بسم الله الرحمن الرحیم

الکترونیک عمومی

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: [illegible]
- 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

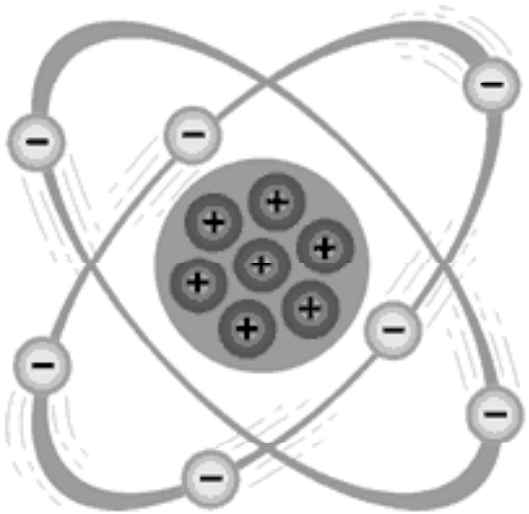
۱-۱-مدل اتمی بوهر

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

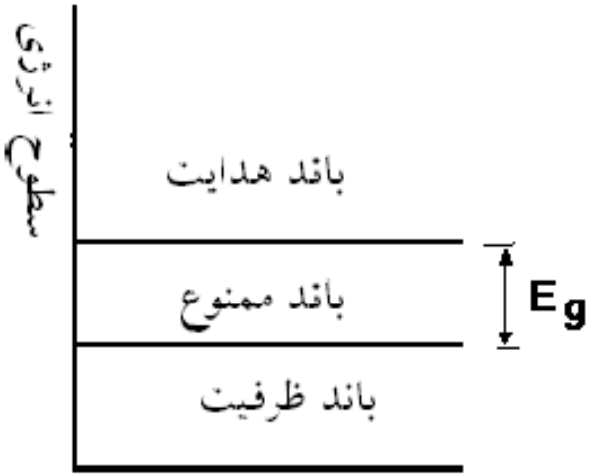
ب-نیمه هادی :هدایت کمتری نسبت به هادیها دارندوتحت شرایط خاص (مثل دادن انرژی)،جریان الکتریکی را از خود عبور می دهند.تعدادالکترونهای لایه ظرفیت این گروه اجسام برابر ۴ تااست مثل کربن ،ژرمانیوم،سیلیسیوم یا بعبارتی تمامی **عناصر گروه چهارم جدول مندلیف**

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.

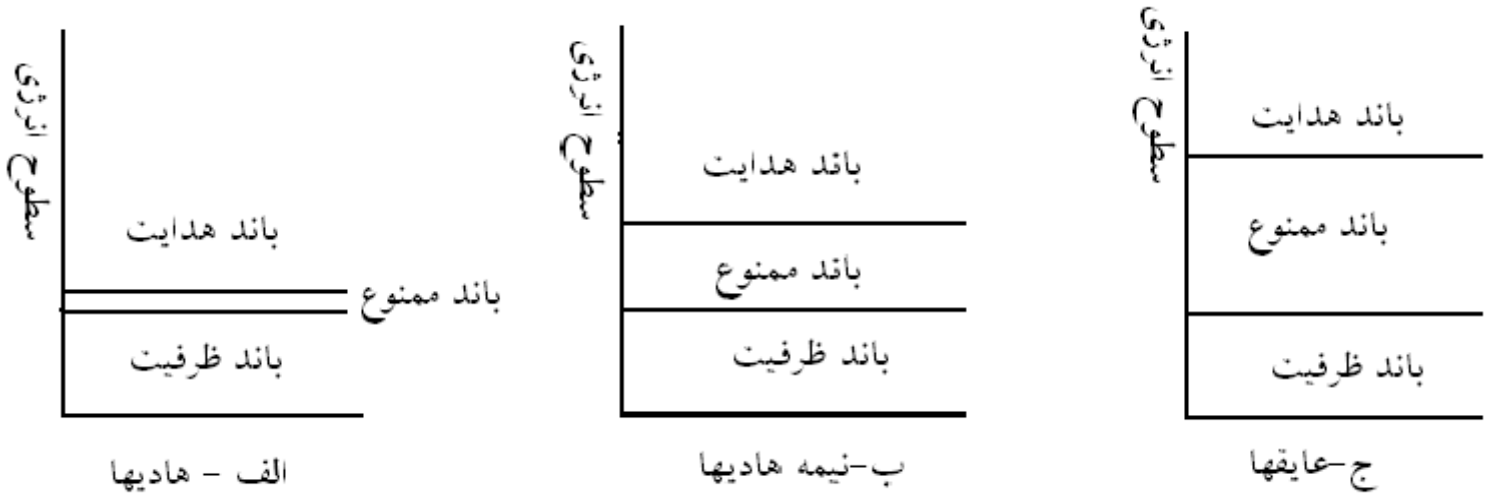
ج- باند هدایت :الکترونهای آزاد در اجسام با تحریک خارجی از جمله میدان الکتریکی می توانندبه راحتی در داخل اجسام به حرکت در آیند

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:
افزوده یا دمای کارآن افزایش یابدباعث کاهش انرژی باند ممنوع شده ونیمه هادی به هادی تبدیل می شود.

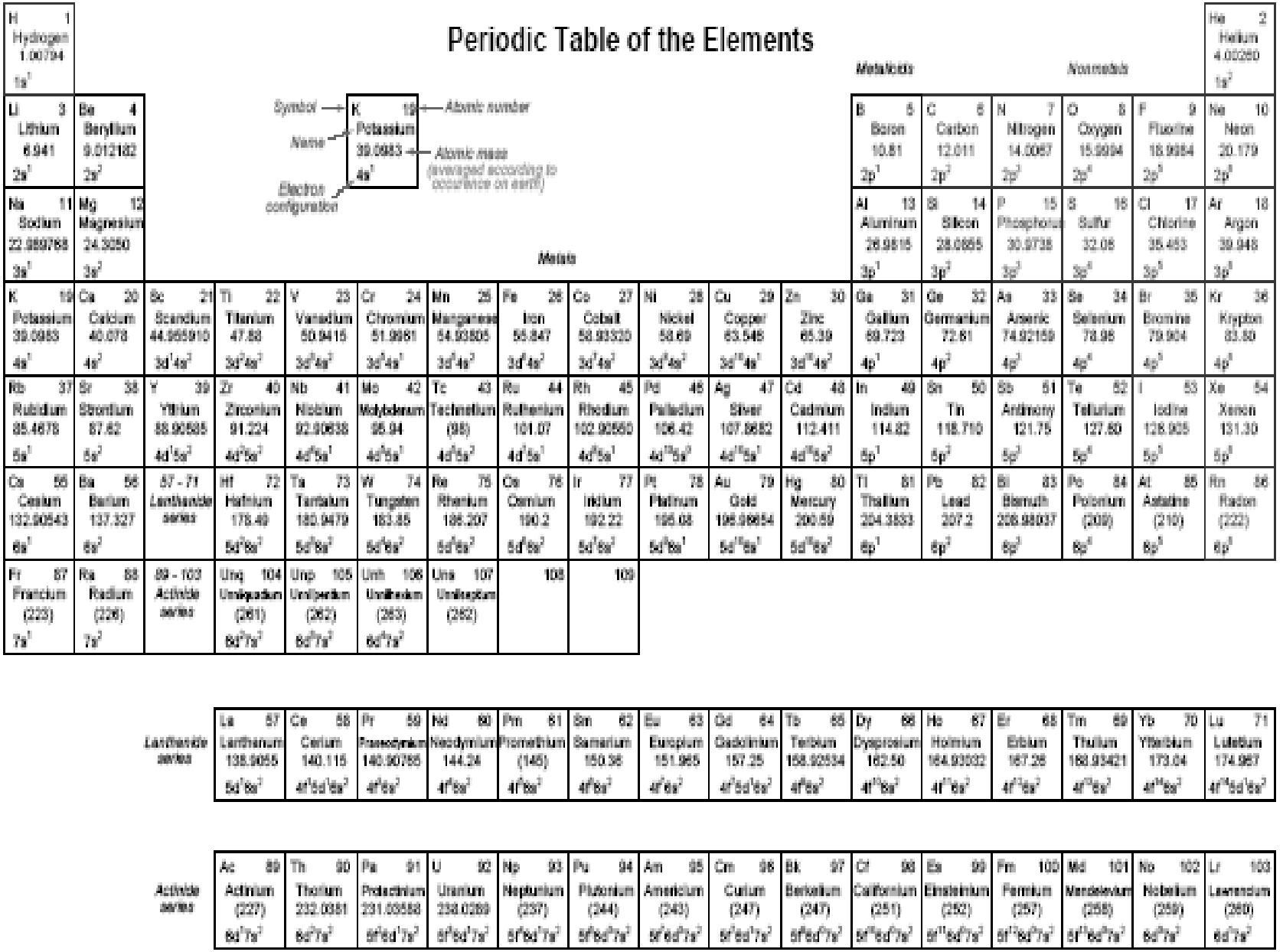
سئوالات وتمرینات

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

۲- [illegible] 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
Metalloids
Nonmetals
Metals
Symbol
Name
Electron configuration
Atomic number
Atomic mass (averaged according to occurrence on earth)
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

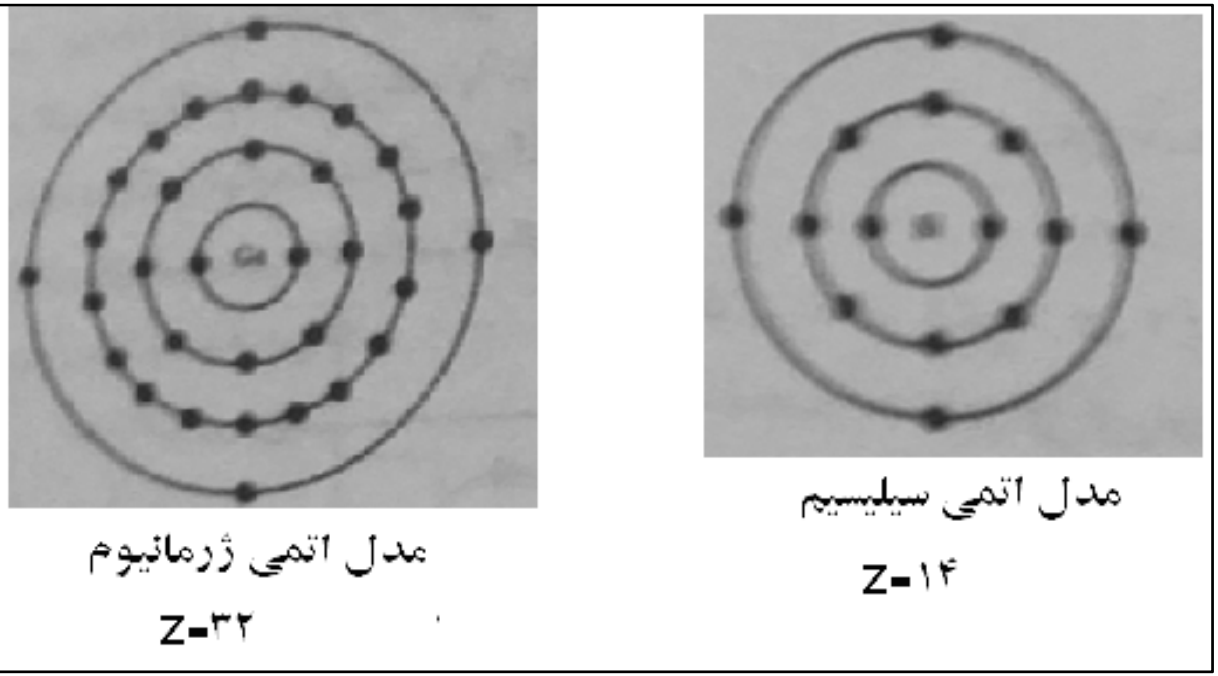
۳-کریستال نیمه هادی در دمای صفر مطلق عایق است.

۴-با دریافت انرژی کمی از خارج هادی می شوند

۵-مقاومت مخصوص نیمه هادیها بیشتر از هادیها است.

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



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

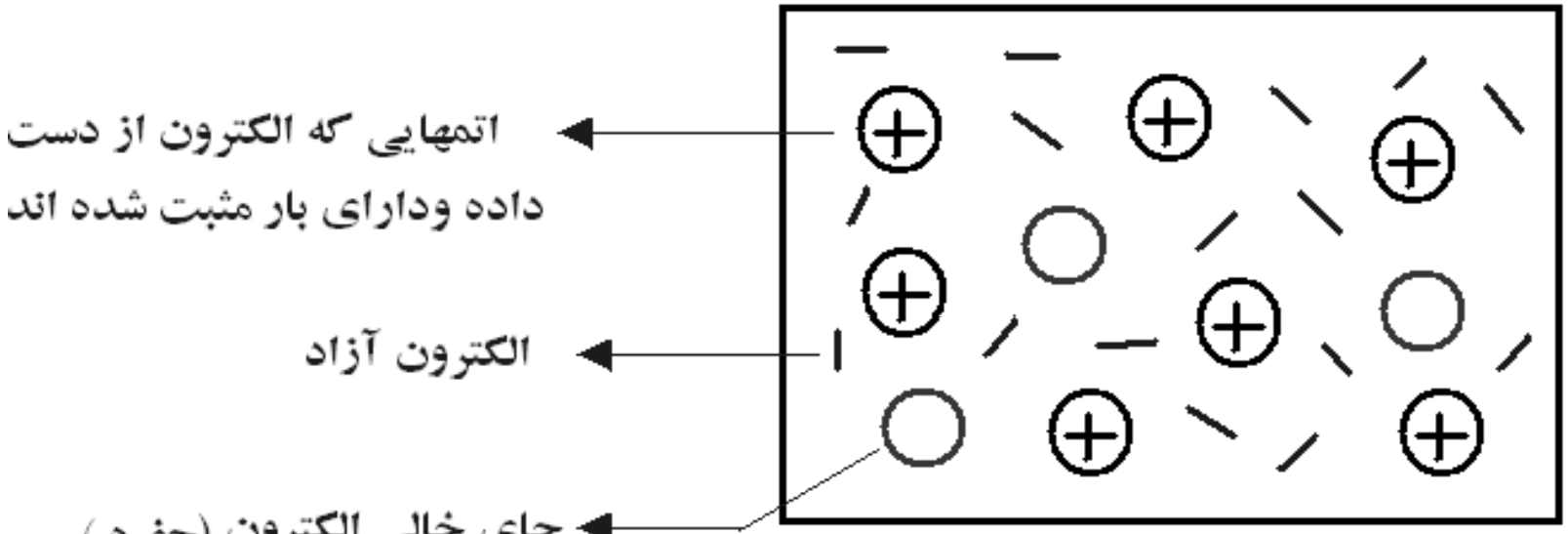
نیمه هادی نوع N (negative)

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 ویـ

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



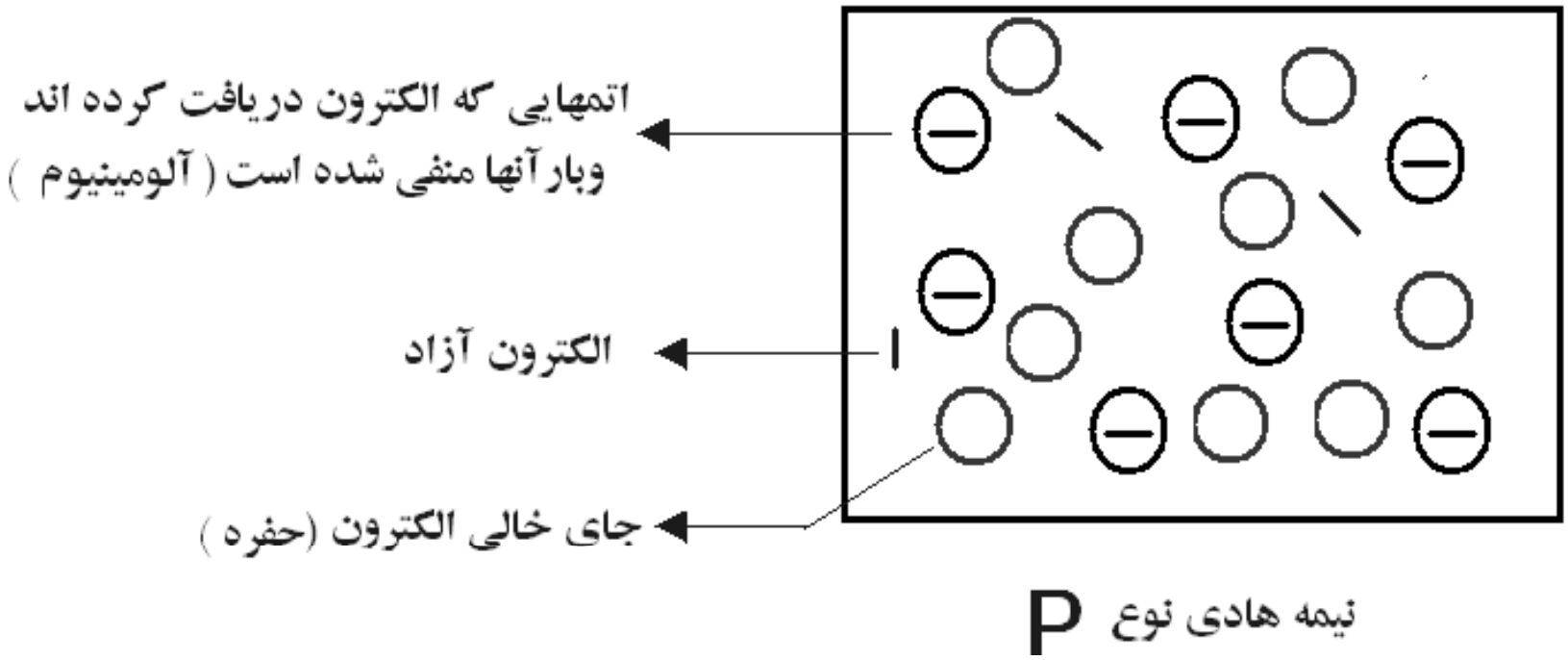
نیمه هادی نوع N

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( ) 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

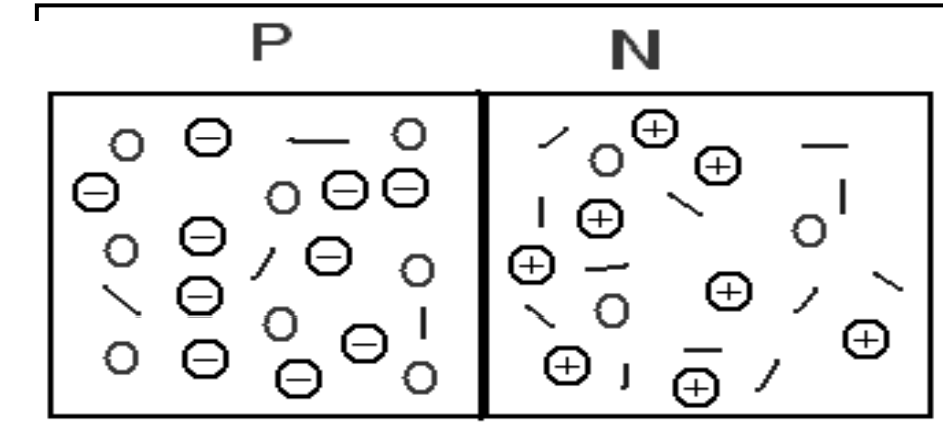
۲-مانند یک خازن است که دونیمه نوعNوP جوشنهای آن هستند.

۳-میدان الکتریکی بین جوشنها ایجاد می گردد.

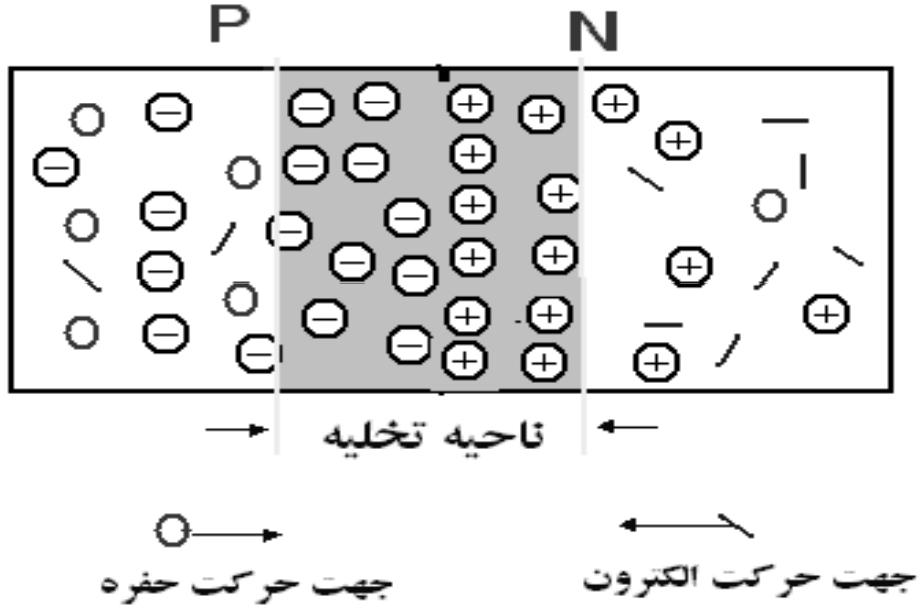
۴-بین جوشنها اختلاف پتانسیل ایجاد شده که به آن پتانسیل سد گویند.

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

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

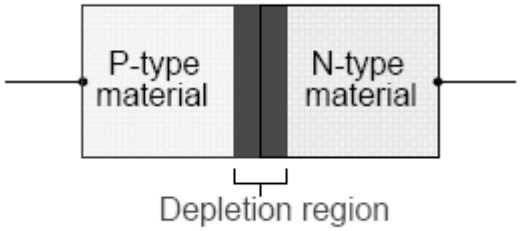


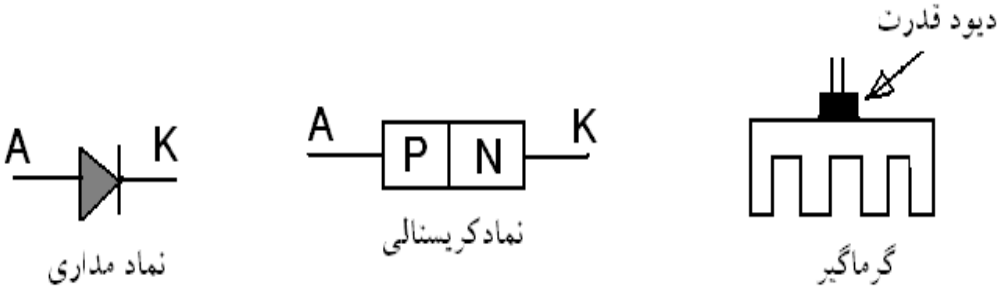
کنارهم قرارگرفتن دو نیمه هادی قبل از جابجایی الکترون وحفره

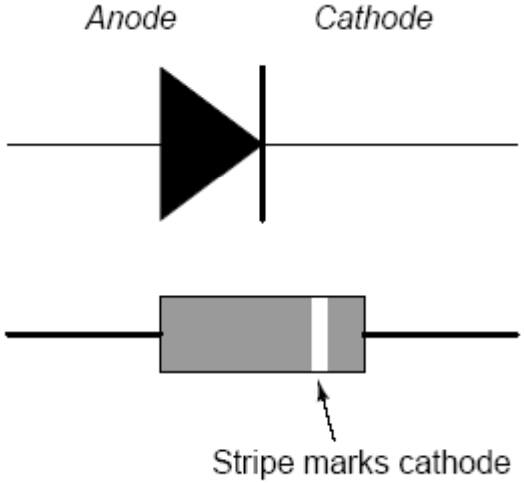


کنارهم قرارگرفتن دو نیمه هادی بعد از جابجایی الکترون وحفره

به اتصال PN دیود گویند(Diode)







وصل کردن ولتاژ dc را به دیود ،

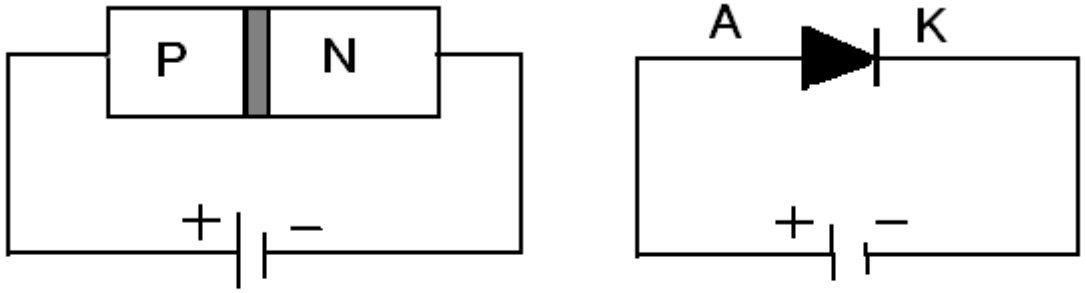
بایاس کردن گویند

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

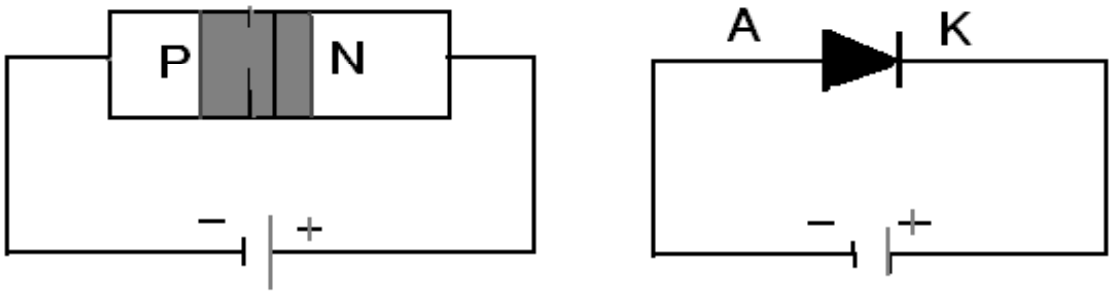
- ۱-
تخلیه وپتانسیل سد کاهش می یابد

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.

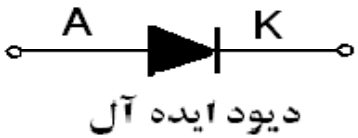
۳-حفره ها در جهت مخالف الکترونها حرکت می کنند.وجذب بار الکتریکی منفی می شوند.

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

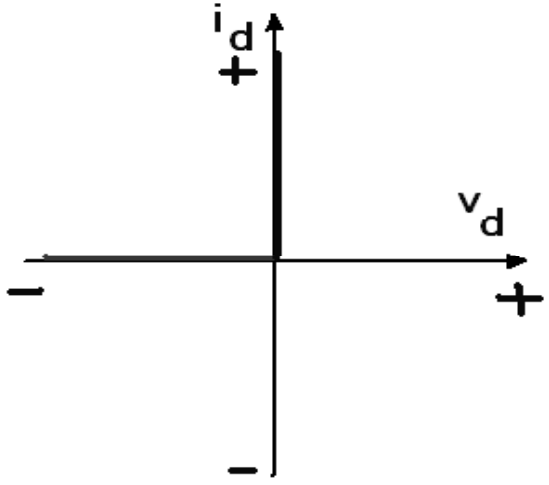
۵-ظرفیت خازنی پیوند تغییر پیدا می کند.

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 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 ⟵ دمای کاربرحسب کلوین

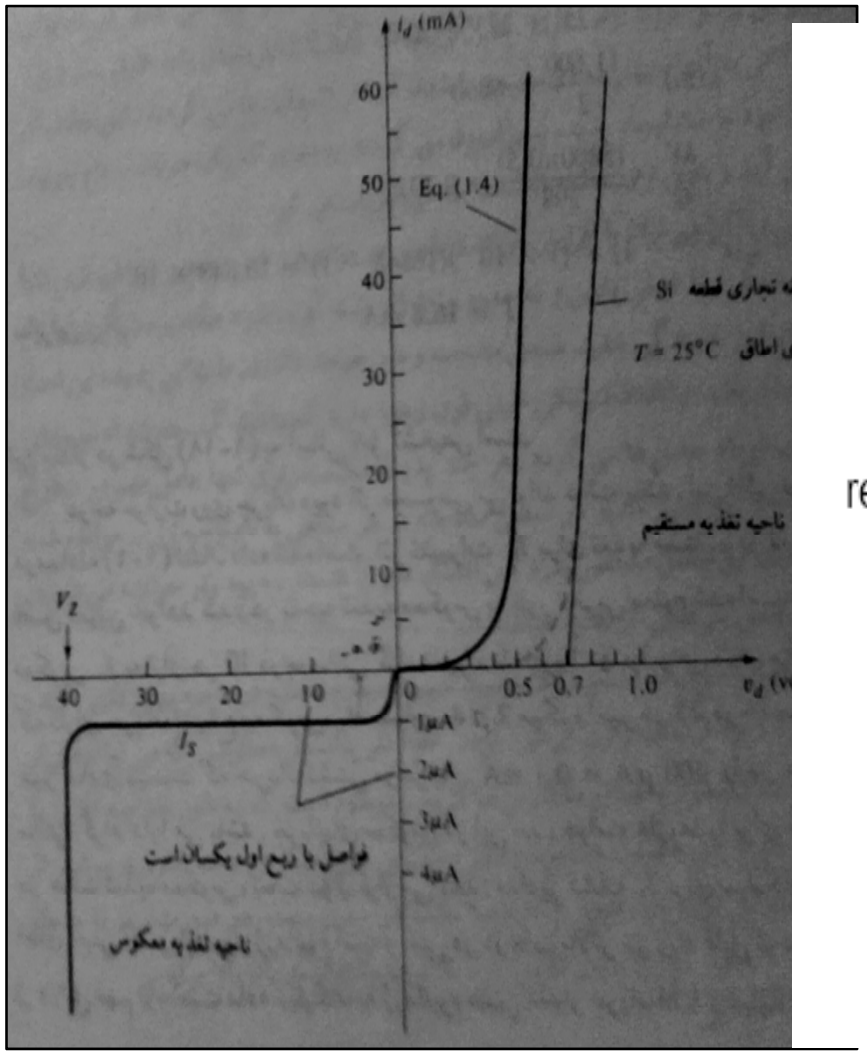
T_c ⟵ دمای کاربرحسب سانتی گراد

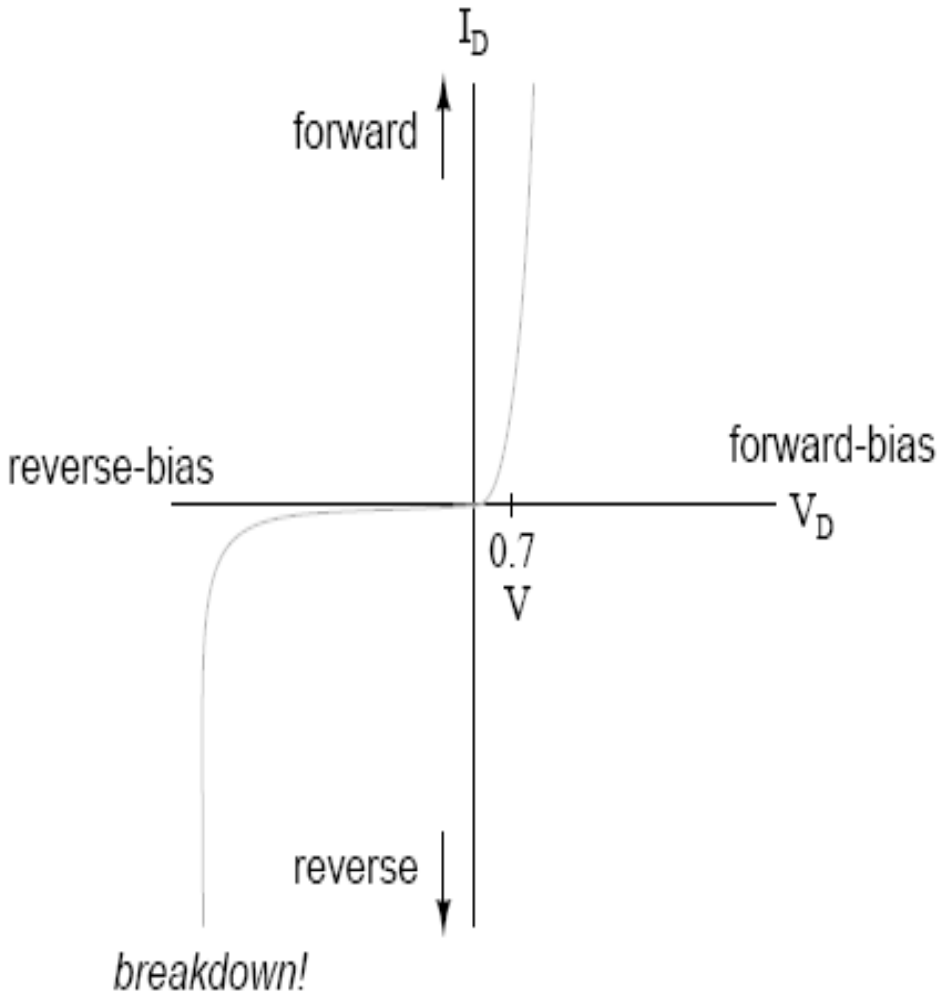
I_s ⟵ جریان نشتی معکوس دیود

$$T_k = T_c + 273.15$$

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 درباياس مستقیم به ولتاژ 0/5 ولت متصل می گرددداگرجریان نشتی دیود یک میکروآمپر ودردمای محیط کار کند چه جریانی خواهد داشت؟

حل.

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

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

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

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

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

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

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)

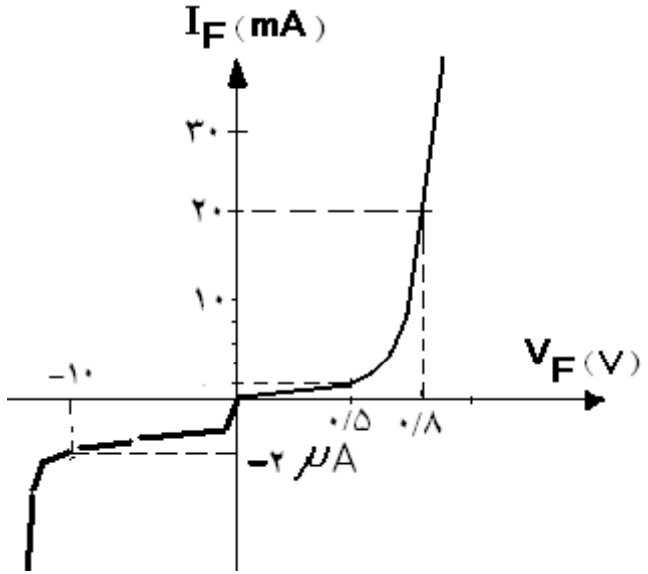
مقاومت استاتیکی (DC):مقاومت دیوددریک نقطه کار بخصوص راگویند.

$$DC = \frac{D}{I_D}$$

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؟



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

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

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

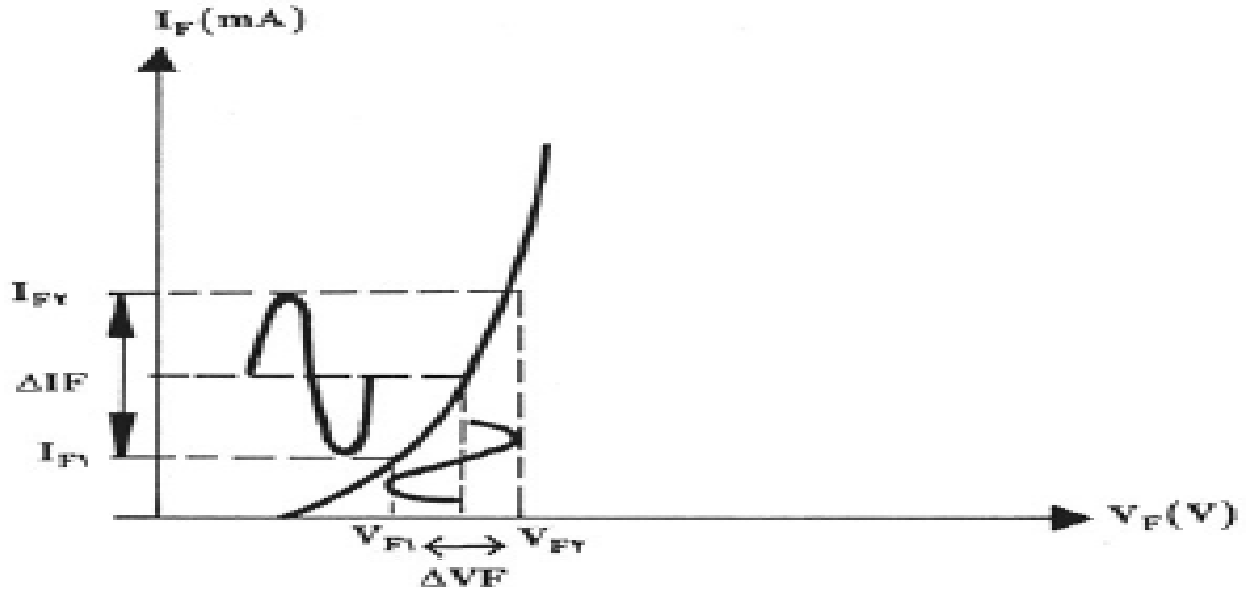
مقاومت دینامیکی دیود: مقاومت دیود درمقابل جریان متناوب را گویند‌از رابطه زیر بدست می آید.

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

V_D ⟵ تغییرات ولتاژحول نقطه کار

ΔI_D ⟵ تغییرات جریان حول نقطه کار

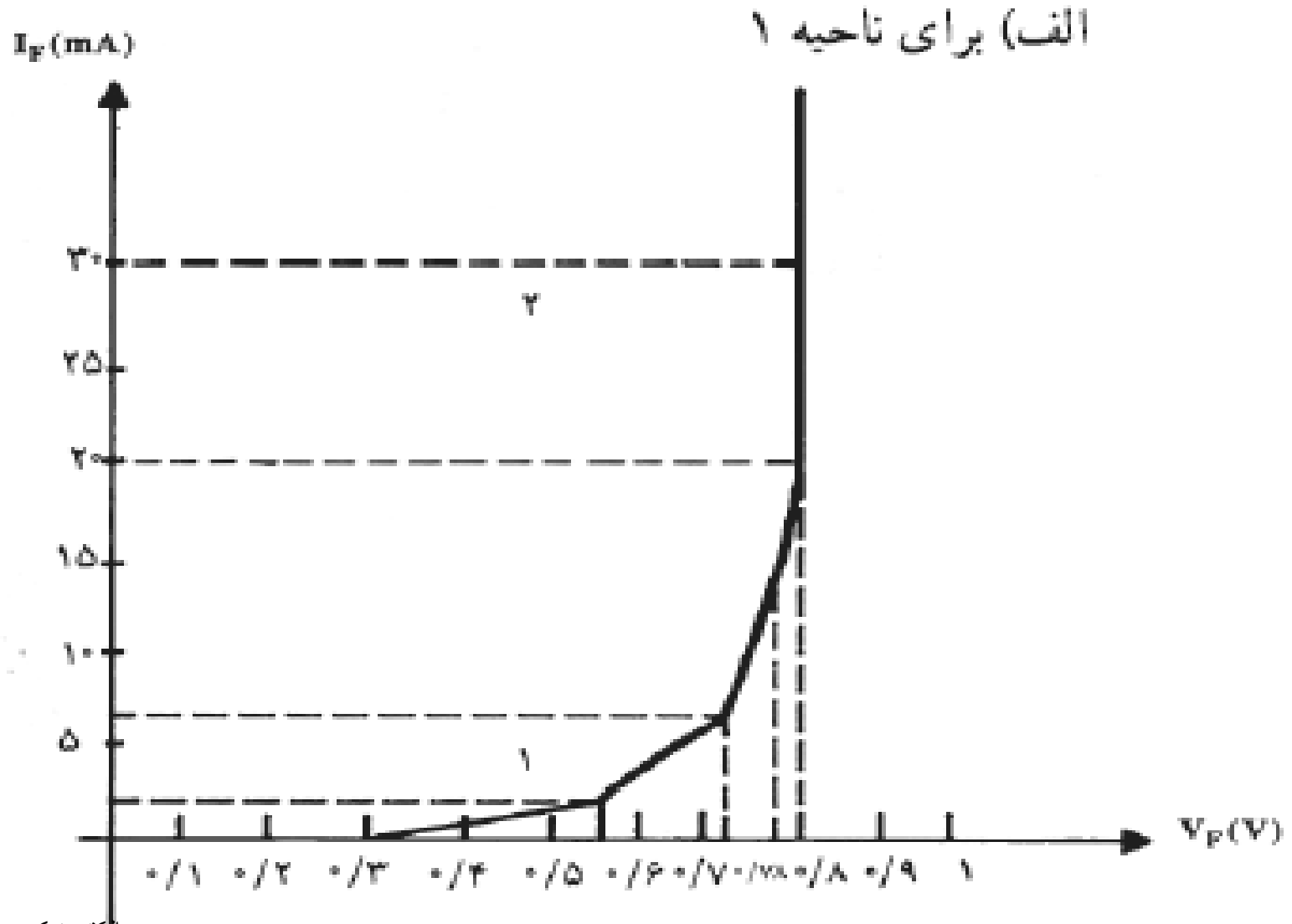
$$r_{ac} = \frac{V_{F_2} - V_{F_1}}{I_{F_2} - I_{F_1}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$



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:

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

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

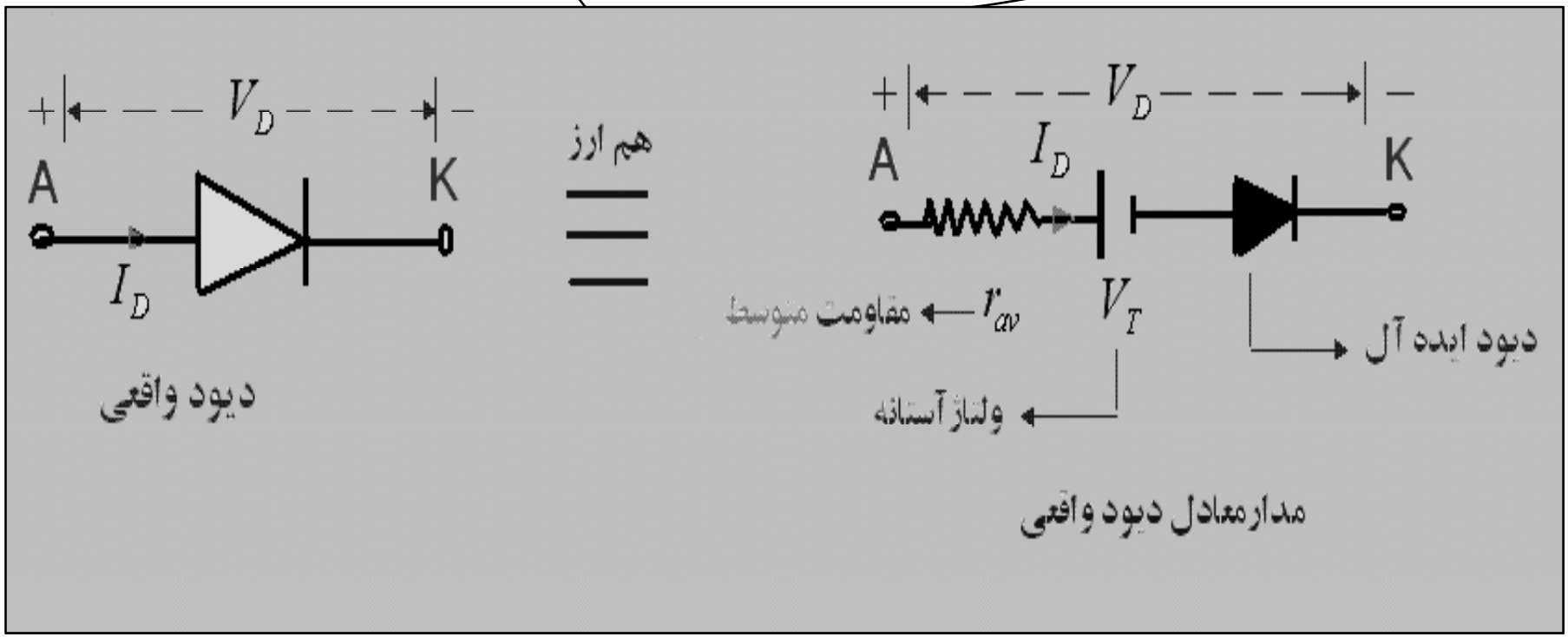
تعریف: اگر سیگنال ورودی بقدرکافی بزرگ باشدبطوری که بتواند تغییرات مشخصی در منحنی مشخصه دیود ایجاد کندمقاومت مربوط به قطعه در این ناحیه را مقاومت متوسط گویند

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

نقطه به نقطه

سئوال :تفاوت بین مقاومت دینامیکی ومقاومت متوسط چیست؟

مدارمعادل دیود واقعی



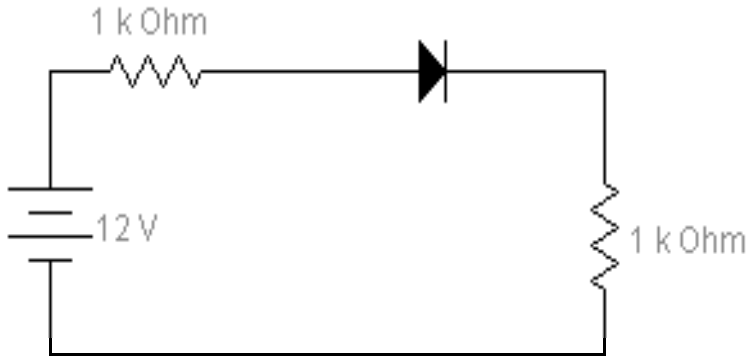
نکته بسیار مهم: [illegible] دیودی می توان از تقریب مناسب استفاده کرد.که به این مدار معادل ،مدار معادل خطی-تکه ای گویند.

چگونگی حل مسائل دیودی

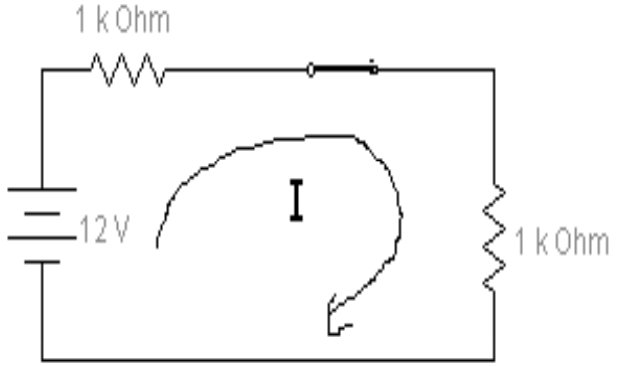
- جهت حل مسائل مراحل زیررابه ترتیب انجام دهید

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؟



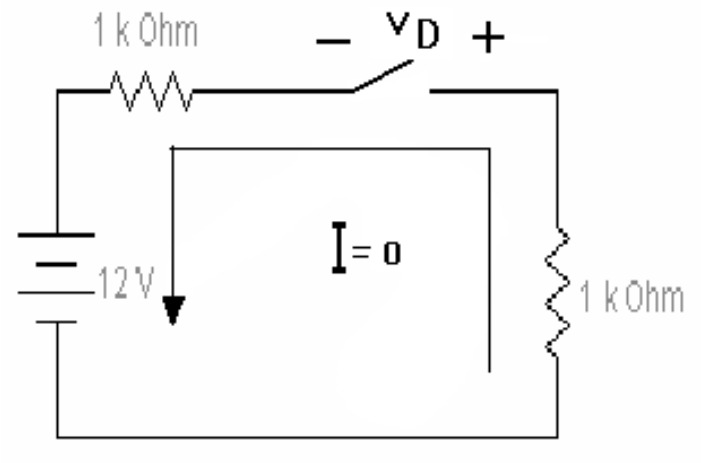
حل: دیودایده آل است ودربایاس مستقیم قراردارد پس مانند یک کلید بسته است



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

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

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



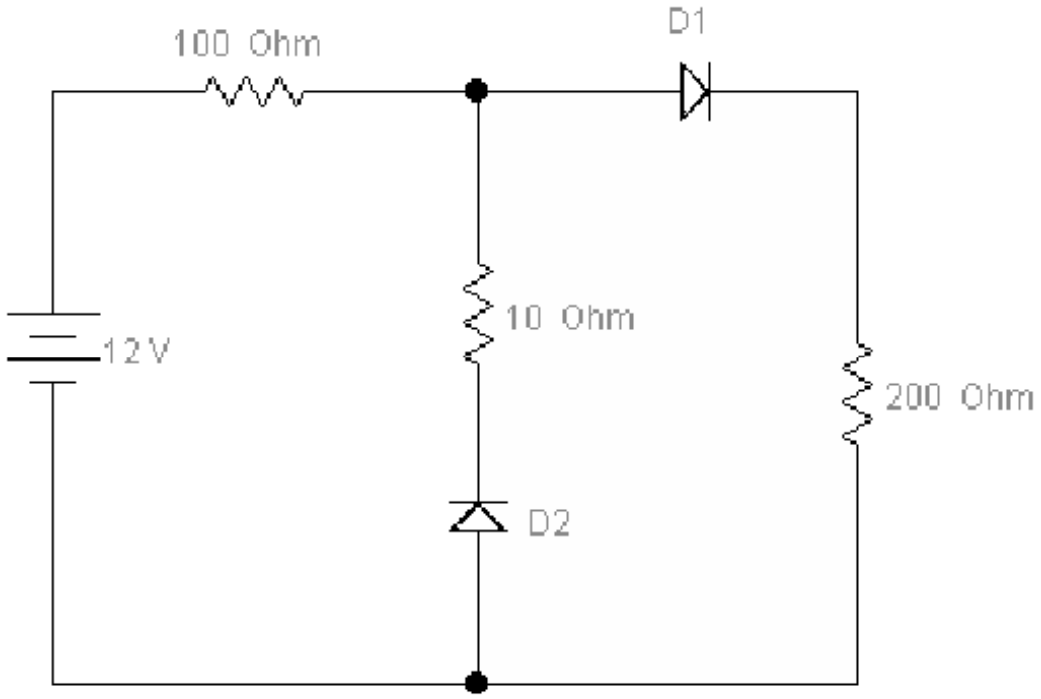
$$I = 0\,mA \Rightarrow I_D = 0\,mA$$

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

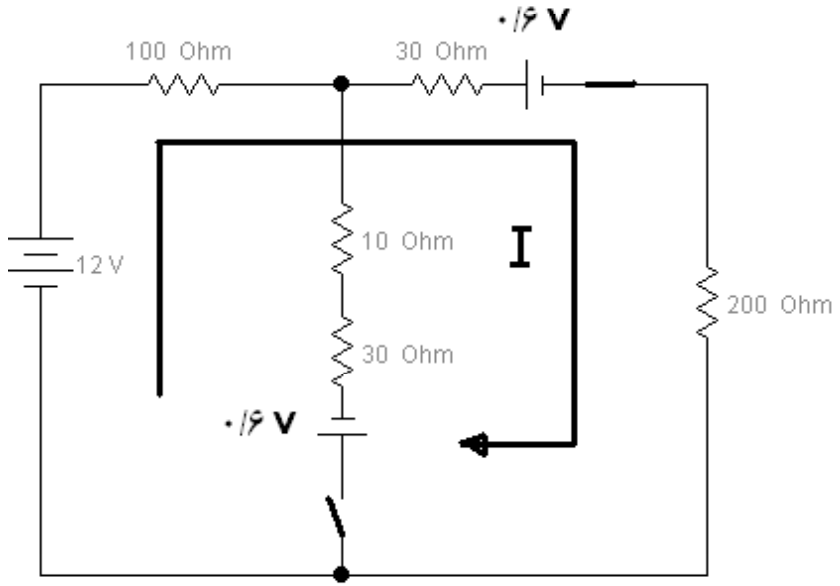
توجه :درهردوحالت توان مصرفی دیود صفر است زیرا دیود ایده آل است.

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.



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

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

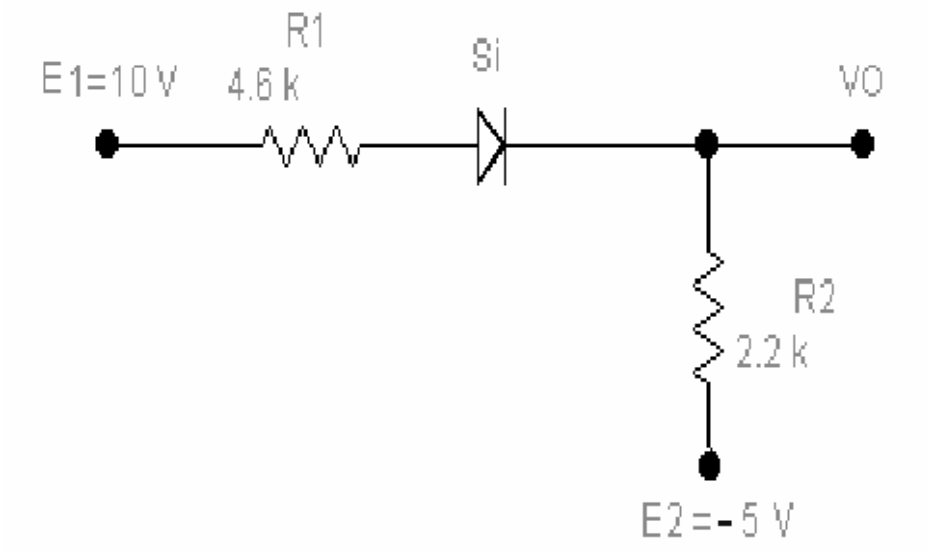
$$V_{D1} = 30\ I + 0.6 = 30 \times 0.03455 + 0.6 = 1.636 \quad V$$

$$I_{D2} = 0$$

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

$$= -8.5465 \quad v$$

مثال ۸ : مقدار I و Vo را تعیین کنید؟



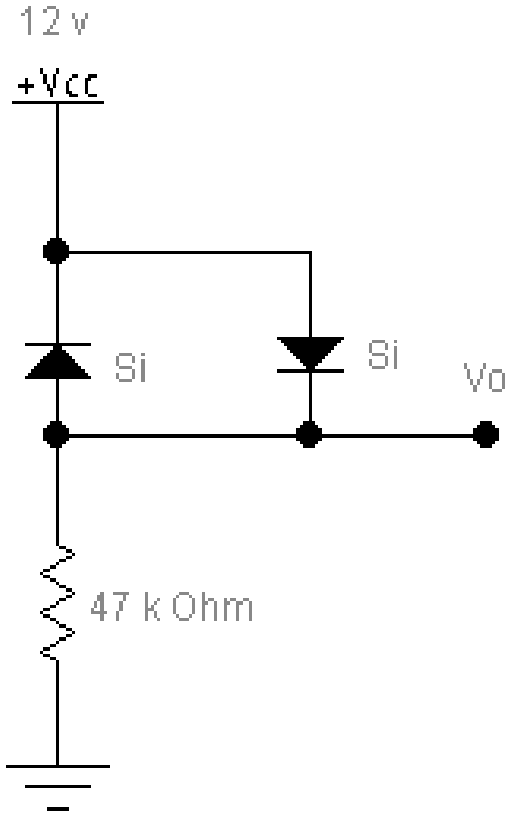
$$KVL: -E_1 + 4.6I + V_T + 2.2I + E_2 = 0$$

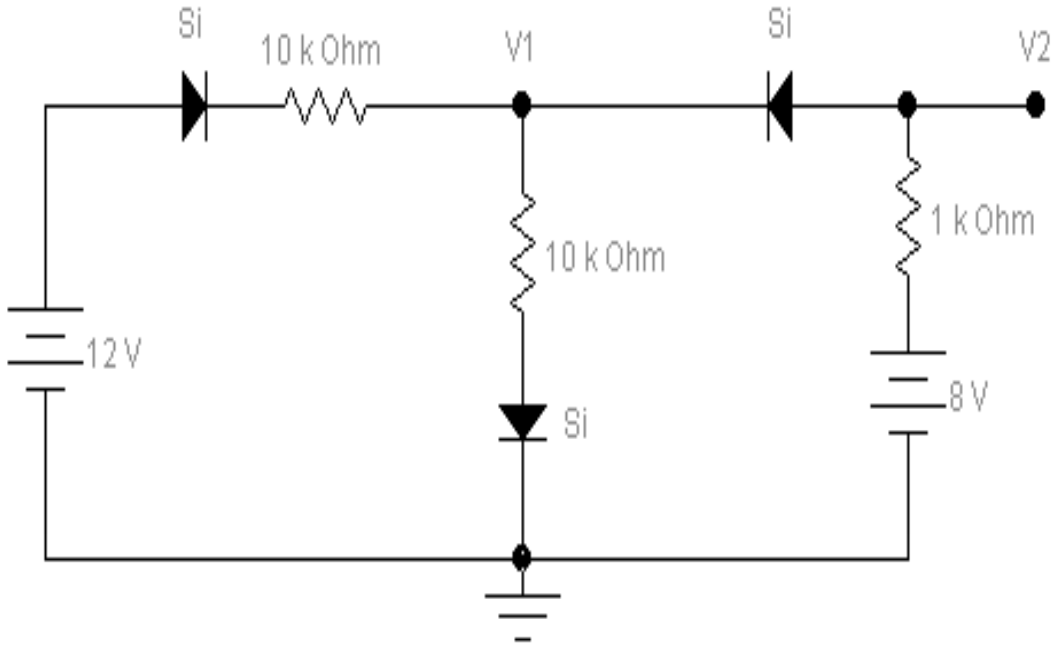
$$-10 + 4.6I + 0.7 + 2.2I + (-5) = 0$$

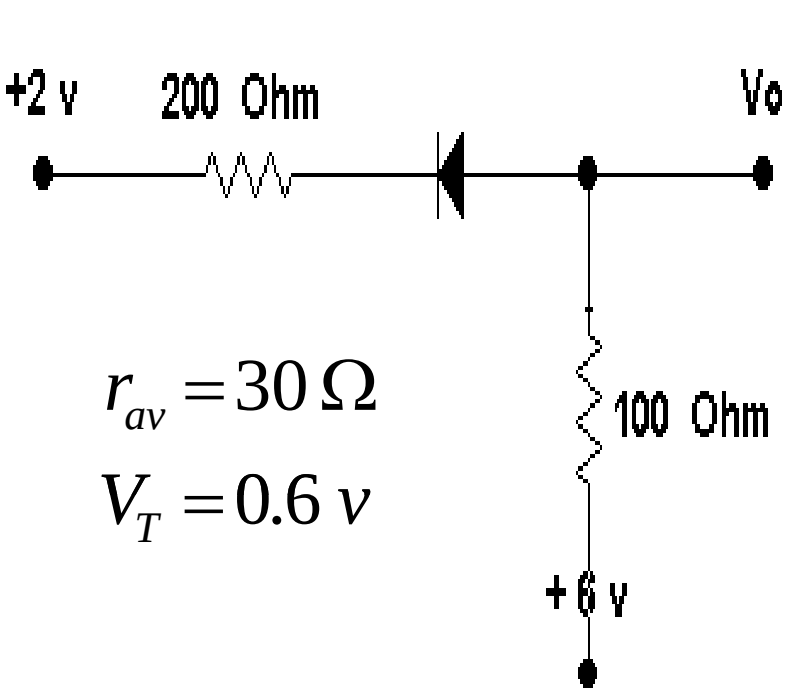
$$\Rightarrow I = 2.1\ mA$$

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

تمرین کلاسی :درهرشکل V_O , V_2 , V_1 پیداکنید؟

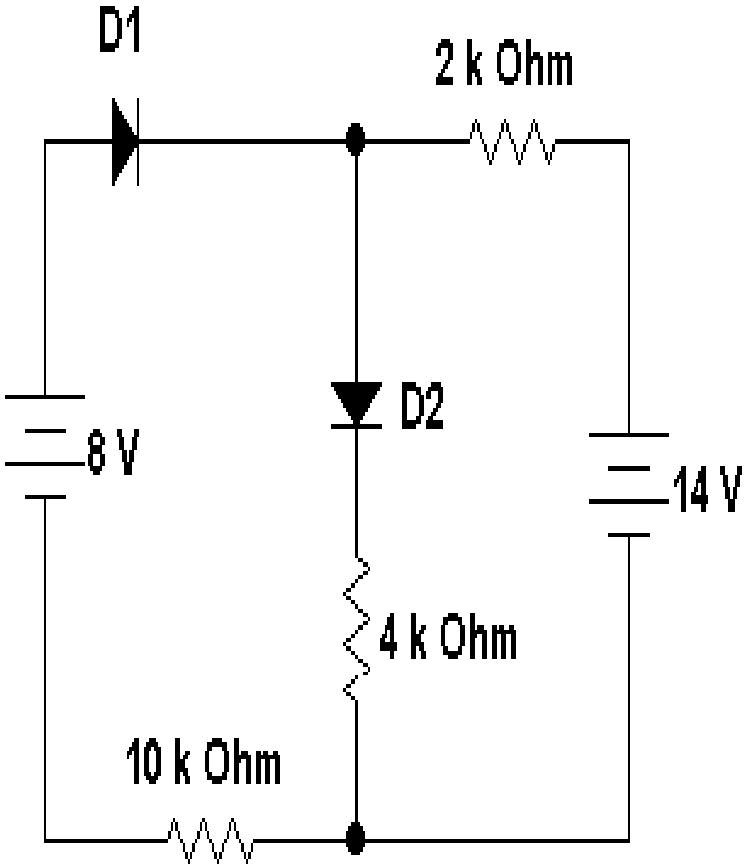


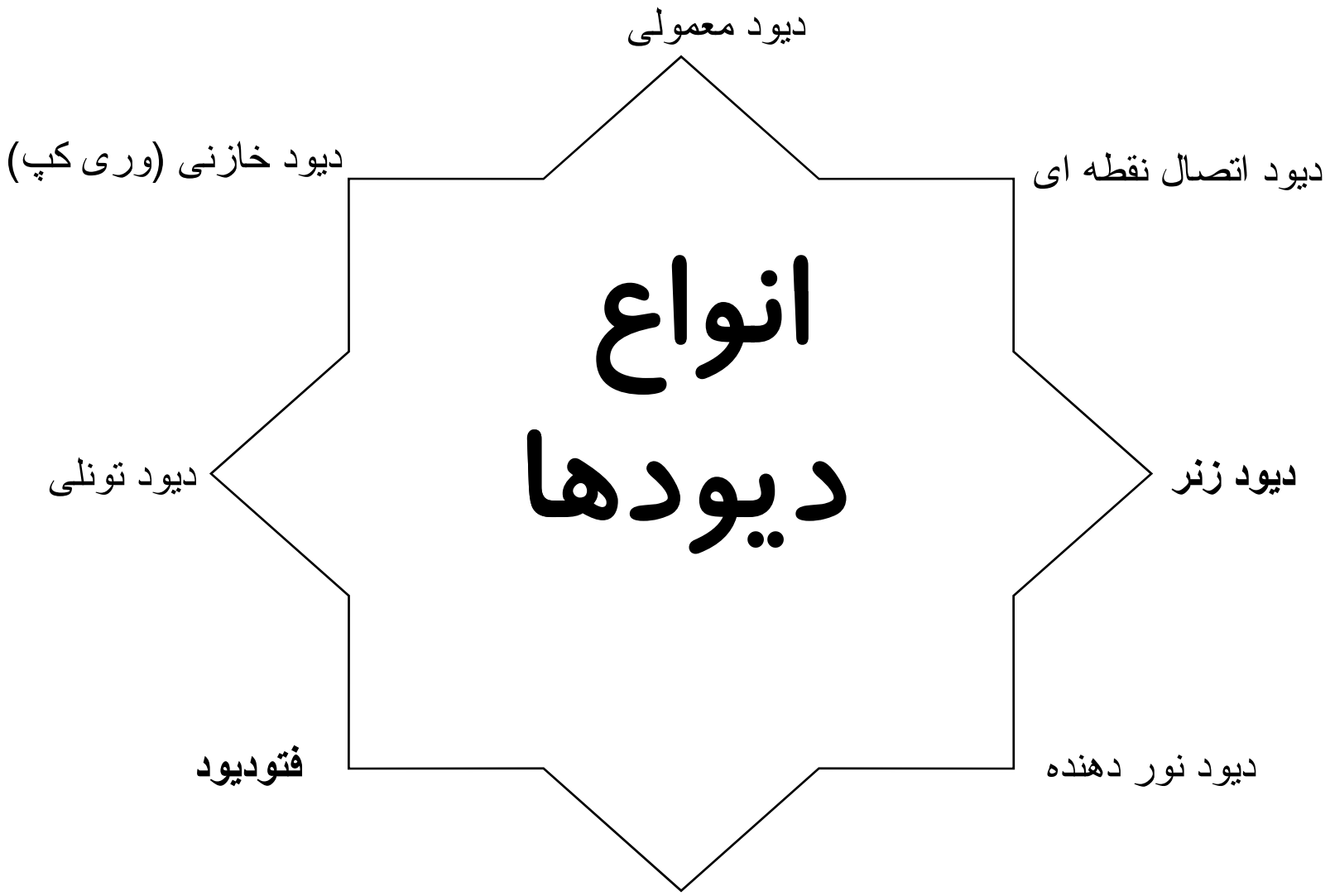




$$r_{av} = 30\,\Omega$$

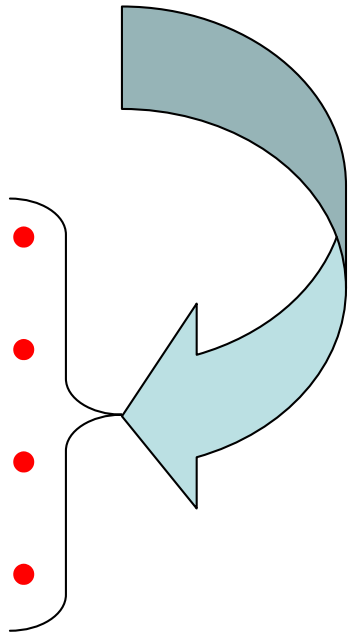
$$V_T = 0.6\,v$$




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

...

کاربرد مدارديودی درالکترونيک



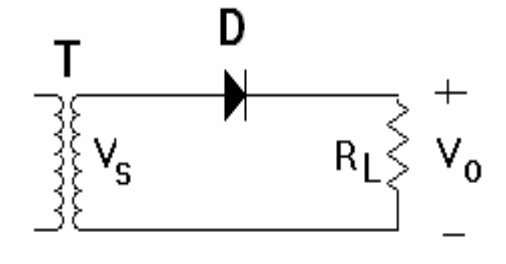
- يکسوکننده (Rectifier)
- جابجاکننده (clamper)
- برش دهنده (clipper)
- چندبرابرکننده ولتاژ (Voltage Multiplier Circuit)

مدارات یکسوساز دیودی (کنترل نشونده): مداراتی هستندکه ولتاژمتناوب رابه ولتاژیکسویه (مستقیم)تبدیل می نمایند.عنصر اصلی در این مدارات دیود است.این مدارات به حالتهای زیر تقسیم می شوند.

- ازنظر تعدادفازها
  - یکفاز
  - **چند فازه(سه فاز-شش فازو...)**
- ازنظرنوع یکسوسازی
  - نیم موج
  - تمام موج
    - **ترانس سرمیانی**
    - **پل دیودی**

اکنون به شرح هریک از مدارات فوق خواهیم پرداخت

مداریکسوکننده نیم موج یکفازه:

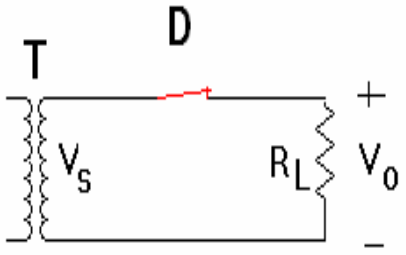


شکل مقابل مداریکسوکننده نیم موج را نشان می دهد.
(فرض،دیود ایده آل)

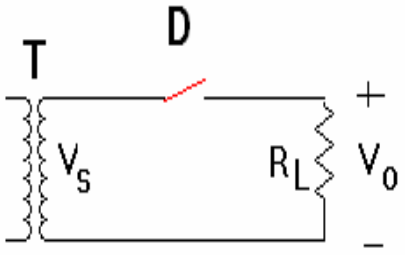
جهت بررسی مدارنیم سیکلهای مثبت ومنفی راجداگانه درنظرمی گیریم.

الف–در نیم سیکل مثبت،دیوددربایاس موافق بوده وهدایت می کندودرحلقه(منبع –دیود–بار)جریان جاری شده وولتاژخروجی برابرولتاژمنبع می گردد(شکل الف)–دیود مانند کلید بسته است

ب– درنیم سیکل منفی،دیوددربایاس معکوس بوده وهدایت نمی کندودرحلقه(منبع –دیود–بار)جریان جاری نشده وولتاژخروجی برابرصفرخواهدبود.(شکل ب)–دیودمانندکلیدباز است



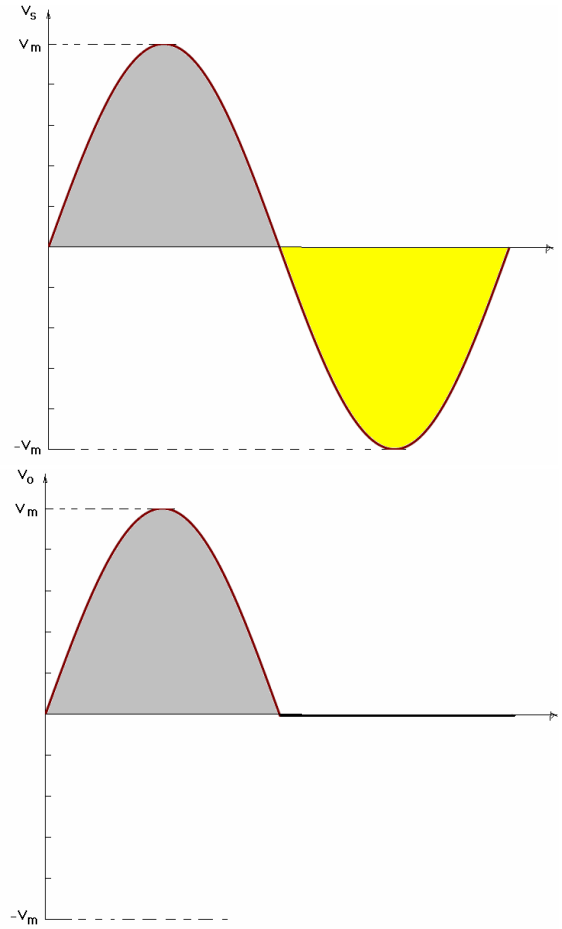
شکل الف نیم سیکل مثبت



شکل ب نیم سیکل منفی

$$v_s \succ 0 \xrightarrow{D=ON} v_o = v_s \ , \ v_D = 0$$

$$v_s \prec 0 \xrightarrow{D=Off} v_o = 0 \ , \ v_D = v_s$$



جریان مدار هم شکل ولتاژباراست چرا؟

$$V_{av} = \frac{1}{T}\int_0^T V_m \sin(\omega t)dt = \frac{V_m}{\pi} = 0.318V_m$$

شکل موج ولتاژدوسر دیود راترسیم کنید؟

حداکثر ولتازی که درهرمداردردوسر دیود ظاهرمیشود را PIVدیود گویند دراین مدار برابر V_m است

مثال: درمدارنیم موج ،تعداددور اولیه وثانویه ترانس به ترتیب ۱۲۰۰و۳۰۰ دور است اگر اولیه به ولتاژ ۲۲۰ ولت متصل شود وبارآن یک بلندگوی ۱۰۰ اهمی باشد مطلوب است:(دیود ایده آل فرض شود)

الف-مقدارمتوسط ولتاژوجریان بلندگووهمچنین توان آن

ب-PIV دیود ج- شکل موجها با مقیاس مناسب

حل:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \frac{V_2}{220}=\frac{300}{1200} \Rightarrow V_2=55\ v$$

$$\Rightarrow V_m=55\sqrt{2}=78.1\ v$$

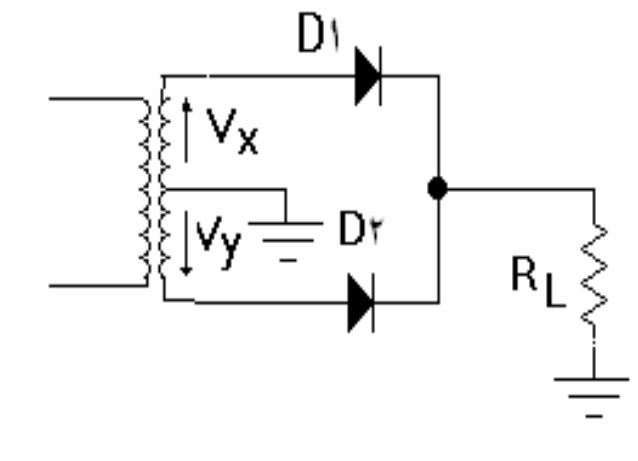
$$V_{av}=0.318V_m=0.318\times 78.1=24.84\ v$$

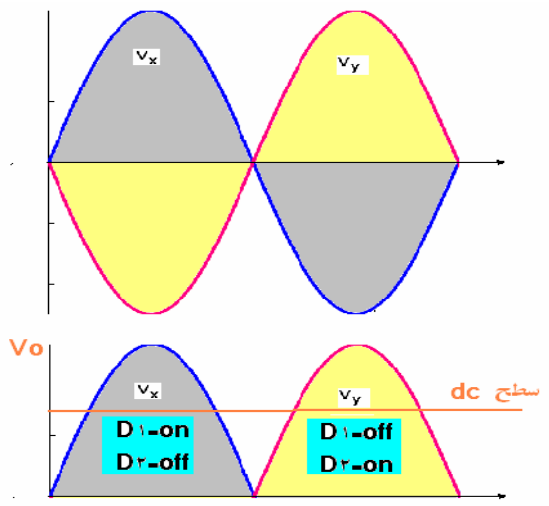
$$I_{av}=\frac{V_{av}}{R_L}=\frac{24.84}{100}=0.2484\ A$$

$$PIV=V_m=78.1\ v$$

تمرین :جهت دیود را درمدار یکسوساز عوض نموده وبافرض اینکه دیود ازنوع سیلیکونی باشد.شکل موجها راترسیم ومثال قبل را تکرارکنید

یکسوسازی تمام موج باترانس سرمیانی



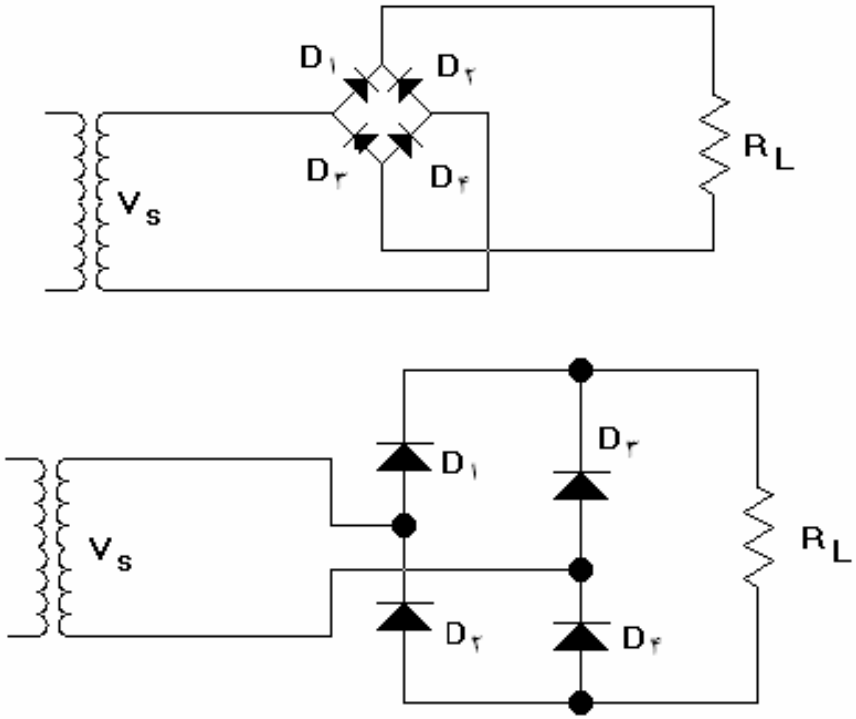


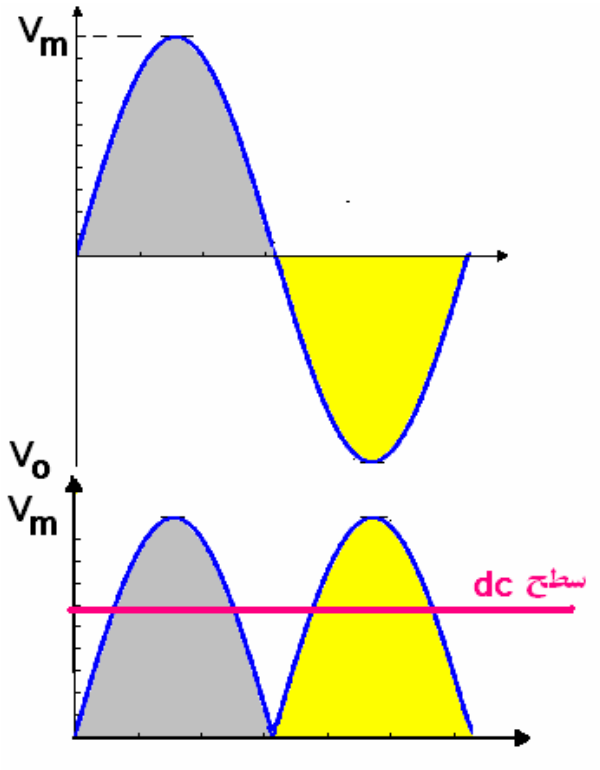
$$V_{av} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636\ V_m$$

$$PIV = 2V_m$$

تمرین :در مدارات تمام موج شکل موج ولتاژدوسر دیودها را ترسیم کنید.

مداریکسوساز تمام موج(پل دیودی)

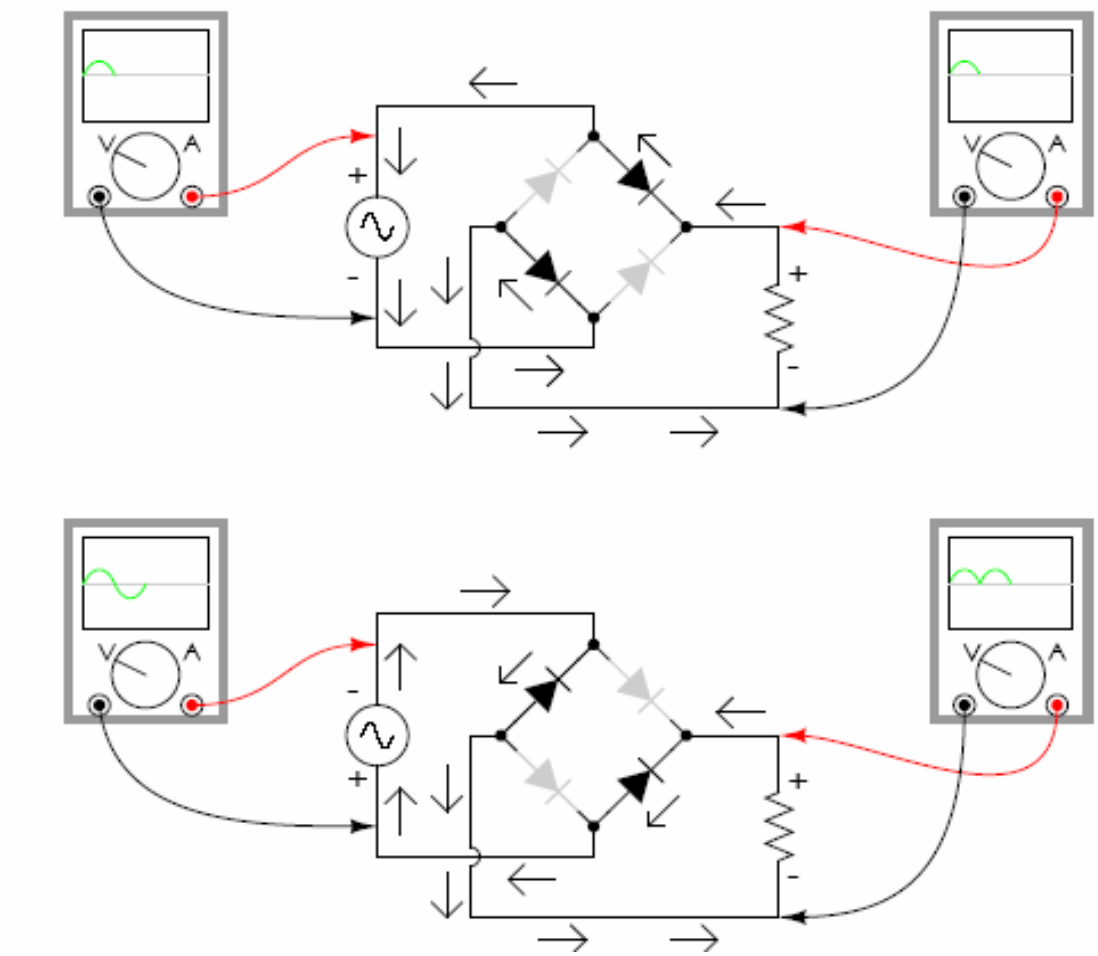




$$V_{av} = \frac{2V_m}{\pi} = 0.636\ V_m$$

$$PIV = V_m$$

چگونگی هدایت دیودها



مقایسه یکسوسازها نسبت به هم

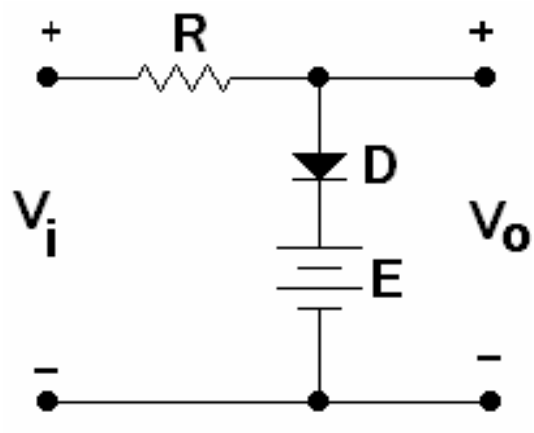
	نیم موج	ترانس سروسط	پل دیودی
1-مقدار متوسط	$0.318\ V_m$	$0.636\ V_m$	$0.636\ V_m$
2-فرکانس موج خروجی (f_o)	$f_o = f_{in}$	$f_o = 2f_{in}$	$f_o = 2f_{in}$
3-حجم مدار	کم	زیاد	متوسط
4-هزینه ساخت مدار	کم	زیاد	متوسط
PIV-5 دیود	V_m	$2V_m$	V_m

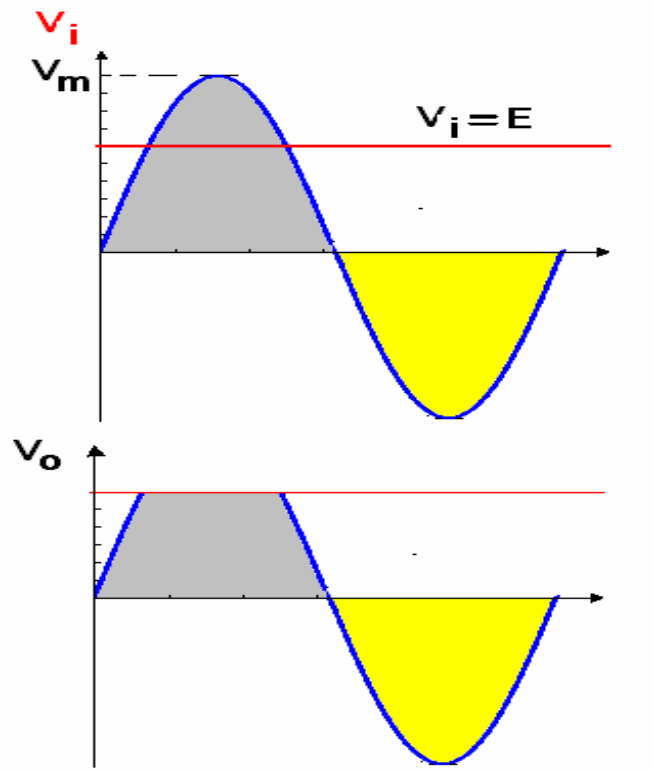
برش دهنده ها (Clippers)

- تعریف :مداراتی هستنددامنه سیگنالهاراز قسمت مثبت یا منفی یا هردوجهت ،به اندازه دلخواه محدود می کنند.مدار نیم موج یک برشگر است .به سه گروه تقسیم می شوند:

الف-برشگر مثبت ب-برشگر منفی ج-برشگردوطرفه

برشگر مثبت:این برشگر قادراست است بخشی از نیم سیکل مثبت را برش دهد.

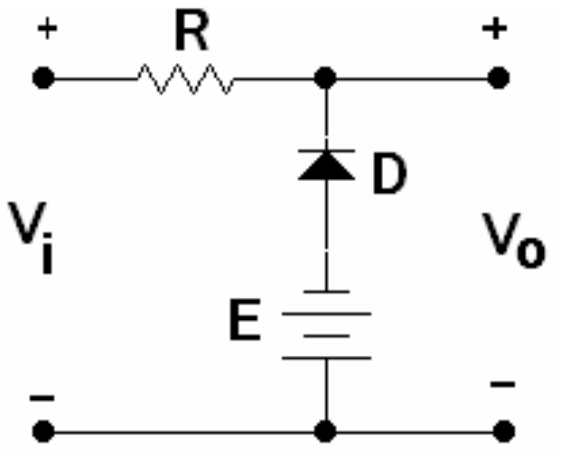


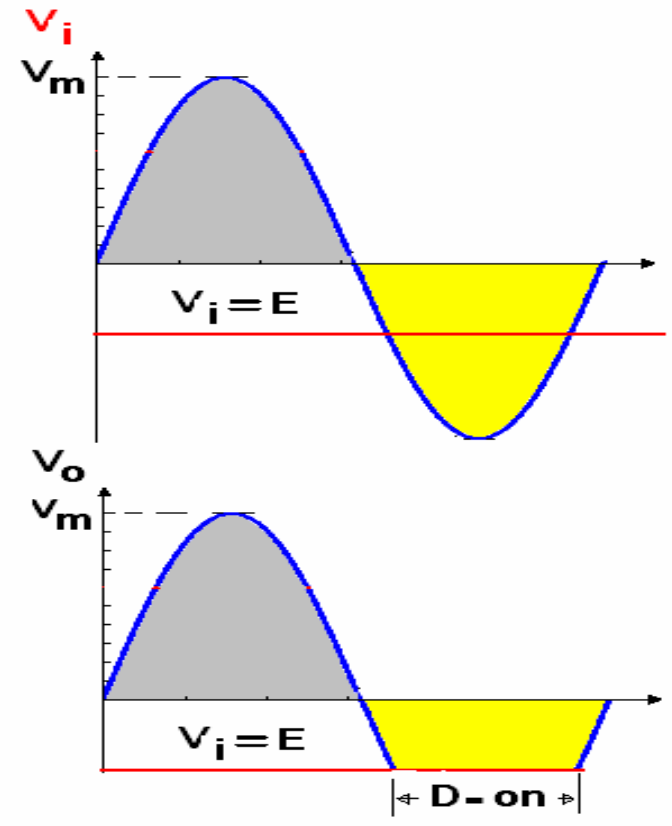


$$V_i \succ E \Rightarrow D = on \quad , V_o = E$$

$$V_i \prec E \Rightarrow D = off \quad , V_o = V_i$$

برشگر منفی: این برشگر قادراست است بخشی از نیم سیکل منفی را برش دهد.



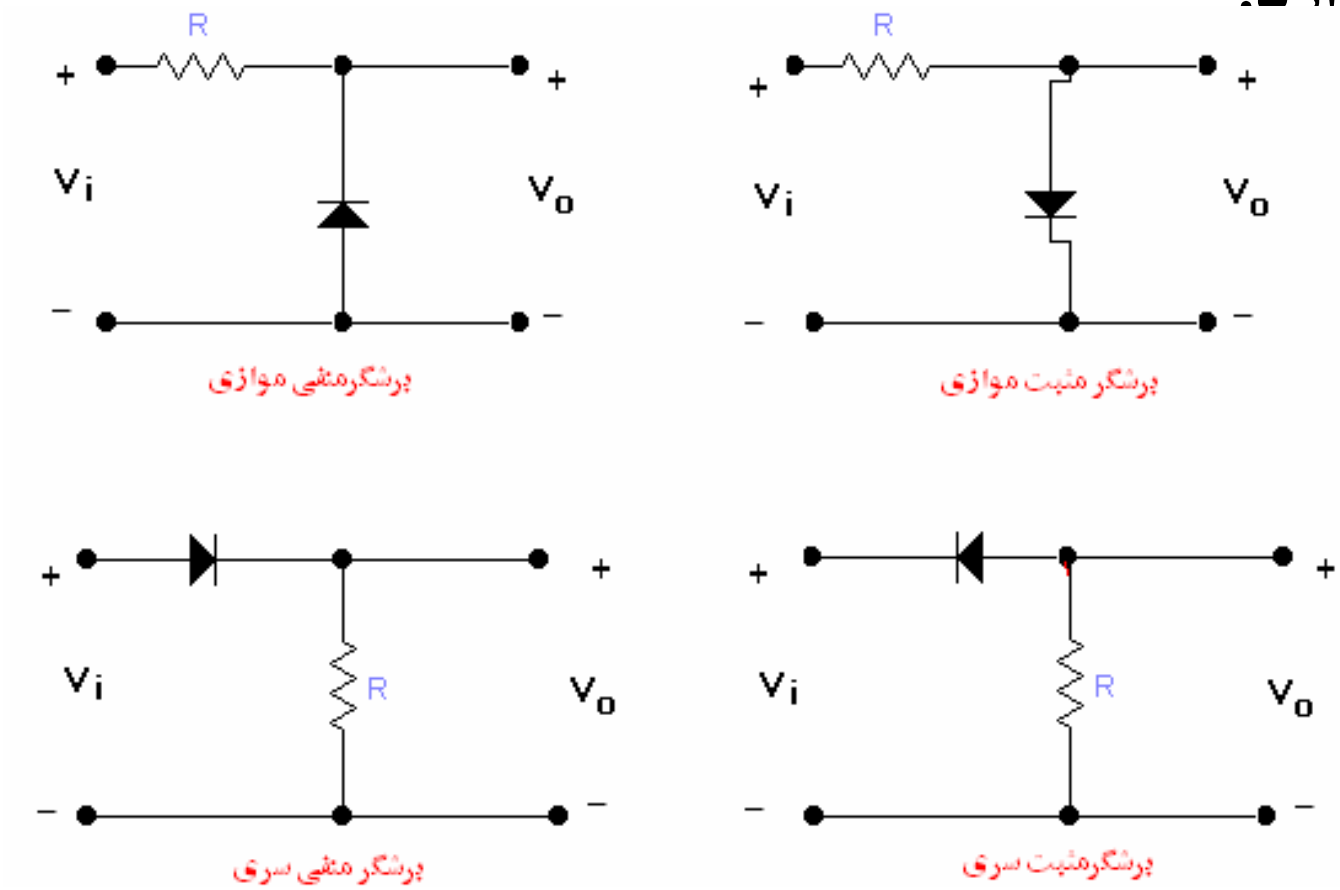


$$V_i \prec E \Rightarrow D=on \ , V_o=-E$$

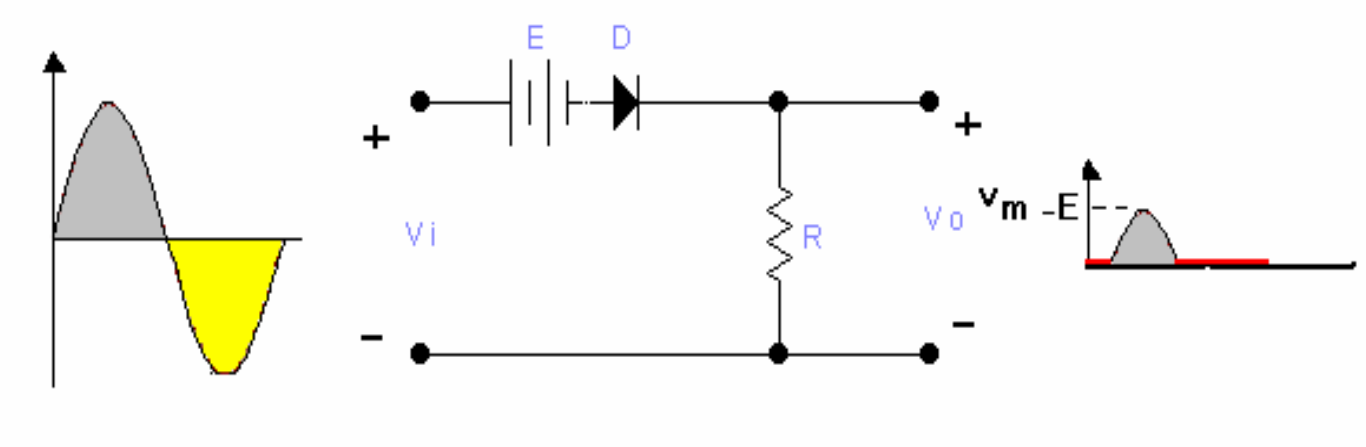
$$V_i \succ E \Rightarrow D=off \ , V_o=V_i$$

برشگرها رانیز به دوگروه سری وموازی تقسیم بندی می کنند

- **برشگرسری : در این برشگر عنصر یکسوساز بصورت سری با بارقراردارد.**
- **برشگرموازی:در این برشگر عنصر یکسوساز بصورت موازی با بارقراردارد.**



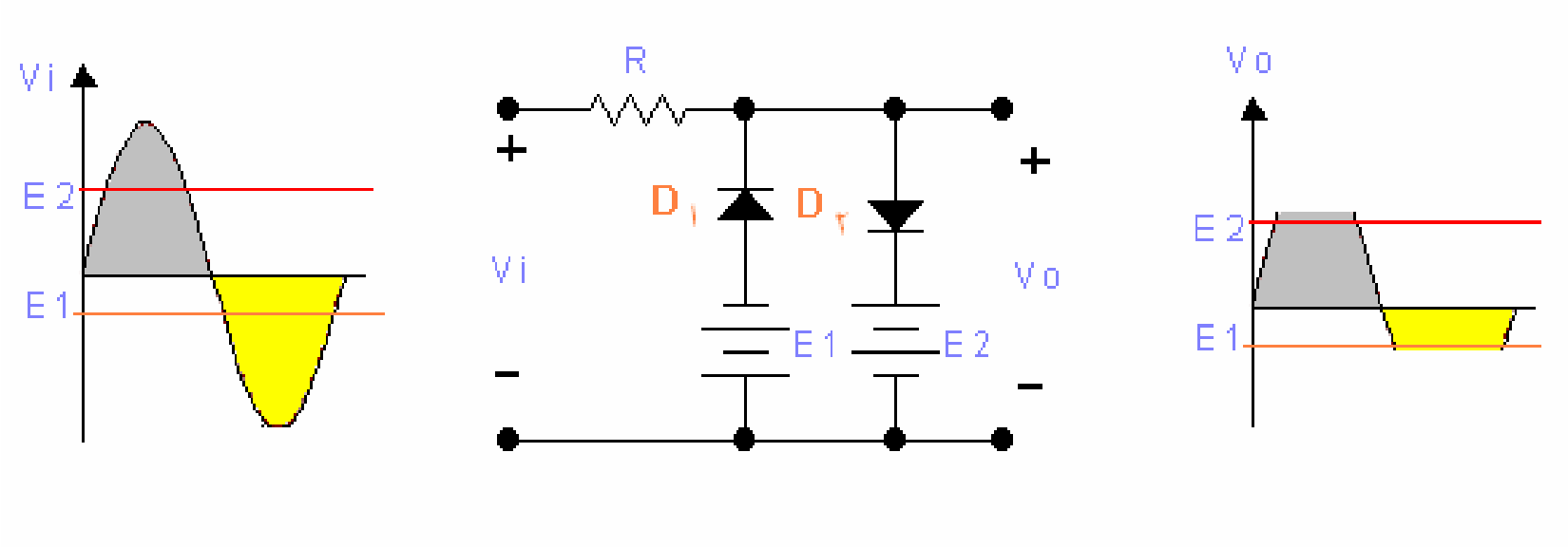
مثال: سیگنال خروجی برشگر شکل زیرراترسیم کنید؟



$$V_i \succ E \Rightarrow D = on \ , V_o = V_i - E$$

$$V_i \prec E \Rightarrow D = off \ , V_o = 0$$

برشگردوطرفه: مداراتی هستندکه دردونیم سیکل های منفی ومثبت برش ایجاد می کنندبعبارتی ترکیبی از دوبرشگر قبلی هستند



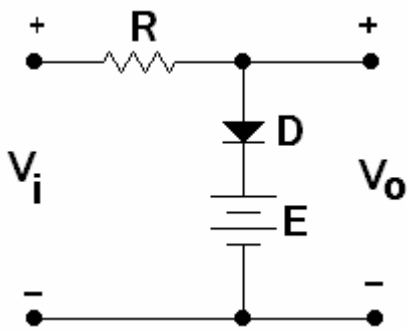
$$V_i \succ E_2 \Rightarrow D_2 = on \Rightarrow V_o = E_2$$

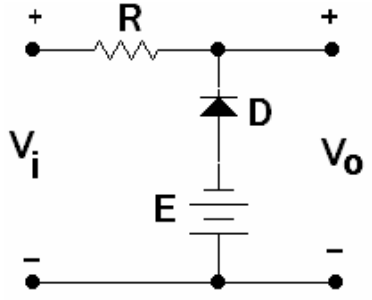
$$V_i \prec E_1 \Rightarrow D_1 = on \Rightarrow V_o = E_1$$

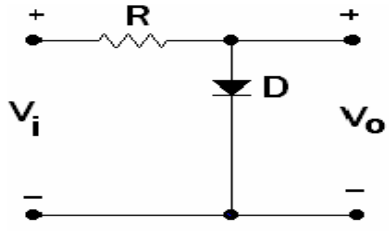
$$E_1 \prec V_i \prec E_2 \Rightarrow D_2 = D_1 = off \Rightarrow V_o = V_i$$

مشخصه تنظیم :مشخصه ایی که V_O برحسب V_i نشان می دهد

مثال:مشخصه تنظیم مدارات زیر را بدست آورید







$V_i \succ E \Rightarrow D = on \quad , V_o = E$

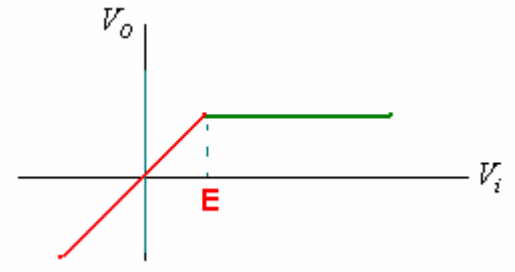
$V_i \prec E \Rightarrow D = off \quad , V_o = V_i$

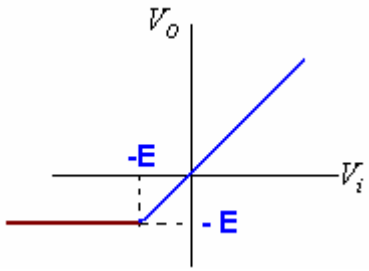
$V_i \prec E \Rightarrow D = on \quad , V_o = -E$

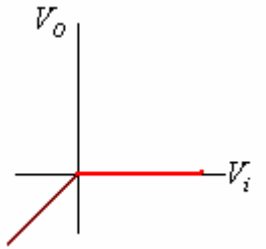
$V_i \succ E \Rightarrow D = off \quad , V_o = V_i$

$V_i \succ 0 \Rightarrow D = on \quad , V_o = 0$

$V_i \prec 0 \Rightarrow D = off \quad , V_o = V_i$

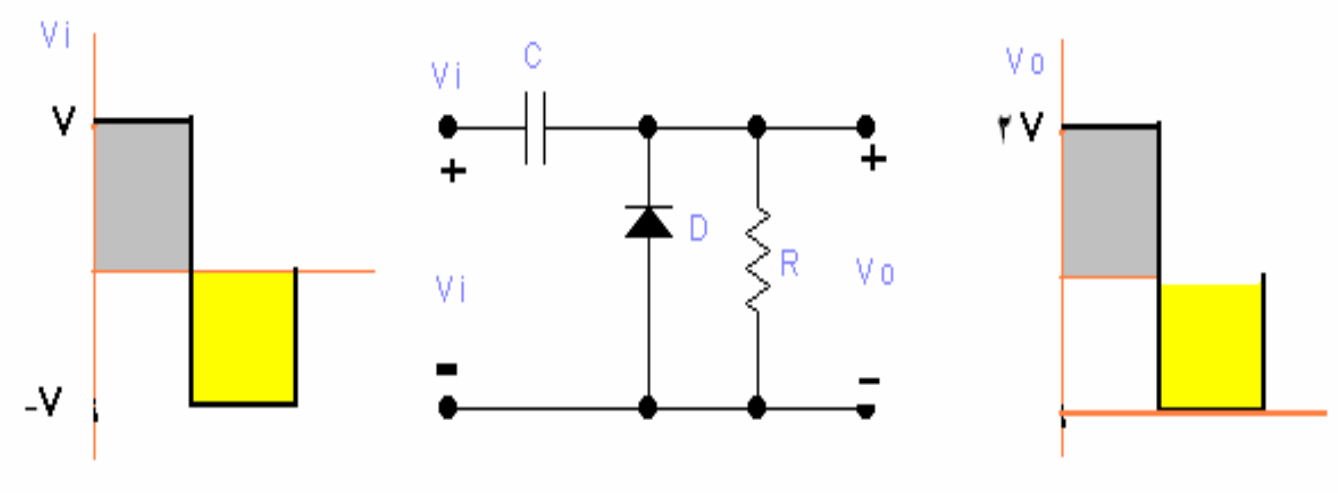






جابجا کننده ها(Clampers)

- تعریف: *مداراتی هستند که سیگنال را به اندازه سطح dcدلخواه جابجا می کنند بدون اینکه تغییری درشکل سیگنال ایجاد کنند.*
- *مدارات جابجاکننده دارای سه عنصرخازن ،دیود،مقاومت هستند برای جابجایی بیشتردارای منبع تغذیه dc نیز می باشند.*
- *دراین گونه مدارات ثابت زمانی مدارRC زیادبوده وخازن فرصت کافی جهت تخلیه یادشاژردر زمان خاموشی دیودراندارد.*
- *شکل زیر یک جابجا کننده است.*



شرح کار مدار:

- درنیم سیکل منفی دیود هادی بوده وخازن به اندازه Vشاژر می شوددر این حالت ولتاژخروجی صفراست.
- درنیم سیکل مثبت دیودخاموش بوده وولتاژخروجی مجموع ولتاژمنبع وخازن خواهد بودکه2Vمی گردد.

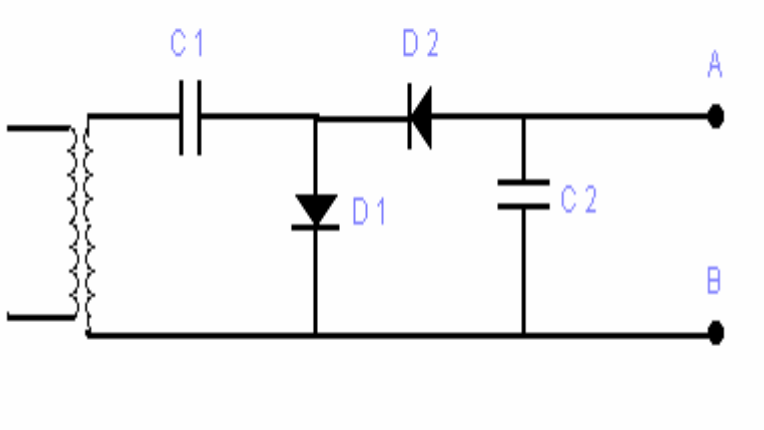
جابجا کننده ممکن است مثبت یا منفی است که جهت دیود تعیین کننده مثبت یا منفی بودن است.

چندبرابرکننده ولتاژ

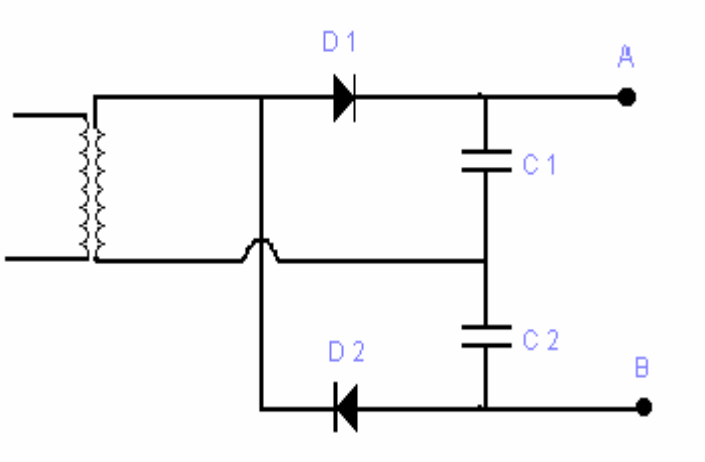
به دوگروه عمده زیر تقسیم می شوند

الف–چندبرابرکننده نیم موج (شکل الف)

ب–چندبرابرکننده تمام موج (شکل ب)



(شکل الف)



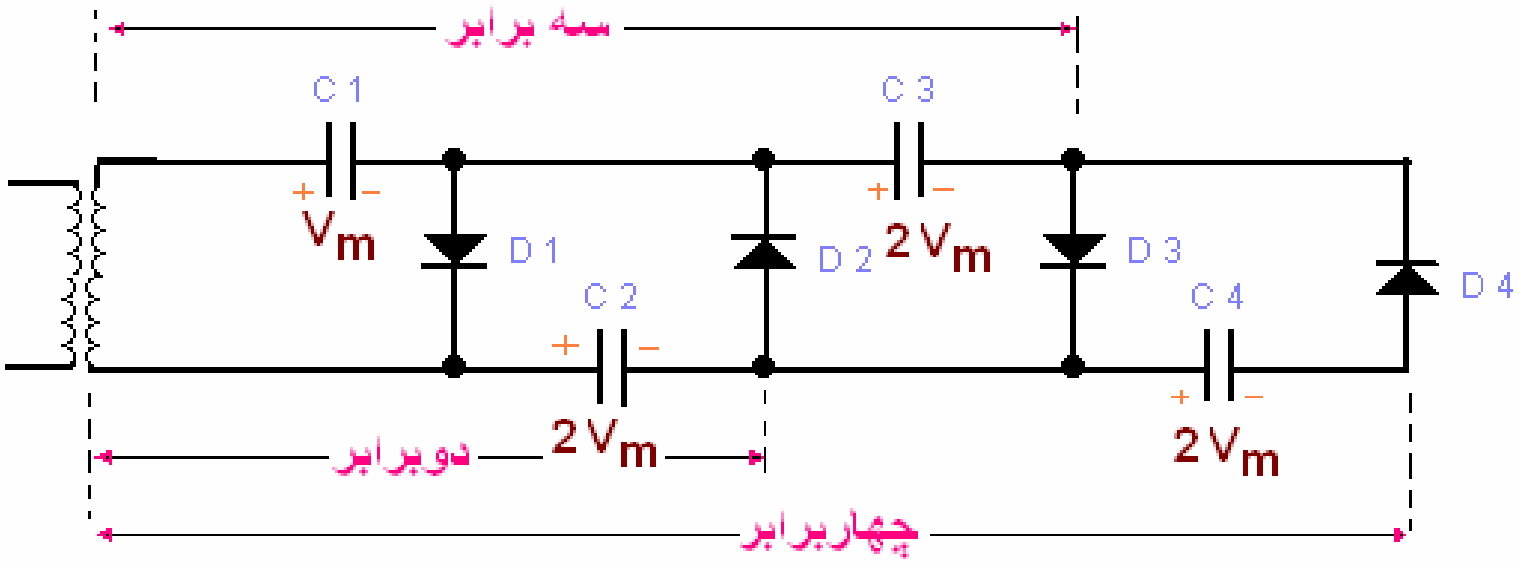
شکل ب

شرح کار مدار(شکل الف)

- در نیم سیکل مثبت دیود 1 هادی ودیود2 خاموش است وخازن 1 تامقدارپیک شارژ می شود.
- در نیم سیکل منفی دیود 2 هادی ودیود1 خاموش است وخازن 2 تا2 برابرمقدارپیک شارژ می شود.
- در نتیجه از دوسر BوA دوبرابرولتاژمنبع می توان دریافت کرد.
- در نیم سیکل مثبت بعدی درصورت وجود بار خازن در بار تخلیه می گردد.
- اگر باری متصل نباشد خازنها در مقدار ماکزیمم شارژباقی می مانند.

شرح کارمدار(ب) شبیه مدار(الف)است با این تفاوت که ولتاژهرخازن مقدار پیک ولتاژترانس می باشد.

شکل زیرسه برابرکننده وچهاربرابرکننده ولتاژرا نشان می دهد.

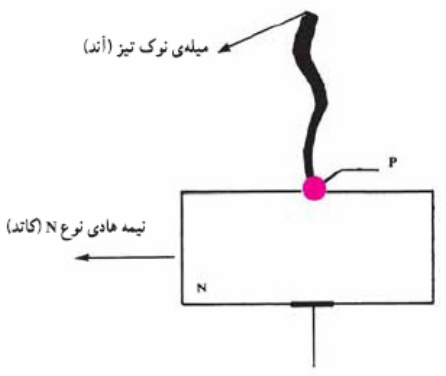


انواع دیودهای نیمه هادی

انواع متعددی ازدیودهای با پیوندPN وجود دارند که از لحاظ نوع کار، مشخصه و زمینه کار برد با هم متفاوت هستند. تعدادی ازاین دیودها ، ازجمله دیود اتصال نقطه ای ، دیود زنر، دیود نوردهنده LED ، دیود واراکتور، دیود تونلی و فتودیوددر این درس مورد بررسی قرارمی گیرند البته دیودهای دیگری نیز وجود دارند که تنها به ذکر نام انها اکتفا می شود به عنوان نمونه دیودهای شاتکی ، فتو کاند اکتیو ، دیود منتشر کننده اشعه مادون قرمز ، دیود کریستال مایع(LCD)، سلول خورشیدی ، ترمیستور و....را می توان اشاره نمود.

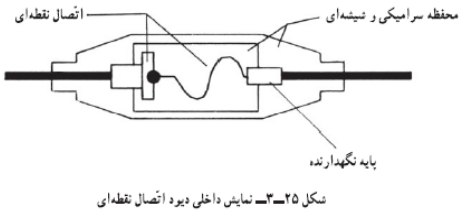
دیود اتصال نقطه ای

دیود های معمولی در بایاس معکوس، ایجاد یک ظرفیت خازنی (حدودپیکوفاراد) را می نمایند.اگر بخواهیم این دیودها را در فرکانس های بالا به کار ببریم ، به علت ظرفیت خازنی در بایاس معکوس ، جریان از مدار عبور می کند(راکتانس خازن کم است) .چون در فرکانس بالا مقاومت معکوس دیود ،کم میشود، از این روباید ظرفیت خازنی پیوند دیودهایی راکه در فرکانس بالا به کار می روند، کم نمود . برای کم کردن ظرفیت خازن ، ساده ترین راه کم کردن سطح اتصال نیمه هادیها(سطح ناحیه تهی) می باشد .لذا دیودهای اتصال نقطه ای را برای فرکانسهای بالا و جریانهای کم می سازند. شکل(24-3)ساختمان ساده یک دیود اتصال نقطه ای را نشان می دهد .



شکل ۲۴ــ۳ــ نمایش ساخت دیود اتّصال نقطه‌ای

برای ساختن این دیود ، کریستال نیمه هادی نوعN(معمولا از جنس ژرمانیم) را به عنوان نیمه هادی پایه انتخاب کرده ، یک سیم نازک مخصوص که خاصیت فنری داشته باشد به آن می چسبانند وسپس یک جریان ضربه ای قوی از آن عبور می دهند(جریان ضربه ای توسط تخلیه سلف یا خازن بزرگ تامین می شود) . در اثر این عمل اولاً کریستال نوع N ذوب می شود ونوک سیم درداخل آن قرارمی گیرد . ثانیاً در اطراف آن یک ناحیه بسیار کوچک P ایجاد می گردد . (تعدادی از اتم ها از سیم جدا شده وارد ماده نوع N می گردند.) علت تبدیل نیمه هادی نوع P آن است که در اثر عبور این جریان از نوک سیم ، اتمهای خارجی وارد کریستال گردیده وآنرا تبدیل به P می نمایند . شکل (25-3) ساختمان داخلی این دیود را نشان می دهد



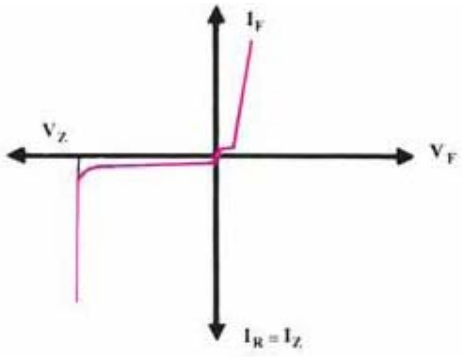
شکل ۲۵ــ۳ــ نمایش داخلی دیود اتّصال نقطه‌ای

از این دیود برای فرکانسهای زیاد ، در آشکارسازی و مخلوط کنندگیها استفاده می شود.

دیود زنر(Zener diode)

ساختمان دیود زنر: دیود زنر مانند دیود معمولی از دو نیمه هادی نوع N,P ساخته می شود.اگریک دیود معمولی رادر بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژمعکوس را اضافه نما ییم ، در یک ولتاژ خاص ، دیود در بایاس معکوس نیز شروع به هدایت میکند. به ولتاژ زنر معروف است.این ولتاژ در دیودهای معمولی نسبتاً زیاد است. زنر نام شخصی است که اولین بار در سال 1933 این پدیده را کشف کرد. (ولتاژ زنر را با Vz نشان می دهند). پدیده زنر، ناشی از آن است که در جهت معکوس ، و با ولتاژ زیاد - که عملاً در ناحیه قرار می گیرد- میدان الکتریکی E بسیار قوی دراین ناحیه به وجود می آید. این میدان قوی ، قادرخواهد بود که پیوندهای سد را بشکند. در نتیجه شکسته شدن سد ، الکترون آزاد و حفره ایجاد می گردد. الکترون

آزاد بر اثر این میدان قوی ، سرعت گرفته ، می تواند با برخورد به اتمهای دیگر، الکترونهای دیگری را نیز آزاد کند. بدین طریق ، در اثر این پدیده زنجیری تعداد زیادی از پیوندها شکسته شده ، در دیود جریان جاری می گردد(شبیه جریان اشباع معکوس ، با این تفاوت که تعداد پیوندهای شکسته شده ، بر اثر گرما نبوده بلکه به خاطر میدان قوی که در دو سر آن قرار گرفته است می باشد) این پدیده را شکست بهمنی می نامند. در دیودهای زنر، ***با تنظیم ناخالصی*** ، می توان شکسته شدن پیوندها را با میدانهای مختلف(در نتیجه ولتاژهای مختلف) کنترل کرد. لذا می توان با این روش ، دیودهایی ساخت که به ازای یک ولتاژ معین در بایاس معکوس در مدار جریان برقرار گردد. ولتاژی که دیود زنر به ازای آن در بایاس معکوس ، هادی می شود به ولتاژ زنر معروف است. جنس نیمه هادی به کاربرده شده در دیود زنر ، سلیسیم است. این دیود در بایاس مستقیم، مانند یک دیودمعمولی عمل می کند . شکل (3-26) منحنی مشخصه ولت- آمپر یک دیود زنر را نشان می دهد .



دیود زنر ، در بایاس معکوس استفاده می شود و با توجه به اینکه ولتاژ زنر تقریباً در جریانهای مختلف معکوس ثابت می باشد ، از این خاصیت جالب دیود زنر برای تثبیت ولتاژ می توان استفاده نمود . نمای دیود زنر را در مدارات الکترونیکی مطابق شکل (3-27) نشان می دهند .

شکل ۲۷ــ۳ــ نمای مداری دیود زنر

استاندارد ولتاژ زنر : ولتاژ دیودهای زنر را معمولاً به دو استاندارد E_{12} و E_{24} می سازند که سری E_{24} رایجتر است . معمولاً ساخت دیود زنرازولتاژ 2/4 ولت شروع شده تا ولتاژ 200 ولت ادامه می یابد . مقدار ولتاژ زنر سری های فوق ، مانند مقاومتها می باشد. سری E_{12} را با تلرانس 10 درصد و سری E_{24} را با تلرانس 5 درصد می سازند. معمولاً مقدار تلرانس را روی خود دیود زنر می نویسند . برای تلرانس 5 درصد از حرف C و برای تلرانس 10 درصد از حرف D استفاده می کنند . مثلاً ولتاژ دیود زنر BZX32/C3V9 ، 3/9 ولت بوده و تلرانس آن(C)یعنی 5درصد می باشد . علامت V به جای ممیز به کار می رود.

ضریب حرارتی دیود زنر : مقدار ولتاژ دیود زنرمشابه ولتاژشکست معکوس دیودها در اثر گرما تغییر می کند. کارخانجات سازنده برای هر دیود زنر ضریبی تعریف می کنند که به ازای تغییر یک درجه حرارت ، ولتاژ زنر تغییر می کند . این ضریب را ضریب حرارتی دیود زنر می نامند. ضریب حرارتی دیود زنر، با ولتاژ 5/1 و 5/6 ولت تقریباً صفر است (بعنوان مرجع)و برای ولتاژهای کمتر از این مقدار ضریب حرارتی منفی و بیشترازاین مقدار، مثبت می باشد . ضریب حرارتی از رابطهٔ زیر به دست می آید :

$$\Delta V_Z = T_C V_Z \Delta T \quad \rightarrow \%T_C = \frac{\Delta V_Z}{V_Z \Delta T} \times 100$$

$$\Delta V_Z = V_{Z1} - V_Z \quad , \quad \Delta T = T_1 - T_0$$

T_0 دمایی است که درآن V_Z تعریف می شود(معمولاًدمای 25 درجه سانتی گراد) و T_1 دمای ثانویه است.

مثال:ولتاژنامی دیود 1N961دردمای محیط 10 ولت است ولتاژزنری آن در دمای 100 درجه چقدراست؟($\%T_C$=0.072)

مثال:ضریب حرارتی یک دیود زنر 5 ولتی را مشخص کنیداگرولتاژنامی به 4/8 ولت دردمای 100 درجه سانتی گراد افت کند؟

توان زنر:

اگرجریانی که در بایاس معکوس، از دیود زنر عبور می کند زیاد شود باعث سوختن دیود می گردد . زیرا این جریان باعث به وجود آمدن حرارت در محل اتّصال PN می شود. مقدار جریان ماکزیممی که به ازای آن ، دیود معیوب نمی شود ، بستگی به توان دیود زنر و ولتاژ شکست زنر داردتوسط سازنده مشخص می گردد . لذا توان زنراز رابطهٔ زیر به دست می آید :

$$P_{zmax}=V_z \cdot I_{zmax}$$

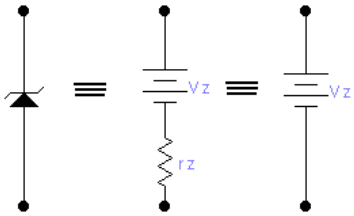
وتوانی که دیودزنر در هر مدار مصرف می کندبرابربا:

$$P_z=V_z \cdot I_z$$

اگرتوان مصرفی بیشتر از توان مجاز باشد دیود زنر معیوب می شود.در نتیجه، هر دیود زنربرای توان خاصّی ساخته می شود که این توانها معمولاً 0/15 W - 0/25 W - 0/3 W - 0/4 W - 0/5 W - 0/75 W - 1W - 1/3 W -2 W -3W - 5 W - 10 W ، . . . و 50W می باشد.

مدار معادل دیود زنر:

همانطور که گفته شد ، دیود زنر در بایاس معکوس به کار می رود ، لذا مدار معادل کامل آن ، شامل یک مقاومت کوچک دینامیکی (r_z) و یک ولتاژ dc مساوی با ولتاژ زنر (V_z) میباشد . مقدار r_z از رابطهٔ زیر بدست می آید :

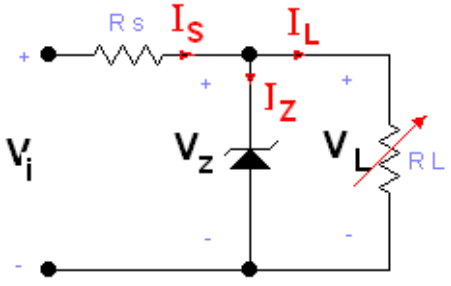


$$r_z=\frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z}=\frac{V_{Z1}-V_{Z2}}{I_{Z1}-I_{Z2}}$$

با فرض اینکه، کلیَه مقاومتهای خارجی متَصل به دیود ، نسبت به r_z بزرگ هستند از مقاومت معادل زنر صرفنظر می شود . شکل مقابل مدار معادل کامل دیود زنر و بدون r_z را نشان می دهد .

کاربردهای دیود زنر :

معمولی ترین کاربرد دیود زنر ، استفاده از آن در تولید یک ولتاژ مرجع ثابت برای اهداف مقایسه و تغذیه می باشد . ساده ترین مداری که می تواند یک ولتاژ نسبتاً ثابتی بدهد ، در شکل (29-3) نشان داده شده است . در این مدار به ازای تغییرات بار (R_L) یا تغییرات ولتاژ ورودی (Vi) در محدوده معَینی ، می توان ولتاژخروجی ثابتی دریافت کرد . حالتهای فوق رابه طور جداگانه مورد بررسی قرارمی دهیم .



الف- حالتی که Vi ثابت و R_L متغیرباشد. محدودهٔ تغییرات R_L- از حداقل تا حداکثر – را می توان مطابق شرح زیر به دست آورد .

در تعیین حداقل RL دیود زنر باید در آستانه هدایت باشد ، یعنی تمام جریان Is از R_L می گذرد . به عبارت دیگر ، چون زنر در آستانهٔ هدایت است و جریان نمی کشد ، بایستی ماکزیمم جریان مدار از حداقل R_L- که می تواند این وضعیّت را به وجود آورد – بگذرد . بنابراین

$$KCL: I_S=I_Z+I_L \qquad (1)$$

$$I_S=\frac{V_i-V_z}{R_S}=cnt \qquad (2)$$

$$I_L=\frac{V_L}{R_L}=\frac{V_Z}{R_L} \qquad (3)$$

با مقایسه رابطهٔ (1) و (2) ، خواهیم داشت :

$$I_S = I_{Z\min} + I_{L\max} \quad \rightarrow R_{L\min} = \frac{V_Z}{I_{L\max}}$$

$$I_S = I_{Z\max} + I_{L\min} \quad \rightarrow R_{L\max} = \frac{V_Z}{I_{L\min}}$$

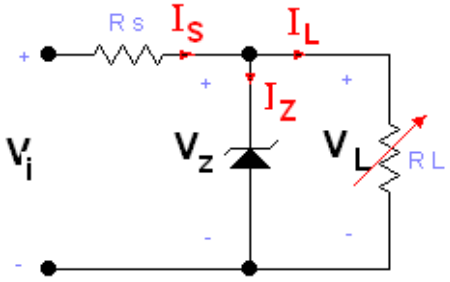
هر مقداری از R_L که بیشتر از R_{Lmin} باشد ، دیود زنر را هادی کرده ، جریانی از آن می گذرددراین صورت جریان عبوری از R_L حداقل است. از لحظهٔ هدایت دیود زنر ، یعنی عبور جریان از آن ، ولتاژ دو سر بار(V_L) که همان ولتاژ دو سر زنر(Vz) است ، ثابت می ماند.

با افزایش R_L و رسیدن به حد ماکزیمم مقدار خود ، جریان عبوری از آن کاهش می یابد ؛ امّا چون جریان عبوری از Rs ثابت است ، بنا چار جریان Iz افزایش خواهد یافت و مقدارش در حد ماکزیمم قرارمی گیرد.

توان زنر نیز از رابطهٔ توان ، یعنی : $P_{z(max)}=V_z \cdot I_{z(max)}$ به دست می آید .

مثال : در مدار شکل روبرو برای داشتن ولتاژ ثابت 12 ولت ، محدوده R_L و I_L و توان زنر را به دست آورید ، (V_i=50v - Izmax=30mA)

R_S=200



حل :

جریان عبوری از Rsبرابر است با:

$$I_S = \frac{V_i - V_z}{R_S} = \frac{50-12}{200} = 190 \quad mA$$

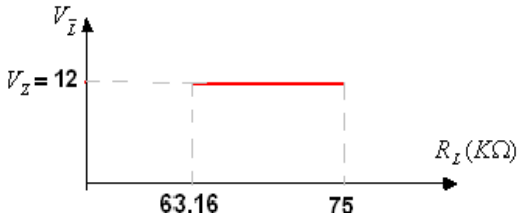
حداکثر جریان باروحداقل مقاومت باربرابر

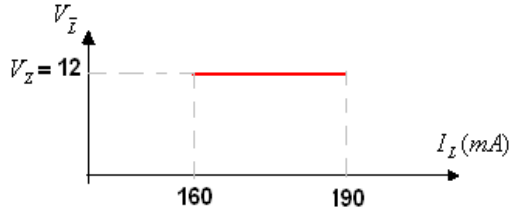
$$I_S = I_{Z\min} + I_{L\max} \rightarrow 190 = 0 + I_{L\max} \rightarrow I_{L\max} = 190mA \rightarrow R_{L\min} = \frac{V_Z}{I_{L\max}} = \frac{12}{190} \cong 63.16\Omega$$

حداقل جریان باروحداکثر مقاومت باربرابر

$$I_S = I_{Z\max} + I_{L\min} \rightarrow 190 = 30 + I_{L\min} \rightarrow I_{L\min} = 160mA \rightarrow R_{L\max} = \frac{V_Z}{I_{L\min}} = \frac{12}{160} = 75\Omega$$

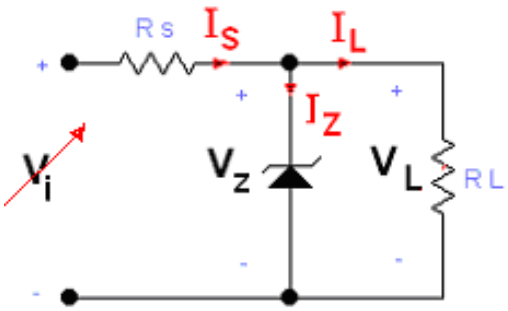
منحنیهای شکل زیر، تغییرات V_L در مقابل R_L و I_L را نشان می دهد.





ب- R_L ثابت و V_i متغیرباشد.

در صورت ثابت بودن R_L ، حداقل ولتاژ ورودی ، باید به اندازه ای باشد که بتواند دیود زنر را در آستانهٔ هدایت قرار دهد . حداقل ولتاژ ورودی از رابطهٔ زیر به دست می آید :



$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = cnt$$

$$I_{s\min} = I_{Z\min} + I_L \rightarrow V_{i\min} = R_S I_{S\min} + V_z$$

با افزایش ولتاژ ورودی دیود زنر ، جریان می کشد تا به مقدار حداکثری که ولتاژ دو سر بار ثابت بماند ، برسد . لذا حداکثر Vi توسط حداکثر جریان زنر ، محدود می شود.یعنی

$$I_{s\max} = I_{Z\max} + I_L \rightarrow V_{i\max} = R_S I_{S\max} + V_z$$

مثال: در مدار شکل بالابرای قابت ماندن V_L در 15 ولت با بار $R_L = 1K\Omega$ ، محدودهٔ ولتاژ ورودی را به دست آورید ($P_{Z\max} = 180mw$, $R_S = 200\Omega$).

حل :

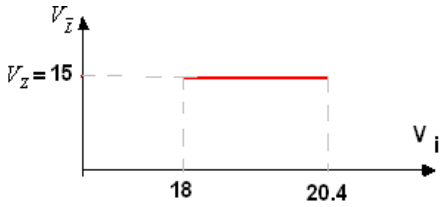
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{15}{1K\Omega} = 15\ mA \quad , V_l = V_z = 15v$$

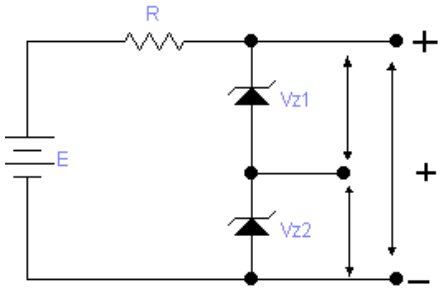
$$I_{s\min} = I_{Z\min} + I_L = 0 + 15 = 15mA \rightarrow V_{i\min} = R_S I_{S\min} + V_z = 0.2 \times 15 + 15 = 18\ v$$

$$I_{Z\max} = \frac{P_{Z\max}}{V_Z} = \frac{180}{15} = 12mA$$

$$I_{s\max} = I_{Z\max} + I_L = 12 + 15 = 27mA \rightarrow V_{i\max} = R_S I_{S\max} + V_z = 0.2 \times 27 + 15 = 20.4\ v$$

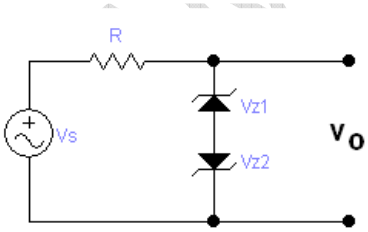
منحنی تغییرات VL در مقابل تغییرات Vi ، در شکل روبرو نشان داده شده است .





می توان با سری کردن دیودهای زنر چند مقدار ولتاژdc را ایجاد کرد.درشکل مقابل درصورتی که E بزرگتر از مجموع ولتاژهای زنری باشد سه سطح ولتاز Vz1 وVz2 وVz1+Vz2 خواهیم داشت.

اگردودیود زنر بصورت پشت به پشت مطابق شکل روبرو به هم متصل شوندمی توانندولتاژمتناوب را از دوطرف تثبیت کنند.(برش گر دوطرفه)



تمرین :اصول کار این مدار راشرح دهید.ولتاژخروجی رابه ازای ورودی سینوسی ترسیم کنید.(شرط اینکه برش گر باشد را بیان کنید)-اگر به جای منبع سینوسی از منبع dc استفاده شود مدار را تشریح کنید.

دیود نور دهنده LED(lighting emitted diode)

همانطور که از نامش پیداست این دیود مولد نور می باشد . دیود نور دهنده ، از دو قطعهٔ نیمه هادی نوع NوP تشکیل شده است . هر گاه بر روی این دیود، در بایاس مستقیم ولتاژی قرار گیرد و شدت جریان به اندازه کافی باشد ، دیوداز خود نور تولید می کند. نور تولیدی در محل اتصال PN به وجود می آید .

نور تولیدی بستگی به جنس به کاربرده شدهٔ نیمه هادی دارد و معمولاً به رنگ مادون قرمز – قرمز – نارنجی – سبز – زرد ساخته شده است . نوعی از این دیودها از جنس گالیم آرسنید (GaAs) و گالیم فسفات (GaP) و گالیم آرسنید فسفات

(GaAsP) می باشد که نور بیشتری نسبت به بقیه دیودها تولید می کنند . نور تولید شده ، نتیجه بعضی ترکیبات بین حفره و الکترون می باشد که به صورت پالسهای نور ظاهر می شود . لازم به ذکر است که این عمل برای دیودهای معمولی نیز اتفاق می افتد لکن فرکانس تولید شده به اندازه ای است که قابل روُیت نمی باشد .

بیشترین نور در محل پیوند PN به وجود می آید زیرا ترکیبات بین الکترون و حفره در محل پیوند به مراتب از جای دیگر دیود بیشتر است . منحنی دیود نور دهنده ، نسبت به جریان عبوری از آن یک خط راست است .

همانطوری که از منحنی پیداست ، منحنی کاملاً خطی است ، بنابراین با دیود LED می توان سیگنالهای الکتریکی را به نور تبدیل نمود ، بدون آنکه در نور به دست آمده اعو جاجی به وجود آید .

مقدار نوری که از یک دیود خارج می شود به وسیله شکل فیزیکی آن کنترل می گردد.شکل نیمکره ای ، قادر به خارج کردن نور بیشتری می باشد. از این رو این شکل فیزیکی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد.

برتریهای LED بر لامپ معمولی . عبارتند از :

1- کوچک بودن و نیاز به فضای کم

2- محکم بودن و داشتن عمر طولانی (حدود صد هزار ساعت کار)

3- قطع و وصل سریع نور 4- تلفات حرارتی کم

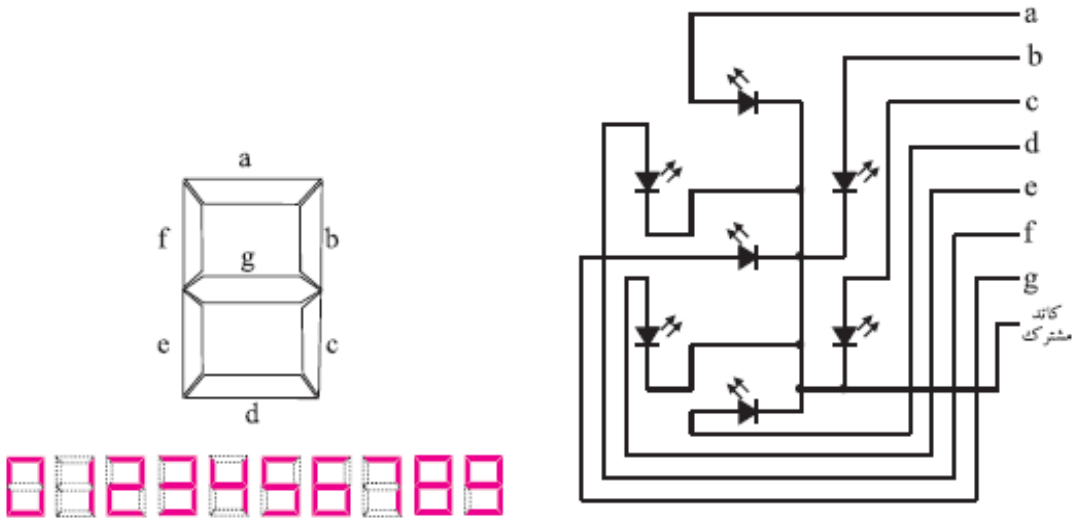
5-ولتاژ کار کم ، بین 1/7 تا 3/3 ولت 6- جریان کم ، حدود چند میلی آمپر بانور قابل روُیت

7-توان کم ، حدود 10 تا 150 میلی وات

نمای مداری دیود نور دهنده را در مدارات ، به صورت شکل (36-3) نشان داده می شود .

شکل (36-3) نمای مداری LED

از دیودهای نور دهنده با رنگهای مختلف (قرمز ، سبز ، زرد ، سفید و جدیداً آبی)



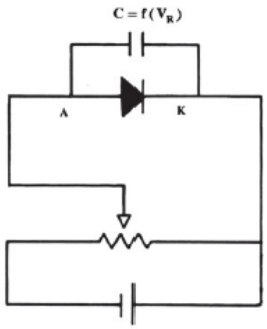
شکل ۳۳ــ۳ــ نمایش دیودی و اعداد حاصل از سون سگمنت

می توان برای نمایش الفبای عددی استفاده نمود ، که مهمترین آنها سون سگمنت (هفت قطعه ای) می باشد که برای نمایش اعداد به کار می برند . شکل (33-3) نمای دیودی و نمایش اعداد حاصل از اعمال ولتاژ مناسب به دیودهای هفت قطعه ای را نشان می دهند .جدیداً سون سگمنت های خاصَی ساخته شده که در آن از دو LED استفاده گردیده است . اگر ولتاژ تغذیهُ آن معکوس شود رنگ آن از قرمز به سبز یا بالعکس عوض می شود .

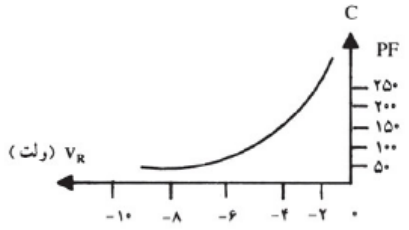
دیود خازنی (واراکتور)

دیود خازنی ، مانند یک دیود معمولی است و از دو قطعه نیمه هادی نوع P و N که معمولاً از جنس سیلیسیم است ، ساخته می شود . همانطور که قبلاً یاد گرفتیم ، دیود معمولی ، بدون اینکه آنرا بایاس کنیم در محل اتَصال یک لایه سد بوجود می آمد(این لایه به عنوان یک عایق بین نیمه هادیهای P وN بود) اگر دو نیمه هادی P وN را به عنوان عایق به حساب بیاوریم ، مجموعه دیود به عنوان یک خازن می باشد . (خازن عملاً در منطقهٔ تخلیه به وجود می آید) . ظرفیت خازن منطقه تخلیه حدود پیکوفاراد (PF) است .

اگر دیود را در بایاس معکوس به کار ببریم ، عرض ناحیه تخلیه بیشتر می شود و عایق بین دو نیمه هادی نیز افزایش می یابد ، در نتیجهٔ ظرفیت خازن کمتر می گردد . بنابراین می توان با تغییر مقدار ولتاژ معکوس ، ظرفیت خازن را تغییر داد . پس ، دیود خازنی همیشه در بایاس معکوس قرار می گیرد . دیود خازنی ، اندکی با دیودهای معمولی تفاوت دارد . اولاً جریان اشباع معکوس آن فوق العاده کم است و در ثانی ، سطح دو نیمه هادی را طوری انتخاب می کنند که حداکثر بتواند خازنی با ظرفیت 2/5 نانوفاراد ، ایجاد کند . دیودهای خازنی 300PF ، از رایج ترین دیودهای این نوعند . شکل (35-3) مدار معادل دیود واراکتور با تغذیه معکوس را نشان می دهد .

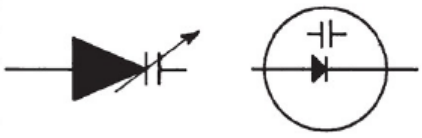


شکل ۳۵ــ۳ــ مدار معادل دیود واراکتور با تغذیه معکوس



شکل ۳۶ــ۳

در مدارات الکترونیکی، دیود خازنی را مطابق شکل ۳۷ــ۳ نشان می‌دهند.

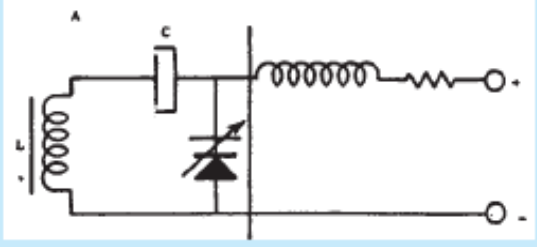

شکل ۳۷ــ۳ــ نمای مداری دیود واراکتور

از این دیودها ، در مدارات رادیو و تلویزیون به عنوان یک خازن متغیَر استفاده می شود ،زیرا دارای حجمی بسیار کم ، ظریف و محکم می باشند . شکل(36-3) منحنی تقریبی ظرفیت خازن نسبت به ولتاژ معکوس را نشان می دهند.

در مدارات الکترونیکی ، دیود خازنی را مطابق شکل (37-3) نشان می دهند.

یکی از کاربردهای مهم دیود خازنی ، در مدارات کنترل فرکانس و تبدیل تغییرات ولتاژ dc به تغییرات فرکانس می باشد. به عنوان مثال ، مدار شکل (38-3) ، مدار موازی LC در حالت رزنانس می باشد که فرکانس رزنانس آن با ولتاژ dc ورودی تغییر می کند.

مدار قسمت A یک مدار رزنانس است. خازن C جهت جلوگیری از عبور ولتاژdc به سلف (L) به کار برده شده است . در ضمن ، این خازن با ظرفیت

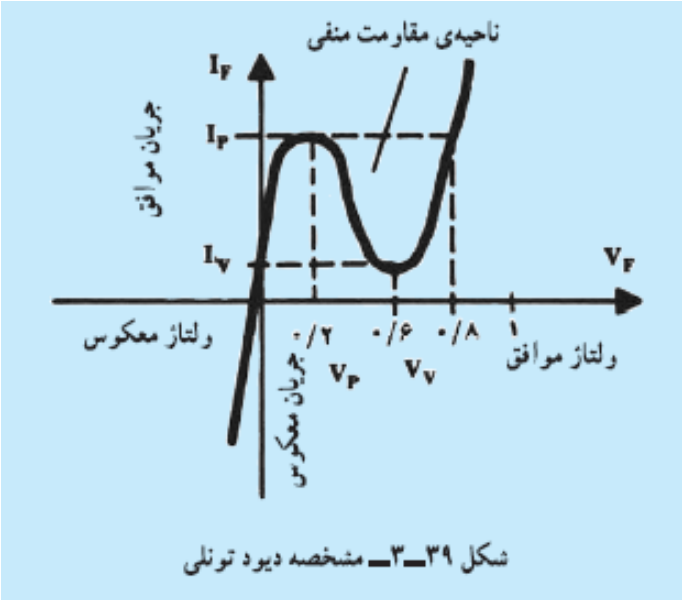


شکل ۳۸ــ۳ــ کاربرد دیود واراکتور در کنترل فرکانس

خازنی دیود سری شده است تا از تغییرات شدید فرکانس ، جلوگیری به عمل آید.

دیود تونلی

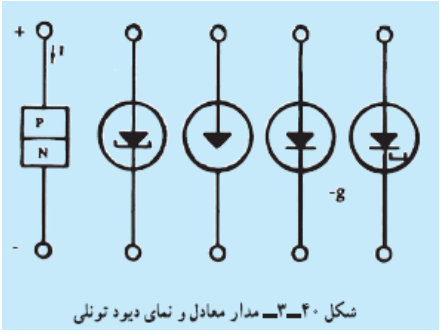
دیود تونلی از دو قطعه نیمه هادی نوع P و N که غالباً از جنس ژرمانیم و گالیوم آرسنید می باشد ساخته شده است و دارای یک ناحیه مقاومت منفی می باشد. میزان ناخالصی در دیود تونلی ، نسبت به دیود معمولی بسیار زیاد است (حدود چندهزار برابر) که این خود باعث به وجود آمدن یک ناحیهُ تهی بسیار نازک ، در محل پیوند می شود . ناحیهُ نازک تهی سبب می شود تا حاملهای زیادی به جای اینکه در ولتاژهای پایین عبور نمایند از آن تونل بزنند . شکل (39-3) مشخصهُ یک دیود تونلی را نشان می دهد . با افزایش ولتاژ موافق ، از صفر تا Vp ، بر خلاف دیود معمولی جریان عبوری تا Ip افزایش سریع دارد . از Vp به بعد با افزایش ولتاژ موافق تا Vv جریان کاهش سریع دارد . فاصله ولتاژ پیک (Vp) تا ولتاژ دره (Vp) را ناحیه مقاومت منفی گویند .



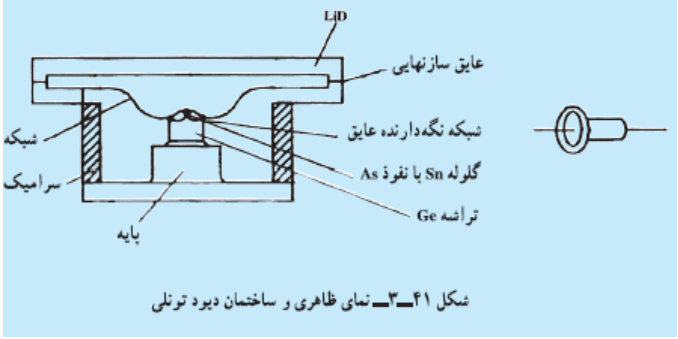
شکل ۳۹ــ۳ــ مشخصه دیود تونلی

پدیده تونل بدین صورت است که در بایاس موافق ، الکترونها (حاملهای اکثریت) قبل از رسیدن به ناحیه تهی به طور آزاد و مستقیم حرکت می کنند . به محض رسیدن به ناحیهُ تهی به صورت نمایی به طرف پایین منحرف می شوند تا از ناحیه تهی بگذرند . این پدیده ، نمایشگر همان زدن تونل است که الکترون با سرعت زیادتر از حاملها ، در دیود معمولی از ناحیه تهی بگذرند . نسبت جریان پیک (Ip) به جریان دره (Iv) در کاربردهای این دیود بسیار مهم است . این نسبت برای ژرمانیم 10/1 و برای گالیوم آرسنید 20/1 می باشد .

جریان پیک (Ip) در دیود تونلی ، می توانند بین چند میکرو آمپر تا چند صد آمپر متغَیر باشد. در حالیکه ولتاژ دره (Vv) دو سر دیود از حدود 0/6 ولت تجاوز نمی کند . به همین دلیل است که اتَصال ولت متری با ابتری 1/5 ولت ، به طور نادرست به دو سر دیود تونلی به آن صدمه می زنند .



شکل ۴۰ــ۳ــ مدار معادل و نمای دیود تونلی



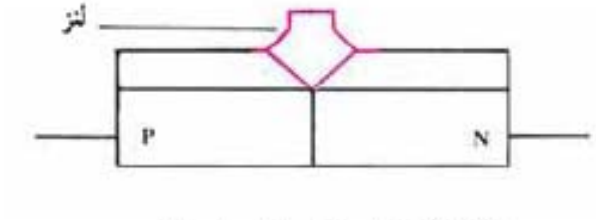
شکل ۴۱ــ۳ــ نمای ظاهری و ساختمان دیود تونلی

مدار معادل دیود تونلی و نماهای مداری آن در شکل (40-3) کشیده شده است .

نمای ظاهری و ساختمان این دیود ، در شکل (41-3) آمده است . هر چند که کاربرد دیودهای تونلی در دستگاههای فرکانس بالا ، امروزه به علت ساخت قطعا ت دیگری که در فرکانس بالا کار می کنند کمتر شده ولی هنوز به خاطر سادگی ، تغذیهٔ خیلی کم و ضریب بالای اطمینان آن موارد استفاده زیادی دارد.

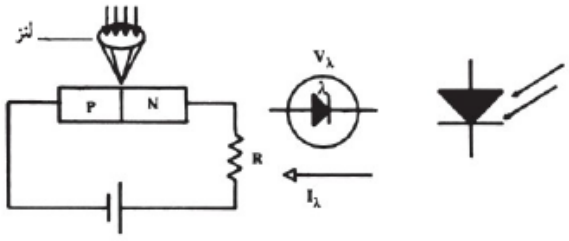
فتو دیود

ساختمان فتو دیود ، مانند یک دیود معمولی با اتَصال PN می باشد . با این تفاوت که محل پیوند PN ، جهت تابانیدن نور به آن از مواد پلاستیکی سیاه پوشیده نمی باشد ، بلکه توسَط شیشه و یا پلاستیک شفاف پوشیده می گردد تا نور بتواند به آسانی به آن بتابد. روی اکثر فتو دیودها ، یک لنز بسیر کوچک نصب می شود تا بتواند نور تابانیده شده به آن را متمرکز کرده ، به محل پیوند برساند. شکل (42-3)ب



شکل ۴۲ــ۳ــ فتودیود همراه با لنز

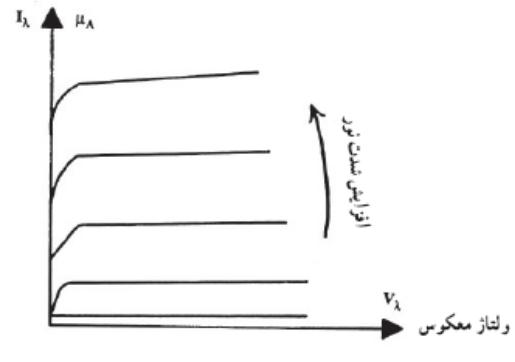
فتو دیود همیشه در بایاس معکوس به کار می رود و تابش نور به محل پیوند آن ، جریان معکوس آن افزایش می یابد (افزایش جریان به علت شکستن پیوندها با انرژی نئر می باشد) . هر چه نور تابانیده شده به محل پیوند PN بیشتر باشد مقدار جریان معکوس آن نیز بیشتر می شود و بر عکس ، هر چقدر نور تابانیده شده به آن کمتر باشد مقدار جریان معکوس آن کمتر می شود . شکل (43-3) نمای مداری و بایاسینگ این دیود را نشان می دهد .



شکل ۴۳ــ۳ــ نمای مداری و بایاسینگ فتودیود

جریان معکوس فتو دیود علاوه بر اینکه با تغییر شدت نور ، تغییر می کند ، با تغییر طول موج نیز تغییر می کند . علاومت روی علامت اختصاری فتو دیود همین مطلب را می رساند .

منحنی مشخصهٔ یک فتو دیود در شکل (44-3) رسم شده است. این منحنی فقط به ازای طول موج ثابت و شدت روشناییهای مختلف رسم شده است. همانطوری که از منحنی پیداست با افزایش شدت نور ، جریان I& نیز افزایش پیدا می کند و تقریباً در ولتاژهای مختلف معکوسی که دو سر آن قرار گرفته است ، در یک نور مشخص ثابت می ماند ، مقدار آن فقط بستگی به نور تابایده شده به محل پیوند PN دارد. درضمن همیشه حدود چند دهم ولت ولتاژ دو سر اتَصال PN ، در حالت بدون بایاسینگ به وجود می آید.



شکل ۴۴ــ۳ــ منحنی مشخصهٔ فتودیود به ازای تغییرات شدت روشنایی

از این دیود برای تشخیص نور و همچنین سنجش نور در دستگاههای نورسنج ، شمارش سریع یا سویچ کردن و موارد مشابه دیگر استفاده می شود. ولتاژ معکوس این دیودها ، حدود 50-20 ولت و توان آنها حدود چند صد میلی وات و جریان معکوس آنها در تاریکی حدود چند نانو آمپر است. به عنوان مثال المان شمارهٔ TIL 413 یک فتو دیود می باشد که ولتاژ معکوس آن 30 ولت و توان آن

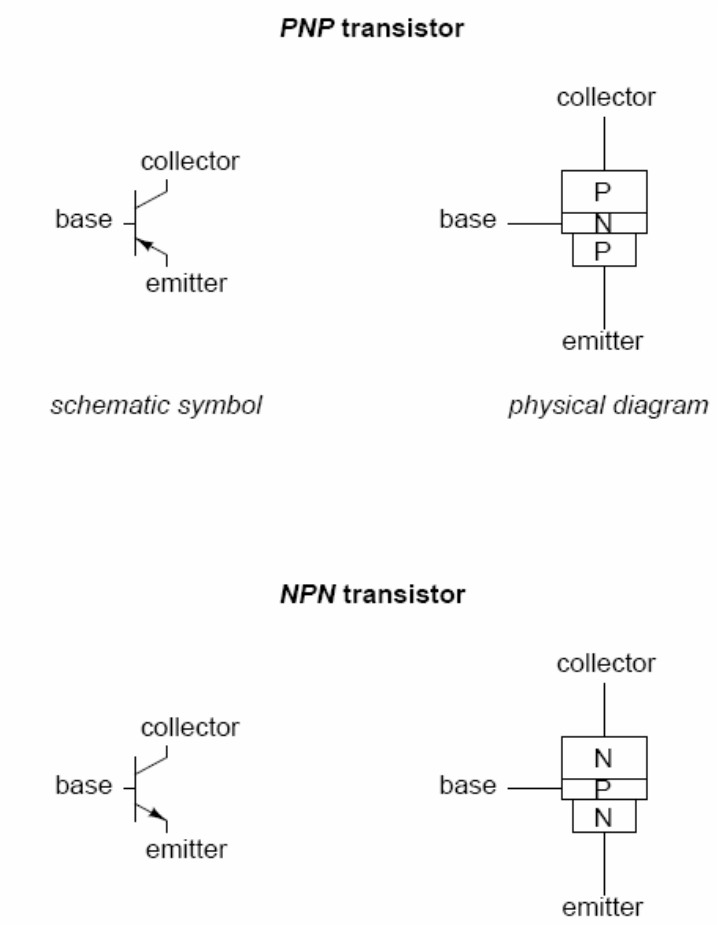
150 میلی وات و جریان معکوس آن در تاریکی حدود 5 نانو آمپر می باشد (این همان جریان اشباع معکوس در دیودهای معمولی است).

لازم به تذکر است که فتو رزیستانس نیز می تواند در بعضی موارد جایگزین فتو دیود شود ، زیرا مقاومت هر دو تابع نور می باشد. تفاوت این دو المان ، در سرعت کار آنها است. فتو دیود سرعت عمل بسیار بیشتری نسبت به فتورزیستانس دارد. البته ناگفته نماند که فتو دیود در محدودهٔ فرکانس وسیع تری نیز نسبت به فتو رزیستانس می تواند کار کند.

تمرین :دررگولاتور زنری می خواهیم ولتازبار در 18 ولت تثبیت گرددااگر $R_S = 300\Omega \ , V_i = 50v$ وحدود تغییرات جریان دیود زنر $20 \le I_Z \le 400mA$ باشد.محدوده توان باررابه گونه ایی تعیین کنید که رگولاتور آسیب نبیند؟

AMROLL.BLOGFA.COM

ترانزیستور BJT



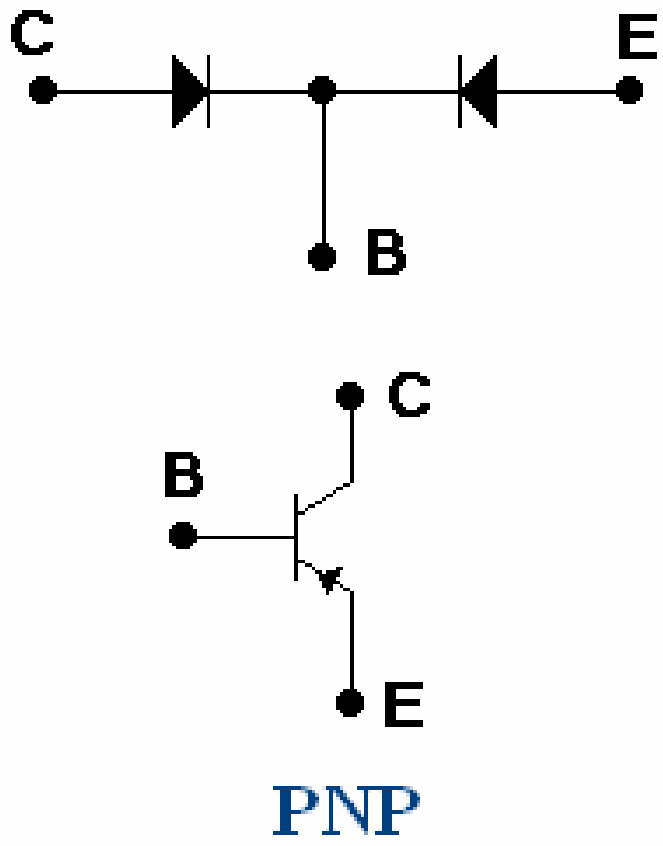
- ترانزیستورمعمولی،یک المان سه قطبی است که از سه نیمه هادی نوع Nو P کنارهم تشکیل شده است.باتوجه به ترتیب آنهادونوع ترانزیستورNPN وPNP قابل ساخت است.
- دارای سه پایه

الف-امیتر(منتشرکننده) Emitter

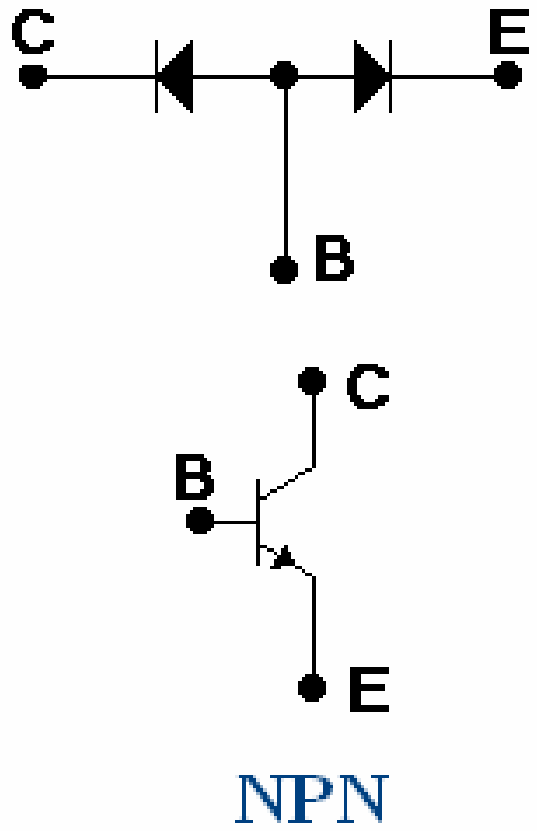
ب-بیس(پایه فرمان) Base

ج-کلکتور(جمع کننده) Collector

مدارمعادل دیودی ترانزیستور



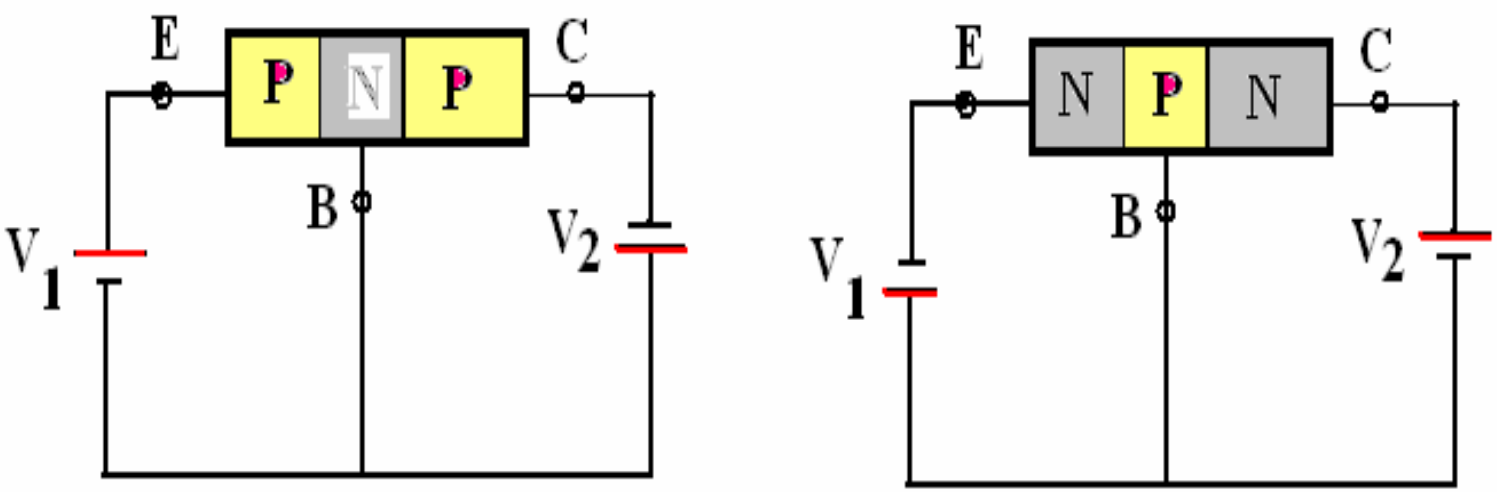
PNP

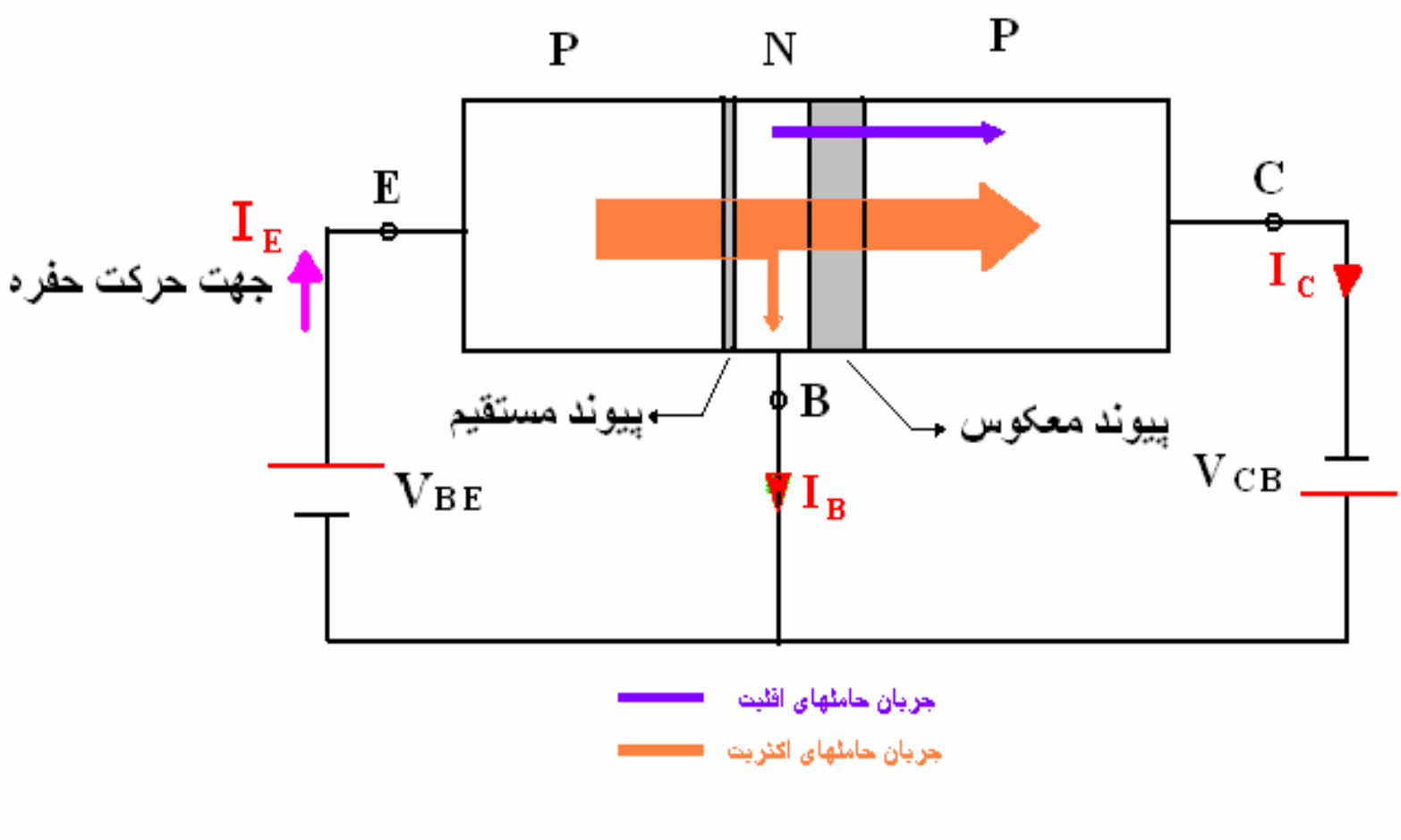


NPN

عملکرد ترانزیستور

- بایاسینگ: عمل تغذیه ولتاژDCبه پایه های ترانزیستوررا بایاسینگ گویند.
- اگر ترانزیستور بعنوان تقویت کننده(Amplifier)، کلید(switching) و... استفاده می شود حتماًباید تغذیه گردد.
- چون ترانزیستوردارای سه پایه است می توان به چند حالت تغذیه نمود.
- تغذیه ترانزیستورجهت تقویت کنندگی یا سوئیچینگ بایدبگونه ایی باشد که دیود بیس-امیتر درباياس مستقیم ودیود کلکتور-بیس در بایاس معکوس قرارگیرد.




P
N
P
E
C
B
I_E
جهت حرکت حفره
I_C
پیوند مستقیم
پیوند معکوس
V_{BE}
I_B
V_{CB}
جریان حاملهای اقلیت
جریان حاملهای اکثریت

اصول کار ترانزیستور

- ترانزیستور دارای دوپیوند بوده که یکی در بایاس مستقیم ودیگری دربایاس معکوس است.
- مقدارزیادی از حاملهای اکثریت ازپیوندبایاس مستقیم عبورکرده وبه نیمه هادی نوع N می رسند.
- لایه بیس بخاطر داشتن عرض کم ومقاومت بالا تعدادمحدودی از حامل اکثریت را به خارج هدایت می کند.
- بخش اعظم حاملهای اکثریت از پیوندمعکوس عبورکرده وبه ماده نیمه هادی P کلکتور نفوذ می کنند.
- طبق قانون جریان کیرشهف داریم:

$$I_C = I_C + I_C$$

(اکثریت — اقلیت)

$$I_E = I_B + I_C$$

نتیجه:

- در ترانزیستورهای عمومی جریان ناشی از حاملهای اقلیت بسیار کم بوده (میکروآمپر)وصرفنظر می شود.فقط به تغییرات دمایی حساس است.

تعریف:

ضریب تقویت اتصال کوتاه بیس مشترک (α):نسبت تغییرا ت کوچک در جریان کلکتور به تغییرات در جریان امیتر

$$\alpha = \left.\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}\right|_{V_{CB}=cnt..} \quad , \quad 0.90 \le \alpha \le 0.998$$

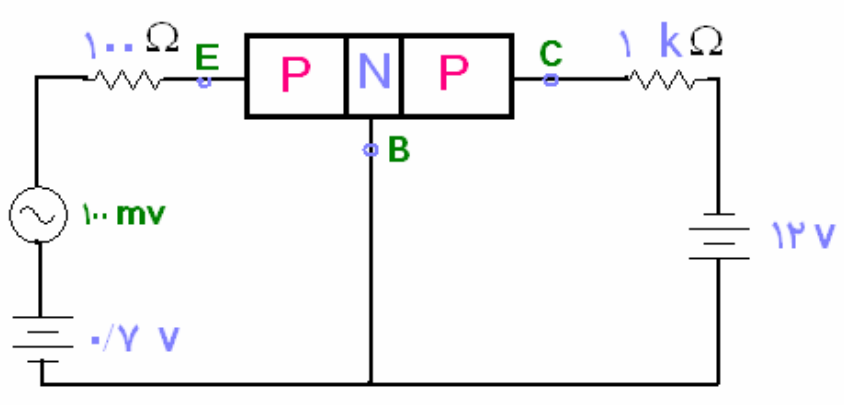
$$\alpha \cong \frac{I_C}{I_E}$$

چگونگی تقویت کنندگی ترانزیستور:

باذکر مثالی چگونگی تقویت کنندگی یک ترانزیستور را بررسی می کنیم .

مثال:در شکل زیر اگرمقاومت بیس – امیتر 30 اهم باشد.دامنه سیگنال در مقاومت کلکتوروبهره را حساب کنید؟

حل:ترانزیستور درباياس مناسب قرار دارد.بانوشتن kvl در حلقه بیس-امیتر داریم



چون جریان بیس درمقابل جریان امیتر وکلکتورناچیز است میتوان جریان امیتر رابرابرجریان کلکتور گرفت.

$$i_e = \frac{100\ mv}{100\ + 30} = 0.769\ mA$$

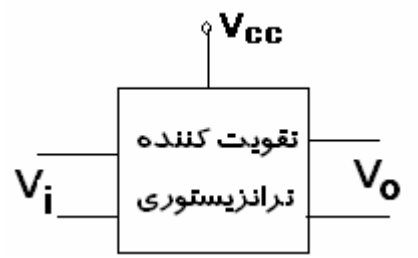
$$i_c = i_e = 0.769\,mA$$

$$V_R = Ri_c = 1 \times 0.769\ = 0.769\,v$$

$$A_v = \frac{v_R}{v_i} = \frac{0.769}{0.1} = 7.69$$

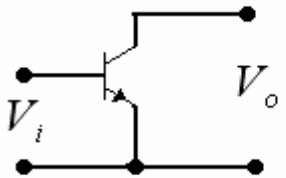
سیگنال ورودی 7/69 برابرتقویت شده است

آرایش های ترانزیستور



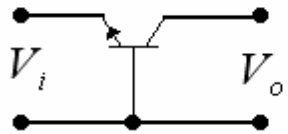
- منظورازآرایش ،چگونگی دادن و گرفتن سیگنال ازترانزیستور است- به مکان اعمال سیگنال، ورودی(input)وازجایی سیگنال تقویت شده دریافت می گرددخروجی(output)می نامند.

- درسیگنال ac،ترانزیستورهادر سه نوع آرایش استفاده می شوند.



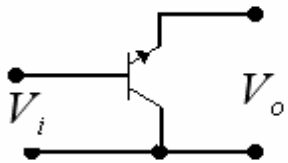
C.E

الف-آرایش امیتر مشترک(C.E)-دراین آرایش پایه امیتربین ورودی وخروجی مشترک است.سیگنال ورودی رابه بیس داده واز کلکتوردریافت می شود.



C.B

ب-آرایش بیس مشترک:(C.B)-دراین آرایش پایه بیس بین ورودی وخروجی مشترک است.سیگنال ورودی رابه امیترداده واز کلکتوردریافت می شود.

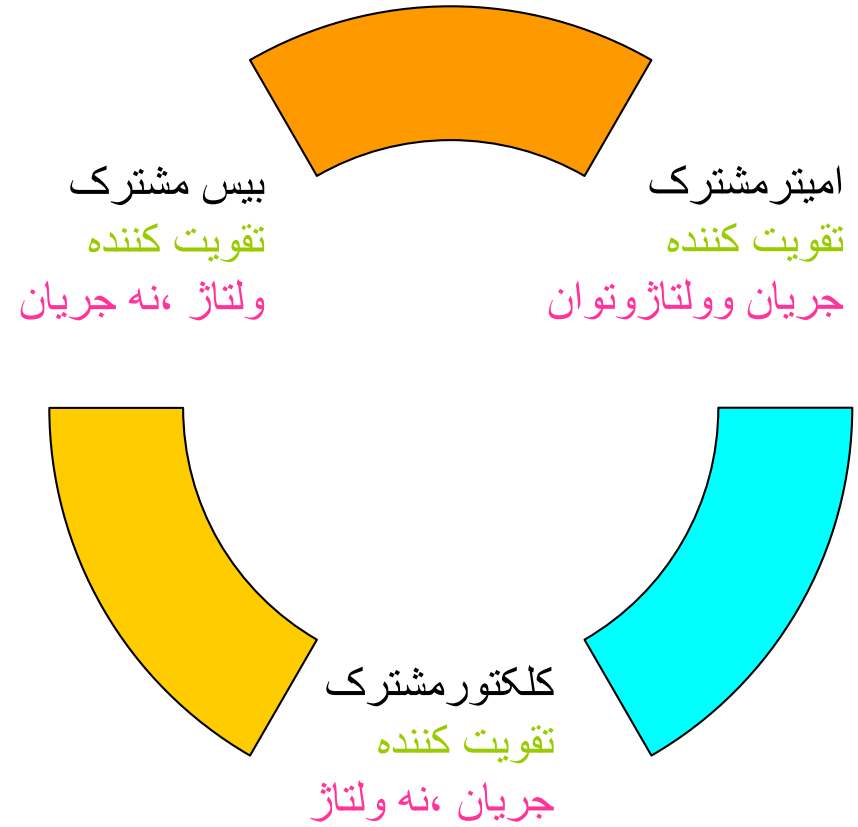


C.C

ج-آرایش کلکتور مشترک:(C.C)-دراین آرایش پایه کلکتوربین ورودی وخروجی مشترک است.سیگنال ورودی رابه بیس داده واز امیتردریافت می شود.نام دیگرش امیترفالوور(Emitter Follower) است.

نکات مهم درآرایش ها:

- آرایش هافقط درحالت AC برای تقویت کننده ها مطرح می شود.
- پایه بیس هرگز بعنوان خروجی وپایه کلکتورنیزبعنوان ورودی استفاده نمی شود.
- تقویت ولتاژ،جریان وتوان در تقویت کننده ها به نوع آرایش بستگی دارد.

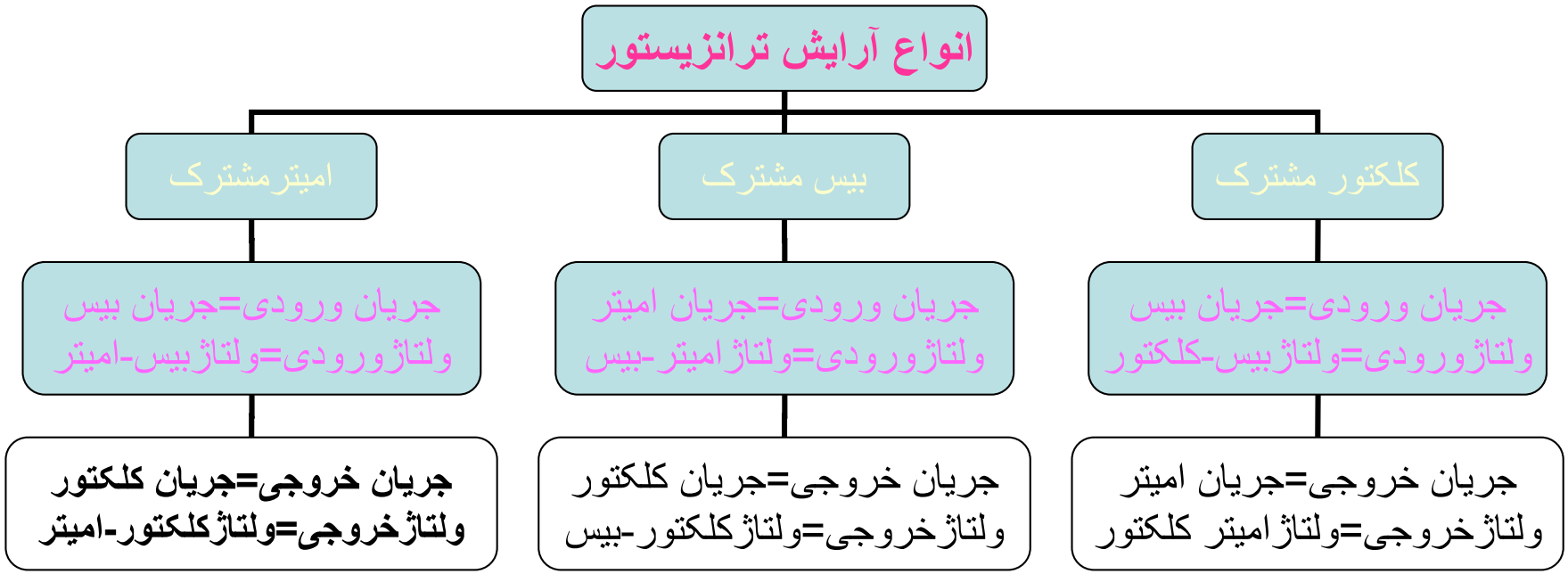


منحنی مشخصه ورودی: منحنی که تغییرات جریان ورودی را نسبت به تغییرات ولتاژورودی به ازای ولتاژخروجی ثابت نشان می دهد.

منحنی مشخصه خروجی: منحنی که تغییرات جریان خروجی را نسبت به تغییرات ولتاژخروجی به ازای جریان ورودی ثابت نشان می دهد.

منحنی مشخصه انتقالی: منحنی که تغییرات جریان ورودی را نسبت به تغییرات جریان خروجی به ازای ولتاژخروجی ثابت نشان می دهد.

شکل وکمیتهای روی منحنی به نوع آرایش بستگی دارد.در سه نوع آرایش بررسی می کنیم



منحنی مشخصه ها را دریک نوع آرایش مثلاً امیتر-مشترک که کاربرد بیشتری نیز دارد بررسی می کنیم

منحنی ها درآرایش امیترمشترک

منحنی ورودی: در این آرایش بیس-امیتریک دیودبوده که درباياس مستقیم قرار گرفته است ومنحنی ورودی شبیه منحنی مشخصه دیوددرحالت مستقیم می باشد.

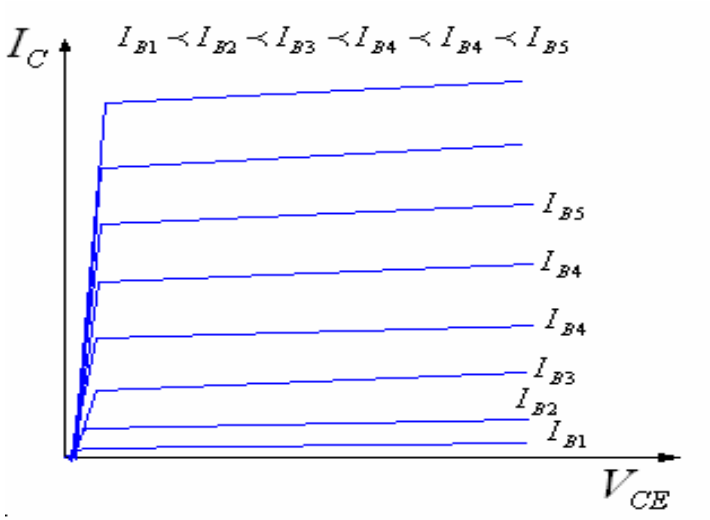
$$I_B = f(V_{BE})\Big|_{V_{CE}=cnt}$$

رابطه منحنی خروجی:

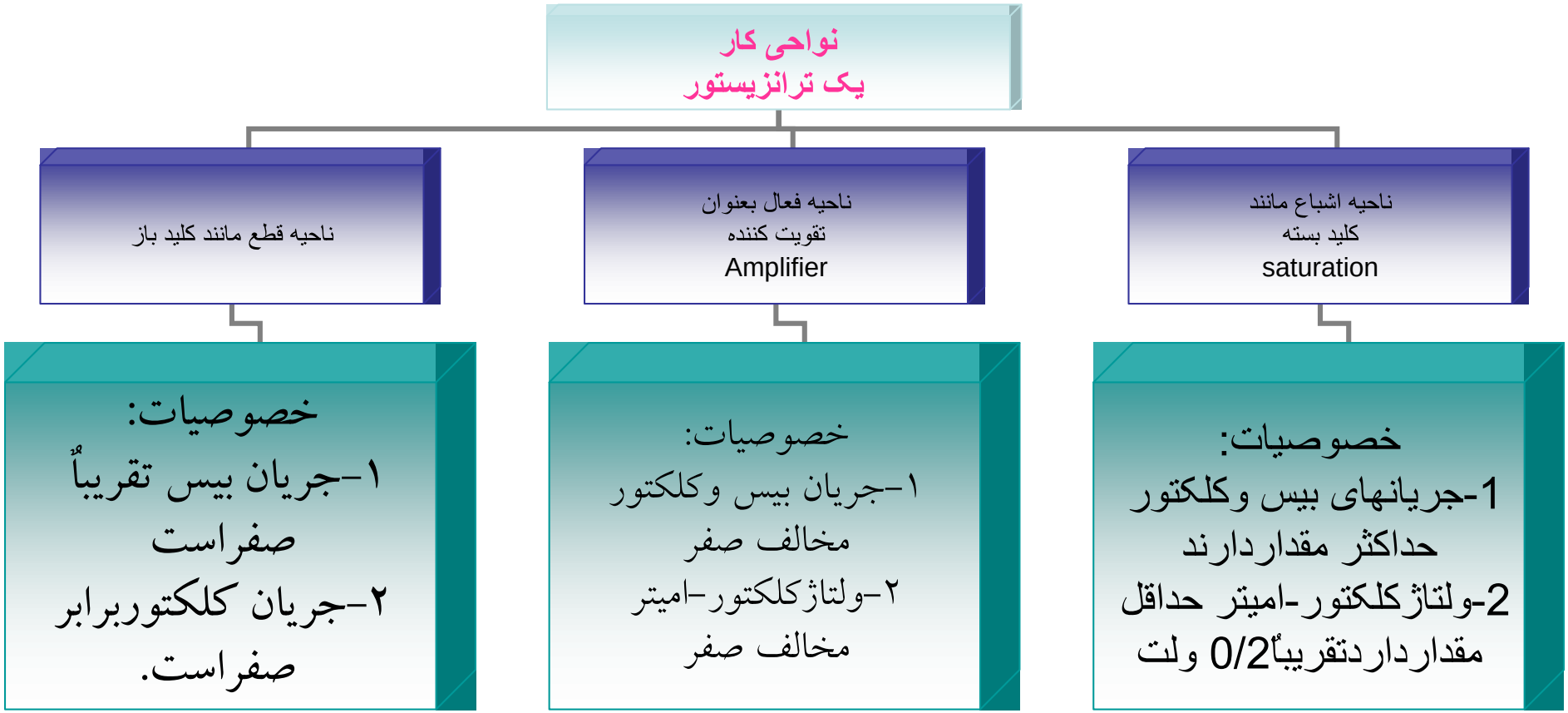
$$I_c = f(V_{CE})\Big|_{I_B=cnt}$$

رابطه منحنی انتقالی

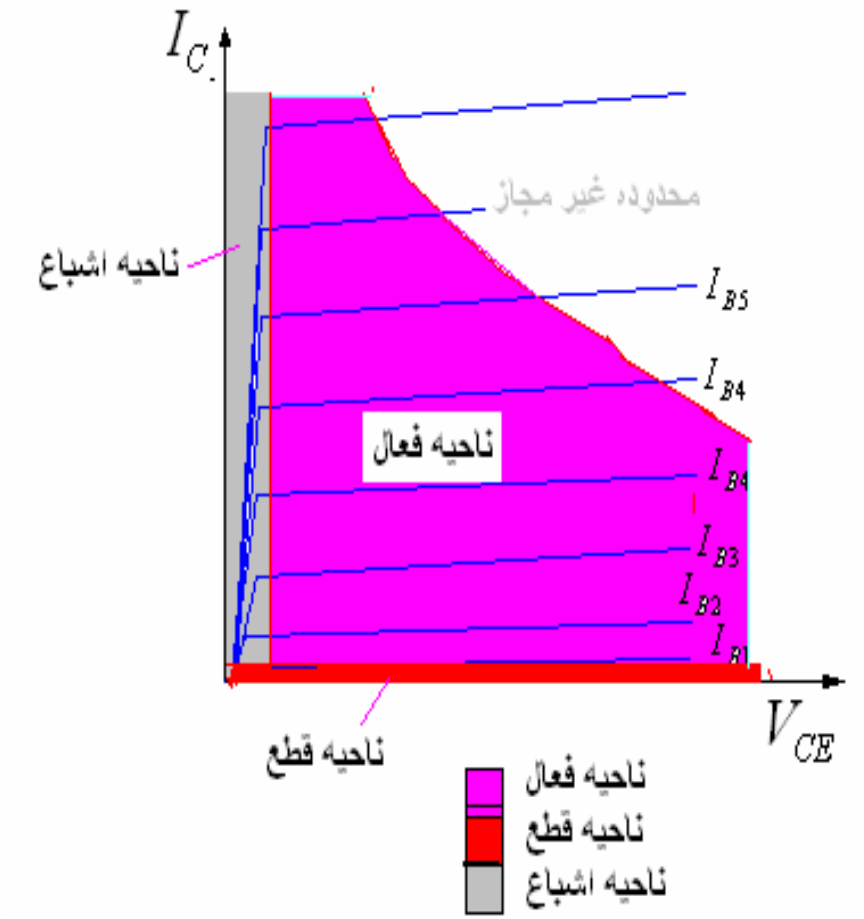
$$I_B = f(I_C)\Big|_{V_{CE}=cnt}$$



روی منحنی مشخصه خروجی ،سه ناحیه کاری ترانزیستوررا تعریف می کنندکه عبارتند:



محدوده وخصوصیات هرناحیه



ناحیه اشباع $\begin{cases} V_{CE} = V_{CE\,(saturation)} \cong 0.2\ v \\ I_C = I_{C\,(\max)} \end{cases}$

ناحیه فعال $\begin{cases} I_C \neq 0 \\ V_{CE} \neq 0 \end{cases}$ $, I_C = \beta I_B$

ناحیه قطع $\begin{cases} I_C = 0 \\ V_{CE} \neq 0 \end{cases}$ $, I_B \cong 0$

ضریب تقویت جریان امیتر مشترک:(β)دروضیعت امیترمشترک نسبت تغییرات جریان کلکتور به تغییرات جریان بیس رابه شرطی که ولتاژکلکتور-امیترثابت باشد

$$\beta = \left.\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right|_{V_{CE}=cnt} \qquad \Rightarrow \qquad \beta \cong \frac{I_C}{I_B}$$

مثال :رابطه α , β راپیدا کنید

$$I_C = \alpha I_E$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_C + I_B \quad \rightarrow I_E = (1+\beta) I_B$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow \alpha = \frac{\beta}{1+\beta} \Rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

توان تلف شده در ترانزیستور:

$$P_T = V_{BE} I_B + V_{CE} I_C \cong V_{CE} I_C$$

چون جریان بیس در مقابل جریان کلکتور بسیار کم است

اگر توان تلف شده بیشترازتوان مجاز ترانزیستورباشد باعث آسیب آن می گردد.

$$P_{T\max} = V_{CE} I_C$$

این معادله محدوده ناحیه فعال رامشخص می کند

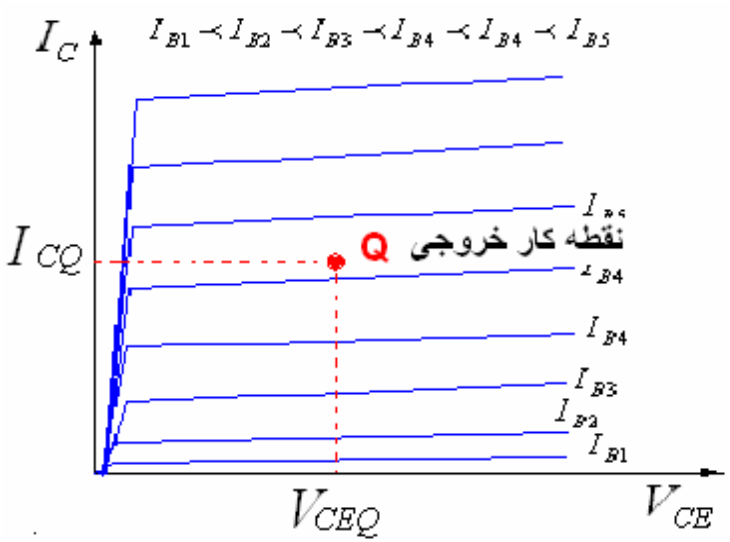
تغذیه یا بایاسینگ ترانزیستور

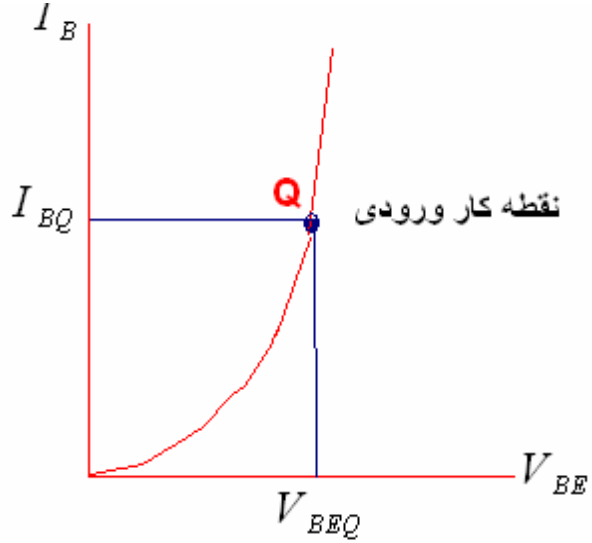
اتصال پایه های ترانزیستوربه منبع جریان مستقیم را بایاسینگ گویند.

هدف از تغذیه ،داشتن ولتاژوجریان درترانزیستورمعین که نقطه کارترانزیستور گویند.

نقطه کاروردی روی مشخصه ورودی ونقطه کار خروجی روی منحنی مشخصه خروجی مشخص می شود.

درحالت امیتر-مشترک نقاط کاروردی وخروجی درشکل زیر مشخص شده اند



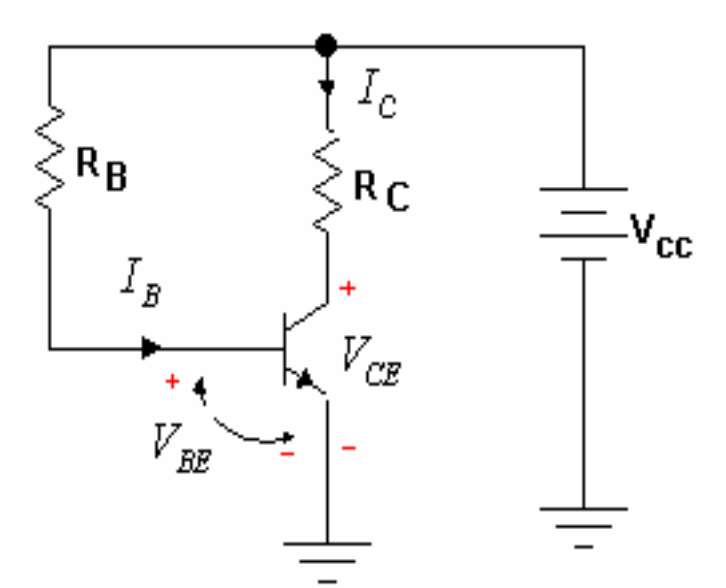


روشهای تغذیه ترانزیستور

در صورتی که ازترانزیستور بعنوان تقویت کننده می توان استفاده کرد که ولتاژلازم به پایه های آن برسدوترانزیستوررادر حالت هدایت قراردهد.سه نوع کلی تغذیه که ترانزیستور را به ناحیه هدایت می بردوجود دارد. به شرح هریک می پردازیم.

- تغذیه ثابت (مستقیم)
- تغیه ثابت با مقاومت امیتر
- تغذیه سرخود(مستقل ازبتا)
- تغذیه اتوماتیک

تغذیه ثابت(مستقیم)



$$kVl\ :\ -V_{cc}+R_BI_B+V_{BE}=0\ \rightarrow I_B=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C=\beta\times I_B$$

$$kVl\ :\ -V_{cc}+R_CI_C+V_{CE}=0\ \rightarrow V_{cE}=V_{CC}-R_CI_C$$

$$V_E=0\quad,\quad V_B=V_{BE}\quad,\quad V_C=V_{CE}$$

مثال: در مدار تغذیه ثابت در شرایط زیر نقطه کار وولتاژپایه های ترانزیستور را بدست آورید

$R_B = 118\ k\Omega \quad , R_C = 1.2 k\Omega \quad , \beta = 50$

$V_{cc} = 12\ v \quad , V_{BE\ (on)} = 0.2\ v$

حل: بانوشتن معادلات داریم:

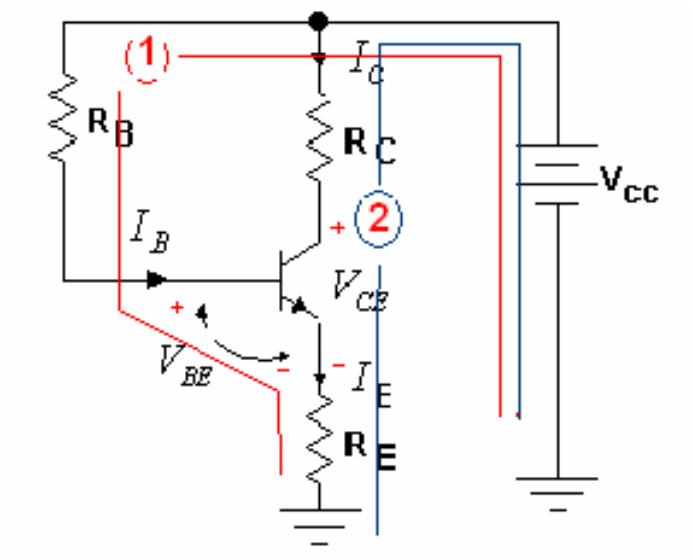
$$kVl\ :\ -V_{cc} + R_B I_B + V_{BE} = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.2}{118} = 100\mu A$$

$$I_C = \beta \times I_B = 50 \times 0.1 = 5mA$$

$$kVl\ :\ -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} = 0 \rightarrow V_{cE} = V_{CC} - R_C I_C = 12 - 1.2 \times 5 = 6v$$

$$V_E = 0 \quad , \quad V_B = V_{BE} = 0.2v \quad , \quad V_C = V_{CE} = 6v$$

تغذیه ثابت با مقاومت امیتر



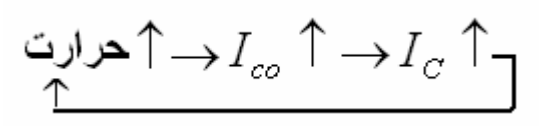
$$kVl: -V_{cc} + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1+\beta) R_E}$$

$$I_C = \beta \times I_B \qquad , I_E = (1+\beta) I_B$$

$$kVl: -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0 \rightarrow V_{cE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

$$V_E = R_E I_E \qquad , V_B = V_E + V_{BE} \qquad , V_C = V_E + V_{CE}$$

بررسی پایداری حرارتی



باافزایش حرارت جریان نشتی کلکتور زیاد شده وباعث افزایش جریان کلکتور می شود وافزایش جریان کلکتور افزایش مجدد حرارت را در پی دارد که ناپایداری حرارتی در ترانزیستور می گردد.

مثال: در مثال قبل اگر مقاومت امیتر 200 اهم باشد نقطه کاروولتاژپایه های ترانزیستور را بدست آورید $V_{BE}=0.7v$

$$I_B=\frac{V_{CC}-V_{BE}}{R_B+(1+\beta)R_E}=\frac{12-0.7}{118+(1+50)0.2}=88.1\mu A$$

$$I_C=\beta\times I_B=50\times 0.0881=4.41mA$$

$$I_E=(1+\beta)I_B=51\times 0.0881=4.493mA$$

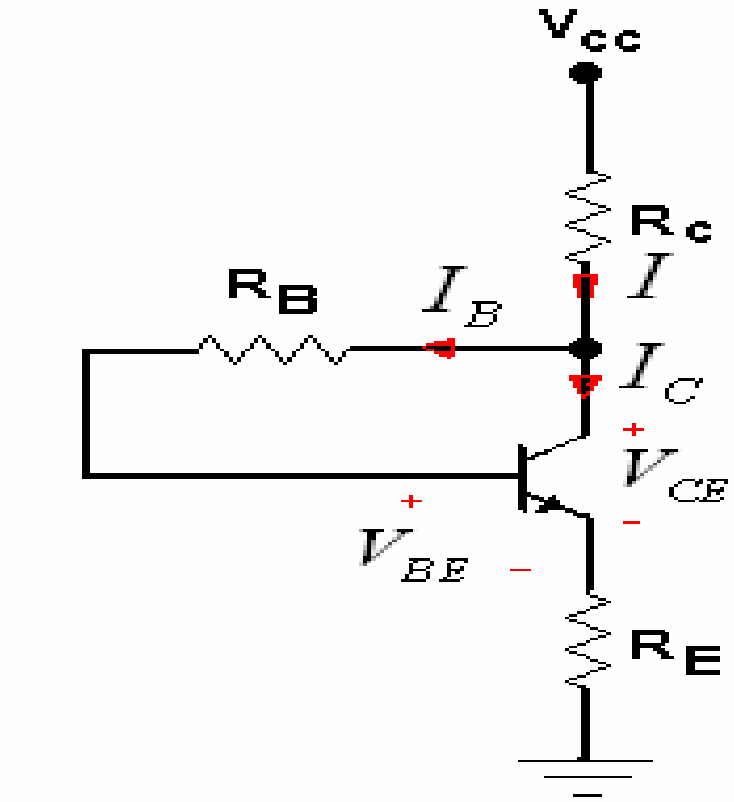
$$V_{cE}=V_{CC}-R_CI_C-R_EI_E=12-1.2\times 4.41-0.2\times 4.493=5.81v$$

$$V_E=R_EI_E=0.2\times 4.493=0.8986$$

$$V_B=V_E+V_{BE}=0.8986+0.7=1.5986v$$

$$V_C=V_E+V_{CE}=0.8986+5.81=6.7086v$$

تغذیه اتوماتیک:



$$kVl \;:\; -V_{cc} + R_C I + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I = I_E \quad , \quad I_C = \beta \times I_B \quad , \quad I_E = (1+\beta) I_B$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (1+\beta)(R_E + R_C)}$$

$$kVl \;:\; -V_{cc} + R_C I + V_{CE} + R_E I_E = 0 \;\rightarrow V_{cE} = V_{CC} - (R_C + R_E) I_E$$

$$V_E = R_E I_E \quad , V_B = V_E + V_{BE} \quad , V_C = V_E + V_{CE}$$

مثال:در مدار تغذیه اتوماتیک اگر

$R_B = 100k\Omega \quad , R_C = 2k\Omega \quad , \beta = 100$

$V_{cc} = 12v \quad , V_{BE(on)} = 0.6\ v \ , \quad R_E = 250\Omega$

باشندنقطه کاروولتاژپایه ها رابدست اورید

$$kVl: \ -V_{cc} + R_C I + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$-12 + 2I + 100I_B + 0.6 + 0.25I_E = 0 \Rightarrow I_B = \frac{11.4}{2.25 \times 101 + 100} = 34.8\mu A$$

$$I = I_E \quad , \qquad I_C = \beta \times I_B = 100 I_B$$

$$I_E = (1+\beta) I_B = 101 I_B$$

$$-V_{cc} + R_C I + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

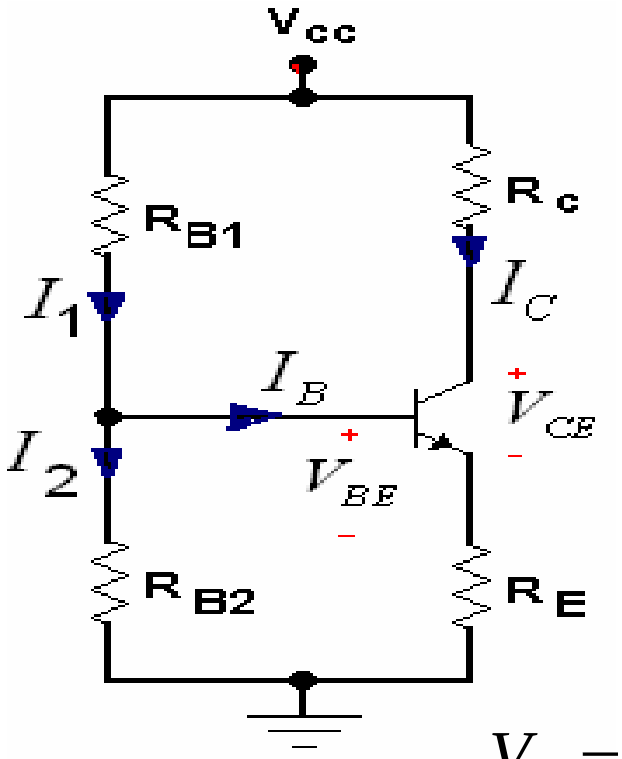
$$\rightarrow V_{cE} = 12 - (2 + 0.25) \times 101 \times 0.0348 = 4.09v$$

$$V_E = R_E I_E = 0.25 \times 101 \times 0.0348 = 0.879v$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 0.879 + 0.6 = 1.479v$$

$$V_C = V_E + V_{CE} = 0.879 + 4.09 = 4.969v$$

تغذیه سرخود



این مداردردوحالت تقریبی ودقیق بررسی می شود.

الف-روش تقریبی :فرض می کنیم که $I_1 \cong I_2$, $I_B \cong 0$

بانوشتن تقسیم ولتاژ داریم

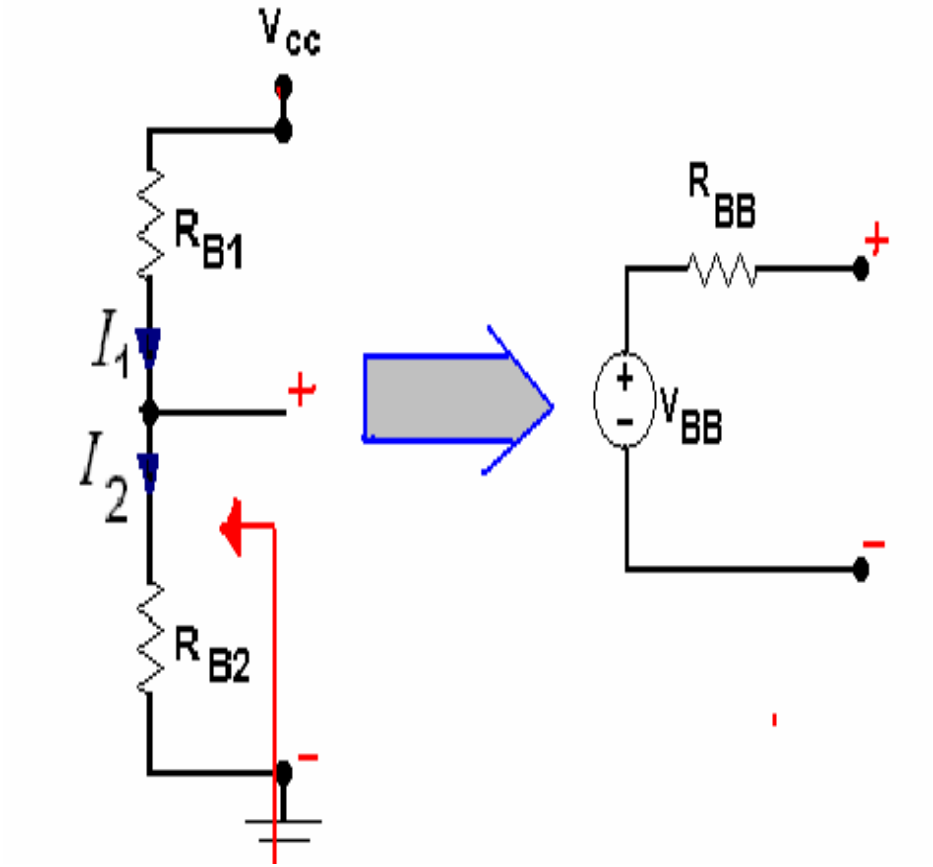
$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}} \times V_{cc} \quad \Rightarrow -V_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I_E = \frac{V_B - V_{BE}}{R_E} \quad \rightarrow I_B = \frac{I_E}{1+\beta} \quad , I_C = \alpha \times I_E$$

$$KVL: \quad -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

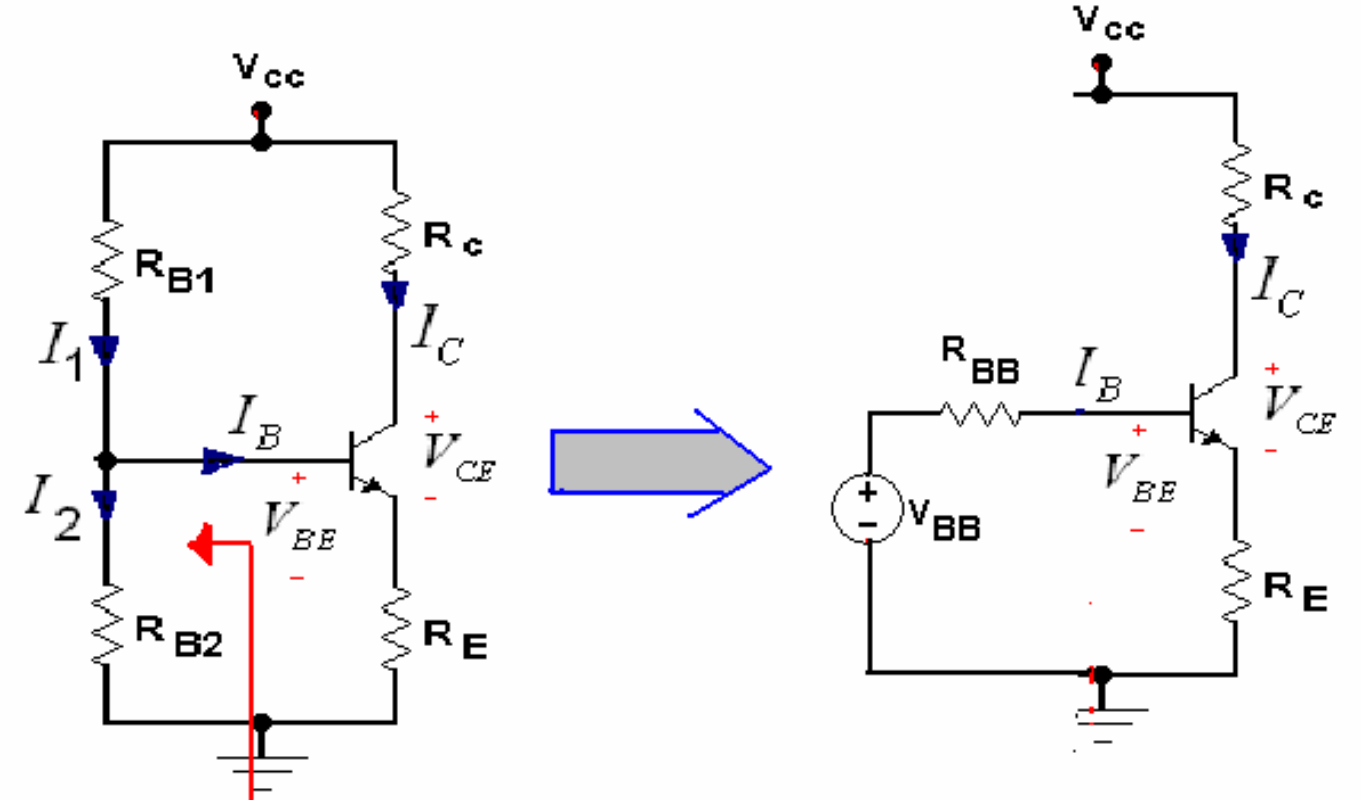
$$\Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

ب-روش دقیق :مدارمعادل تونن رااز دیدگاه بیس بدست می آوریم



$$R_{BB} = R_{B1} \| R_{B2} = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC}$$



مدارمعادل تونن
راجایگزین کنید

$$kVl: -V_{BB} + R_{BB}I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_{BB} + (1+\beta)R_E}$$

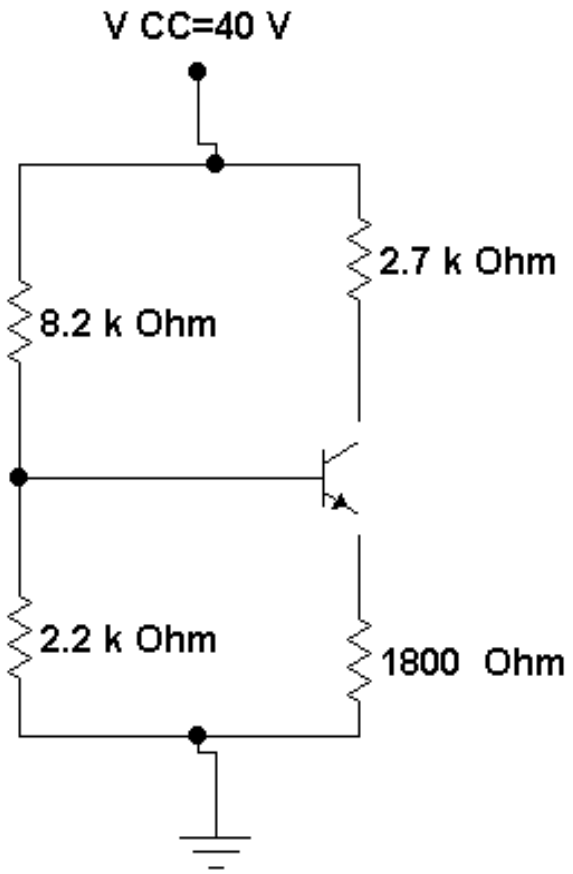
$$I_C = \beta \times I_B \qquad , I_E = (1+\beta) I_B$$

$$kVl: -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0 \rightarrow V_{cE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

$$V_E = R_E I_E \qquad , V_B = V_E + V_{BE} \qquad , V_C = V_E + V_{CE}$$

مثال : نقطه کار ترانزیستور را مشخص کنید

روش تقریبی



$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1}+R_{B2}} \times V_{cc} = \frac{2.2}{2.2+8.2} \times 40 = 8.46v$$

$$\Rightarrow -V_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow -8.46 + 0.7 + 1.8 I_E = 0$$

$$I_E = 4.31mA \rightarrow I_B = \frac{I_E}{1+\beta} = \frac{4.31}{121} = 35.6\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 120 \times 0.0356 = 4.272mA$$

$$KVL: V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E$$

$$= 40 - 2.7 \times 4.272 - 1.8 \times 4.31 = 20.71v$$

روش دقیق

$$R_{BB} = \frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{2.2 \times 8.2}{2.2 + 8.2} = 1.73\,k\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \times V_{CC} = \frac{2.2 \times 40}{2.2 + 8.2} = 8.46\,v$$

$$kVl\ :\ -V_{BB} + R_{BB}I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0 \rightarrow I_B = \frac{8.46 - 0.7}{1.73 + (1+120)1.8} = 35.34\mu A$$

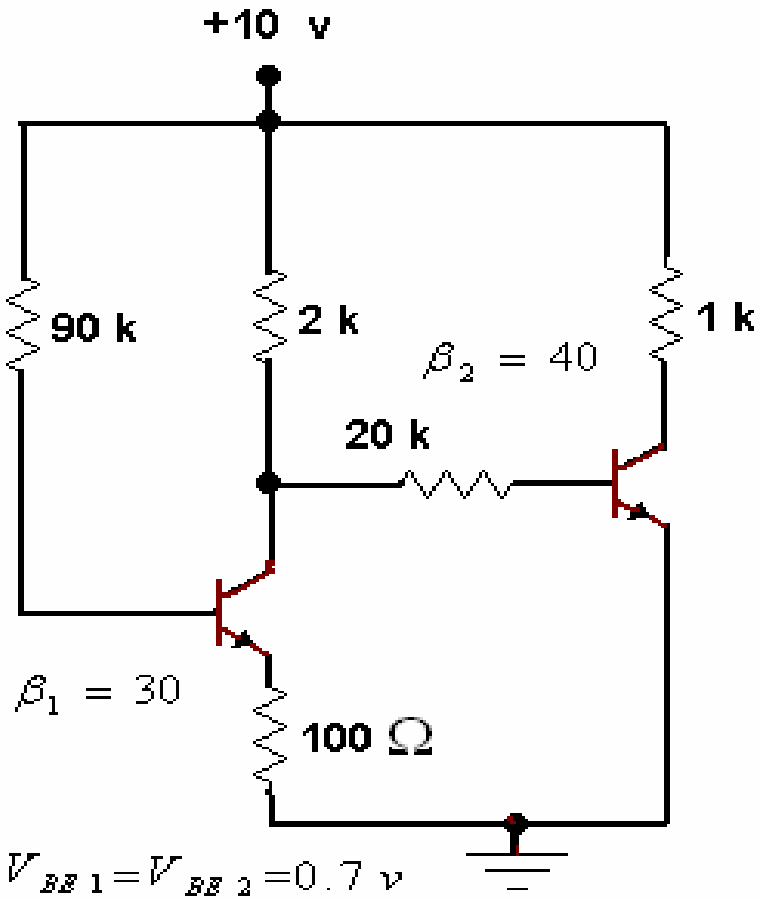
$$I_C = \beta \times I_B = 120 \times 0.03534 = 4.24mA$$

$$I_E = (1+\beta)I_B = 121 \times 0.03534 = 4.28mA$$

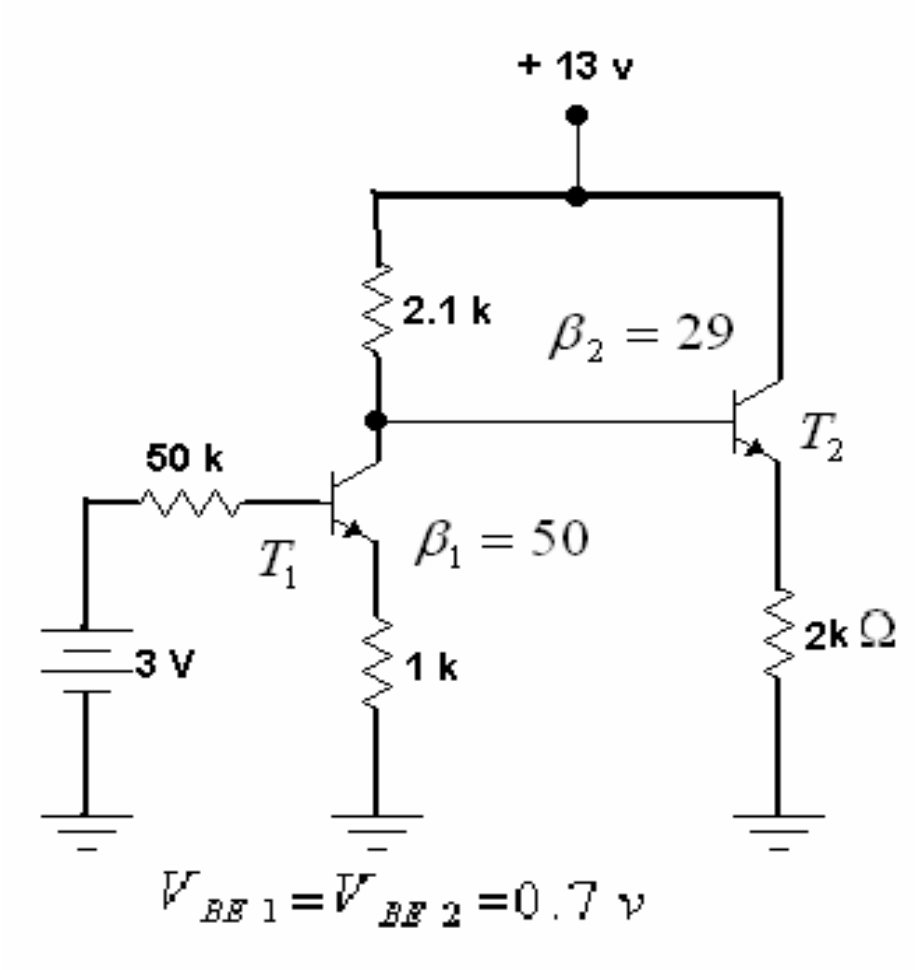
$$kVl\ :\ -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

$$\rightarrow V_{cE} = V_{CC} - R_C I_C - R_E I_E = 40 - 2.7 \times 4.24 - 1.8 \times 4.28 = 20.85v$$

تمرین : در هریک از مدارات نقطه کار ترانزیستورها را پیداکنید؟



(ب)



(الف)

ترانزیستور اثر میدان(FET)Field Effect Transistor

ترانزیستور معمولی(BJT) ،یک عنصردوقطبی کنترل شونده با جریان است که توسط جریان بیس ،جریان کلکتورآن کنترل می شود.

ولی ترانزیستوراثر میدان یک عنصرتک قطبی کنترل شونده با ولتاژ است

مقایسه کلی بین قطعات FET و BJT عبارتنداز:

۱-FET دارای مقاومت ورودی خیلی بالا دارد.

۲-FET در هنگام استفاده کلیدی ولتاژافست ندارد.

۳-FET درمقابل تشعشات حساسیت بسیار کمی دارد.

۴-FET پارازیت کمتری روی سیگنال ایجاد می کند

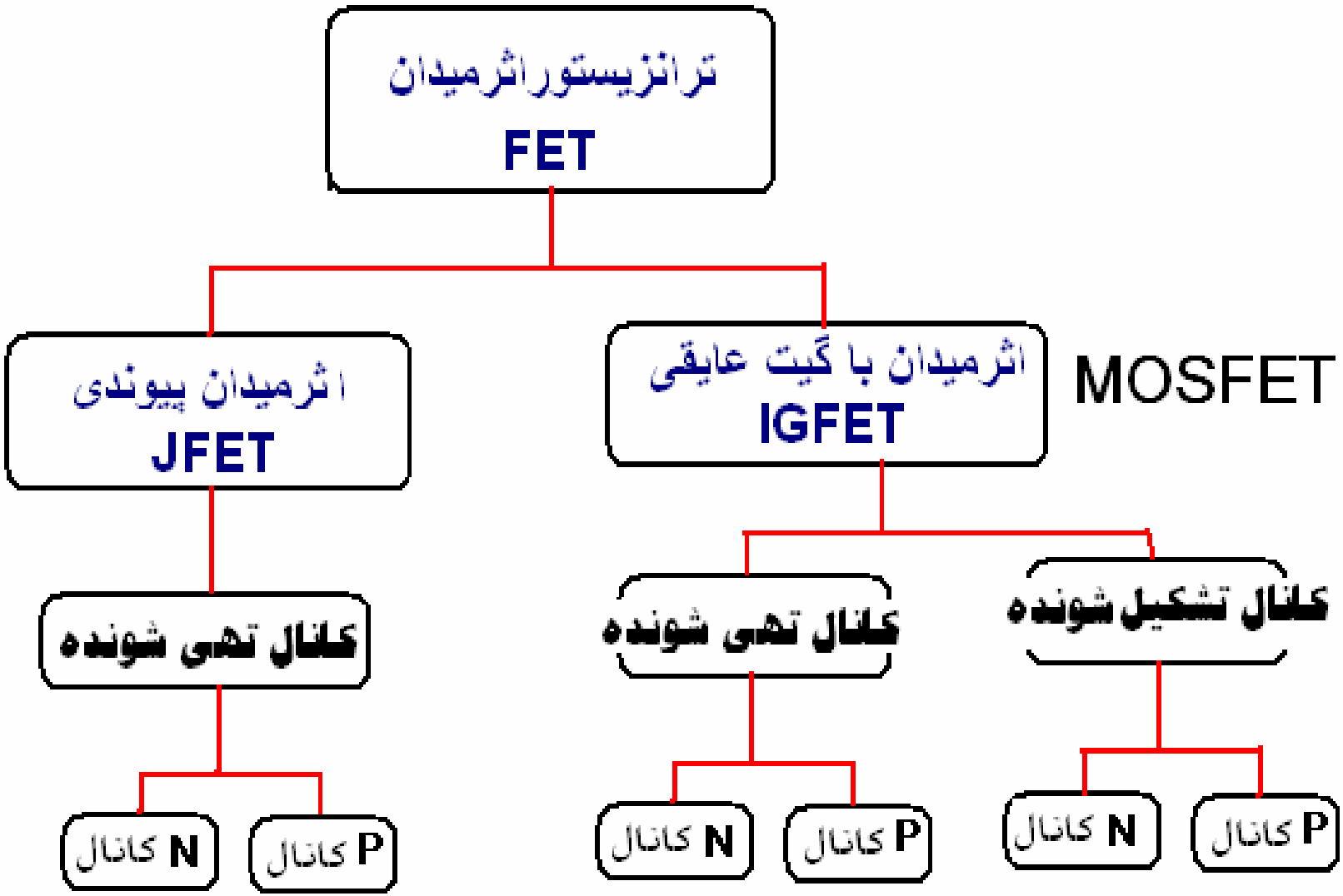
۵-ثبات گرمایی FET بیشتر از BJT است.

۶-FET از BJT کوچکتر است در ساخت مدارهای مجتمع (IC) استفاده بیشتری دارد.

۷-FETعرض باند تقویت کمتر نسبت به BJT دارد.

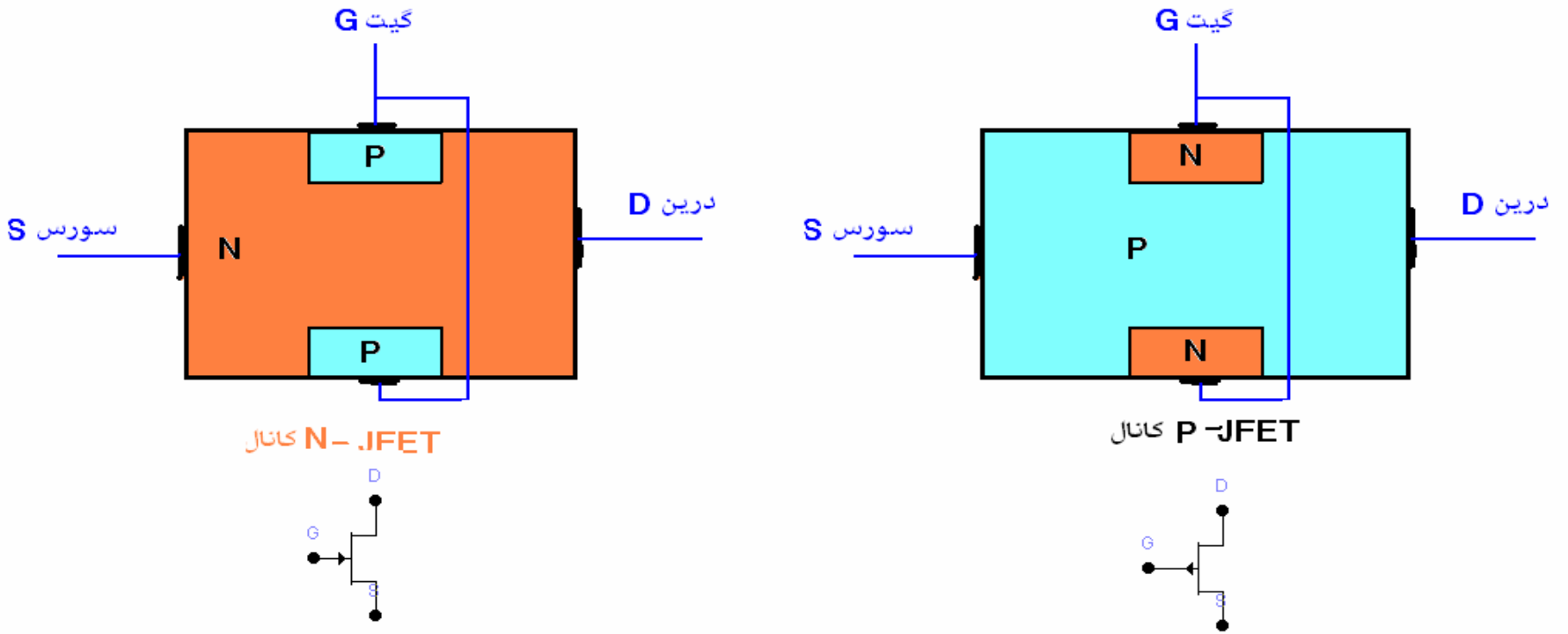
۸-آسیب پذیری FET با دست بیشتر است.

تقسیم بندی ترانزیستور FET

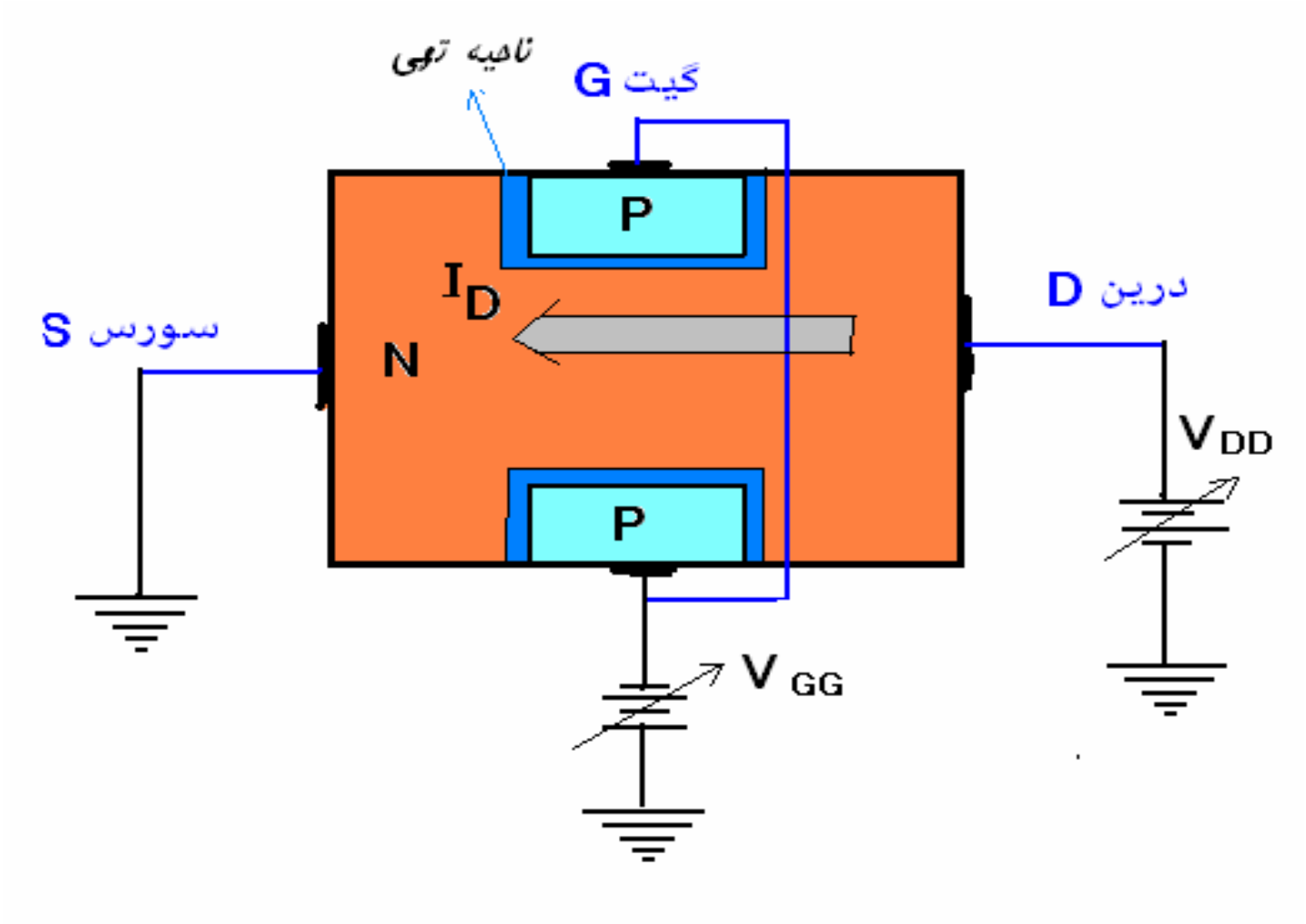


ساختمان JFET

- این ترانزیستور از نیمه هادی پایه مثلاًنوع N که درآن یک جفت نیمه هادی نوع Pاز طرفین نفوذ داده شده است.که به آن ترانزیستور اثرمیدان پیوندی N کانال گویند.
- اگر نیمه هادی پایه ازنوع P باشد آنراترانزیستورPکانال گویند.



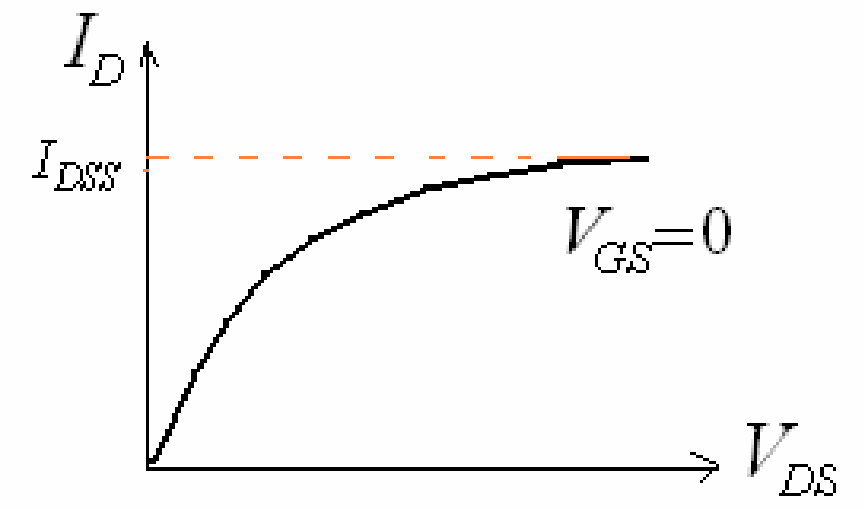
اصول کار JFET



- اگرV_{GS}=0 با افزایش ولتاژV_{DS} جریان درین –سورس افزایش یافته تابه مقداراشباع خود برسد(I_{DSS})
- باکاهش V_{GS}عرض ناحیه تهی زیادشده وباعث کاهش عرض کانال می گردد.تااینکه کانال کاملاًمسدودگردد.ولتاژی که به ازای آن جریان درین –سورس صفر می گرددولتاژبحرانی یا(ناحیه قطع)ولتاژV_{GS}(off) یا V_P گویند.
- بطور خلاصه ،پس می توان توسط V_{GS} جریان درین –سورس را بین صفروجریان اشباع (I_{DSS})کنترل نمود.
- چون گیت-سورس دربایاس معکوس تغذیه می شودجریان گذرنده ازگیت همواره صفر می باشد.

$$if \quad V_{GS} = 0 \quad \Rightarrow I_D = I_{DSS}$$
$$if \quad V_{GS} = V_P \quad \Rightarrow I_D = 0$$
$$I_G = O$$

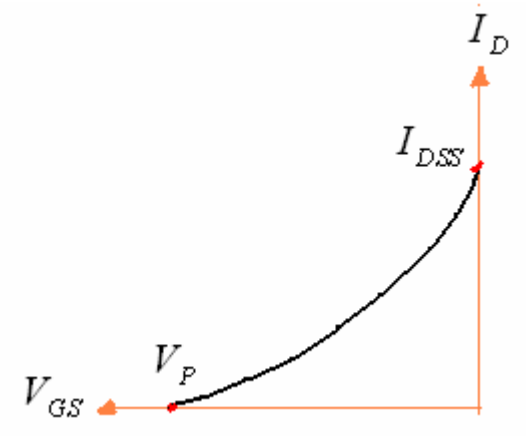
مشخصه های JFET



مشخصه خروجی

مشخصه انتقالی : مشخصه ایی است که I_D برحسب V_{GS} نشان می دهد.

$$I_D = I_{DSS}\ (1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2$$



از تقاطع خط باردC با منحنی مشخصه خروجی نقطه کار ترانزیستور مشخص می گردد.

مثال: یک ترانزیستورJFETکانال N که ولتاژقطع آن 4- ولت وجریان اشباع درین-سورس 12mA می باشد در شرایط زیرجریان I_D بدست آورید؟ وسپس ترسیم کنید.

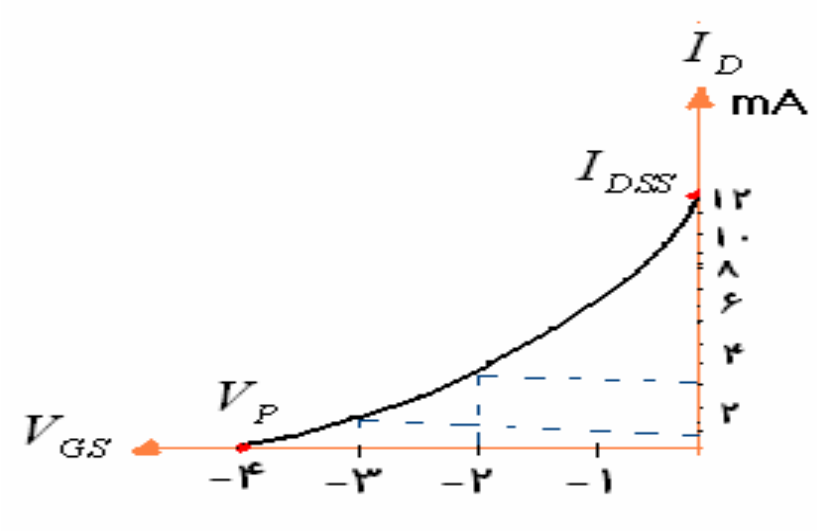
الف-$V_{GS}=0$ ب-$V_{GS}=-2$ ج-$V_{GS}=-3$

$$I_{DSS}=12mA \quad ,V_P=-4v$$

$$if \ \ V_{GS}=0 \ \ \Rightarrow I_D=I_{DSS}=12mA$$

$$if \ \ V_{GS}=-2v \ \ \Rightarrow I_D=I_{DSS}(1-\frac{V_{GS}}{V_P})^2 \ \ \Rightarrow I_D=12(1-\frac{-2}{-4})^2=3mA$$

$$if \ \ V_{GS}=-3v \ \ \Rightarrow I_D=I_{DSS}(1-\frac{V_{GS}}{V_P})^2 \ \ \Rightarrow I_D=12(1-\frac{-3}{-4})^2=0.75mA$$



مثال:جریان درین یک ترانزیستورJFETکانال P که ولتاژقطع آن 8ولت وجریان اشباع درین-سورس 10mA می باشد در شرایط زیر بدست آورید؟ وسپس ترسیم کنید.

الف-$V_{GS}=2$ ب-$V_{GS}=4$ ج-VGS=6

$I_{DSS} = 10\,mA \quad , V_P = 8v$

$if \;\; V_{GS} = 0 \;\; \Rightarrow I_D = I_{DSS} = 10\,mA$

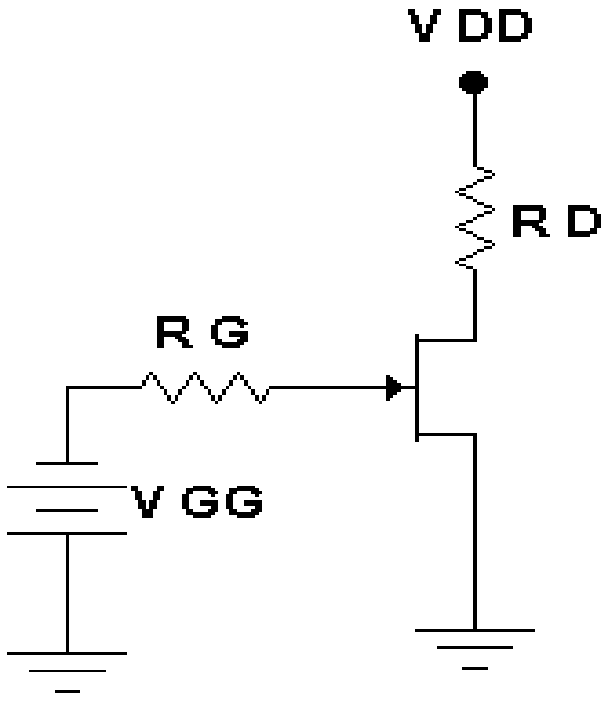
$if \;\; V_{GS} = 2v \;\; \Rightarrow I_D = I_{DSS}\,(1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2 \;\; \Rightarrow I_D = 10\,(1 - \frac{2}{8})^2 = 5.566\,mA$

$if \;\; V_{GS} = 4v \;\; \Rightarrow I_D = I_{DSS}\,(1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2 \;\; \Rightarrow I_D = 10\,(1 - \frac{4}{8})^2 = 2.5\,mA$

$if \;\; V_{GS} = 6v \;\; \Rightarrow I_D = I_{DSS}\,(1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2 \;\; \Rightarrow I_D = 10\,(1 - \frac{6}{8})^2 = 0.625\,mA$

مشابه ترانزیستور BJT سه نوع روش تغذیه برای FETوجوددارد.

- تغذیه مستقیم - تغذیه اتوماتیک - تغذیه باتقسیم ولتاژ



$$I_G = 0$$

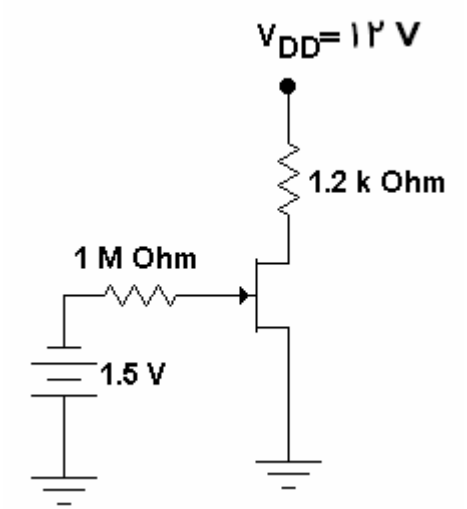
$$V_{GS} = -V_{GG}$$

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{-V_{GG}}{V_P}\right)^2$$

$$-V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} = 0$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D$$

مثال:مشخصات نقطه کاررابدست آورید.v_p=-4V,I_{DSS}=12mA



$$I_G = 0$$

$$V_{GS} = -V_{GG} = -1.5v$$

$$I_D = I_{DSS}(1-\frac{-V_{GG}}{V_P})^2 = 12(1-\frac{-1.5}{-4})^2 = 4.69mA$$

$$-V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} = 0$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D = 12 - 1.2 \times 4.69 = 6.4V$$

$$V_S = 0 \quad , V_{DS} = V_D = 6.4v$$

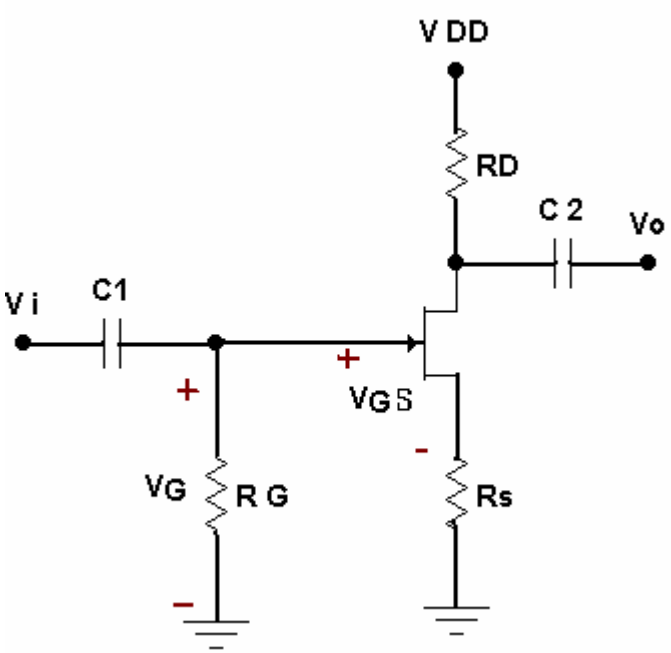
خط بار dc ترانزیستور:معادله خطی است I_D برحسبV_{DS} نشان می دهد.اگراین خط راروی منحنی مشخصه خروجی ترسیم کنیم محل تقاطع با V_{GS} مورد نظر نقطه کار DCبدست می آید.

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D \quad \Rightarrow I_D = (-\frac{1}{R_D})V_{DS} + \frac{V_{DD}}{R_D}$$

بایاس سرخود یاخودتغذیه(self bias)

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - R_S I_D = -R_S I_D$$

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{-R_S I_D}{V_P}\right)^2$$

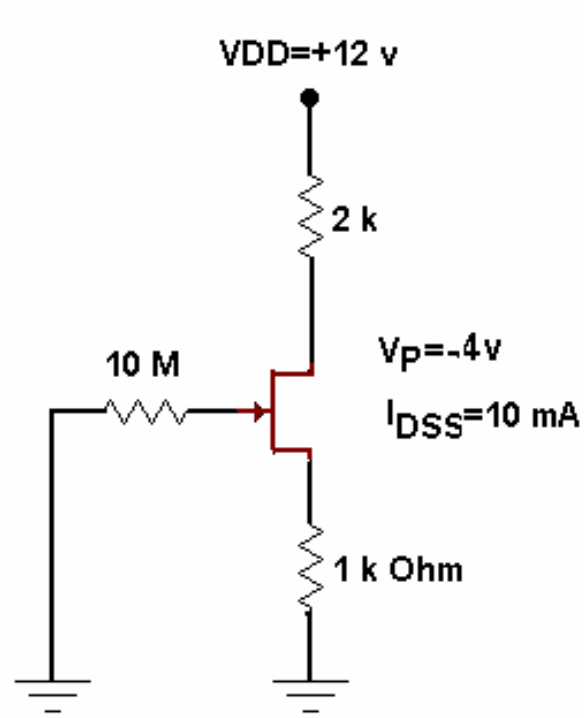


ازحل معادله بالا I_D پیدامی شود.

$$kvl: -V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} + R_S I_D = 0$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) I_D$$

مثال:مشخصات نقطه کار راپیداکنید



$$V_{GS} = -1 \times I_D = -I_D$$

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 10\left(1 - \frac{-I_D}{-4}\right)^2$$

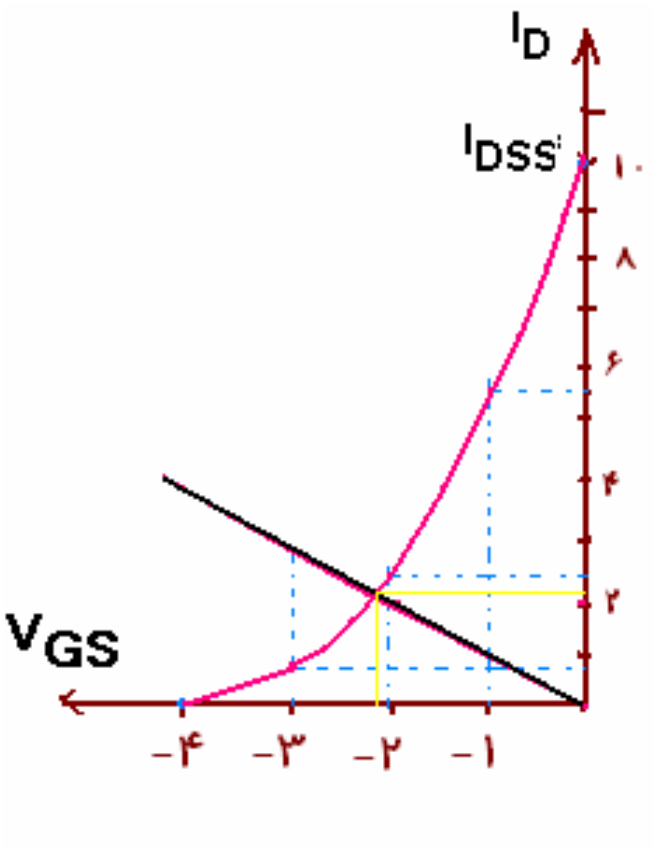
$$\Rightarrow {I_D}^2 - 9.6 I_D + 16 = 0 \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 7.445\, mA \\ I_{D2} = 2.145\, mA \end{cases}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) I_D = 12 - (2+1) \times 2.145 = 5.57 v$$

$$V_G = 0 \ , V_S = R_S I_D = 1 \times 2.145 = 2.145 v$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = -2.145 v$$

$$V_D = V_{DS} + V_S = 5.57 + 2.145 = 7.715 v$$



محاسبه جریان درین بارسم:

- ابتدامنحنی مشخصه انتقالی ترانزیستوررا رسم کنید.
- معادله V_{GS}را روی آن ترسیم کنید.
- محل تقاطع جریان درین و V_{GS} محاسبه می شود.
- نقطه تقاطع روی محورهاتصویر کنید

$$I_{D1} = 2.145 \ mA$$

$$V_{GS} = -2.145 \ v$$

نکات بسیار مهم

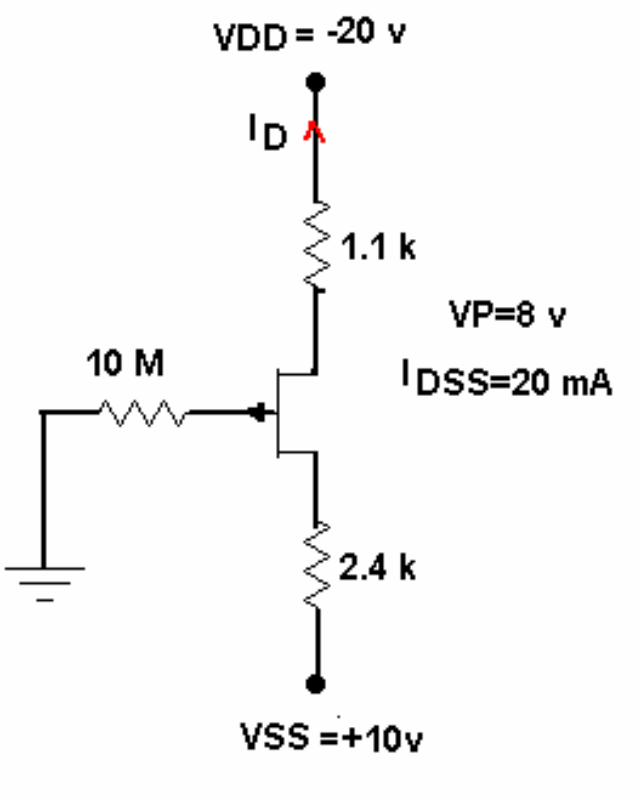
$$0 \le I_D \le I_{DSS}$$

$$|V_{GS}| \le |V_P|$$

$$N \ canal \Rightarrow V_{DS} \ge 0$$

$$P \ canal \Rightarrow V_{DS} \le 0$$

مثال:نقطه کارو ولتاژپایه هارابدست آورید؟



$$+V_{GS} - R_S \times I_D + V_{SS} \Rightarrow V_{GS} = 2.4 I_D - 10$$

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \Rightarrow I_D = 20\left(1 - \frac{2.4 I_D - 10}{8}\right)^2$$

$$\Rightarrow 5.76 {I_D}^2 - 83.2 I_D + 324 = 0 \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 9.244\ mA \\ I_{D2} = 5.2 mA \end{cases}$$

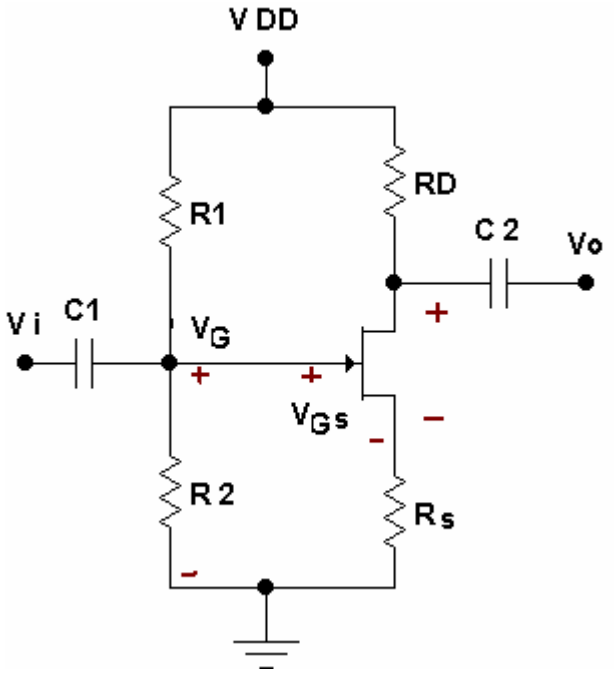
$$V_{GS} = 2.4 I_D - 10 = 2.4 \times 5.2 - 10 = 2.48 v$$

$$-V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} + R_S I_D + V_{SS} = 0$$

$$20 + 2.4 \times 5.2 + V_{DS} + 1.1 \times 5.2 + 10 = 0$$

$$V_{DS} = -11 v$$

مدار تغذیه FETبامقسم ولتاژ



$$V_G = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{DD}$$

$$V_{GS} = V_G - R_S I_D \quad , I_D = I_{DSS}\,(1 - \frac{V_{GS}}{V_P})^2$$

$$I_D = I_{DSS}\,(1 - \frac{V_G - R_S I_D}{V_P})^2 \quad \Rightarrow \quad I_D = ?$$

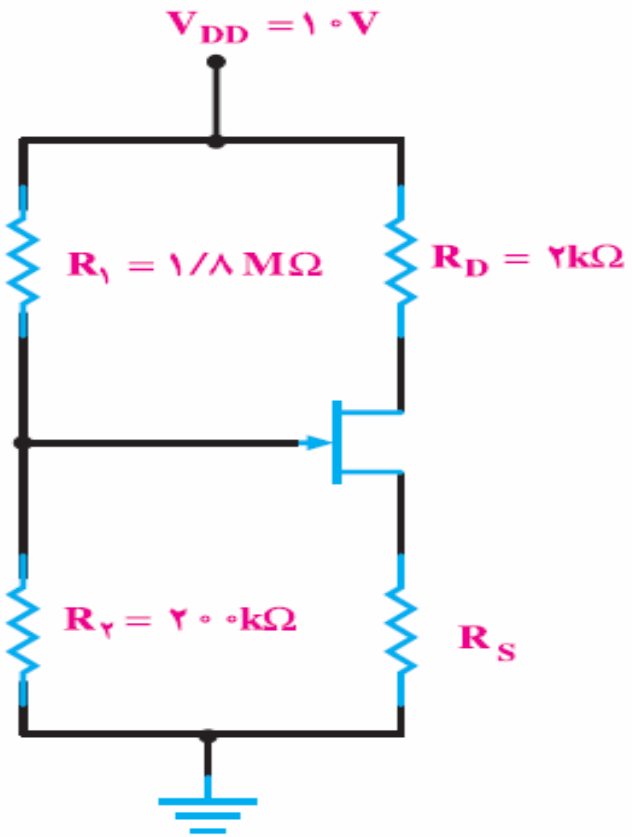
$$kvl : -V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} + R_S I_D = 0$$

$$V_{DS} = V_{DD} - (R_D + R_S) I_D$$

۱۳ــ اگر در شکل ۲۹ــ۳با فرض $I_{DSS} = ۱۰mA$ $V_{GS(off)} = -۵V$ باشد :

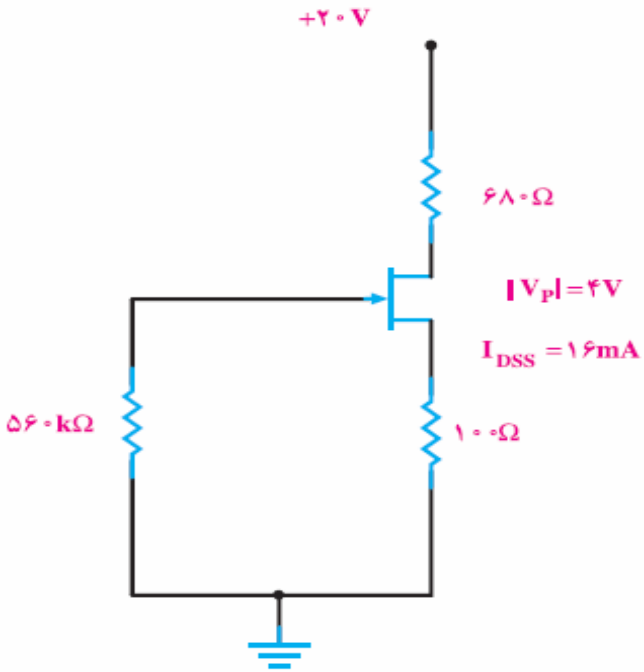
الف ــ مقاومت R_S را طوری محاسبه کنید که $|V_{GS}| = ۳V$ شود.

ب ــ مقدار ولتاژ V_{DS} چند ولت است؟



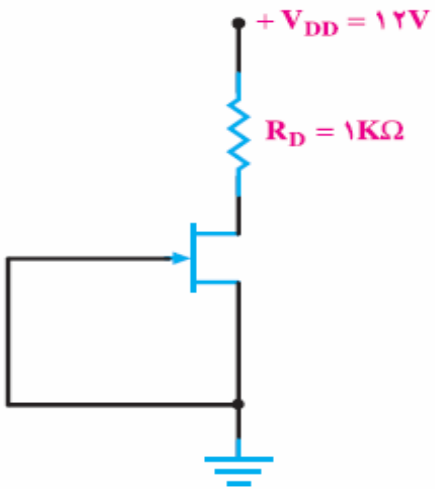
شکل ۲۹ــ۳

۱۴ــ نقطه‌ی کار ترانزیستور شکل ۳۰ــ۳ را به دست آورید.



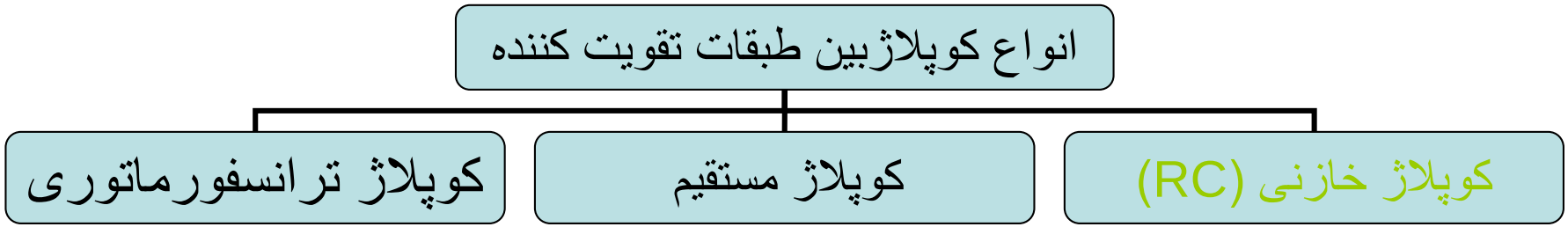
شکل ۳۰ــ۳

۱۵ــ در شکل ۳۱ــ۳ با فرض $V_P = -5V$ و $I_{DSS} = 8mA$ ، توان تلف شده در ترانزیستور چند میلی‌وات است($P_Q = I_D \times V_{DS} = ?$) .



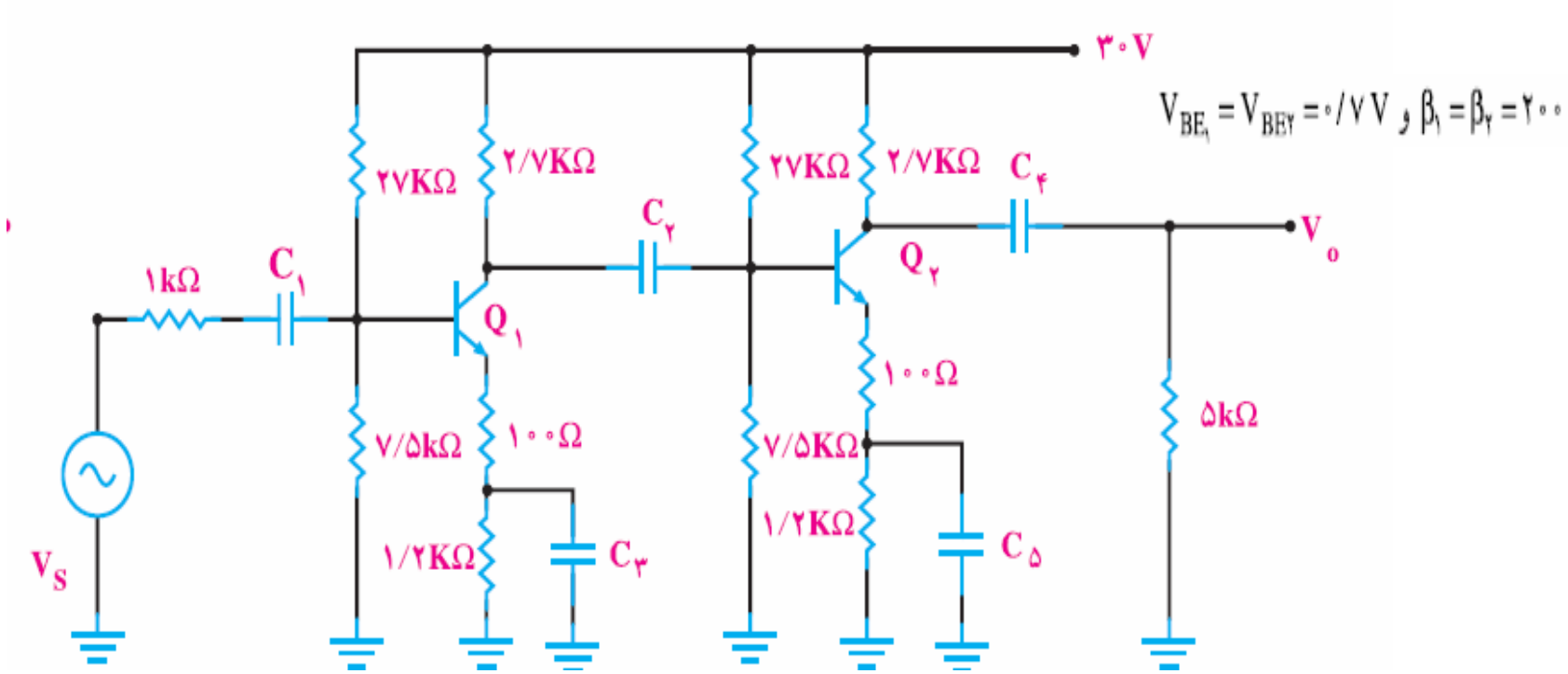
شکل ۳۱ــ۳

کوپلاژ : **عمل اتصال بین طبقات تقویت کننده چند طبقه را گویند**



- **کوپلاژ خازنی :در این حالت اتصال بین طبقات توسط خازن صورت می گیرد.چون خازن همراه مقاومت بکار گرفته می شود کوپلاژ RC گویند.**
- **کوپلاژمستقیم :ارتباط بین طبقات توسط هادی صورت می گیرد.**
- **کوپلاژترانسی:ارتباط بین طبقات توسط ترانسهای دوسیم پیچ مجزا صورت می گیرد.**

- شکل زیر یک تقویت کننده دوطبقه رانشان می دهدکه توسط کوپلاژخازنی به هم ارتباط دارند.
- خازن مانع عبور ولتاژDC از یک طبقه به طبقه دیگر خواهد شد.در نتیجه نقطه کار ترانزیستورها مستقل از یکدیگرندباید بطور جداگانه حساب نمود.
- تمرین :درشکل زیرنوع بایاس وآرایش ترانزیستورها را پیدا کنید؟مشخصات نقطه کار هرکدام را بدست آورید؟
- تمرین:ظرفیت خازنهای کوپلاژ چگونه محاسبه می شوند؟



عیوب کوپلاژ خازنی

- درفرکانسهای کار کم ،راکتانس خازنی زیاد بوده وافت شدیدی در سیگنال ایجاد می شود.
- بعلت استفاده زیاد از مقاومتها تلفات در مدار زیاد است.

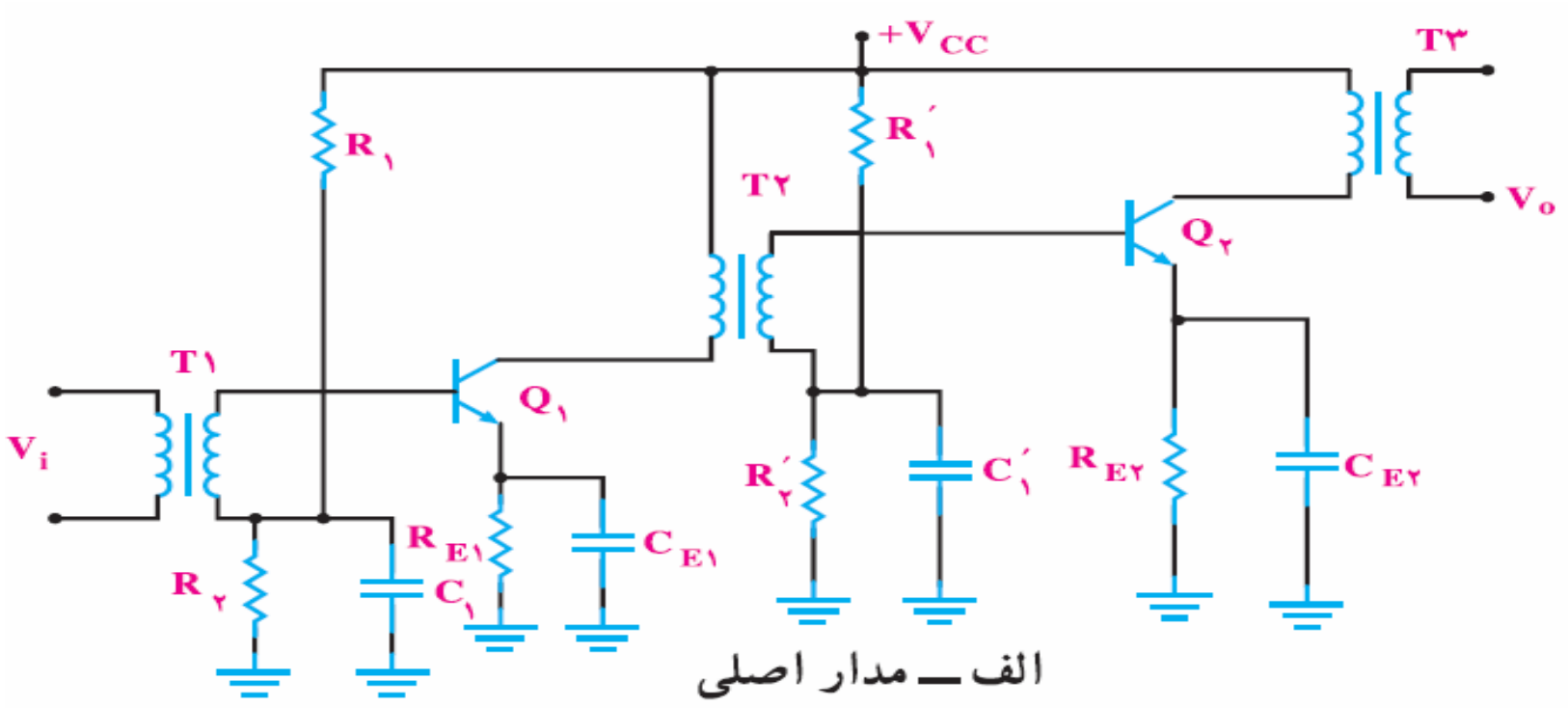
این نوع کوپلاژ

در تقویت کننده های قدرت کم

استفاده می شود.

- جهت برطرف کردن عیبهای کوپلاژRC از ترانسفورماتور استفاده می شود.
- در اینگونه مدارات نیز نقاط کار ترانزیستورهامستقل از یکدیگرند.

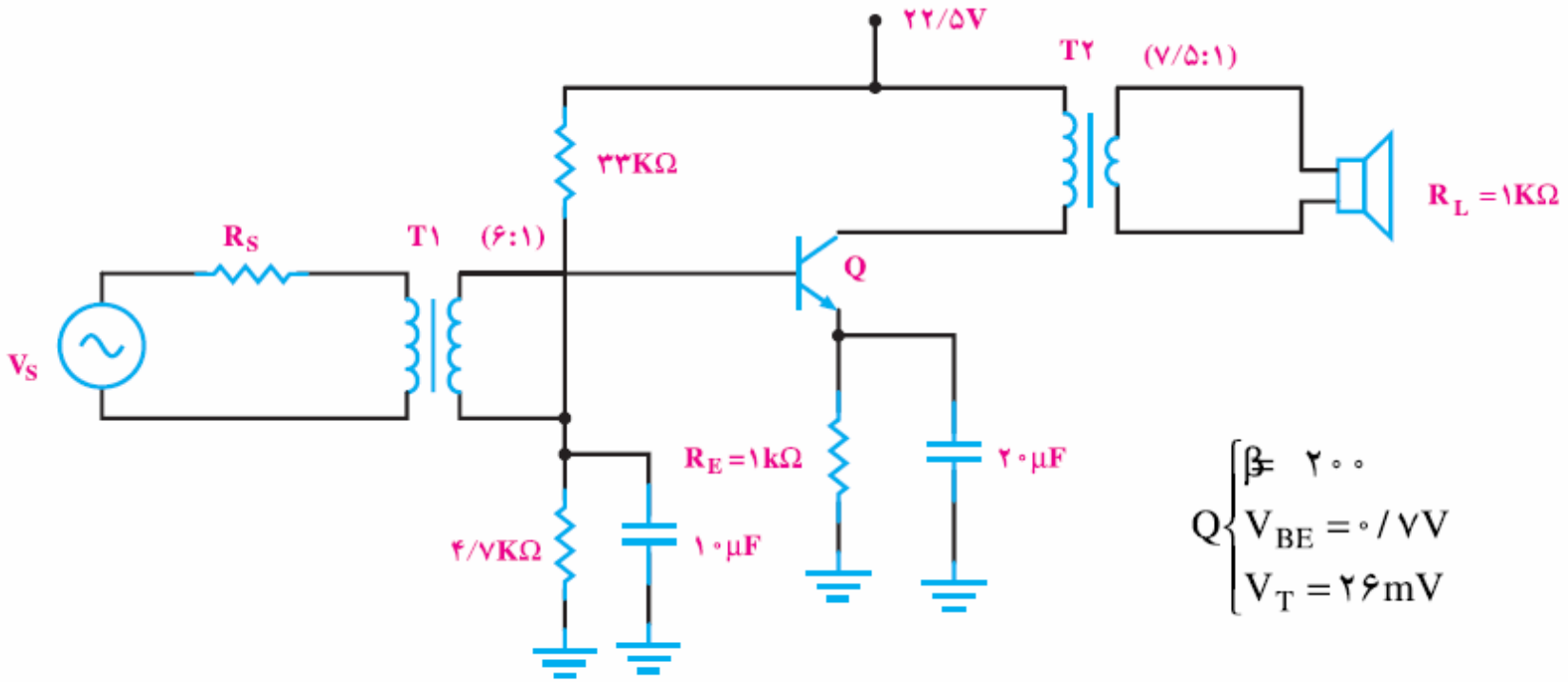
عیوب این نوع کوپلاژ: حجم زیاد مدار وبزرگ شدن کیت الکترونیکی-افزایش قیمت مدار بخاطر وجود ترانس –پاسخ بد فرکانسی مدار در فرکانسهای پائین



الف ــ مدار اصلی

مثال ۴: در شکل ۹ــ۴ اگر ترانسفورماتورها ایده‌آل فرض شوند، اولاً جریان نقطه‌ی کار ترانزیستور را محاسبه کنید.

ثانیاً برای انتقال حداکثر توان از منبع V_S به‌بار R_L امپدانس اوّلیه‌ی ترانسفورماتورهای T_1 و T_2 را به‌دست آورید.



شکل ۹ــ۴

راه حل:

$$V_B = ۲۲/۵ \times \frac{۴/۷}{۴/۷ + ۳۳} = ۲/۸\ V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = ۲/۸ - ۰/۷ = ۲/۱\ V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{۲/۱}{۱} = ۲/۱ mA \Rightarrow I_C \approx I_E = ۲/۱ mA$$

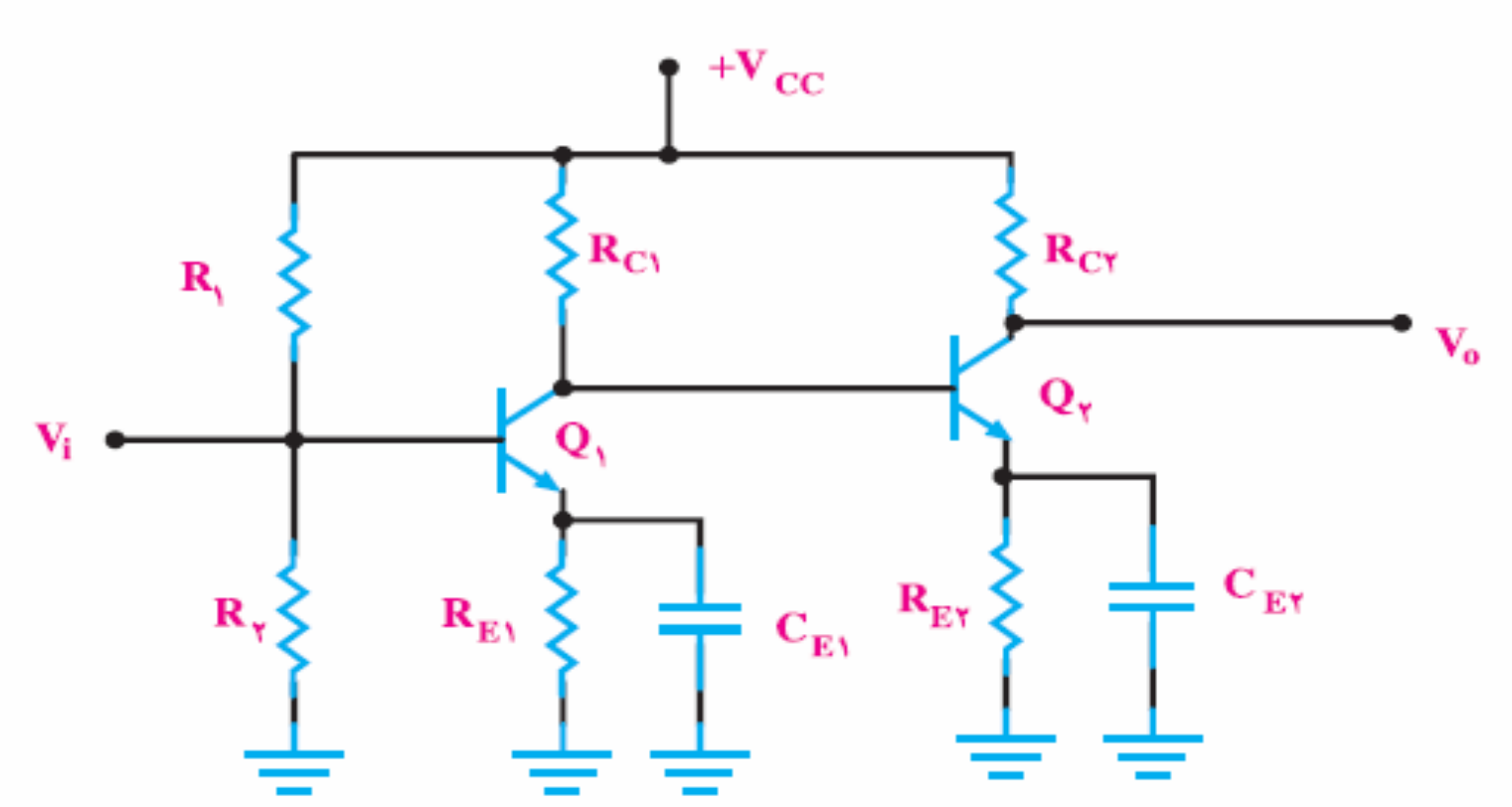
ترانس $T_۲$

$$\begin{cases} Z_S = R_L = ۱ k\Omega \\ Z_P = Z_S \times (۷/۵)^۲ = ۱ \times (۷/۵)^۲ = ۵۶/۲۵ k\Omega \end{cases}$$

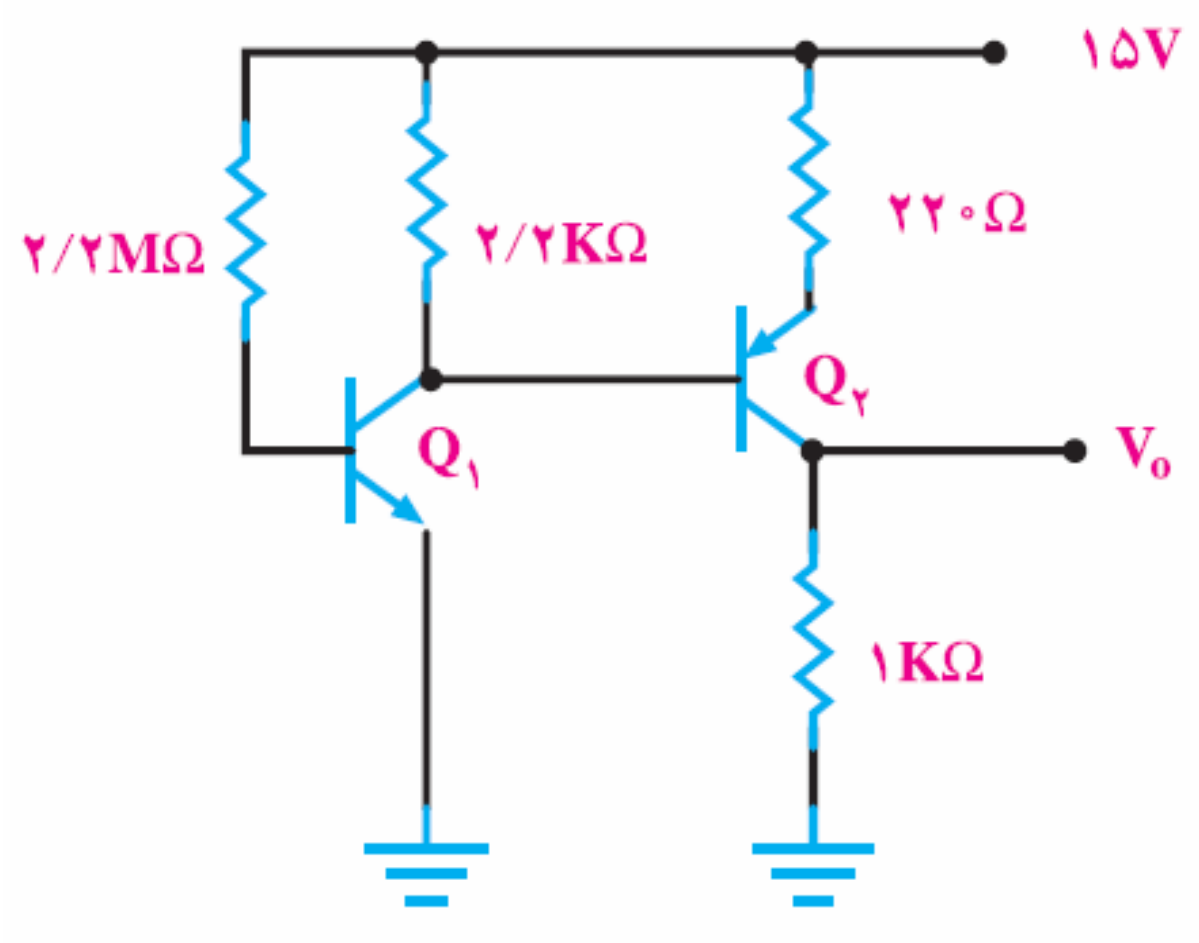
ترانس $T_۱$

$$\begin{cases} Z_S = r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \beta \times \frac{۲۶}{I_C} = ۲۰۰ \times \frac{۲۶}{۲/۱} \approx ۲/۵ k\Omega \\ Z_P = ۲/۵ \times (۶)^۲ = ۹۰ k\Omega \end{cases}$$

- شکل زیر یک تقویت کننده دوطبقه با کوپلاژمستقیم است.
- اتصال مستقیم بین طبقات (بدون هیچ واسطه)وجود دارد.
- نقاط کار ترانزیستورها به هم وابسته است.باید جهت تعیین مشخصات نقطه کار ترانزیستورها معادلات را با هم وبطور ادغامی نوشت.



مثال ۵: در شکل ۱۱ــ۴ با فرض $\beta_1 = \beta_2 = ۲۰۰$ و $|V_{BE}| = ۰/۶V$، مقدار ولتاژ V_o چه‌قدر است؟



راه حل: روش تقریبی

$$I_{B_1} = \frac{۱۵ - ۰/۶}{۲/۲} = ۶/۵۴\mu A$$

$$I_{C_1} = \beta I_{B_1} = ۶/۵۴ \times ۲۰۰ = ۱/۳ mA$$

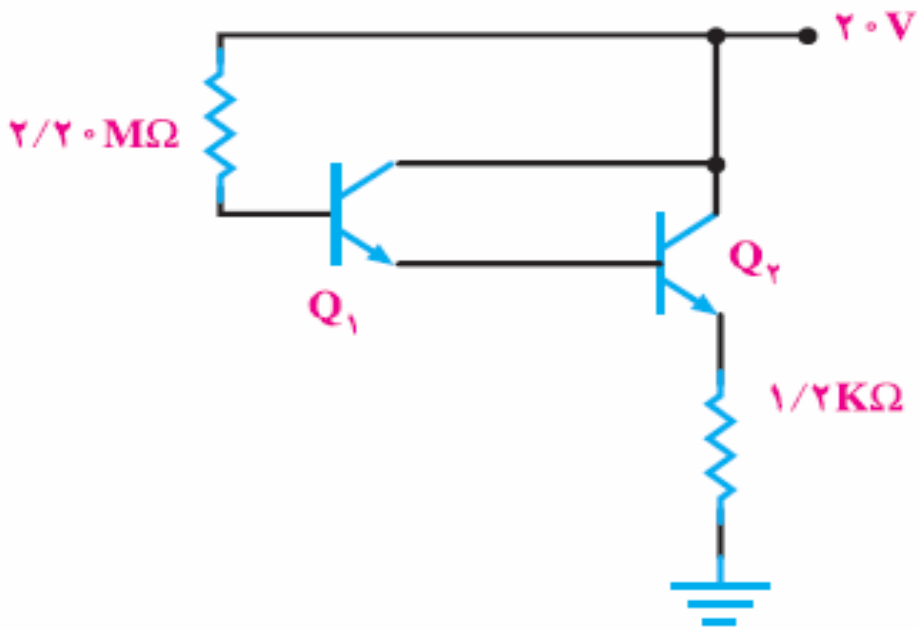
$$۲/۲ \times ۱/۳ = ۰/۶ + ۰/۲۲ I_{C_2} \Rightarrow I_{C_2} = ۱۰/۲۷ mA$$

$$V_o = ۱۰/۲۷ \times ۱ = ۱۰/۲۷ \quad \text{ولت}$$

- **راه حل به روش دقیق:**

تمرین:

با فرض $\beta_1 = \beta_2 = 50$ و $V_{BE_1} = V_{BE_2} = 0/7V$ چه‌قدرتی در ترانزیستور Q_2 تلف می شود.

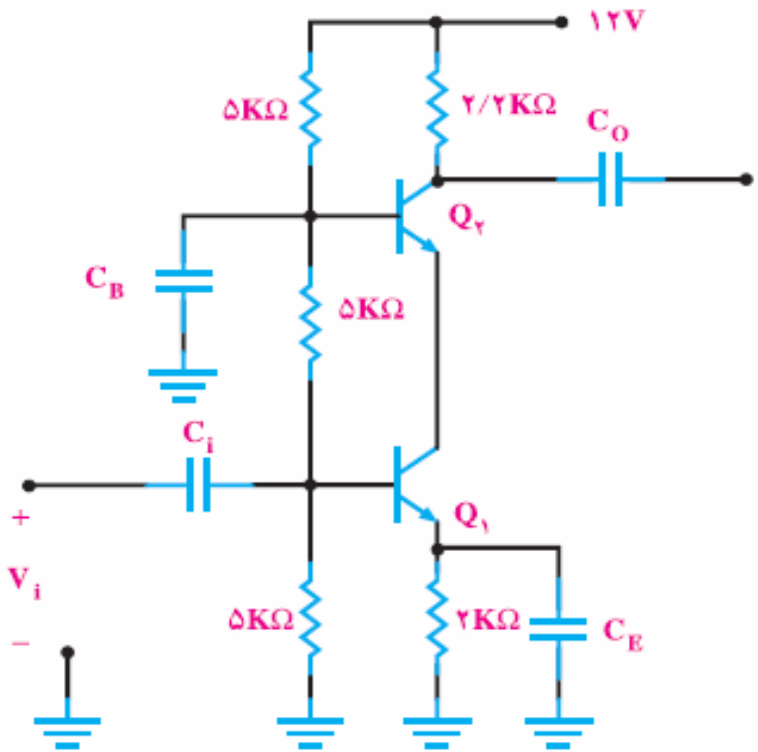


مثال ۷: در شکل ۱۹ــ۴ با فرض $\beta_1 = \beta_2 = ۱۲۰$ و $V_{BE_1} = V_{BE_2} = ۰/۷V$ قدرت تلف شده در هر ترانزیستور را محاسبه کنید.

راه حل:

$$V_{B_1} = \frac{۵}{۵+۱۰} \times ۱۲ = ۴V \Rightarrow V_{B_2} = ۲ \times ۴ = ۸V$$

$$I_{E_1} = I_{E_2} = I_{C_1} = I_{C_2} = \frac{V_{B_1} - ۰/۷}{۲} = \frac{۴ - ۰/۷}{۲} = ۱/۶۵mA$$



$V_{C_1} = V_{B_2} - ۰/۷ = ۸ - ۰/۷ = ۷/۳$ ولت

$V_{C_2} = ۱۲ - ۲/۲ \times ۱/۶۵ = ۸/۳۷ V$

$V_{E_1} = ۴ - ۰/۷ = ۳/۳ V$

$V_{CE_1} = ۷/۳ - ۳/۳ = ۴ V$

$V_{CE_2} = ۸/۳۷ - ۷/۳ = ۱/۰۷ V$

$P_{Q_1} = V_{CE_1} \times Ic_1 = ۴ \times ۱/۶۵ = ۶/۶ mW$

$P_{Q_2} = V_{CE_2} \times Ic_2 = ۱/۰۷ \times ۱/۶۵ = ۱/۷۶۵۵ mw$