192.22 5d76s2
Pt 78 Platinum 195.08 5d96s1
Au 79 Gold 196.96654 5d106s1
Hg 80 Mercury 200.59 5d106s2
Tl 81 Thallium 204.3833 6p1
Pb 82 Lead 207.2 6p2
Bi 83 Bismuth 208.98037 6p3
Po 84 Polonium (209) 6p4
At 85 Astatine (210) 6p5
Rn 86 Radon (222) 6p6
Fr 87 Francium (223) 7s1
Ra 88 Radium (226) 7s2
89 - 103 Actinide series
Unq 104 Unnilquadium (261) 6d27s2
Unp 105 Unnilpentium (262) 6d37s2
Unh 106 Unnilhexium (263) 6d47s2
Uns 107 Unnilseptium (262)
108
109
Lanthanide series
La 57 Lanthanum 138.9055 5d16s2
Ce 58 Cerium 140.115 4f15d16s2
Pr 59 Praseodymium 140.90765 4f36s2
Nd 60 Neodymium 144.24 4f46s2
Pm 61 Promethium (145) 4f56s2
Sm 62 Samarium 150.36 4f66s2
Eu 63 Europium 151.965 4f76s2
Gd 64 Gadolinium 157.25 4f75d16s2
Tb 65 Terbium 158.92534 4f96s2
Dy 66 Dysprosium 162.50 4f106s2
Ho 67 Holmium 164.93032 4f116s2
Er 68 Erbium 167.26 4f126s2
Tm 69 Thulium 168.93421 4f136s2
Yb 70 Ytterbium 173.04 4f146s2
Lu 71 Lutetium 174.967 4f145d16s2
Actinide series
Ac 89 Actinium (227) 6d17s2
Th 90 Thorium 232.0381 6d27s2
Pa 91 Protactinium 231.03588 5f26d17s2
U 92 Uranium 238.0289 5f36d17s2
Np 93 Neptunium (237) 5f46d17s2
Pu 94 Plutonium (244) 5f66d07s2
Am 95 Americium (243) 5f76d07s2
Cm 96 Curium (247) 5f76d17s2
Bk 97 Berkelium (247) 5f86d07s2
Cf 98 Californium (251) 5f106d07s2
Es 99 Einsteinium (252) 5f116d07s2
Fm 100 Fermium (257) 5f126d07s2
Md 101 Mendelevium (258) 5f136d07s2
No 102 Nobelium (259) 6d07s2
Lr 103 Lawrencium (260) 6d17s2

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

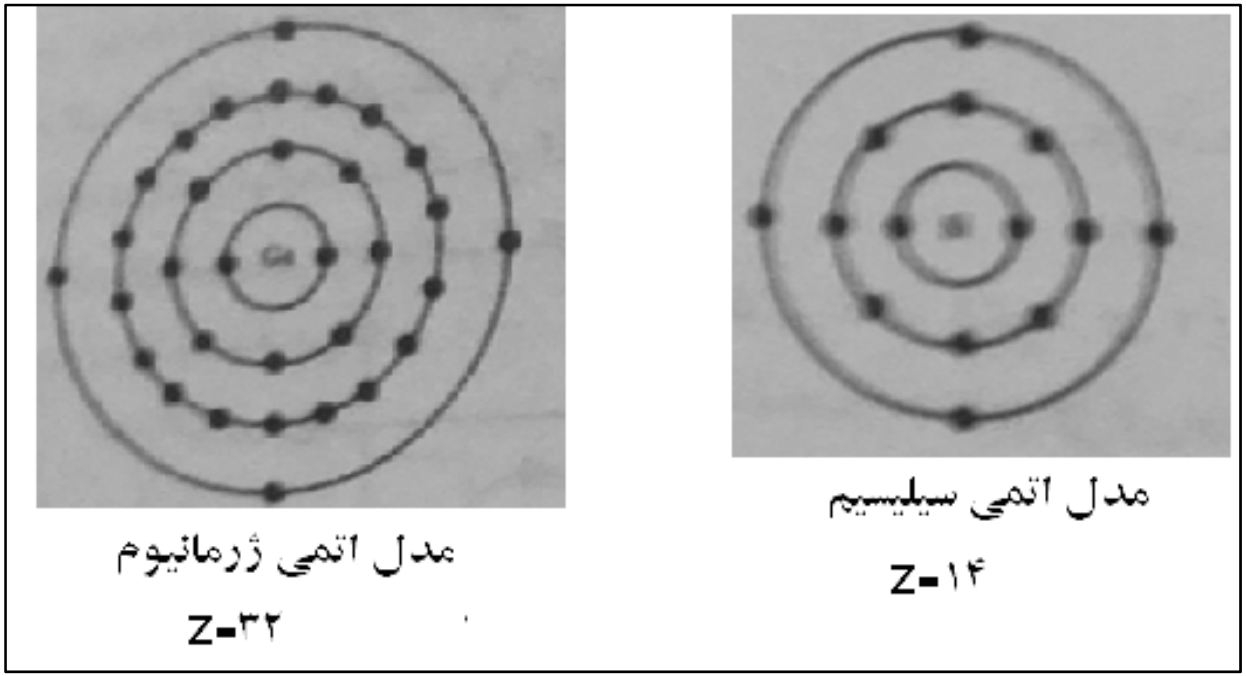
۳-کریستال نیمه هادی در دمای صفر مطلق عایق است.

۴-با دریافت انرژی کمی از خارج هادی می شوند

۵-مقاومت مخصوص نیمه هادیها بیشتر از هادیها است.

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

ساختمان اتمی ژرمانیوم وسیلیسیم



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

جهت افزایش قابلیت هدایت الکتریکی ،نیمه هادیها راناخالص می کنند

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

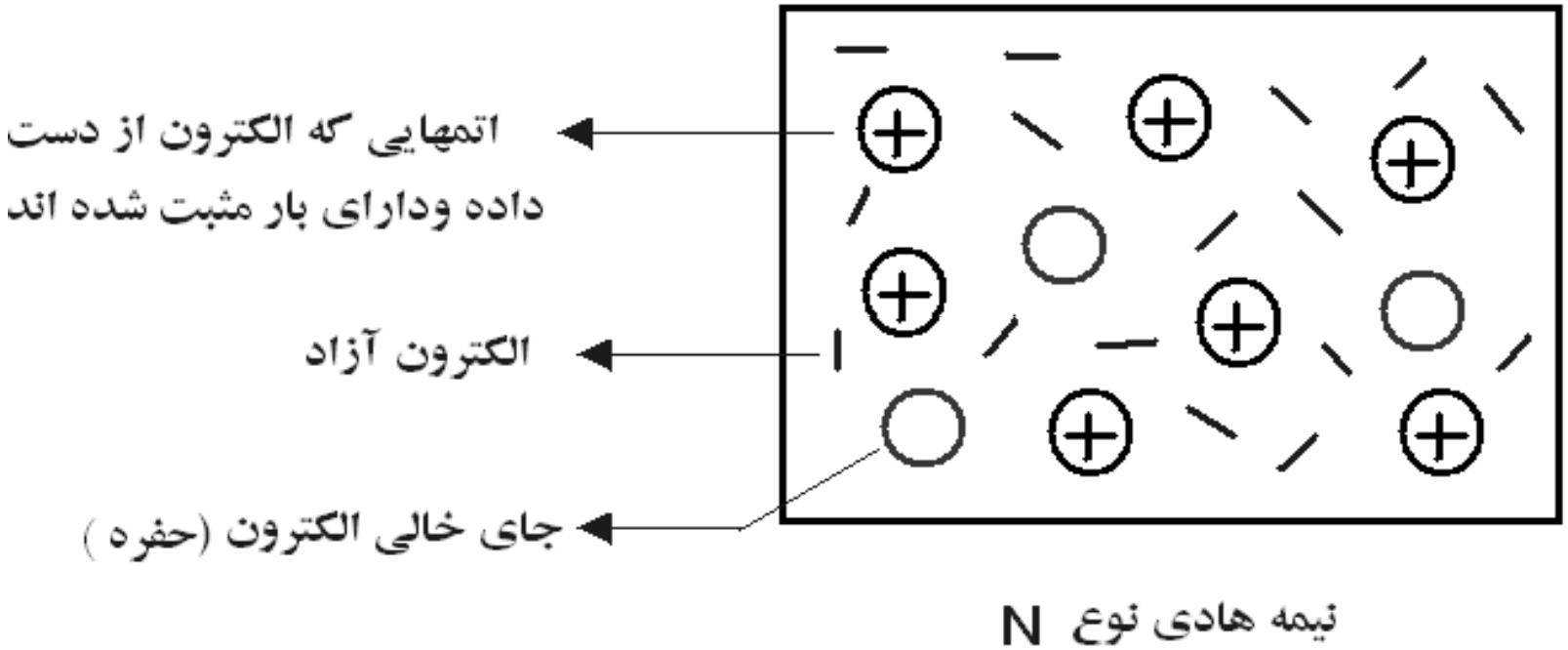
نیمه هادی نوع N (negative)

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



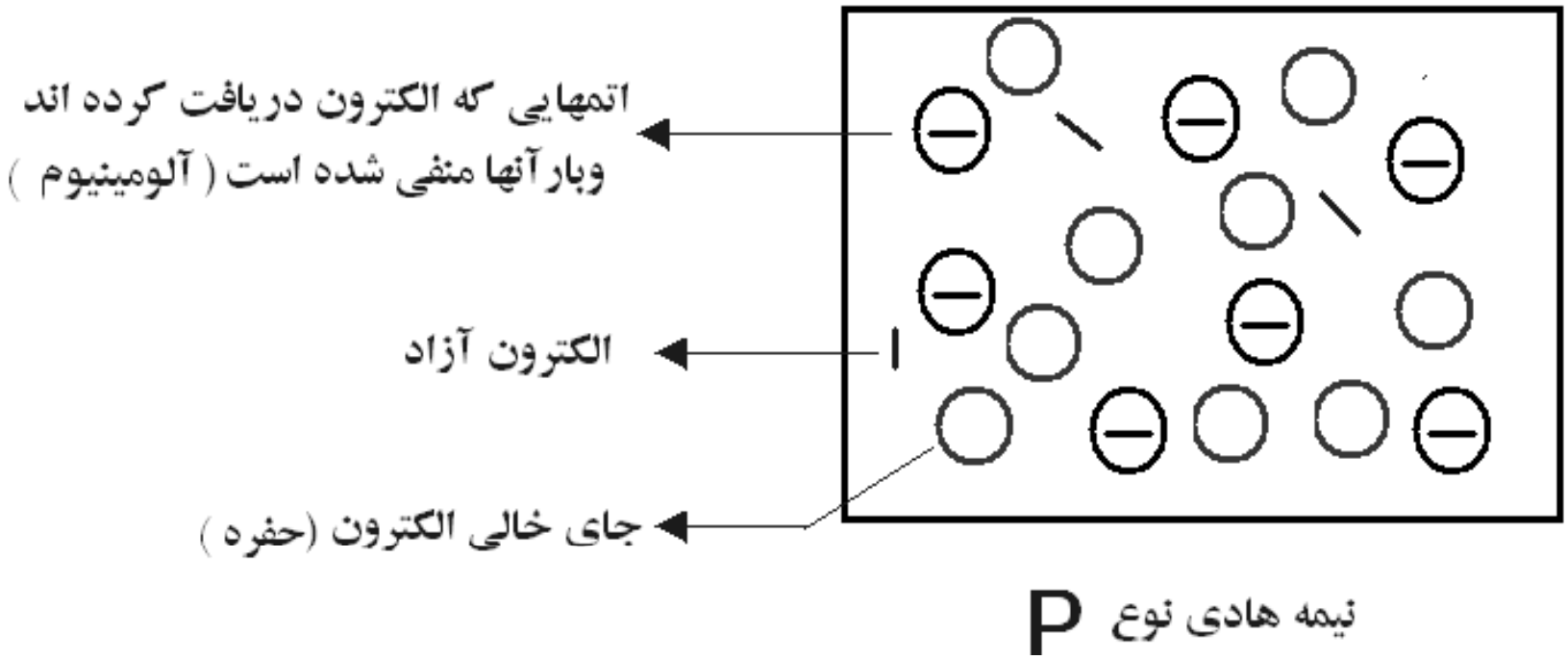
نیمه هادی نوع N

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

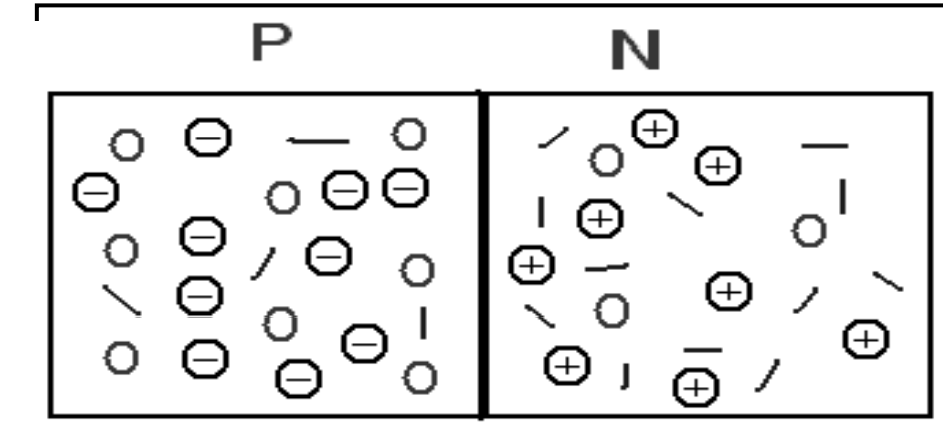
۲-مانند یک خازن است که دونیمه نوعNوP جوشنهای آن هستند.

۳-میدان الکتریکی بین جوشنها ایجاد می گردد.

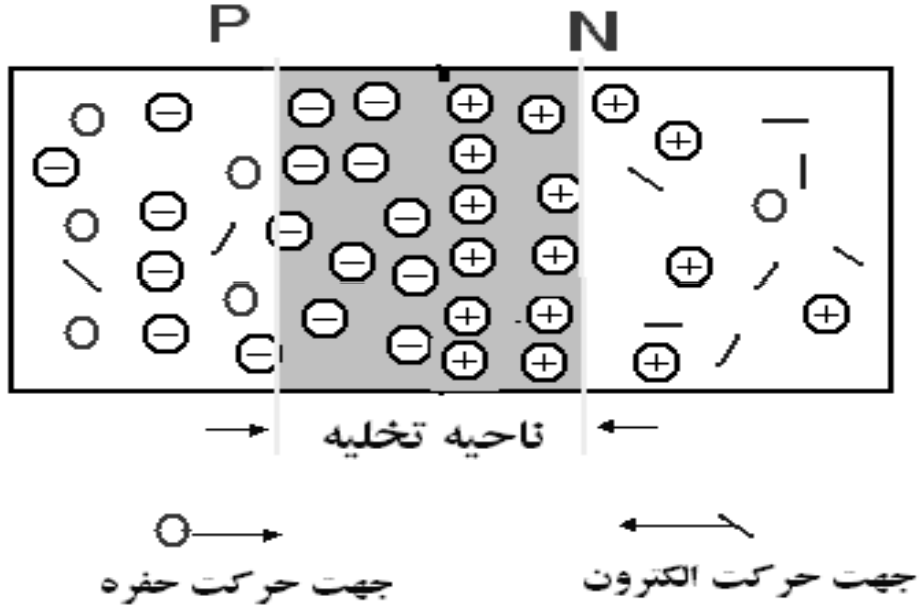
۴-بین جوشنها اختلاف پتانسیل ایجاد شده که به آن پتانسیل سد گویند.

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

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

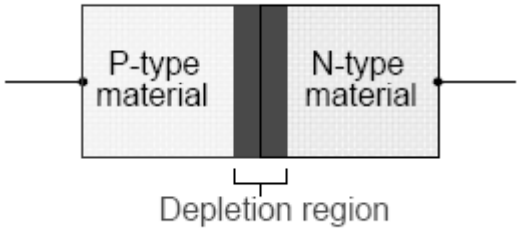


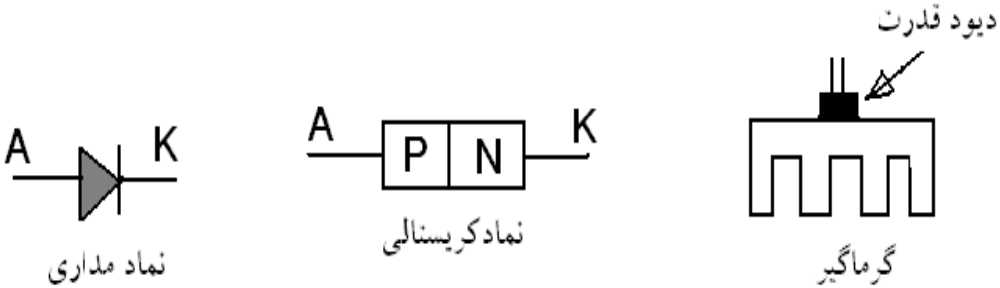
کنارهم قرارگرفتن دو نیمه هادی قبل از جابجایی الکترون وحفره

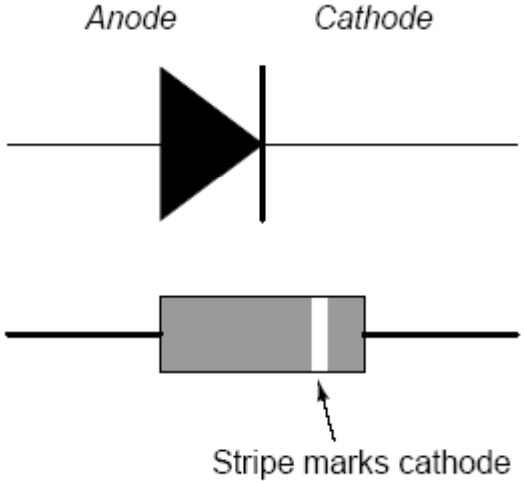


کنارهم قرارگرفتن دو نیمه هادی بعد از جابجایی الکترون وحفره

به اتصال PN دیود گویند(Diode)







وصل کردن ولتاژ dc را به دیود ،

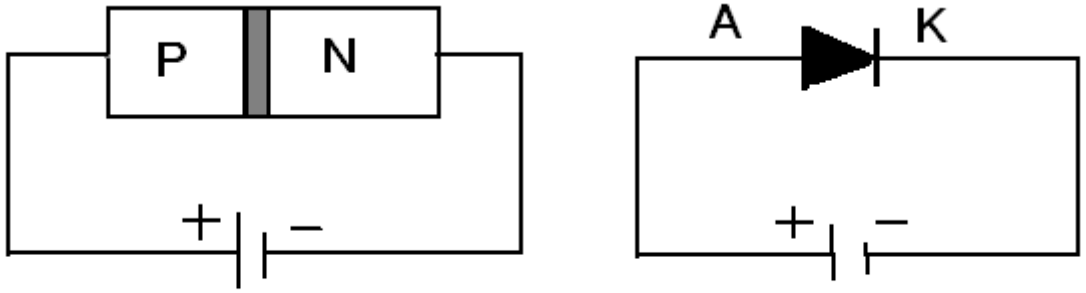
بایاس کردن گویند

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

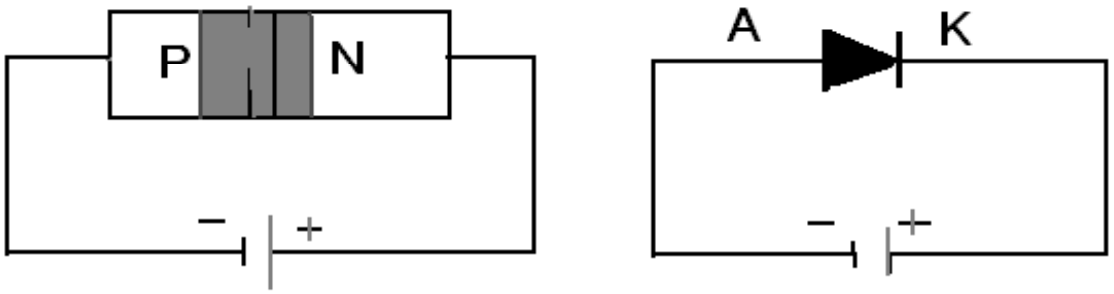
- ۱-میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه ،میدان پتانسیل سد را خنثی کرده وعرض ناحیه تخلیه وپتانسیل سد کاهش می یابد

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.

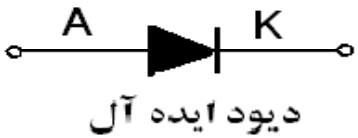
۳-حفره ها در جهت مخالف الکترونها حرکت می کنند.وجذب بار الکتریکی منفی می شوند.

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

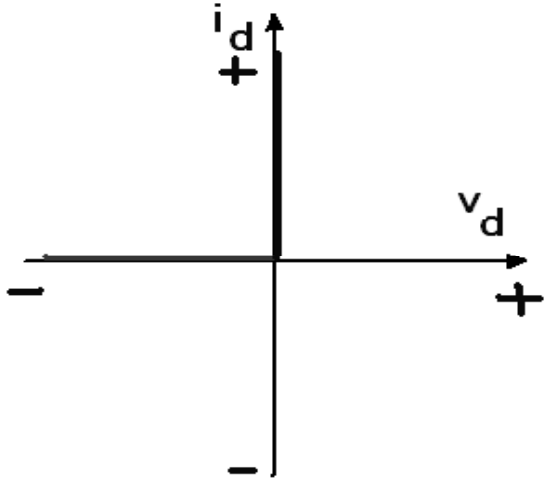
۵-ظرفیت خازنی پیوند تغییر پیدا می کند.

دیود ایده آل

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



دیود ایده آل



منحنی مشخصه دیود ایده آل

خصوصیات دیود ایده ال

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

۲-درباياس معکوس مانند یک کلید باز است.

۳-مقاومت دیود درباياس مستقیم صفر ودرباياس 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 ⟵ $\eta(si) = 2 \qquad , \qquad \eta(Ge) = 1$

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

T_k ⟵ دمای کاربرحسب کلوین

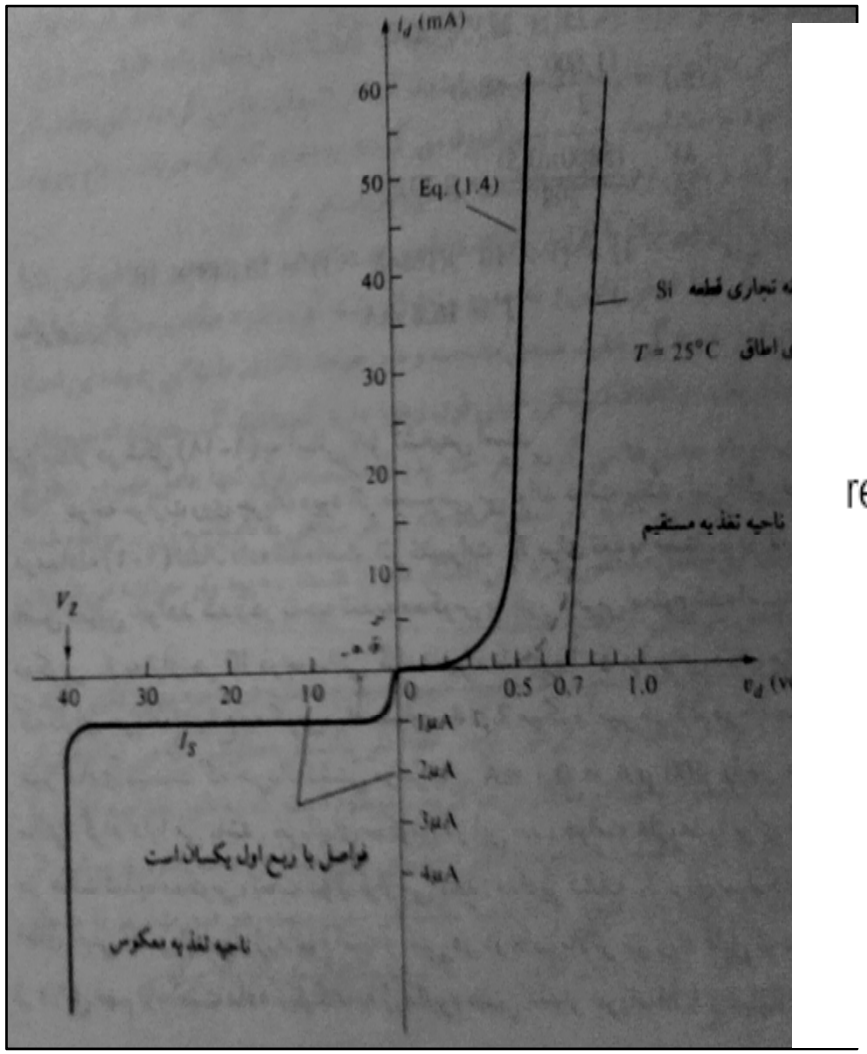
T_c ⟵ دمای کاربرحسب سانتی گراد

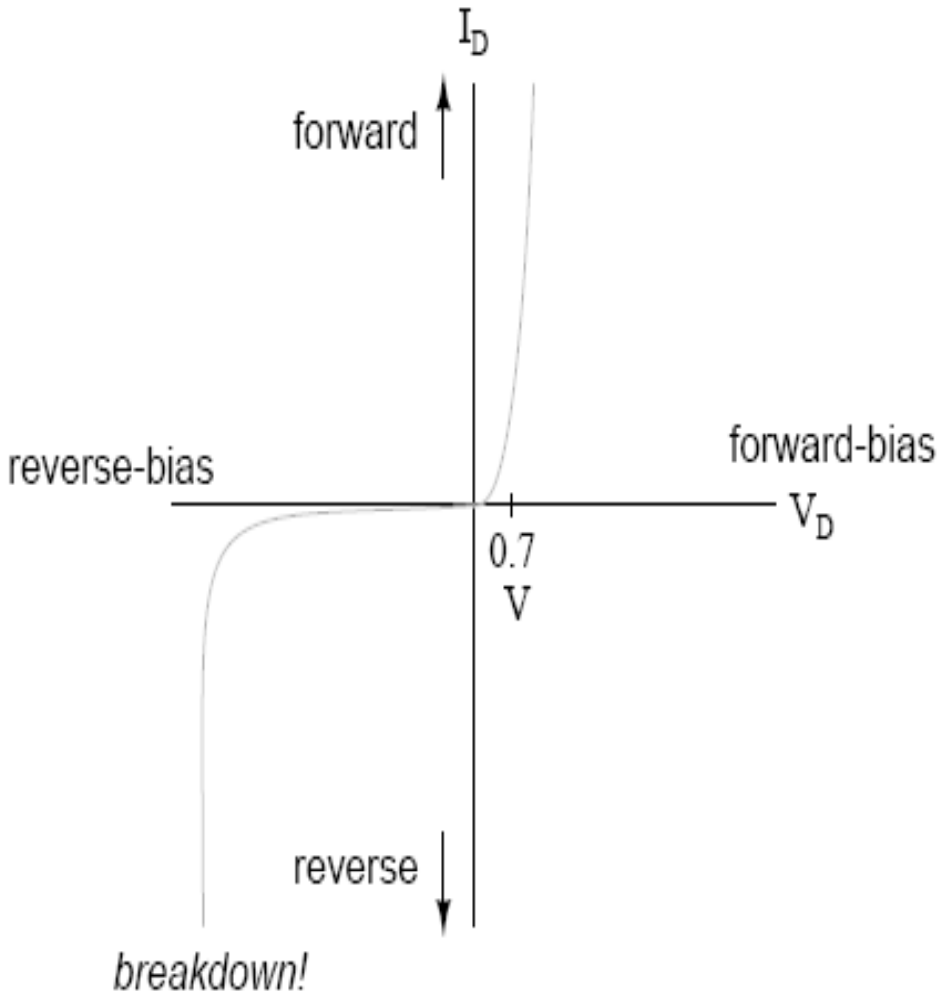
I_s ⟵ جریان نشتی معکوس دیود

$$T_k = T_c + 273.15$$

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 دربایاس مستقیم به ولتاژ 0/5 ولت متصل می گرددداگرجریان 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)

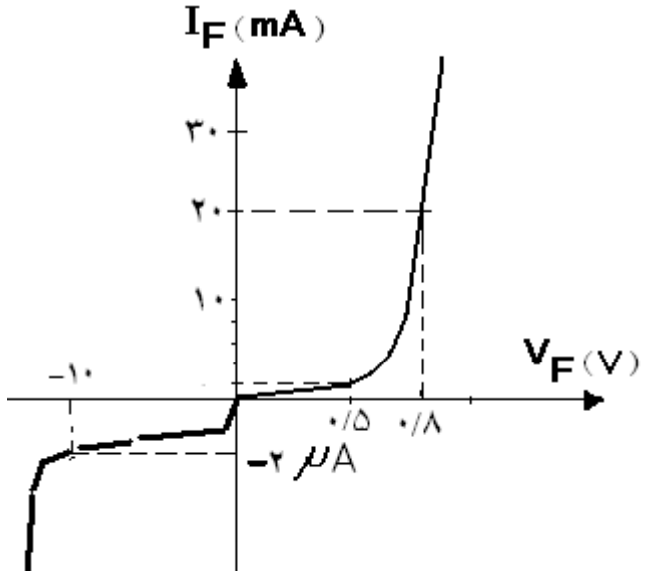
مقاومت استاتیکی (DC):مقاومت دیوددریک نقطه کار بخصوص راگویند.

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

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؟



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

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

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

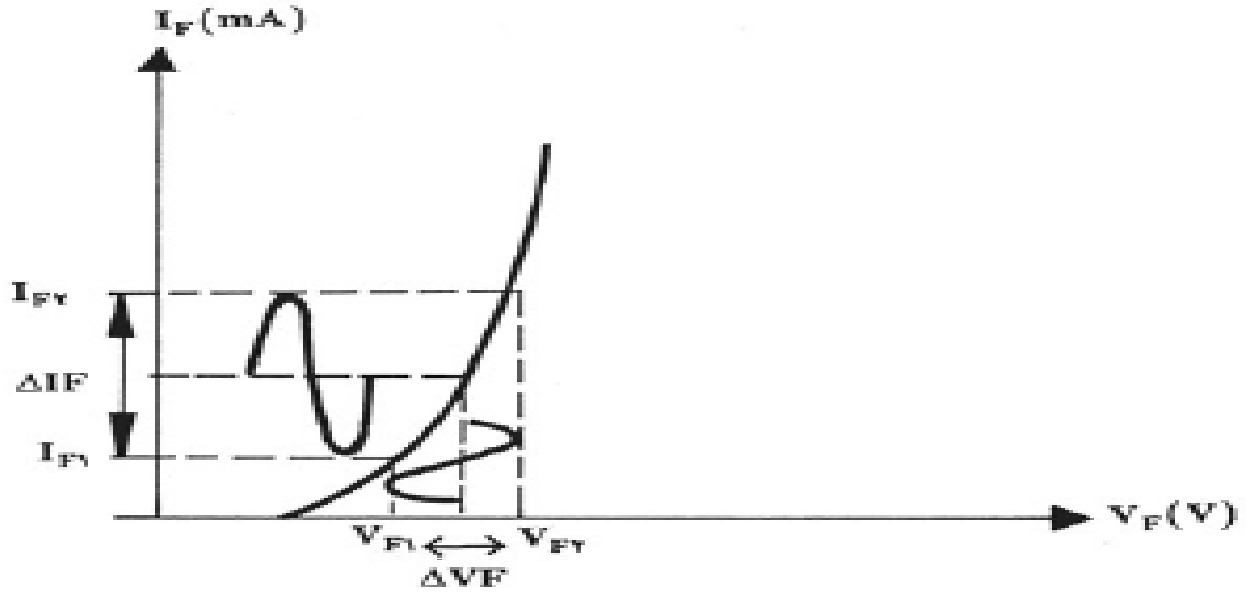
مقاومت دینامیکی دیود: مقاومت دیود درمقابل جریان متناوب را گویند‌از رابطه زیر بدست می آید.

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

ΔV_D ⟵ تغییرات ولتاژحول نقطه کار

ΔI_D ⟵ تغییرات جریان حول نقطه کار

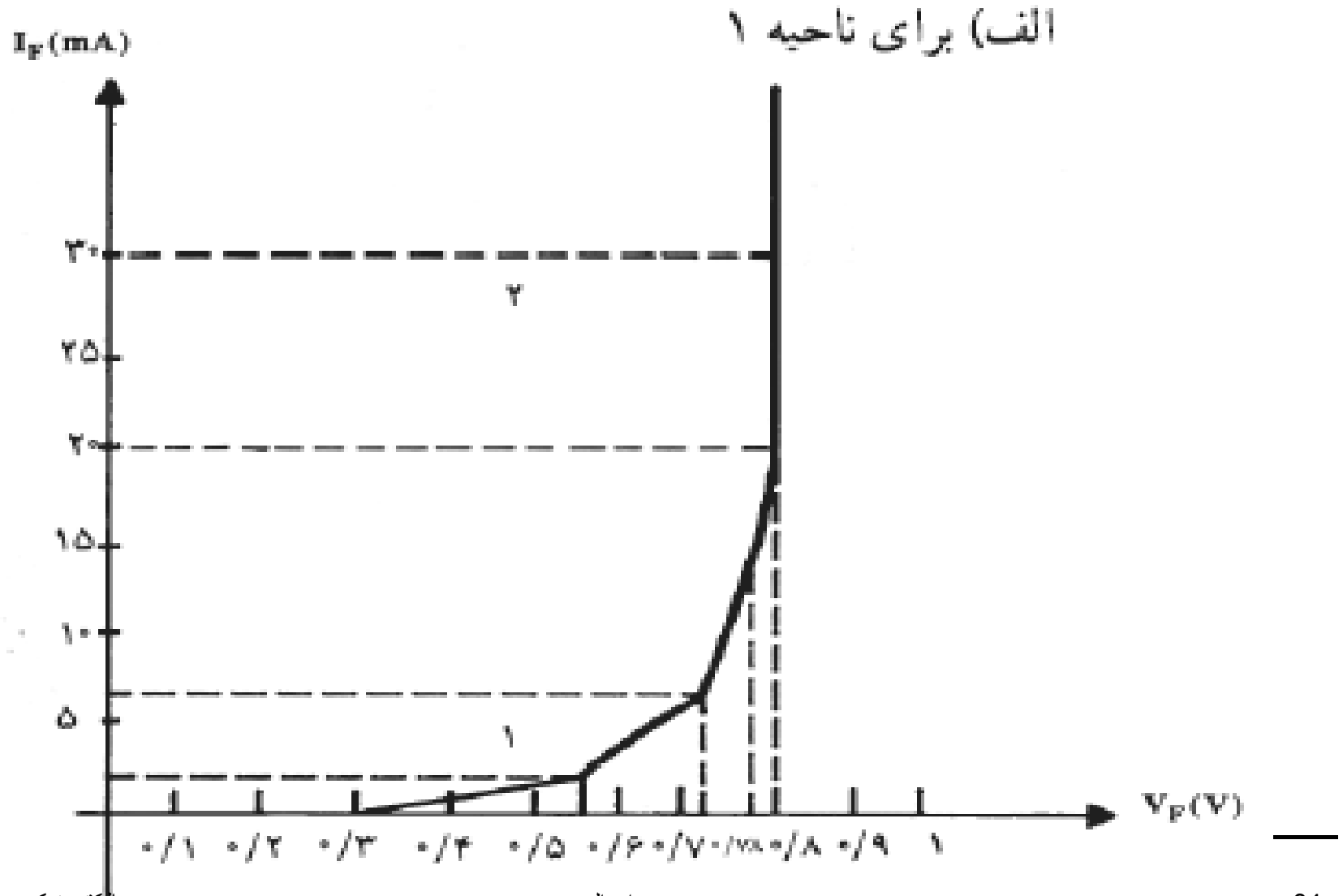
$$r_{ac} = \frac{V_{F_2} - V_{F_1}}{I_{F_2} - I_{F_1}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$



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:

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

این رابطه در قسمت صعودی منحنی درست است

نکات

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

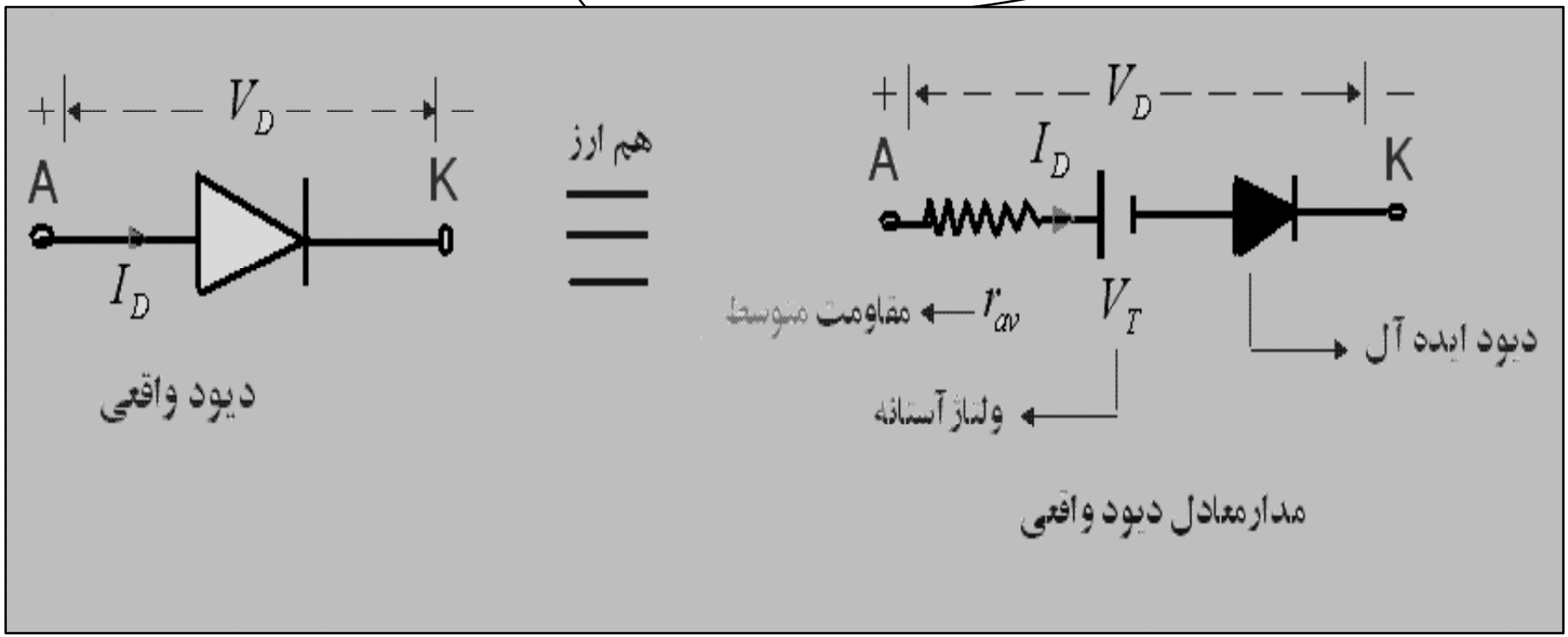
تعریف: اگر سیگنال ورودی بقدرکافی بزرگ باشدبطوری که بتواند تغییرات مشخصی در منحنی مشخصه دیود ایجاد کندمقاومت مربوط به قطعه در این ناحیه را مقاومت متوسط گویند

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

نقطه به نقطه ←

سئوال :تفاوت بین مقاومت دینامیکی ومقاومت متوسط چیست؟

مدارمعادل دیود واقعی



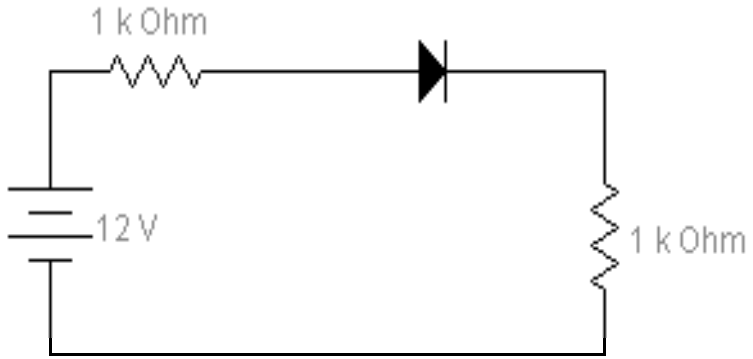
نکته بسیار مهم : باتوجه به مقدارمنبع ومقاومتهای موجود در مدارات دیودی می توان از تقریب مناسب استفاده کرد.که به این مدار معادل ،مدار معادل خطی-تکه ای گویند.

چگونگی حل مسائل دیودی

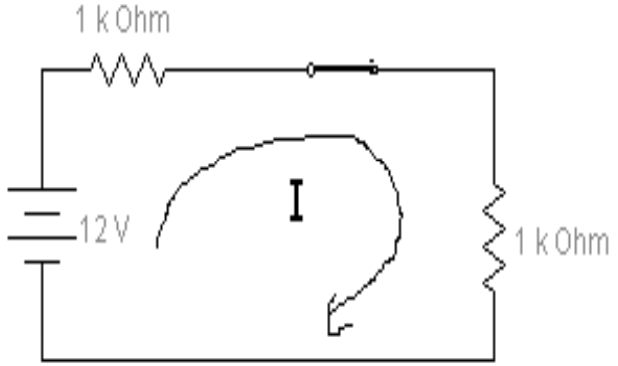
- جهت حل مسائل مراحل زیررابه ترتیب انجام دهید

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؟



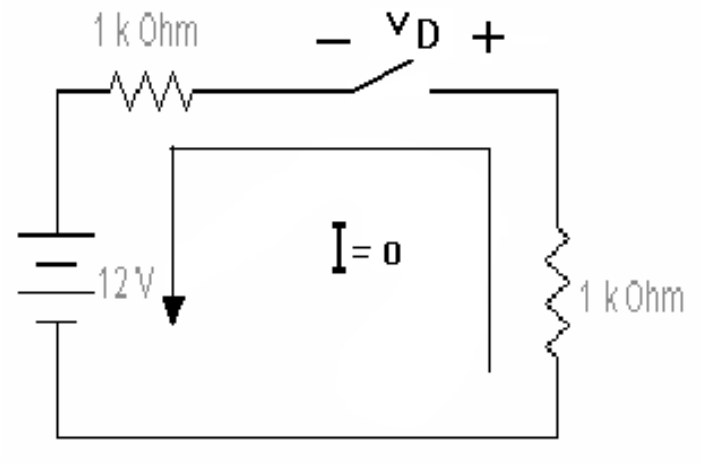
حل: دیودایده آل است ودربایاس مستقیم قراردارد پس مانند یک کلید بسته است



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

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

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



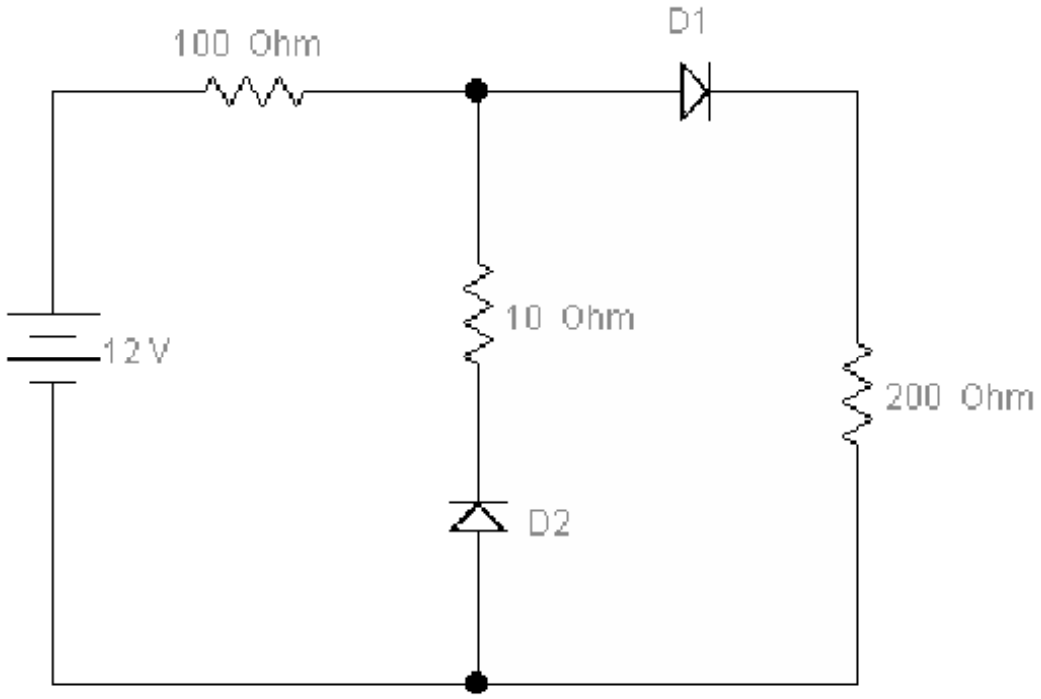
$$I = 0\,mA \Rightarrow I_D = 0\,mA$$

$$V_D = -12v \ \rightarrow$$

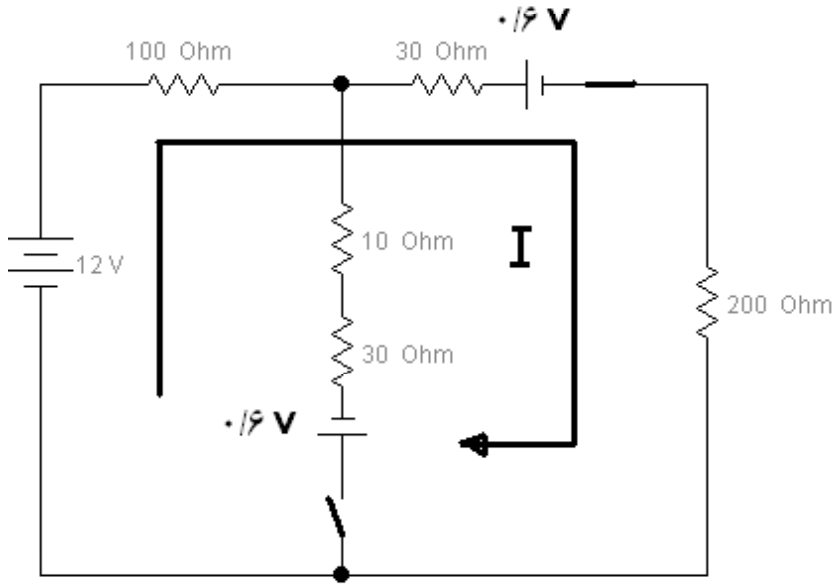
توجه :درهردوحالت توان مصرفی دیود صفر است زیرا دیود ایده آل است.

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

$$r_{av} = 30\,\Omega$$
$$V_T = 0.6\,v$$



حل: مدارمعادل دیودهاراجایگزین می کنیم دیودD1درباياس موافق ودیود D2درباياس معکوس است.



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

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

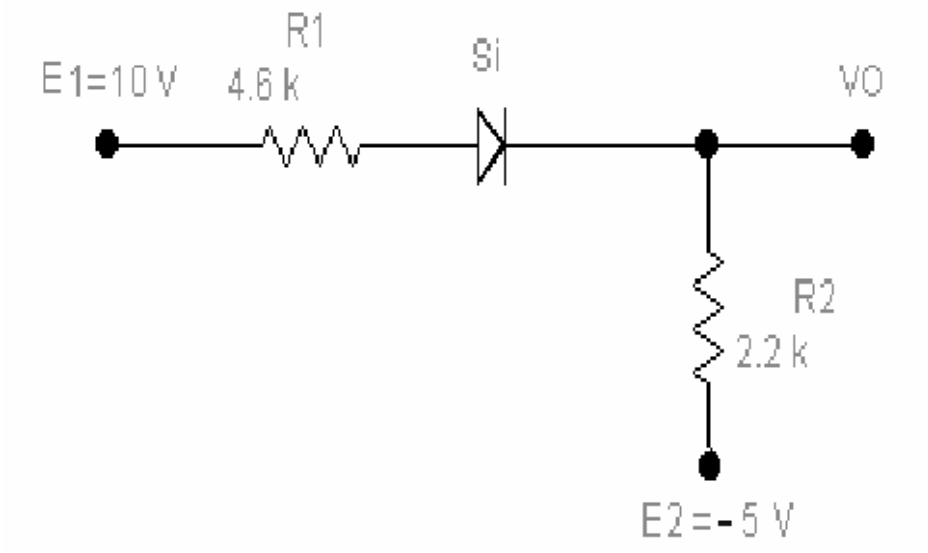
$$V_{D1} = 30\ I + 0.6 = 30 \times 0.03455 + 0.6 = 1.636 \quad V$$

$$I_{D2} = 0$$

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

$$= -8.5465 \quad v$$

مثال ۸ : مقدار I و Vo را تعیین کنید؟



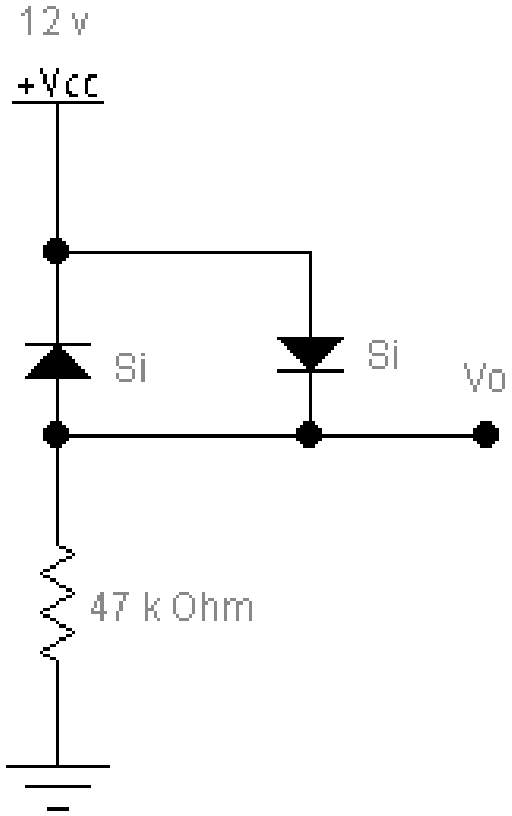
$$KVL: -E_1 + 4.6I + V_T + 2.2I + E_2 = 0$$

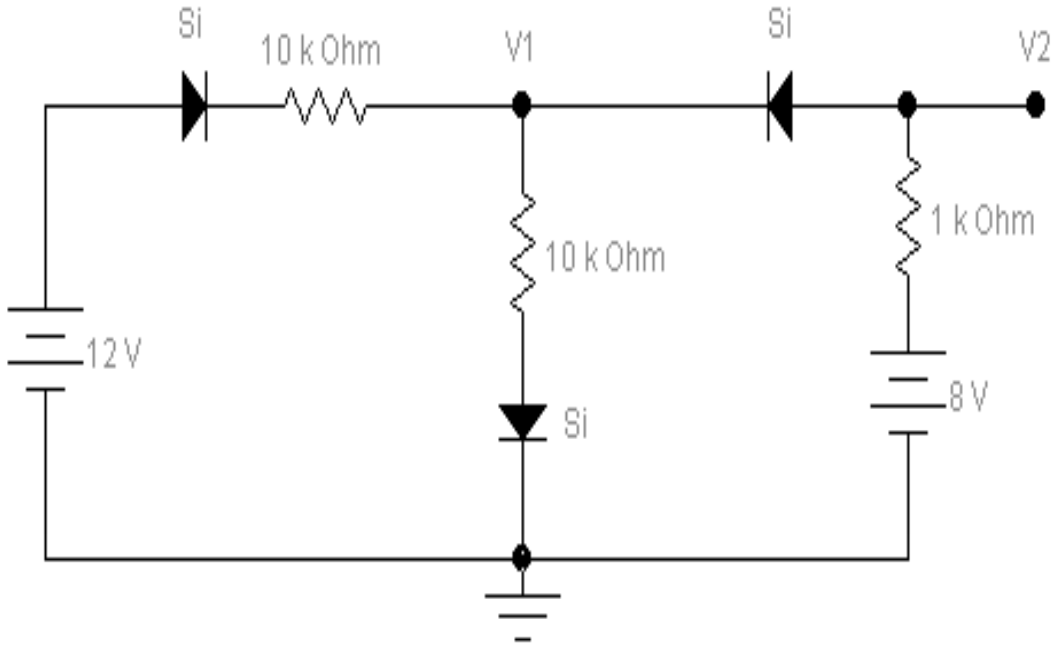
$$-10 + 4.6I + 0.7 + 2.2I + (-5) = 0$$

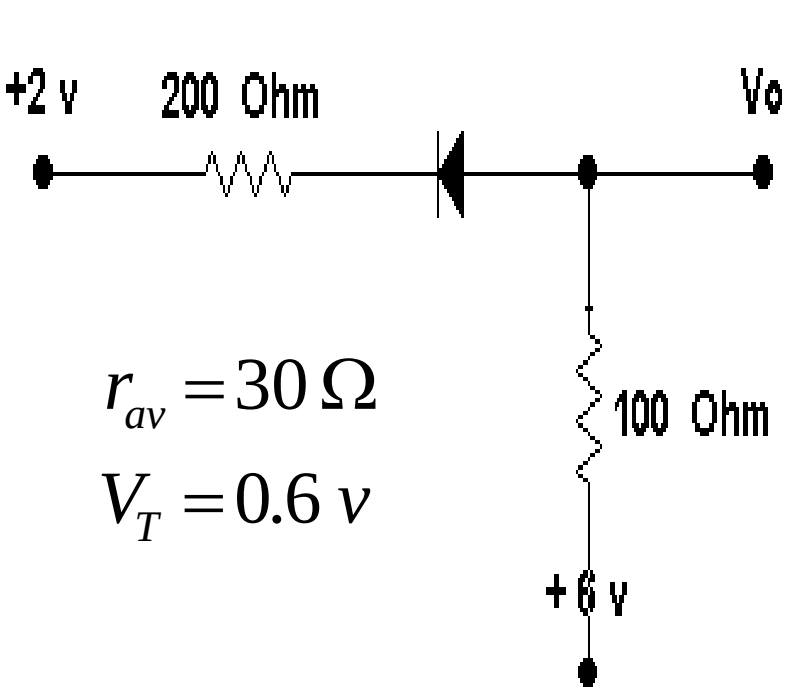
$$\Rightarrow I = 2.1\ mA$$

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

تمرین کلاسی :درهرشکل V_1 , V_2 , V_O پیداکنید؟

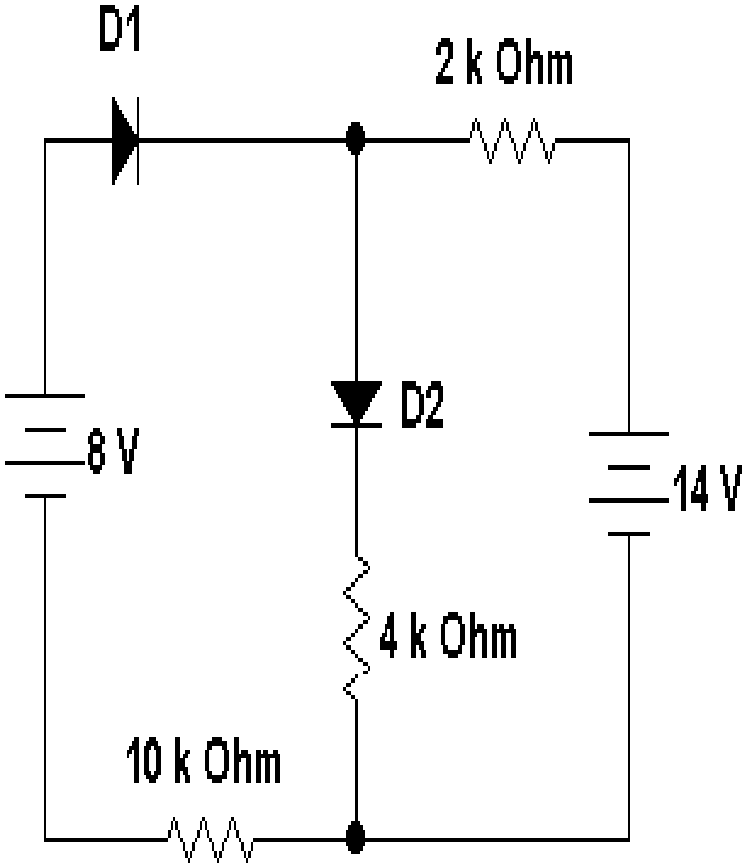


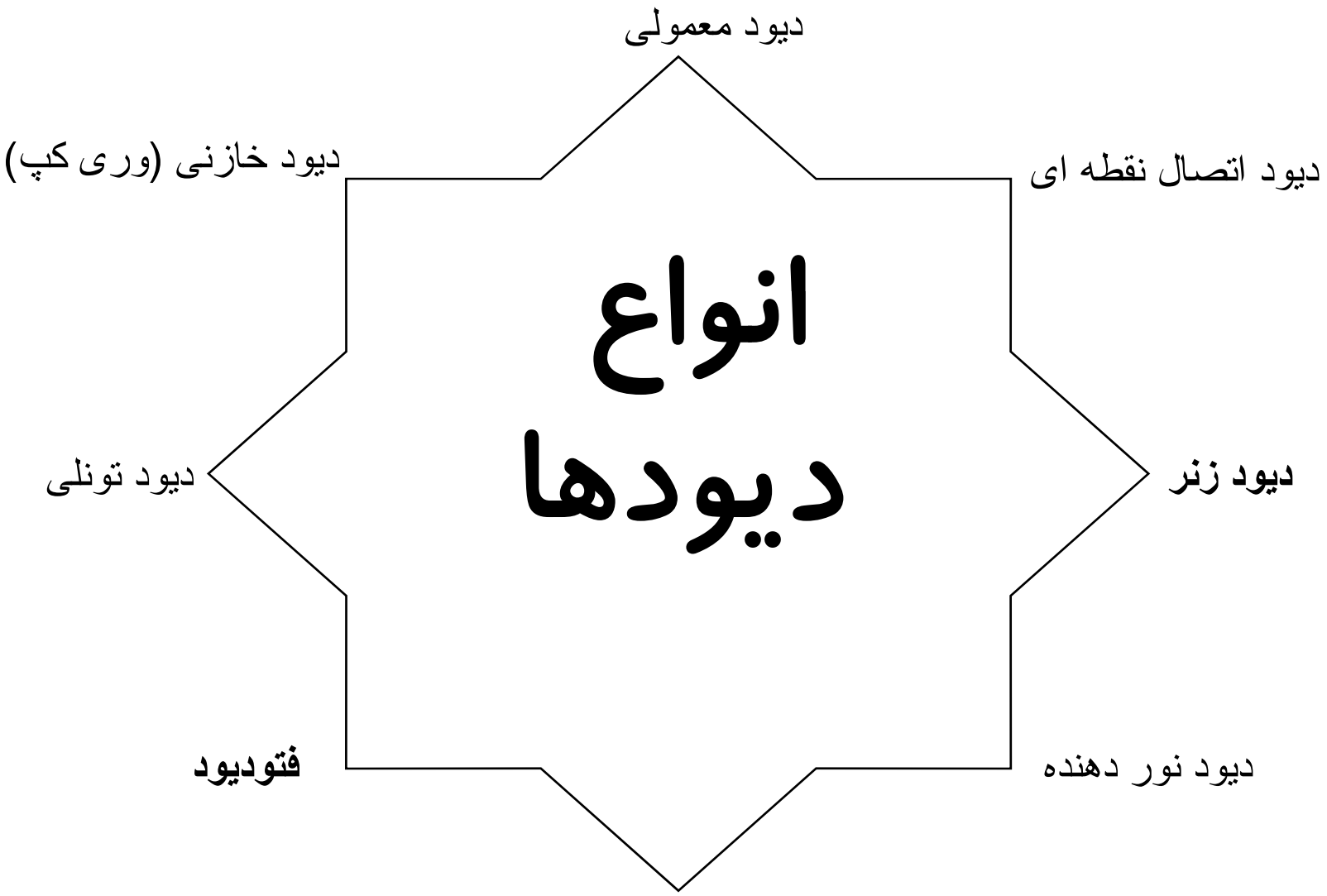




$$r_{av} = 30\,\Omega$$

$$V_T = 0.6\,v$$




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

...