مسیح سبحانی

الکترونیک ۲

دکتر علی زاده

الکترونیک ۱

دکتر علیزاده

Subject: ..... Date: .....

Mo Tu We Th Fr Sa Su

- قطعات نیمه هادی: «

ساخت هر دستگاه الکترونیکی حالت جامد گسسته («منفرد یا ساختار کریستالی ساخت») یا مدار مجتمع با استفاده از مواد و قطعات نیمه هادی با بالاترین کیفیت انجام خواهد شد.

⟸ نیمه هادی ها دسته خاصی از عناصر هستند که رسانایی آنها بیشتر عایق ها و کمتر از هادی ها است.»

به طور کلی مواد نیمه رسانا به یکی از دو دسته زیر تقسیم می شوند: «

۱) تک بلوری یا تک کریستال

۲) ترکیبی یا مرکب

نیمه هادی های تک کریستالی مانند ژرمانیوم Ge و سیلیکون Si ساختاری کریستالی تکراری دارند، در حالی که نیمه هادی های ترکیبی یا مرکب مانند گالیم آرسنید GaAs، سولفید کادمیوم CdS، نیترید گالیم GaN و گالیم ارسنید فوسفاید GaPsphide از دو یا چند ماده نیمه هادی با ساختار های اتمی مختلف ساخته شده اند.» سه نیمه هادی پرکاربرد در ساخت وسایل الکترونیکی استفاده می شوند عبارتند از: سیلیسیوم، ژرمانیوم و گالیم آرسنید.

- تقسیم بندی مواد از لحاظ رسانایی یا هدایت الکتریکی: «

- هادی ها یا رسانا: « یا اتمال یک منیم ولتاژ با دامنه محدود به دو ترمینال آن جریان قابل توجهی ایجاد می شود، عناصر گروه دوم و سوم و به طور کلی فلزات از این دسته هستند.»

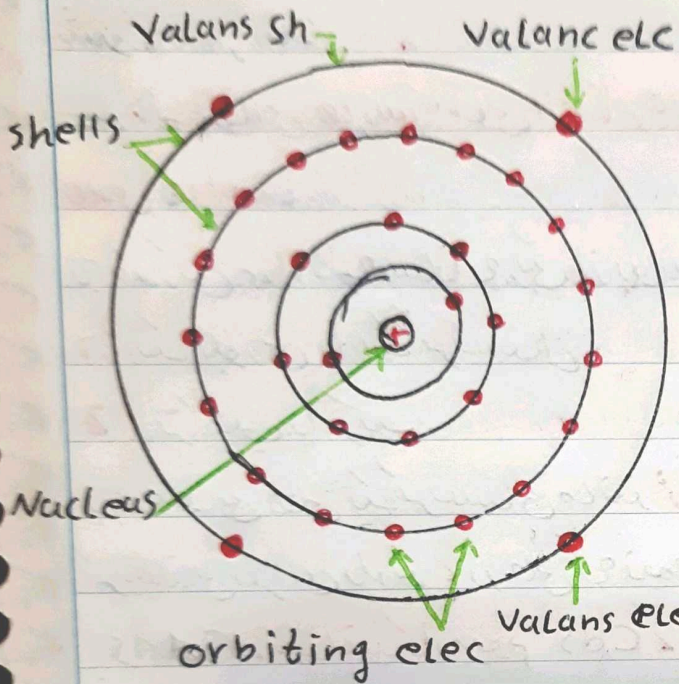
- نیمه هادی ها: « ماده ای است که سطح هدایتش بین هادی ها و عایق ها است و عناصر گروه چهارم جدول تناوبی مانند کربن، سیلیسیوم و ژرمانیوم.»

- عایق ها یا نارسانا ها: « ماده ای است که تحت فشار حاصل از یک منیم ولتاژ اعمال شده و این گونه عناصر سطح پایینی از هدایت را ارائه می کنند و عناصر گروه های پنجم و بالاتر مثل هوا از این عناصرند.»

Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date:.....

- ساختار اتمی و پیوندهای ذاتی :

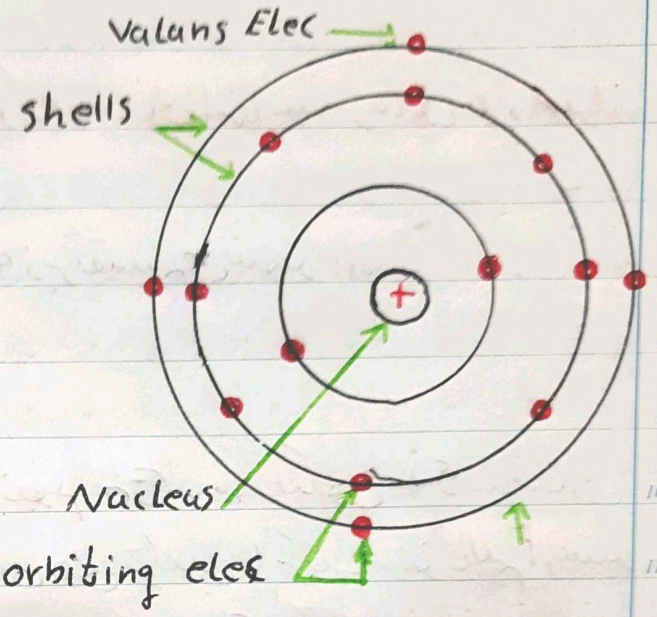
هسته اتم ثابت است و الکترون ها در اطراف آن در حال حرکت اند، الکترون های لایه ظرفیت یا والانس نقش مهمی در هدایت الکتریکی اجسام دارند



- Germanium -

«32 orbiting electrons»

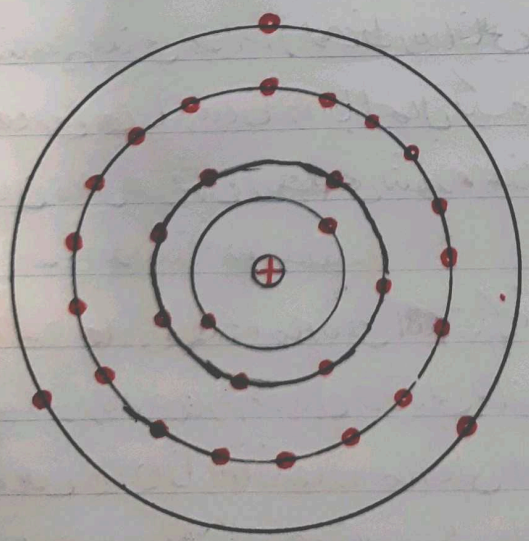
«4 Valance elec»



- silicon -

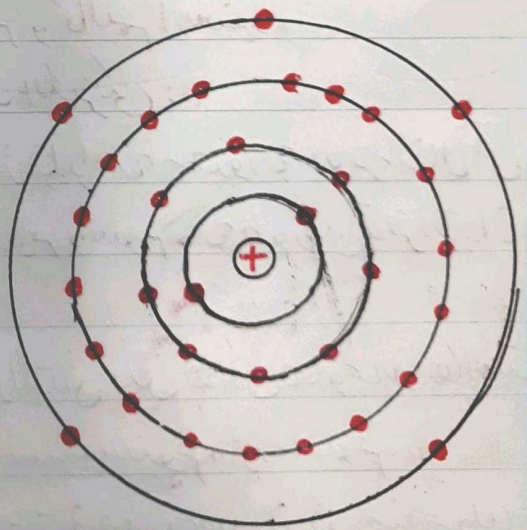
«14 orbitig electrons»

«4 valance elec»



- Gallium -

«Three valance elec»



- Arsenic -

«Five valance elec»

HADIYEH

Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date: .....

همانطور که در شکل های صفحه قبلی مشاهده می کنید سیلیکون دارای 14 الکترون در مدار است و ژرمانیوم دارای 32 الکترون است ، گالیوم دارای 31 الکترون و آرسنید دارای 33 الکترون در مدار است ((آرسنید که یک عنصر شیمیایی بسیار مهم است)) . برای ژرمانیوم و سیلیکون چهار الکترون در بیرونی ترین پوسته وجود دارد که به آنها **الکترون های ظرفیتی** گفته می شود . گالیوم دارای 3 ظرفیت است و آرسنید دارای 5 الکترون ظرفیت است ، اتم هایی که دارای چهار الکترون هستند ((ظرفیتی)) اتم های **چهار ظرفیتی** و اتم هایی که دارای سه الکترون ظرفیت هستند اتم های **سه ظرفیتی** و اتم هایی که دارای پنج الکترون ظرفیت هستند اتم های **پنج ظرفیتی** می نامند ، اصطلاح ظرفیت برای نشان دادن **پتانسیل یا پتانسیل یونازیساسیون** استفاده می شوند .

یک نکته مهم این است که هر چقدر که الکترون از هسته دورتر باشد برای جداسازی آن به انرژی کمتری نیاز داریم ، در واقع در ساختمان اتم چیزی که باعث پایداری اتم می شود نیرو و انرژی است که هسته به الکترون ها وارد می کند و آنها را در قید خودش نگه می دارد و طبیعتا هر چقدر که الکترون ها از هسته دور باشند و در مدارات بالاتری قرار گرفته باشند ، برای آزادسازی الکترون انرژی کمتری نیاز داریم و به صورت کلی هر چقدر که به سمت رابه های بالاتر حرکت کنیم **طول موج** الکترون در رابه های بالاتر بیشتر خواهد شد . چند رابطه مهم برای بدست آوردن پارامترهای اتم به صورت زیر هستند :

Electron energy

$$E = \frac{-13.6\ eV}{n^2}$$

$$r = n^2 a_0$$

Orbits radius

electron wave

$$\lambda = 2\pi n a_0$$

$$a_0 = 0.0529\ nm$$

Bohr radios

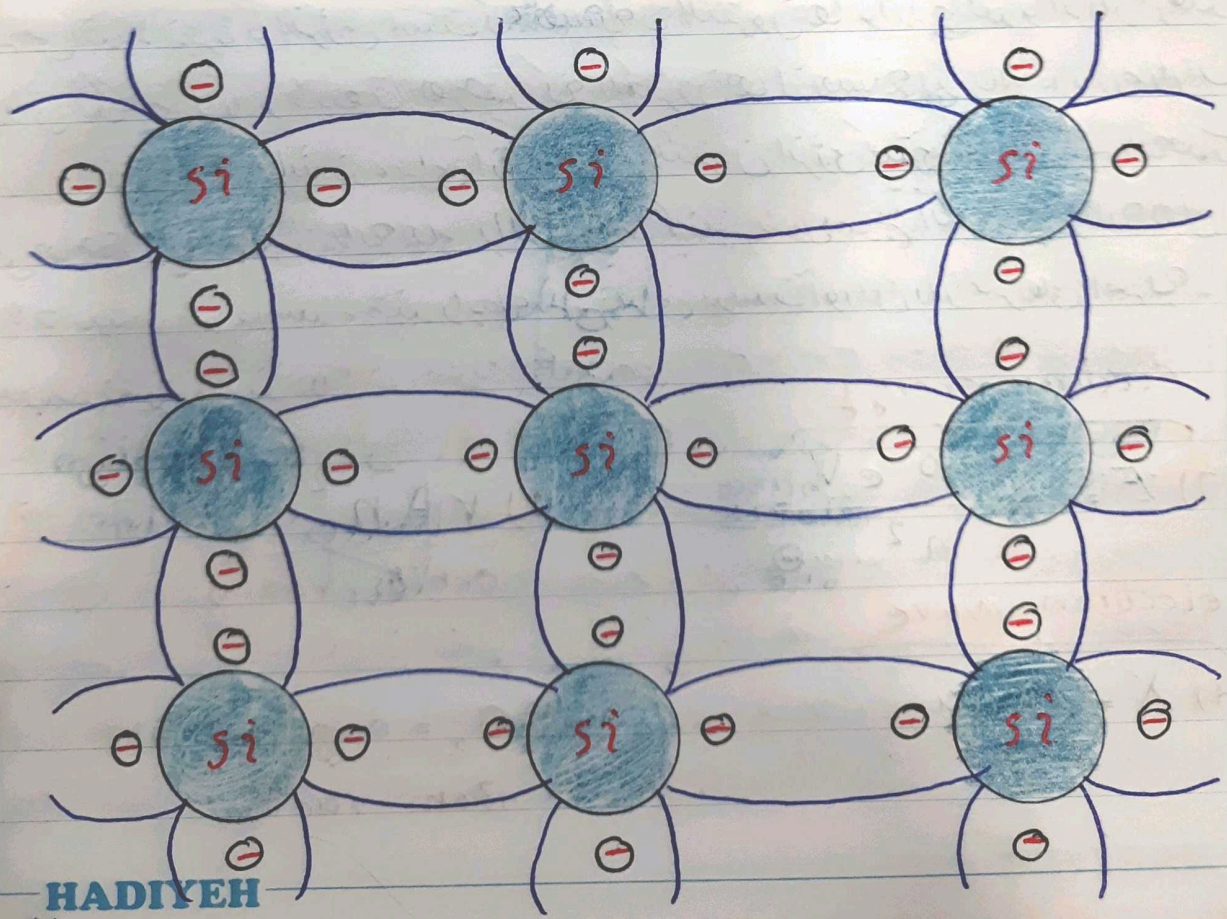
Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date:.....

نکته 1) ژرمانیوم در طبیعت برخلاف سیلیسیوم به وفور یافت نمی‌شود به همین دلیل از سیلیسیوم در ساخت نیمه‌هادی‌ها استفاده می‌کنیم، همچنین برای ساخت IC ها از گالیم آرسنید استفاده می‌شود.

نکته 2) از ویژگی هایی که نیمه‌هادی‌ها نسبت به هادی‌ها دارند این است که هدایت الکتریکی نیمه‌هادی‌ها را می‌توان تحت کنترل درآورد که همین ویژگی باعث شده که بسیاری از ادوات نیمه‌هادی مثل دیودها، ترانزیستورها و... از اتم‌های نیمه‌هادی مانند سیلیسیوم، ژرمانیوم، کربن و... ساخته شوند.

نکته 3) نیمه‌هادی‌ها دارای، الکترون در لایه ظرفیت هستند، در دمای صفر کلوین عایق و در دمای معمولی محیط تقریبا رسانا هستند چرا که در دمای معمولی به دلیل گرمای محیط الکترون‌ها انرژی لازم برای فرار از قید هسته را پیدا می‌کنند.

= پیوند کوالانسی اتم سیلیکون 14

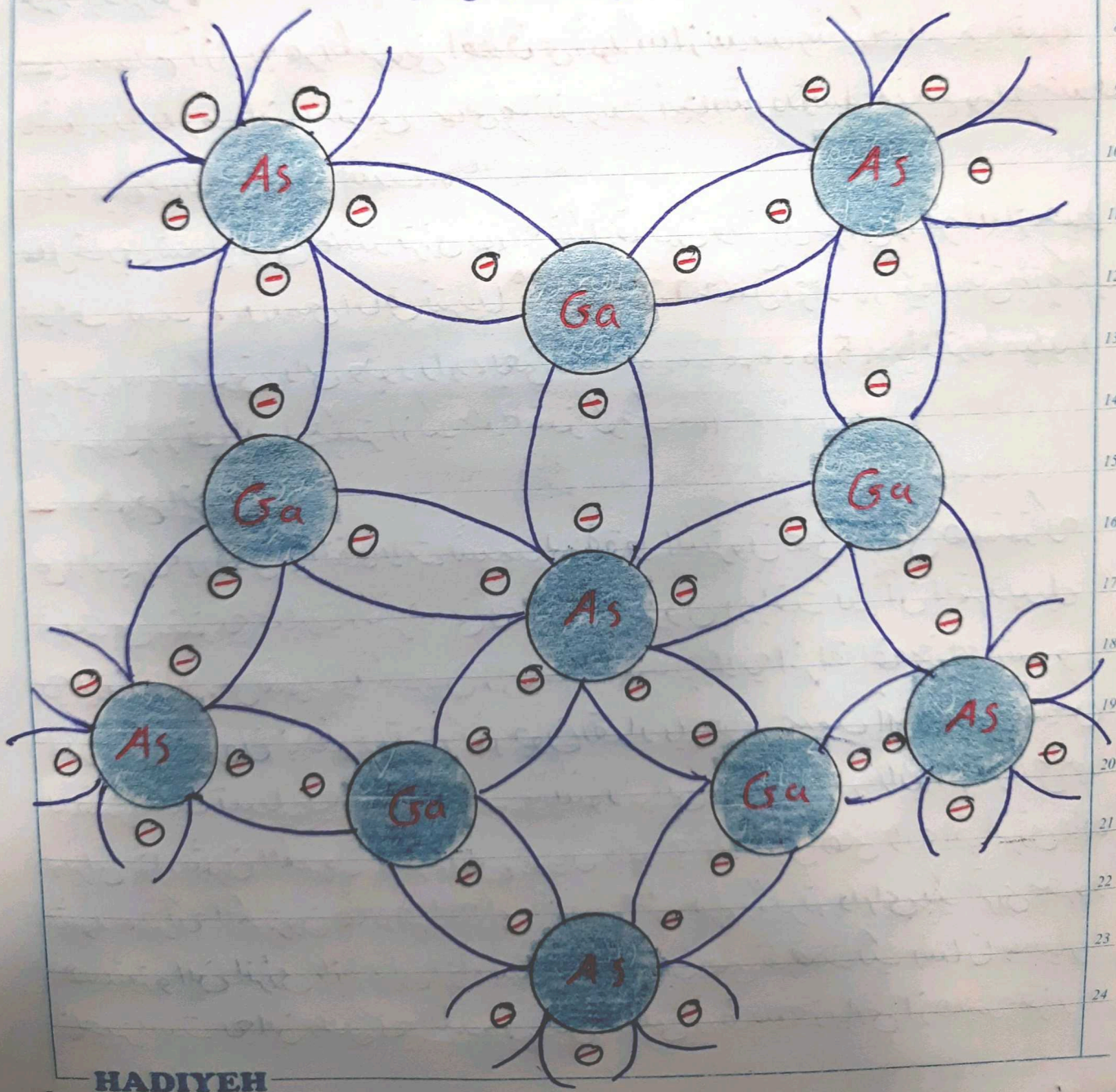


HADIYEH

همانطورکه در شکل صفحه قبل مشاهده می کنید در یک کریستال سیلیکون ویا ژرمانیوم خالص چهار الکترون ظرفیت یک اتم آرایش پیوندی با چهار اتم مجاور تشکیل می دهند.

⇐ این پیوند اتم ها که با اشتراک الکترون ها تقویت می شود، پیوند کوالانسی نامیده می شود.

از انجایی که گالیم ارسنید یک نیمه های مرکب است بین دو اتم مختلف اشتراک وجود دارد، همانطورکه در شکل زیر مشاهده می کنید.



Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date: .....

هر اتم گالیم یا آرسنیک، توسط اتم‌هایی از نوع مکمل احاطه شده است و هنوز اشتراک الکترون‌هایی مشابه ساختار Ge و Si وجود دارد، اما اکنون پنج الکترون توسط اتم As و سه الکترون توسط اتم Ga ایجاد می‌شود.

اگرچه پیوند کوالانسی منجر به پیوند قوی‌تری بین الکترون‌های ظرفیت و اتم مادر امنا می‌شود، هنوز هم ممکن است الکترون‌های ظرفیت انرژی جنبشی کافی را از علل طبیعی خارجی جذب کنند تا پیوند کوالانسی را بشکنند و حامل آزاد را به خود بگیرند.

= اصطلاح آزاد به هر الکترونی اطلاق می‌شود که از ساختار شبکه ثابت جدا شده باشد و به هر صیدان الکتریکی اعمالی مانند ولتاژ ایجاد شده توسط منابع و یا هر اختلاف پتانسیل بسیار حساس است.

علل خارجی شامل اثراتی مانند انرژی نور به شکل فوتون و انرژی حرارتی (گرما) از محیط اطراف است. دمای اتاق تقریبا 6.5×10^{9} حامل آزاد در یک سانتی متر مکعب از مواد سیلیکونی ذاتی وجود دارد، یعنی 15,000,000,000 یا پانزده میلیارد الکترون در فضایی کوچکتر از یک حبه قند کوچک.

- سطوح انرژی:

می دانیم که در فعل و انفعالات شیمیایی فقط الکترون‌های ظرفیتی هستند که شرکت می‌کنند به عبارت دیگر زمانی که اتمی الکترون دریافت کند آن اتم تبدیل به یون منفی می‌شود و الکترون دریافت شده به لایه اتر اضافه خواهد شد و اگر اتمی الکترون بدهد یا آزاد کند چون تعداد بارهای مثبت آن از منفی‌هایش بیشتر است تبدیل به یون مثبت می‌شود و این الکترون از لایه اتر آزاد می‌شود و برای آزاد شدن الکترون و برقراری جریان باید به الکترون‌های لایه اتر انرژی داده شود، چرا که الکترون‌ها در هر لایه‌ای از هسته که قرار بگیرند دارای یک انرژی محدود هستند و این انرژی لازم برای آزادسازی الکترون‌های ظرفیت یک اسناد بسیار ناچیز است به این دلیل که الکترون‌های ظرفیتی در فاصله زیادی از هسته قرار

HADIYEH

دارند و انرژی کمی دارند و ما می توانیم با اعمال همان مقدار انرژی کم این الکترون ها را به صورت الکترون های آزاد تبدیل کنیم، اگر مدارها را در نظر بگیریم انرژی لازم برای آزادسازی الکترون ظرفیتی مدارها بسیار زیاد است.

⟸ هرچه یک الکترون از هسته دورتر باشد حالت انرژی بالاتر است و هر الکترونی که اتم مدار خود را ترک کرده باشد از هر الکترونی که در ساختار اتمی هستند حالت انرژی بالاتری دارند.

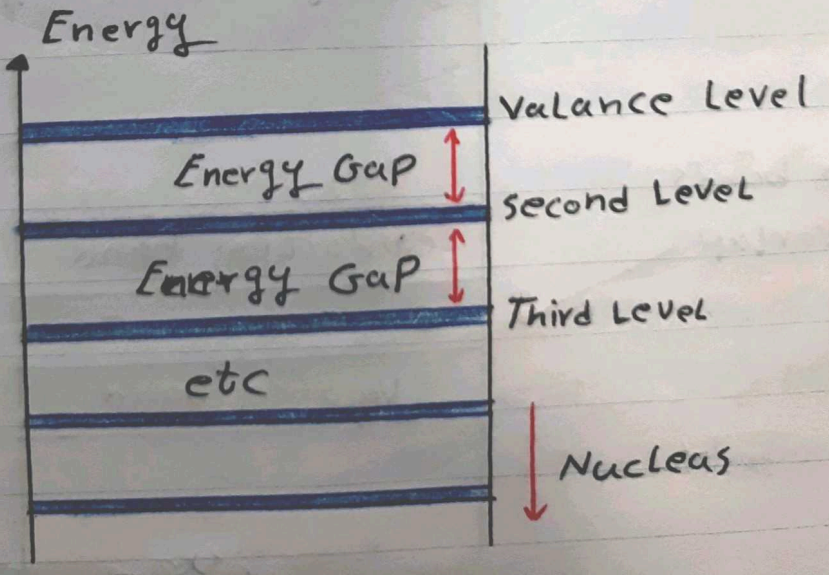
ما برای اینکه یک ابزار ریاضی به جهت مقایسه رسانایی اتم های مختلف داشته باشیم از باندهای انرژی استفاده می کنیم:

1) باند ظرفیت: اولین باند باند ظرفیت است، در این باند الکترون های دارای آخر با تحریک انرژی خارجی از هسته جدا می شوند و به صورت الکترون آزاد درمی آیند که باعث ایجاد جریان می شوند.

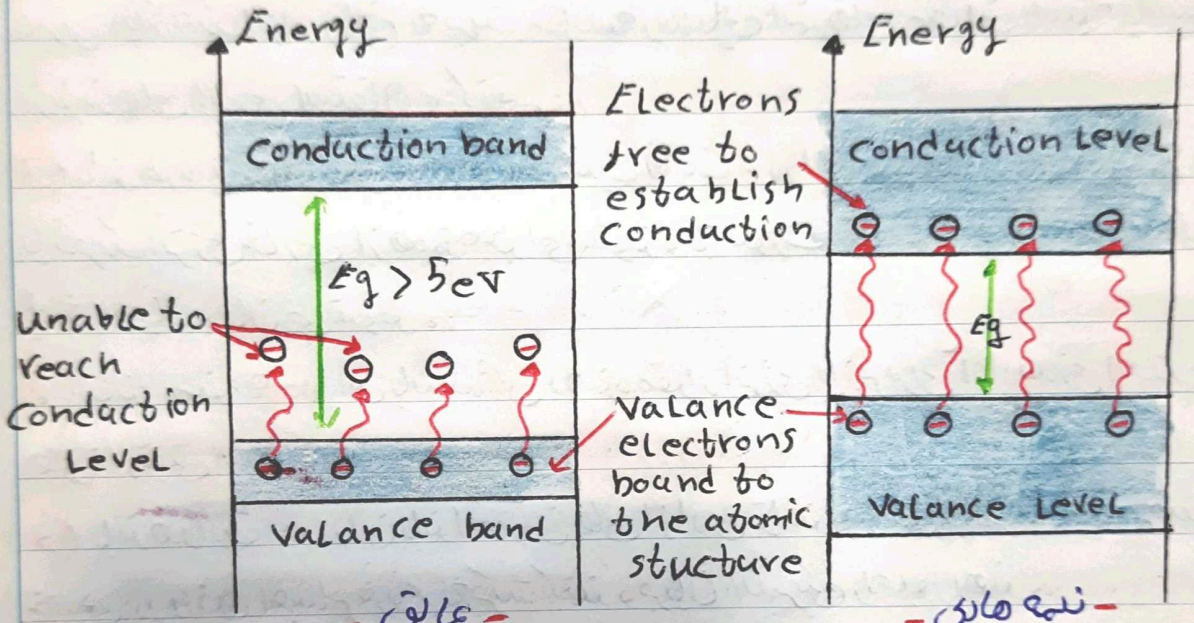
2) باند ممنوعه: این باند نشان دهنده مقدار انرژی لازم برای آزادسازی الکترون های ظرفیتی است.

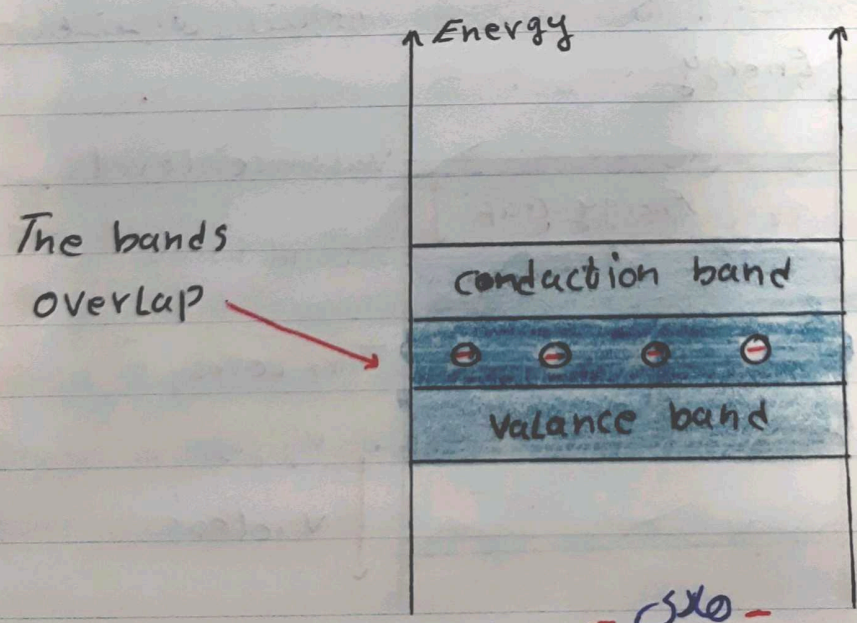
3) باند هدایت: در این باند الکترون های آزاد می توانند به راحتی با تحریک میدان الکتریکی خارجی در داخل اجسام شروع به حرکت کنند و جریان الکتریکی را عبور دهند.

به شکل زیر دقت کنید:



در شکل صفحه قبل توجه داشته باشید که فقط سطوح انرژی خاص می‌توانند برای الکترون‌ها در ساختار اتمی یک اتم ایزوله وجود داشته باشد، نتیجه یک سری شکاف بین سطوح مجاز انرژی است که در آن حامل‌ها مجاز نیستند، با این حال هنگامی که اتم‌های یک ماده به هم نزدیک می‌شوند تا ساختار شبکه بلوری را تشکیل دهند، برهمکنشی بین اتم‌ها وجود دارد که منجر به این می‌شود که الکترون‌های یک پوسته خاص از یک اتم دارای سطوح انرژی کمی متفاوت از الکترون‌های موجود در مدار مشابه باشند.





یک الکترون در باند ظرفیت سیلیکون باید انرژی بیشتری نسبت به یک الکترون در نوار ظرفیت ژرمانیوم جذب کند تا به یک حامل آزاد تبدیل شود، به طور مشابه یک الکترون در باند ظرفیت آرسنید گالیم باید انرژی بیشتری نسبت به یک الکترون در سیلیکون یا ژرمانیوم به دست آورد تا وارد نوار رسانش شود، مقدار انرژی لازم در سه نمونه صفحه قبل برای انتقال الکترون ها از باند ظرفیت به باند هدایت به شرح زیر است:

$$E_g = 0.67\ eV \Rightarrow Ge$$

$$E_g = 1.1\ eV \Rightarrow Si$$

$$E_g = 1.43\ eV \Rightarrow GaAs$$

نکته مهم این است که در های باند ممنوعه نداریم و باند هدایت و ظرفیت با هم یک هم پوشانی دارند، پس می توان گفت که در رسانا ها باند ممنوعه وجود ندارد اما در عایق ها باند ممنوعه بسیار بزرگ خواهد بود که انرژی بسیار زیادی نیاز دارد که الکترون از باند ظرفیت به هدایت منتقل شود، اما در میان های ها و عایق ها نیمه هادی ها قرار دارند که نسبت به های ها دارای باند ممنوعه بزرگتر و نسبت به عایق ها دارای باند ممنوعه کمتری هستند.

انواع نیمه های ها عبارتند از کربن، سیلیسیوم، ژرمانیوم، تلوریم، ژیرکنیوم هافنیوم که هرکدام کاربرد خاص خود را دارند.

نکته ۶) برای رسانایی اجسام و مقایسه رسانایی آنها از مقاومت مخصوص آنها استفاده می کنند در واقع مقاومت مخصوص مقاومت جسمی به سطح مقطع یک سانتی متر مربع و طول یک سانتی متر است:

$$\rho = \frac{RA}{L} = \frac{\Omega \cdot cm^2}{cm} = \Omega \cdot cm$$

Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date: .....

حال بایدیه واحدها و روابط کمیات بپردازیم، مقدار انرژی لازم برای عبور الکترون از اختلاف پتانسیل یک ولت است، این مقدار انرژی را با نام W و رابطه زیر بدست می آوریم:

$$W = QV$$

که این رابطه از معادله تعیین کننده ولتاژ مشتق شده است یعنی $V = W/Q$

پس داریم:

$$W = QV$$
$$= (1.6 \times 10^{-19} C)(1 V)$$
$$= 1.6 \times 10^{-19} J$$

$$\Rightarrow 1eV = 1.6 \times 10^{-19} J$$

$\Rightarrow$ جابجایی بار یک الکترون و اختلاف پتانسیل 1 ولتی منجر به ایجاد یک سطح انرژی می شود که به آن یک الکترون ولت گوییم.

- حوامل هدایت الکتریکی:

1) حفره ها یا حامل های اکثریت
2) الکترون های آزاد و یا حامل های اقلیت
3) افزایش دما

- افزایش هدایت الکتریکی در نیمه هادی ها:

برای افزایش هدایت الکتریکی در نیمه هادی ها دو روش کلی داریم:

1) افزایش دما
2) افزودن ناخالصی یا اصطلاحا Doping

HADIYEH

- انواع نیمه هادی ها:

همانطورکه قبلا اشاره شد، ویژگی های یک ماده نیمه هادی را می توان به طور قابل توجهی با افزودن اتم های ناخالصی خاص به مواد نیمه هادی نسبتا خالص تغییر داد. این ناخالصی ها اگرچه فقط 1 قسمت در 10 قسمت میلیون اضافه می شوند، می توانند مقدار یا حتی ماهیت الکتریکی حامل های بار را تا حد زیادی تغییر دهند که خواص الکتریکی مواد را تا حد زیادی تغییر دهد.

= یک ماده نیمه رسانا که تحت فرایند دوپینگ قرار گرفته است ماده بیرونی نامیده می شود.

به طور کلی دو ماده بیرونی برای ساخت انواع نیمه هادی اهمیت بسیار بالایی دارند که نیمه هادی نوع P و نوع N هستند.

- نیمه هادی نوع n و یا Negative:

با افزودن عنصر پنج ظرفیتی مانند فسفر، آرسنیک، آنتیموان و ... به نیمه هادی 4 الکترون لایه ظرفیت عنصر پنج ظرفیتی با نیمه هادی پیوند اشتراکی تشکیل می دهند و الکترون پنجم به صورت الکترون آزاد باقی می ماند.

- نیمه هادی نوع P و یا Positive:

با افزودن عنصر سه ظرفیتی مانند آلومینیم، گالیم، بور و ... به نیمه هادی سه الکترون لایه ظرفیت عناصر 3 ظرفیتی با نیمه هادی پیوند اشتراکی تشکیل می دهند و پیوند چهارم نیمه هادی دچار کمبود الکترون می شود که آن را حفره می نامیم.

= ناخالصی های منتشر شده با پنج الکترون ظرفیتی را اتم های دهنده می نامند.

نکته 5) درک این نکته مهم است که اگرچه تعداد زیادی حامل آزاد در ماده نوع n ایجاد شده است اما همچنان از نظر الکتریکی خنثی است زیرا در حالت اولیه آن تعداد پروتون های با بار مثبت در هسته ها هنوز با تعداد الکترون ها برابر است

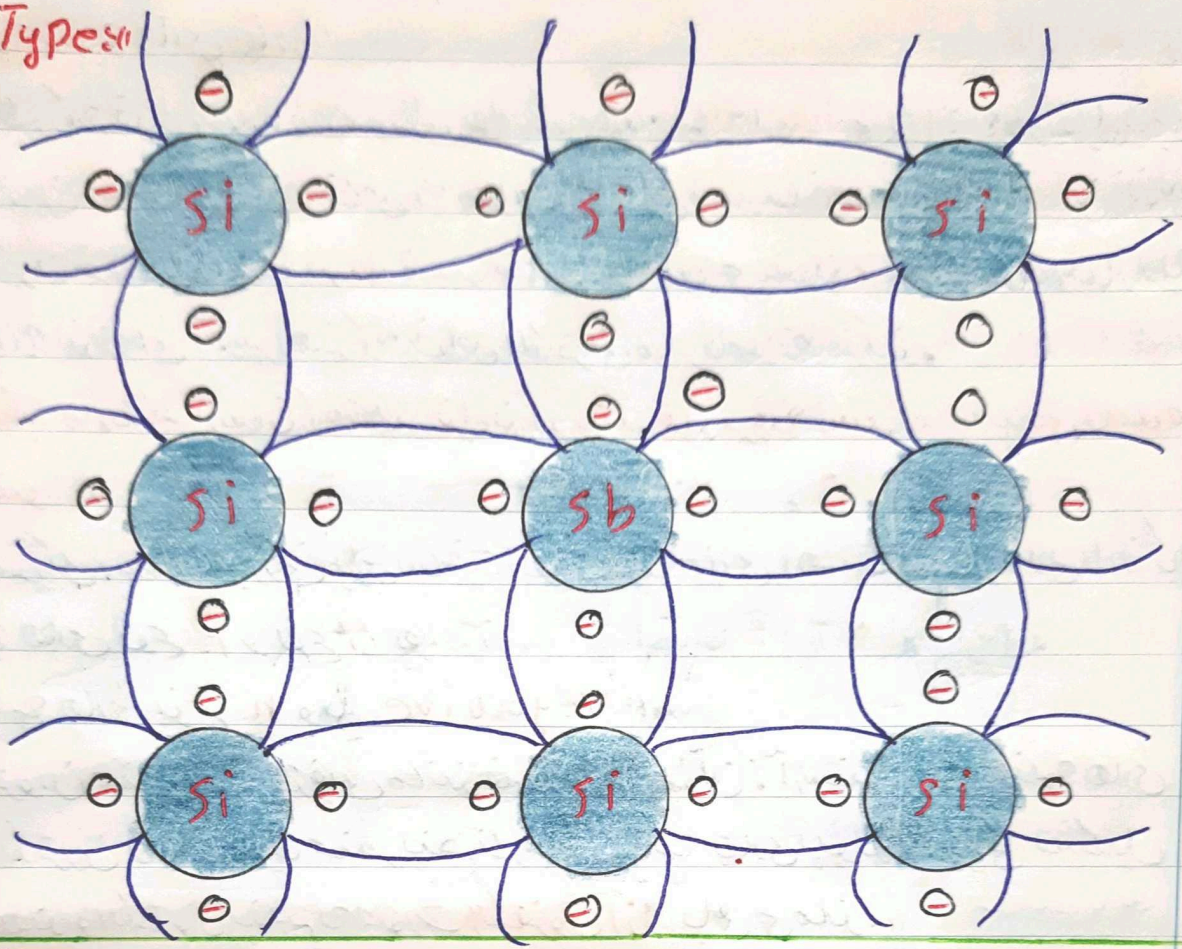
نکته 6) ناخالصی های منتشر شده با سه الکترون ظرفیتی را اتم های پذیرنده نامند.

در صفحه بعد می توانید شکل کریستالی این نوع نیمه هادی ها را مشاهده و تحلیل کنید.

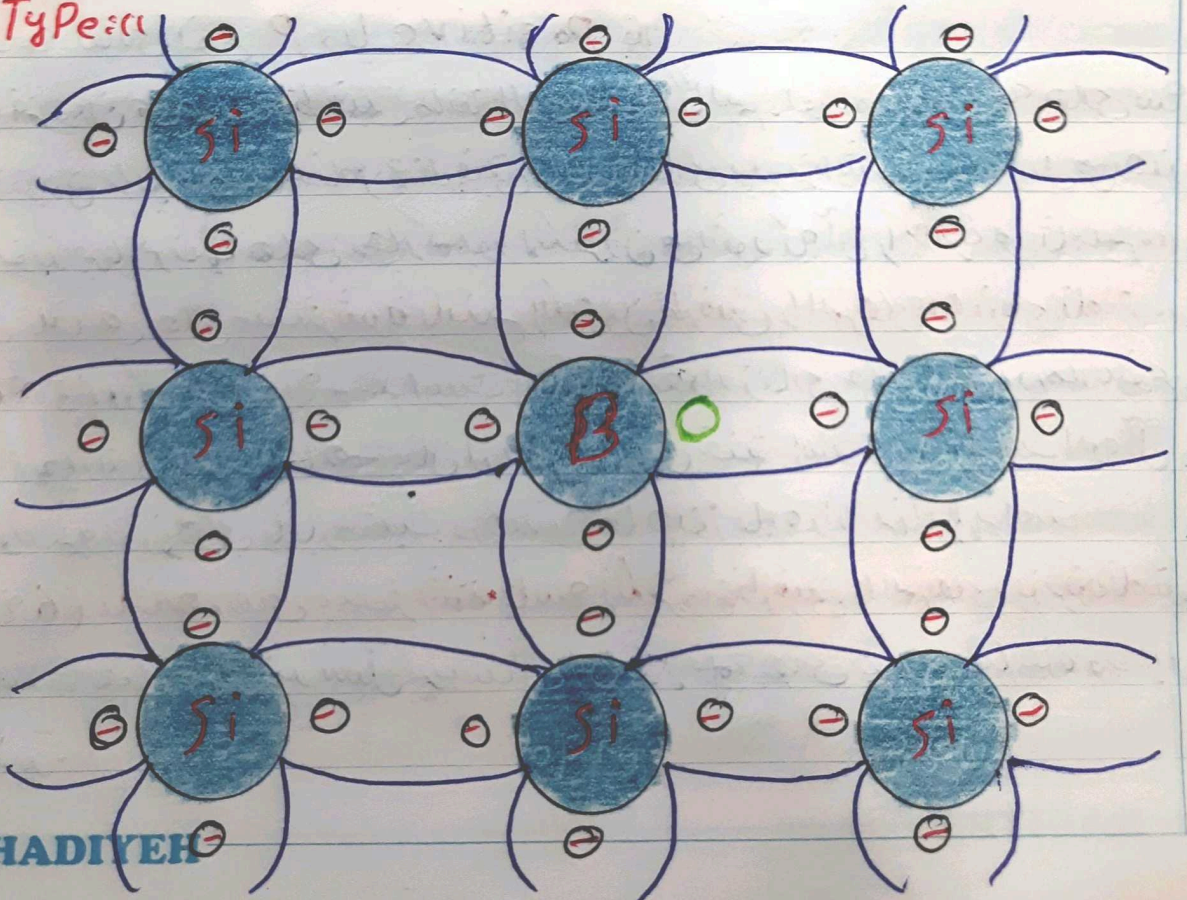
Mo Tu We Th Fr Sa Su

Subject: ..... Date:.....

n-Type:



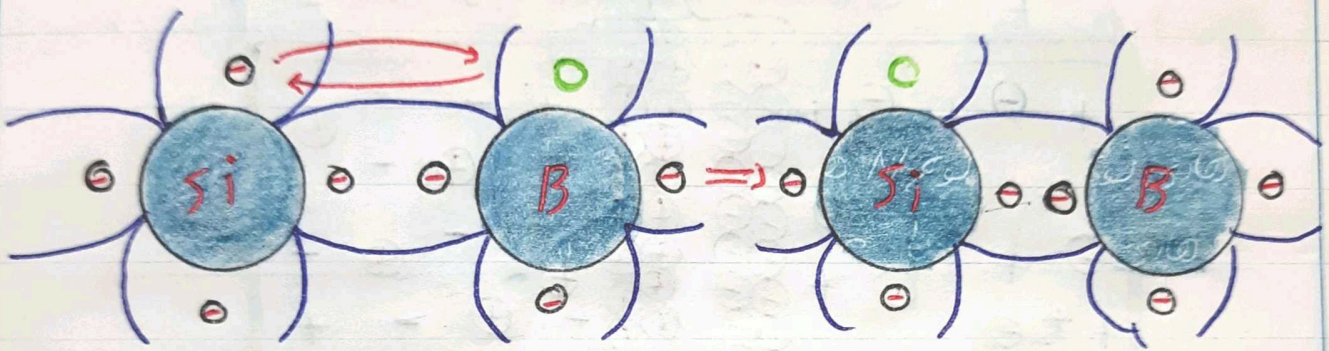
P-Type:



HADIYEH

- الکترون در مقابل جریان حفره :

اثر حفره بر روی رسانایی در شکل زیر نشان داده شده است. اگر یک الکترون ظرفیتی انرژی جنبشی کافی برای شکستن پیوند کوالانسی خود را بدست آورد و فضای خالی ایجاد شده توسط یک حفره را پر کند، آنگاه یک جای خالی یا حفره در پیوند کوالانسی ایجاد می‌شود که الکترون را آزاد کرده است، بنابراین انتقال حفره‌ها به چپ و الکترون‌ها به راست طبق شکل زیر وجود دارد.

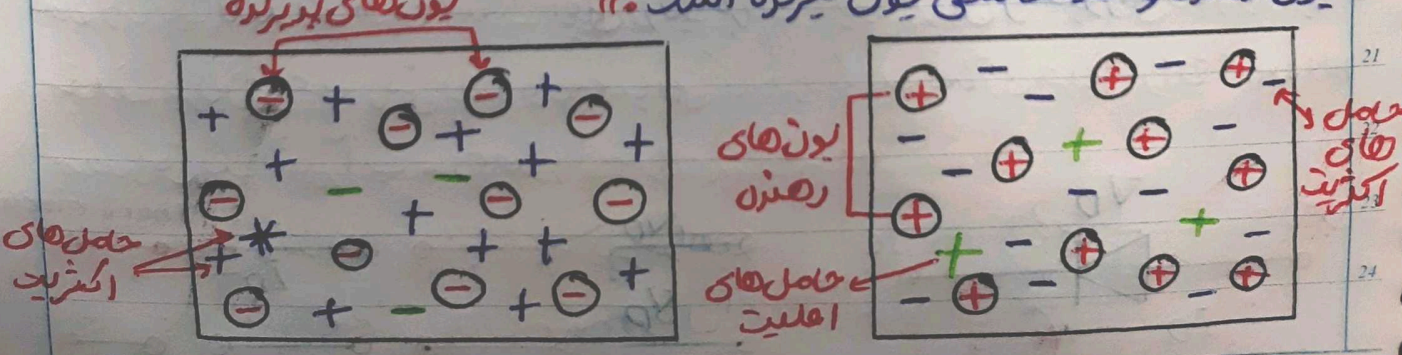


Hole Flow

Electron Flow

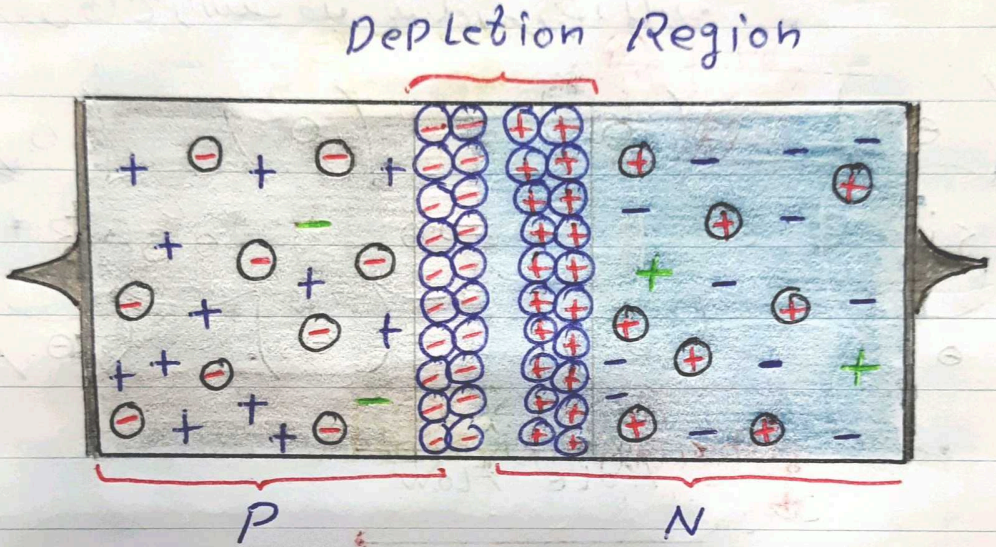
- حامل‌های اکثریت و اقلیت :

در یک نیمه‌هادی نوع n الکترون را یک حامل اکثریت و حفره را حامل اقلیت می‌نامند و در یک نیمه‌هادی نوع P حفره‌ها حامل اکثریت و الکترون را حامل اقلیت می‌نامند. نکته مهم این است که هنگامی که پنجمین الکترون یک اتم دهنده از اتم مادر خارج شود، اتم باقی مانده یک بار مثبت خالص پیدا می‌کند، از این رو علامت مثبت را یون دهنده و علامت منفی یون گیرنده است.



ـ اتصال P ـ N :

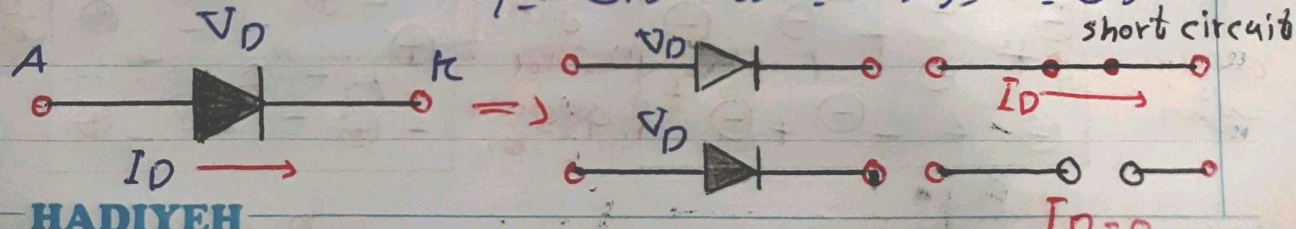
اگر دو تیغه‌های n و P را به هم متصل کنیم، با انتقال الکترون‌ها و حفره‌ها الکترون‌های آزاد موجود در تیغه‌های n جذب حفره‌ها می‌شود، بنابراین در محل اتصال دو تیغه‌ها نه الکترون وجود دارد و نه حفره. به محلی که نه حفره باشد و نه الکترون ناحیه تخلیه و یا سد پتانسیل یا Depletion Region می‌گویند.



نکته ۶) یون‌ها پایدار هستند زیرا یا الکترون داده یا گرفته اند به همین دلیل در ناحیه تخلیه هیچ باری حضور ندارد و فقط یون داریم، و به دلیل پایداری یون‌ها بار ازادی عبور نخواهد کرد، همچنین در اتصال P و N می‌توانیم بگوییم که اتمِ دو عنصر P و N را به یکدیگر تزریق یا Injection کرده ایم.

ـ دیود :

دیود شامل یک اتصال P-n است. معمول‌ترین عملکرد و استفاده از دیودها به صورت یک کلید یک طرفه است یعنی در یک جهت دیود جریان را عبور می‌دهد و در جهت مخالف جریان را عبور نمی‌دهد و به عبارتی کار کرد یکسوسازی جریان را به عهده دارد مصداق یک شیر آب. به صورت مداری داریم:

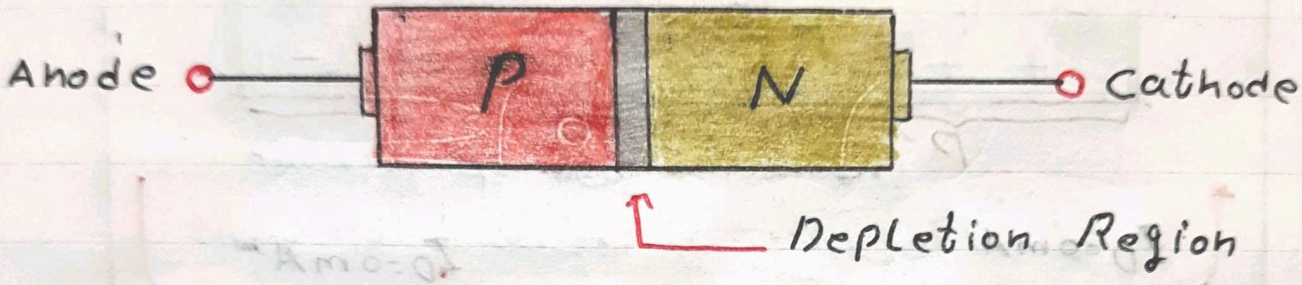


- بایاس دیود:

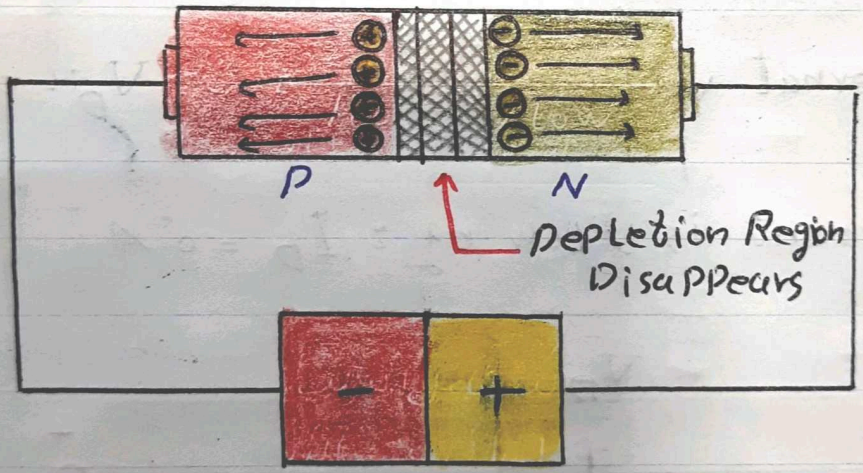
۱) بدون بایاس

۲) بایاس مستقیم

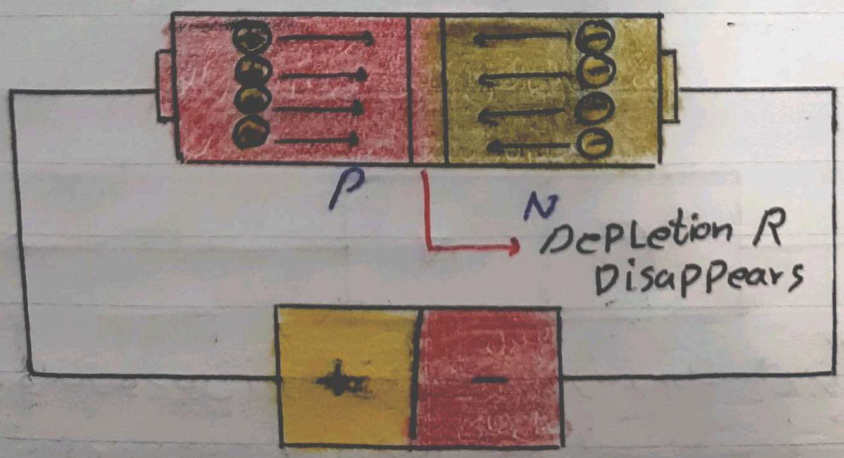
۳) بایاس معکوس یا غیر مستقیم



⟹ Reverse bias

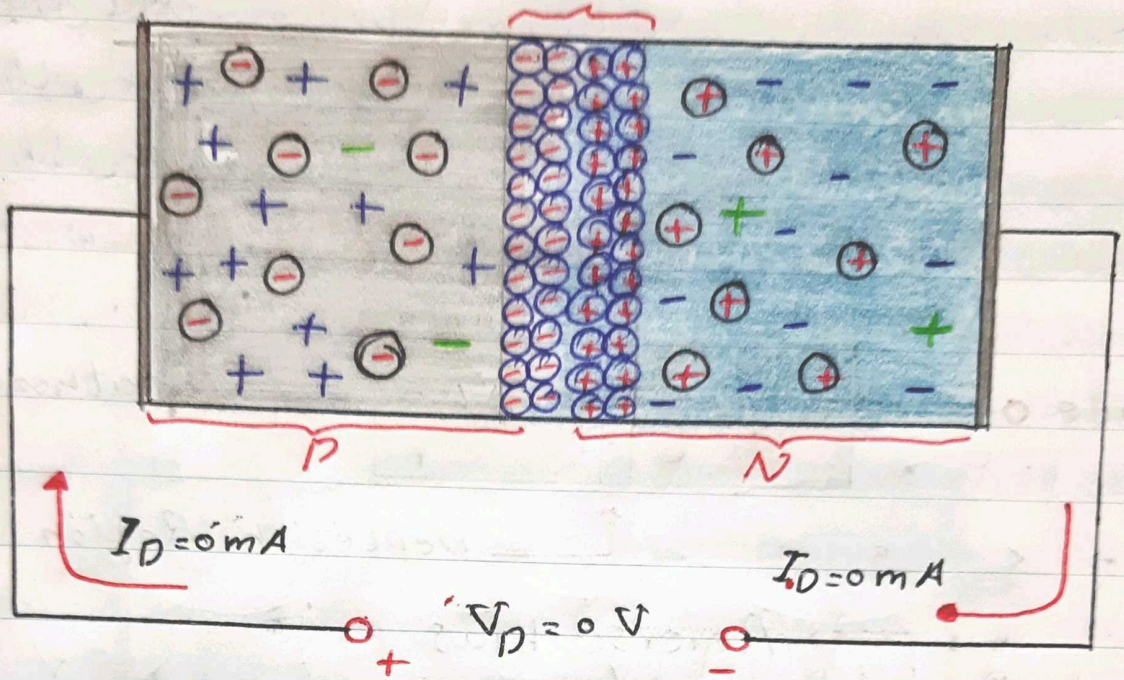


⟹ Forward bias



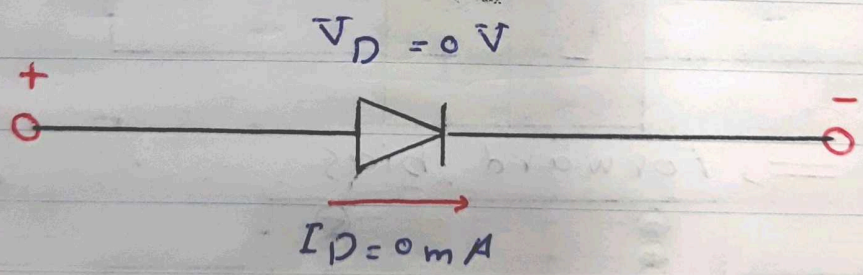
7) بدون بایاس :

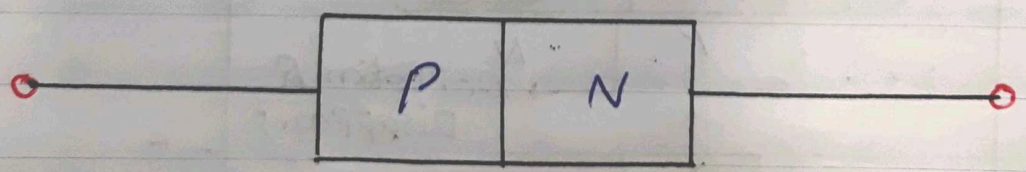
Deplation Region



★ = No external voltage is applied : $V_D = 0V$

★ = No current is flowing : $I_D = 0A$



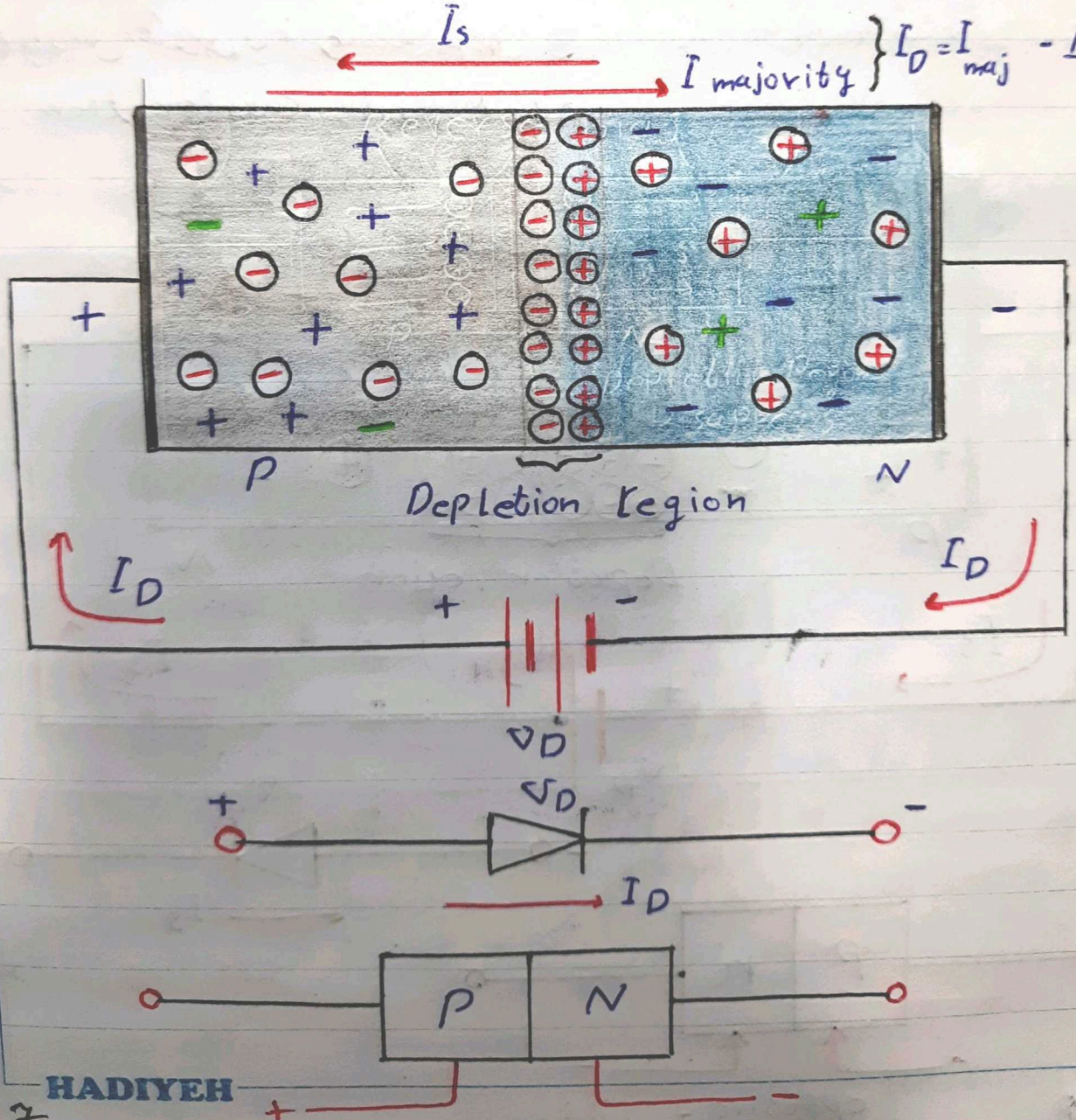


در این حالت ولتاژ و جریان دیود صفر خواهند بود و صد پتانسیل بزرگ است که به عبارتی هیچ ولتاژ خارجی برای جاری شدن جریان اعمال نشده است.

حامل های اکثریت یا الکترون های مواد نوع n باید بر نیروی ناحیه تخلیه لایه یون های مثبت در مواد نوع n و یون های منفی در مواد نوع p غلبه کنند تا به منطقه فراتر از ناحیه تخلیه مهاجرت کنند، با این حال تعداد حامل های اکثریت مواد نوع n آنقدر زیاد است که همیشه تعدادی از حامل های اکثریت با انرژی جنبشی کافی برای عبور وجود خواهد داشت.

⇐ در حالت بدون بایاس در یک دیود نیمه هادی جریان خالص بار در یک جهت برابر با صفر است.

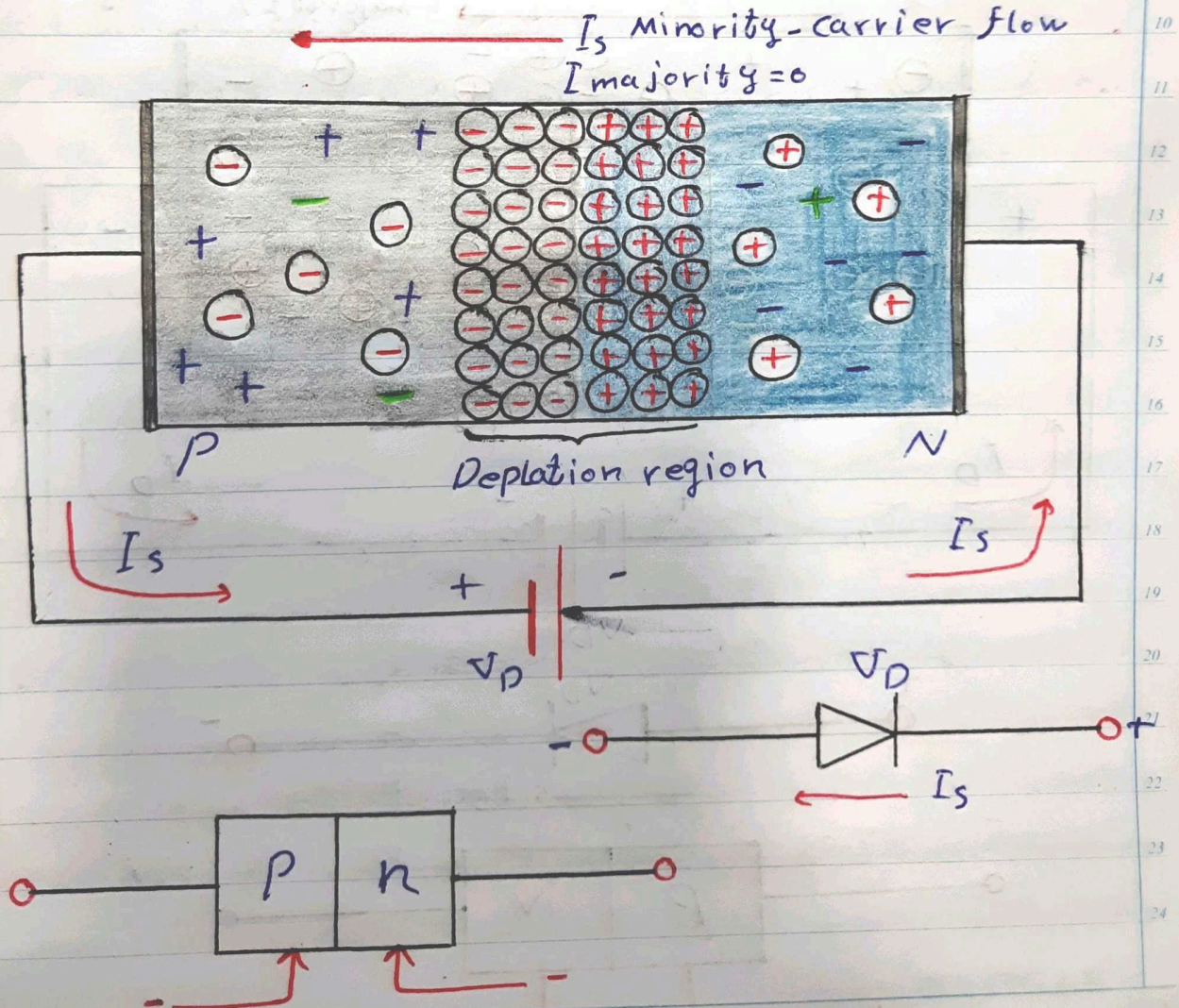
2) بایاس مستقیم:



Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date: .....

میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه میدان سد پتانسیل را خنثی کرده و عرض ناحیه تخلیه کاهش می‌یابد. الکترون‌های آزاد در نیمه‌های نوع N توسط قطب مثبت باتری به سمت محل پیوند رانده شده و پس از عبور از محل پیوند و نیمه‌های نوع P جذب قطب مثبت باتری می‌شوند. حفره‌ها در جهت مخالف الکترون‌ها حرکت می‌کنند، در این حالت جریان دیود برقرار می‌شود و جهت آن از P به N است. پس همانطور که بایاس اعمال شده افزایش می‌یابد پهنای ناحیه تخلیه همچنان کاهش می‌یابد تا زمانی که سیل الکترون‌ها بتوانند از محل اتصال عبور کنند، که منجر می‌شود به افزایش نمایی جریان می‌شود که در ناحیه بایاس مستقیم شکل نشان داده شده است.

3) بایاس معکوس یا غیر مستقیم:



HADIYEH

opposive = مخالف

میدان الکتریکی ناشی از منبع تغذیه میدان سد پتانسیل را تقویت کرده و عرض ناحیه تخلیه افزایش می یابد . الکترون های آزاد در نیمه هادی نوع N توسط قطب مثبت باتری جذب می شوند ، حفره ها در جهت مخالف الکترون ها حرکت می کنند و جذب قطب منفی باتری می شوند ، در این حالت جریان دیود برقرار نمی شود مگر جریان نشتی حاصل از حرکت حامل های اقلیت ، جهت جریان نشتی یا جریان معکوس یا اشباع از کاتد به آند است ، در واقع این گسترش منطقه تخلیه یا سد پتانسیل مانع بسیار بزرگی را برای اکثر حامل ها ایجاد می کند که نمی توانند بر آن غلبه کنند و به طور موثر جریان حامل های اکثریت را به صفر می رساند ، با این حال تعداد حامل های اقلیتی که وارد منطقه - تخلیه می شوند تغییر نمی کند و در نتیجه برآرهای جریان حامل اقلیت با همان بزرگی بر روی شکل برون و ولتاژ اعمالی نشان داده شده است .

=> جریانی که در شرایط بایاس معکوس وجود دارد ، جریان اشباع معکوس نامیده می شود و با I_S نمایش داده می شود .

- نمودار مشخصه دیود ها :

می توان با استفاده از فیزیک حالت جامد نشان داد که ویژگی های کلی یک دیود نیمه هادی را می توان با معادله زیر تعریف کرد که به عنوان معادله shockley's برای مناطق بایاس رو به جلو و معکوس شناخته می شود :

$$I_D = I_S \left(e^{V_D / \eta V_T} - 1 \right)$$

که در آن I_S جریان اشباع معکوس است ، V_D ولتاژ بایاس مستقیم اعمال شده در سراسر دیود است ، η یک عامل ایده آل است که تابعی از شرایط عملیاتی و ساختار فیزیکی است ، بسته به طیف گسترده ای از عوامل ، محدوده ای بین 1 و 2 دارد که در این درس معمولا η را برابر با 1 در نظر می گیریم در غیر این صورت حتما ذکر خواهد شد .

ولتاژ V_T در معادله جریان دیود را **ولتاژ حرارتی** می نامیم که از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

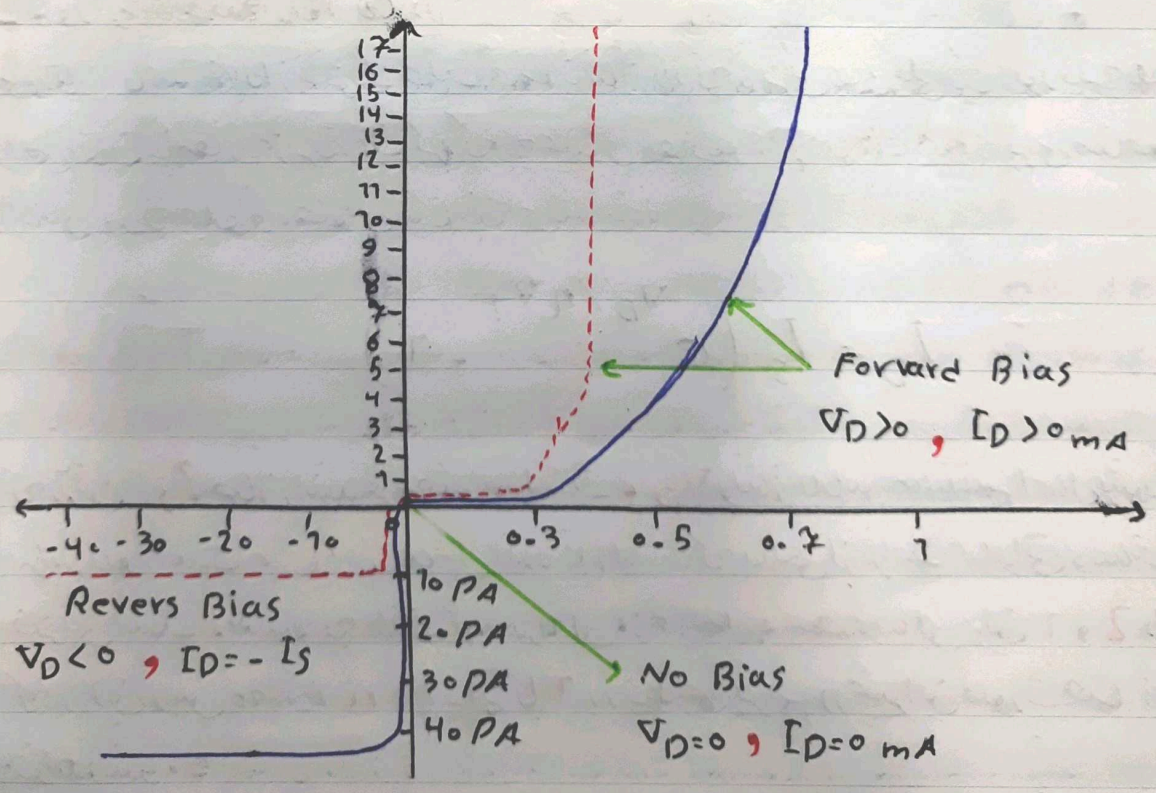
$$V_T = \frac{kT_k}{q}$$

که در آن k ثابت **بولتزمن** است که آن را به صورت زیر در نظر می گیریم:

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \ J/K$$

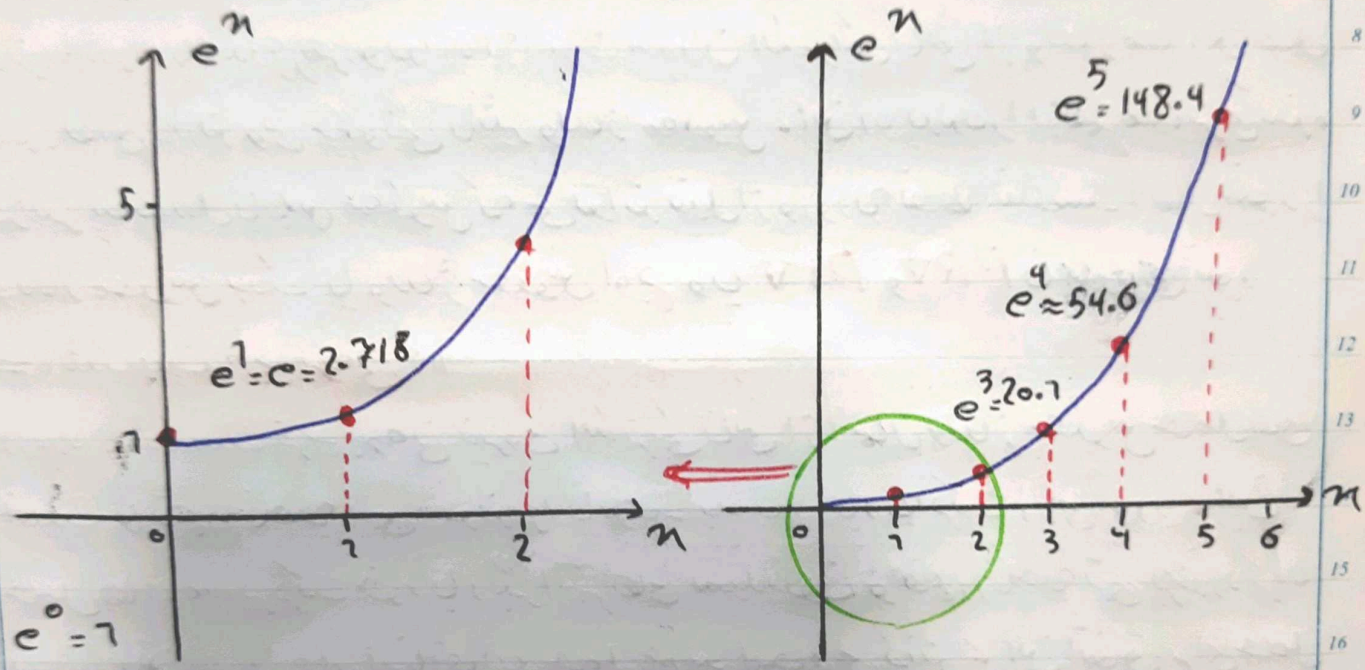
T_k که دمای مطلق است، دمای مطلق برحسب کلوین 273° دما برحسب درجه سانتی گراد است و q مقدار بار الکتریکی است که $1.6 \times 10^{-19} \ C$ است.

نکته مهم این است که دما بر روی مشخصه های ولتاژ و جریان دیود و جریان اشباع دیود تاثیر گذار است. به نمودار مشخصه زیر دقت کنید:



در شکل صفحه قبل همانطور که پایاس اعمال شده افزایش می یابد، ناحیه تخلیه به کاهش عرض ادامه می دهد تا زمانی که سیل الکترون ها بتوانند از محل اتصال عبور کنند که منجر به افزایش نمایی جریان می شود.

منحنی نمایی شکل زیر با افزایش مقادیر n بسیار سریع افزایش می یابد، در $n=0$ $e^0=1$ است درحالی که در $n=5$، e به بزرگتر از 148 افزایش مقدار خواهد داشت، اگر به $n=10$ ادامه دهیم منحنی به بیش از 22000 خواهد رسید، بنابراین واضح است که با افزایش مقدار n منحنی تقریبا نمودی می شود.



⇐ جریان اشباع معکوس واقعی یک دیود تجاری معمول در بازار معمولا به طور قابل ملاحظه ای بزرگتر از مقداری است که در معادله شاکلی مشخص می شود.

مثال: در دمای 27 درجه سانتی گراد ولتاژ حرارتی V_T را بدست آورید:

$$T = 273 + C^\circ = 273 + 27 = 300\ K$$

$$V_T = \frac{KT_K}{q} = \frac{1.38\times10^{-23}\times30}{1.6\times10^{-19}} = 25.875\ mV \simeq 26\ mV$$

Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date: .....

ناحیه شکست :

اگر یک دیود در بایاس معکوس قرار گیرد جریان آن برابر با جریان اشباع معکوس I_S می باشد، چنانچه ولتاژ معکوس دیود را افزایش دهیم به نقطه ای می رسیم که جریان دیود به طور ناگهانی و با سرعت زیاد شروع به افزایش می کند، پدیده ای که در این حالت اتفاق می افتد را **پدیده شکست** می گوییم و ولتاژ شروع این پدیده ولتاژ شکست معکوس V_R نام دارد، ولتاژ شکست دیود به ساختمان اتصال P-N و میزان ناخالصی آن بستگی دارد. شکست دیود می تواند ناشی از دو پدیده **شکست ضرب بهمنی** و **شکست زنر** باشد، با اینکه هر دو پدیده به شدت میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ معکوس اعمال شده نقش دارند ولی چگونگی تاثیر ولتاژ معکوس، این دو پدیده را از هم متمایز می کند. حداکثر پتانسیل بایاس معکوس که می تواند قبل از ورود به نقطه شکست اعمال شود را ولتاژ معکوس پیک یا ولتاژ معکوس اوج و یا PIV و PRV نامیده می شود

= شکست ضرب بهمنی :

در پدیده شکست ضرب بهمنی نیروی الکتریکی ناشی از اعمال ولتاژ معکوس حامل های اقلیت واقع در ناحیه تهی پیوند را با سرعت بسیار زیاد به حرکت در می آورد، این حامل ها در مسیر حرکت خود با دیگر اتم های سیلیکون واقع در ناحیه تهی برخورد کرده و یا شکستن پیوندهای آنها تعدادی حامل جدید ایجاد می کنند، این اتفاق برای حامل های جدید نیز رخ می دهد، در نتیجه تعداد حامل هایی که می توانند در ایجاد جریان دخالت کنند به طور ناگهانی افزایش می یابد، این پدیده که در آن برخورد حامل ها با اتم ها و از کار افتادن حامل های آنها باعث افزایش ناگهانی جریان معکوس می شود پدیده شکست ضرب بهمنی نام دارد.

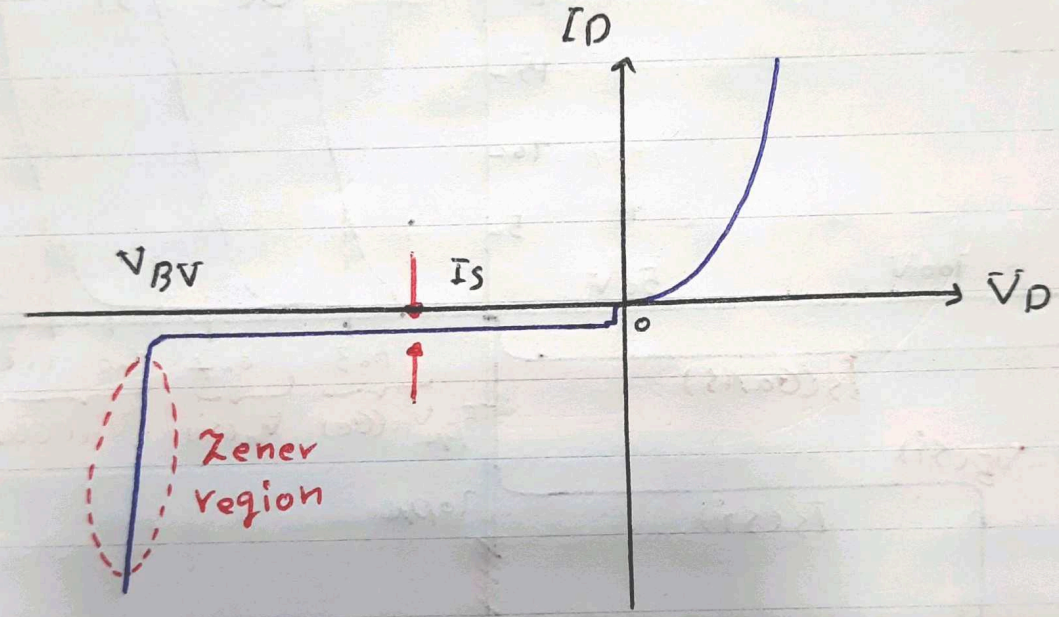
= شکست زنر :

در پدیده شکست زنر با افزایش ولتاژ معکوس دیود میدان الکتریکی در ناحیه تهی به حدی می رسد که مستقیما پیوندهای کوالان اتم های سیلیکون واقع در این ناحیه را شکسته و حامل های زیادی را آزاد می کند. به عبارت دیگر پدیده شکست زنر افزایش جریان

معکوس ناشی از تاثیر مستقیم میدان الکتریکی است، پس به طور خلاصه: زمانی که ولتاژ منفی وارد کنیم یک پیوند سیلیکون شکسته می شود و انرژی آزاد می کند و باعث افزایش حامل های اقلیت می شود که شکست بهمنی نام دارد، ولی زمانی که ولتاژ معکوس به دیود می دهیم کل پیوند سیلیکونی شکسته می شود و انرژی آزاد می کند.

=> شکست زنر در دیود یک پدیده برگشت پذیر است و شکست بهمنی برگشت پذیر نیست، یعنی اگر شکست بهمنی رخ دهد دیود اسیب خواهد دید.

به شکل زیر دقت کنید:



V_{BV} ولتاژ پاپتانسیل شکست است، همچنین رابطه حداکثر توان دیود به شرح زیر است:

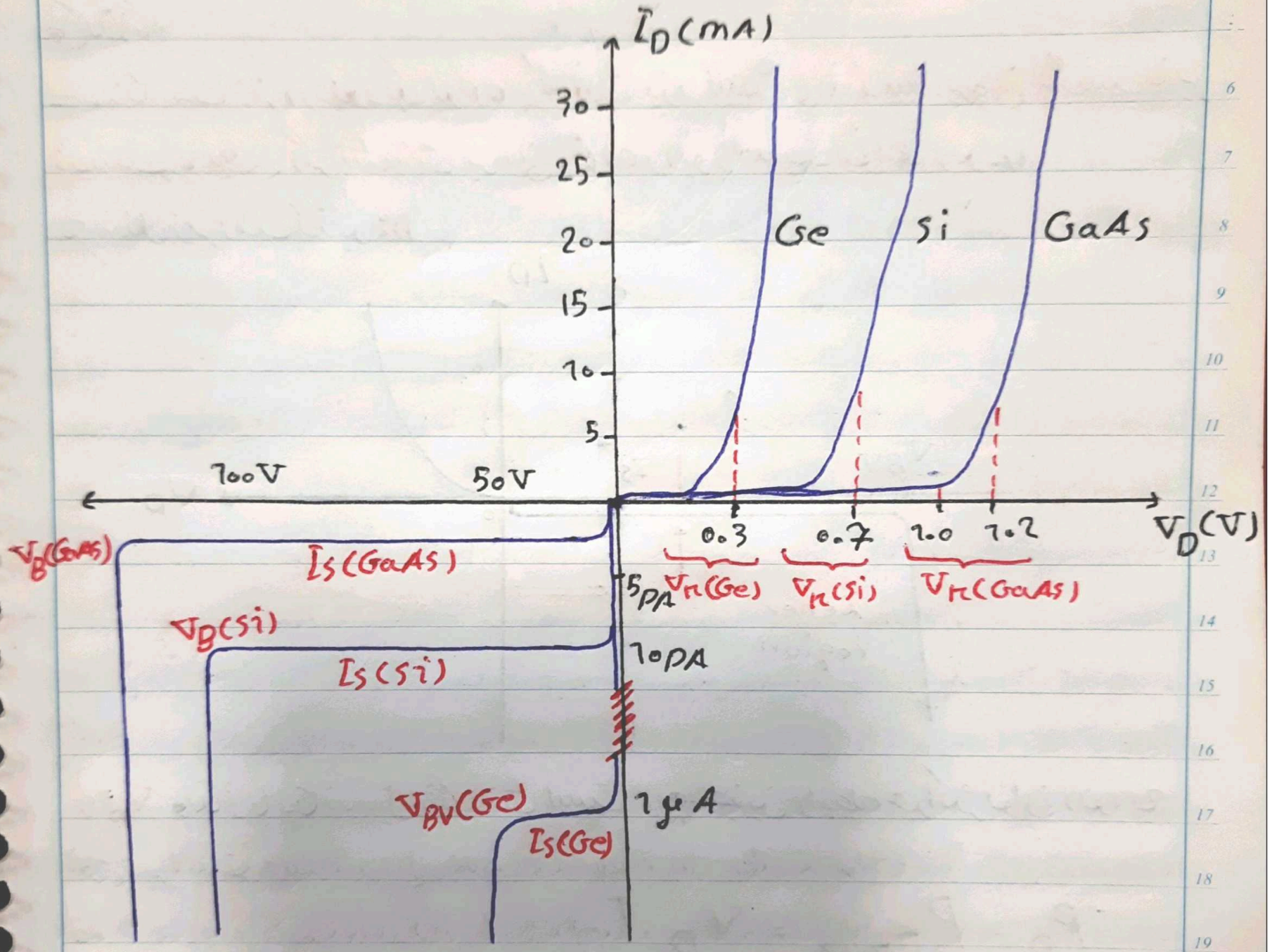
$$P_D = P_{Dmax} = V_D I_D$$

که در آن P_D توان حداکثری دیود، V_D ولتاژ دیود و I_D جریان دیود است.

=> به طور کلی یک فرایند یونیزاسیون که در آن الکترون هایی ظرفیت انرژی کافی برای خروج از اتم مادر را جذب می کنند، سپس این حامل های اقلیتی می توانند به فرایند یونیزاسیون تکمیلی کمک کنند که جریان بهمنی پایا برقرار شود و منطقه شکست آن مشخص شود.

- منحنی مشخصه ژرمانیوم، سیلیسیوم و گالیم آرسنید:

تا به اینجای بحث تنها از سیلیسیوم به عنوان ماده نیمه هادی پایه استفاده شد، اکنون مهم است که آن را با دو ماده مهم دیگر نظیر گالیم آرسنید و ژرمانیوم مقایسه کنیم، که این نمودار مقایسه در شکل زیر ارائه شده است:



می‌توان مشاهده کرد که دیود های ساخته شده با هر یک از این ماده های نیمه هادی در ولتاژ استانه متفاوتی از ناحیه تخلیه یا سد پتانسیل خارج شده و روشن می‌شود یا به عبارتی جریان را از یک جهت عبور می‌دهد، در خصوص جریان اشباع معکوس باید بگوییم که همان جریان نشتی دیود است، مقاومت یعنی اتلاف پس برای ما مطلوب است که دیود به طور کامل وصل بوده و اتلافی نداشته باشد و زمانی که قطع می‌شود کاملاً

خاموش و بدون نشتی قطع شود ، در این نمودار مطلوب ترین جریان اشباع معکوس برای ما مربوط به گالیم آرسنید است زیرا کمترین مقدار نشتی را نسبت به سایر دارد در حد 1pA و نامطلوب ترین برای ما ژرمانیوم است زیرا بزرگترین و بیشترین مقدار نشتی را نسبت به سایر دارد و از پیکو آمپر به میکرو آمپر رسیده است .

ولتاژهای استانه نیمه هادی های در نمودار :

$$V_k(Ge) = 0.3\ V$$

$$V_k(Si) = 0.7\ V$$

$$V_k(GaAs) = 1.2\ V$$

و همچنین مقایسه انها از نظر بزرگی I_s :

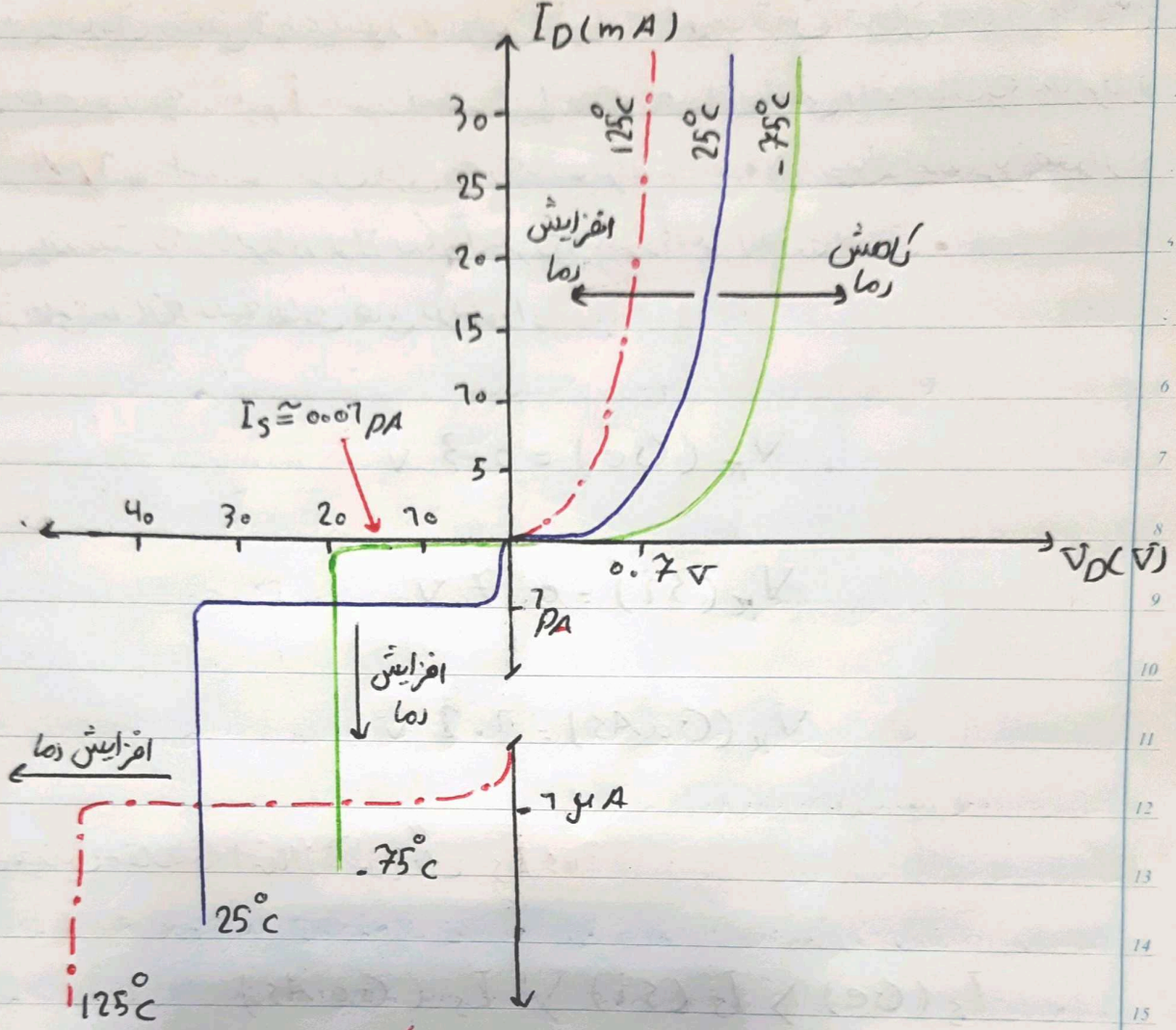
$$I_s(Ge) > I_s(Si) > I_s(GaAs)$$

- اثرات دمایی و حرارتی :

همانطور که در شکل صفحه بعدی نشان داده شده است ، دما می تواند تاثیر مشخصی بر ویژگی های یک دیود نیمه هادی داشته باشد .

⇐ در ناحیه بایاس مستقیم ویژگی های یک دیود سیلیکونی با نرخ 2.5 میلی ولت در درجه سانتی گراد افزایش دما به سمت چپ تغییر می کند .

می توان مشاهده کرد که افزایش دمای اتاق از 25° درجه سانتی گراد به 125° درجه سانتی گراد منجر به افت ولتاژ 0.2 ولت می شود و همچنین کاهش دمای اتاق نیز اثر عکس بر منحنی داشته و به سمت راست منتقل می شود .



⟸ در ناحیه بایاس معکوس جریان اشباع معکوس یک دیود سیلیکونی به ازای هر ۱۰ درجه سانتی گراد افزایش دما دو برابر می‌شود.

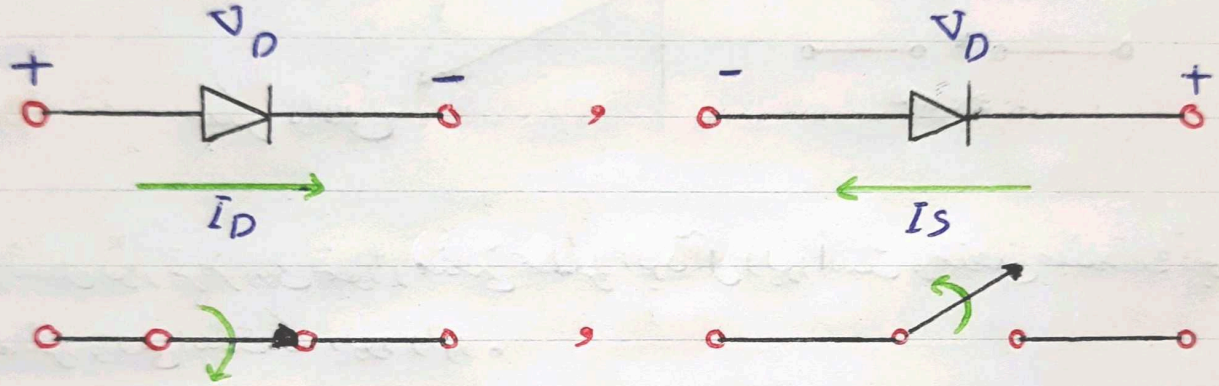
برای تغییر از 25 درجه سانتی گراد به 125 درجه سانتی گراد سطح I_S از 10nA به مقدار 2.56 میلی آمپر افزایش می یابد که یک افزایش قابل توجه و 256 برابری است، افزایش دما به 200 درجه سانتی گراد منجر به یک جریان اشباع معکوس بسیار بزرگ خواهد شد، بنابراین برای کاربردهای دما بالا باید به دنبال دیودهای سیلیکونی با جریان I_S نزدیک به 10 pA در دمای اتاق بود، سطحی که امروزه در دسترس است و جریان را به 2.62 امپر محدود می کند و خوشبختانه هر دو ماده Si و GaAs دارای جریان‌های اشباع معکوس نسبتاً کمی در دمای اتاق هستند.

⇐ ولتاژ شکست معکوس یک دیود نیمه هادی با دما افزایش یا کاهش می یابد ؟؟

یا این حال اگر ولتاژ شکست اولیه کمتر از 5 ولت باشد ولتاژ شکست ممکن است با دما کاهش یابد ؟؟

- مدلسازی دیود ؟؟

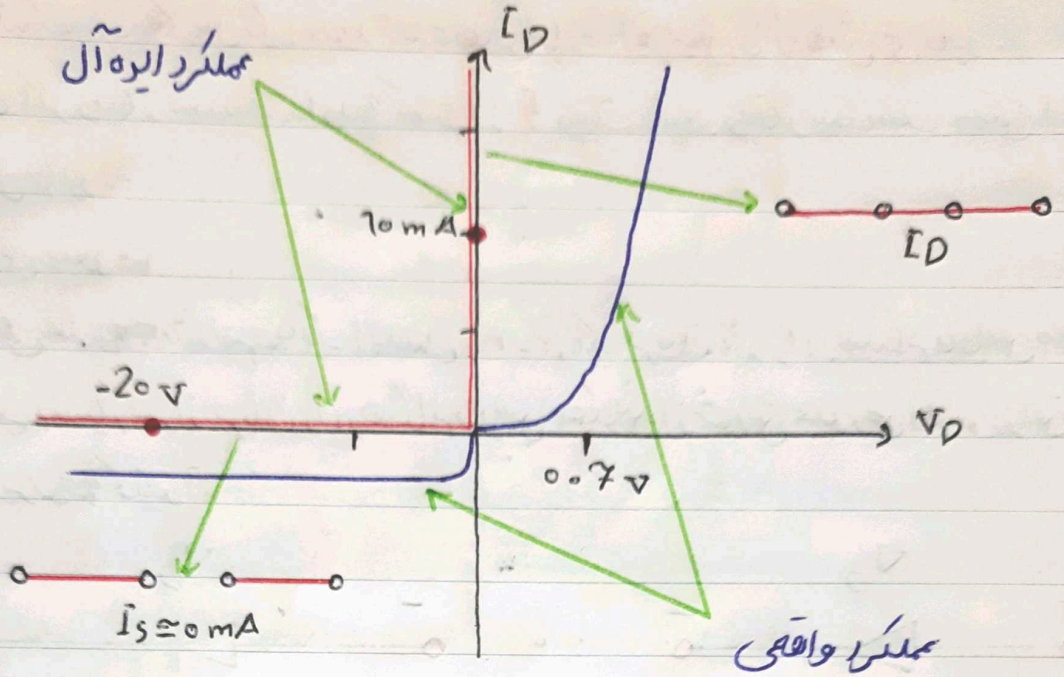
در بخش قبلی متوجه شدیم که یک اتصال P-n یک جریان بار را در هنگام بایاس مستقیم و یک سطح بسیار کمتر از جریان را در هنگام بایاس معکوس از خودش عبور می دهد، در این منظور به شکل زیر توجه کنید ؟؟



قسمایی که اغلب برای توصیف رفتار یک دیود نیمه هادی استفاده می شود یک کلید مکانیکی است، در شکل با دیود مانند یک کلید بسته عمل کرده و یک جریان بار را از خودش از یک سمت عبور می دهد، در حالت بایاس معکوس، شکل دوم، سطح جریان عبوری از دیود ((اشباع معکوس یا نشتی)) انقدر کم است که آن را A ۰ تقریب زده و دیود را به صورت یک کلید باز نشان می دهند.

⇐ پس دیود نیمه هادی مثل یک کلید مکانیکی عمل می کند با این تفاوت که دیود تنها از یک جهت جریان را عبور می دهد ؟؟

در حالت مدلسازی ایده ال یک دیود اگر قرار است دیود نیمه هادی مانند یک کلید بسته در ناحیه بایاس مستقیم رفتار کند مقاومت دیود باید صفر باشد و در ناحیه بایاس معکوس مقاومت آن باید ∞ باشد تا آن را معادل مدار باز نشان دهیم. چنین سطوح مقاومت در مناطق بایاس مستقیم و معکوس منجر به ویژگی های می شود ؟؟



در شکل نوار قرمز روی نمودار منحنی عملکرد ایده آل دیود است و منحنی مشخصه آبی عملکرد واقعی است که دیود دارد.

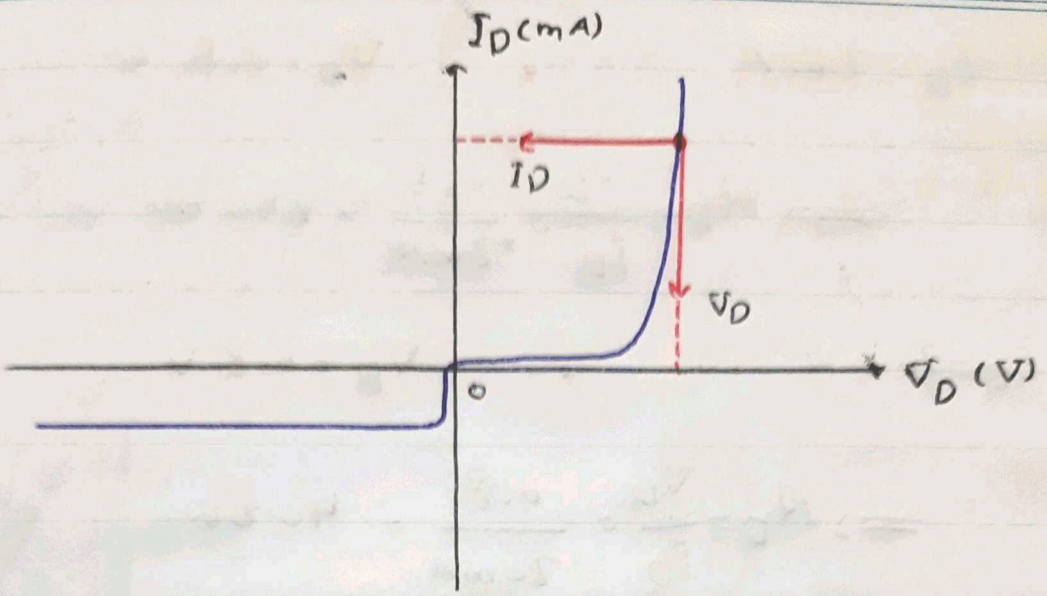
- سطوح مقاومت دیود:

همانطور که نقطه کار یک دیود از یک نقطه یا منطقه به منطقه دیگر حرکت می کند، مقاومت دیود نیز به دلیل شکل غیر خطی منحنی مشخصه تغییر می کند، در ادامه خواهید دید که نوع ولتاژ یا سیگنال اعمال شده سطح مقاومت مورد نظر را مشخص می کند.

⇐ مقاومت DC یا استاتیک:

اعمال یک ولتاژ DC به مدار حاوی یک دیود نتیجه های مندرج به ایجاد یک نقطه عملیاتی در منحنی مشخصه می شود که با گذشت زمان تغییر نخواهد کرد، مقاومت دیود در نقطه کار را به راحتی می توان با یافتن سطوح متناظر V_D و I_D همانطور که در شکل صفحه بعدی نشان داده شده است و با استفاده از معادله زیر پیدا کرد:

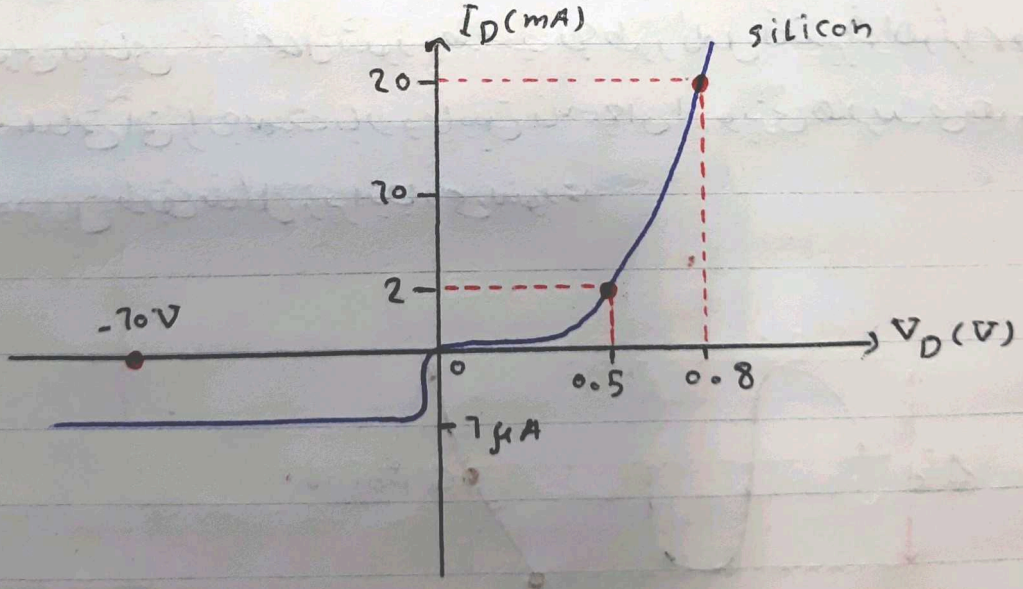
$$\Rightarrow R_D = \frac{V_D}{I_D}$$



=) به طور کلی هر چقدر که جریان عبوری از یک دیود بیشتر باشد سطح مقاومت dc در آن کمتر است ..

و به طور معمول مقاومت dc یک دیود در حالت اکتیو یا بیشترین استفاده از چیزی حدود ۶۵ تا ۸۵ اهم متغیر است ..

مثال: سطوح مقاومت dc را برای دیود شکل زیر تعیین کنید.



مطلوب است:

الف) $I_D = 2mA$ (Low Level)

ب) $I_D = 20mA$ (high Level)

ج) $V_D = -10V$ (revers-bias)

الف)

$I_D = 2\,mA$ ، $V_D = 0.5\,V$

$$\Rightarrow R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.5}{2\,mA} = 250\,\Omega$$

ب)

$I_D = 20\,mA$ ، $V_D = 0.8\,V$

$$\Rightarrow R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8}{20\,mA} = 40\,\Omega$$

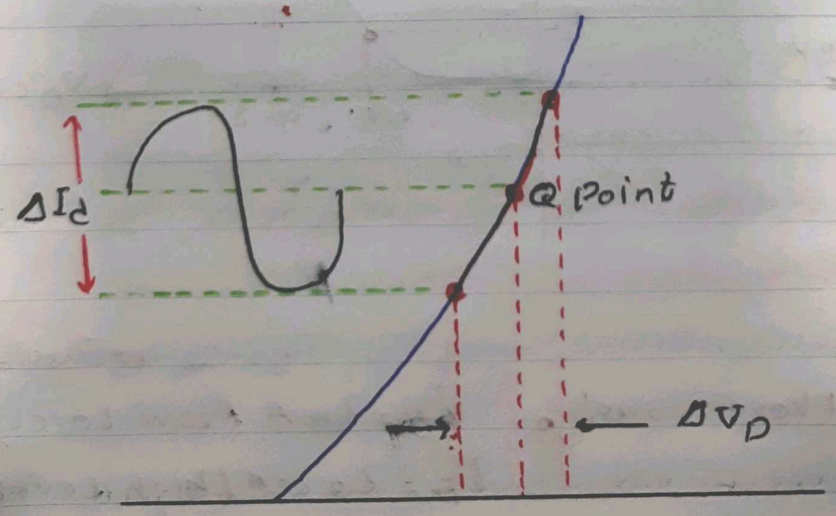
ج)

$I_D = -I_S = -7\,\mu A$ ، $V_D = -70\,V$

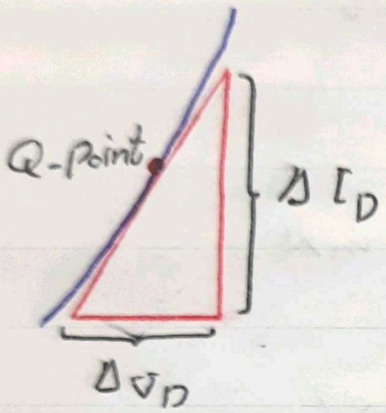
$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{+70}{7\,\mu A} = 70\,M\Omega$$

⇐ مقاومت AC یا دینامیکی:

اگر ورودی سینوسی به جای dc اعمال شود وضعیت به طور کامل تغییر خواهد کرد، ورودی متغیر نقطه عملیاتی آنی را به سمت بالا و پایین ناحیه‌ای از ویژگی‌ها حرکت می‌دهد و تغییر خاصی در ولتاژ و جریان طبق شکل زیر ایجاد می‌شود:



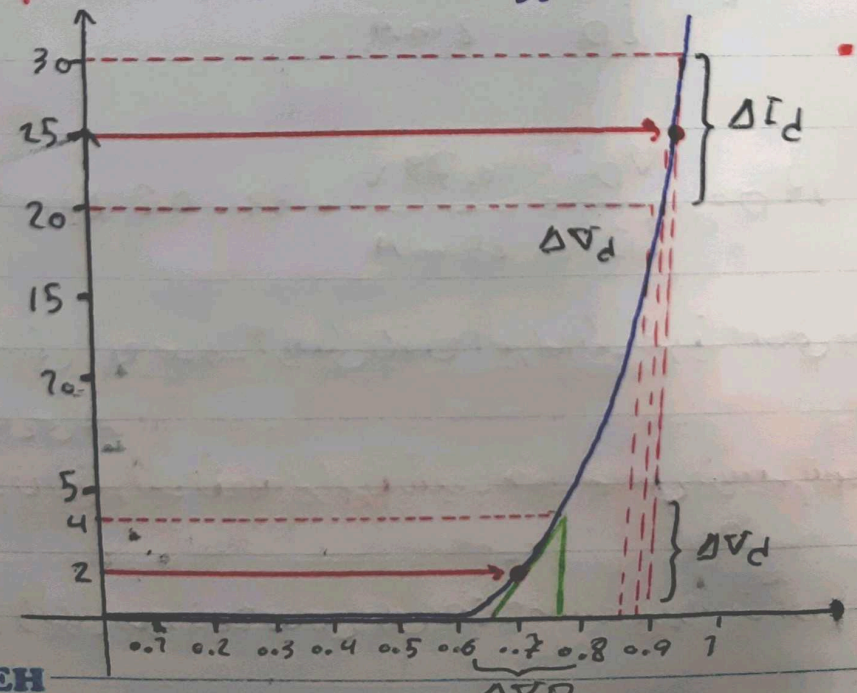
یک خط مستقیم هماس بر منحنی از طریق نقطه Q همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است تغییر خطی در ولتاژ و جریان تقریب می‌کند که می‌تواند برای تعیین مقاومت AC یا دینامیکی برای این ناحیه از ویژگی‌های دیود استفاده شود. پس اگر ولتاژ ورودی سینوسی باشد در هر لحظه مقادیر ولتاژ و جریان تغییر می‌کند.



$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

هرچه شیب بیشتر باشد مقدار V_d برای همان تغییر در I_d کمتر است و مقدار مقاومت نیز کمتر است. بنابراین مقاومت AC در ناحیه خیز عمودی مشخصه بسیار کوچک است در حالی که در سطوح جریان پایین این مقاومت بیشتر است. بنابراین هرچه نقطه عملکرد Q کمتر باشد (جریان کمتر یا ولتاژ کمتر) مقاومت AC بالاتر است.

مثال: برای منحنی مشخصه زیر، مقاومت AC را در $I_D = 25\,mA$ و $I_D = 2\,mA$ بدست آورید.



الف)

$$\Delta I_d = 4\,mA - 0\,mA = 4\,mA$$

$$\Delta V_d = 0.76\,V - 0.65\,V = 0.11\,V$$

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.11}{4mA} = 27.5\,\Omega$$

ب)

$$\Delta I_d = 30\,mA - 20\,mA = 10\,mA$$

$$\Delta V_d = 0.8\,V - 0.78\,V = 0.02$$

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.02}{10\,mA} = 2\,\Omega$$

ج)

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.7V}{2\,mA} = 350\,\Omega$$

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.79\,V}{25\,mA} = 31.62\,\Omega$$

مقاومت دینامیکی را به صورت گرافیکی یافته ایم اما یک تعریف اساسی در حساب دیفرانسیل وجود دارد که بیان می کند:

= مشتق یک تابع در یک نقطه برابر با شیب خط مماس ترسیم شده در آن نقطه می باشد.

اگر مشتق یکی را برای دیود دیمه های برای تغذیه مستقیم پرست آورده و بعد بس نتیجه

را معکوس کنیم مقاومت دینامیکی یا r_d را از آن ناحیه خواهیم داشت.

$$\frac{d}{dV_D}(I_D) = \frac{d}{dV_D}\left[I_S\left(e^{V_D/\eta V_T} - 1\right)\right]$$

$$\frac{dI_D}{dV_D} = \frac{1}{\eta V_T}(I_D + I_S)$$

$$\Longrightarrow I_D \gg I_S$$

$$\frac{dI_D}{dV_D} \simeq \frac{I_D}{\eta V_T}$$

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

$$r_d = \frac{26\,mV}{I_D}$$

اثبات:

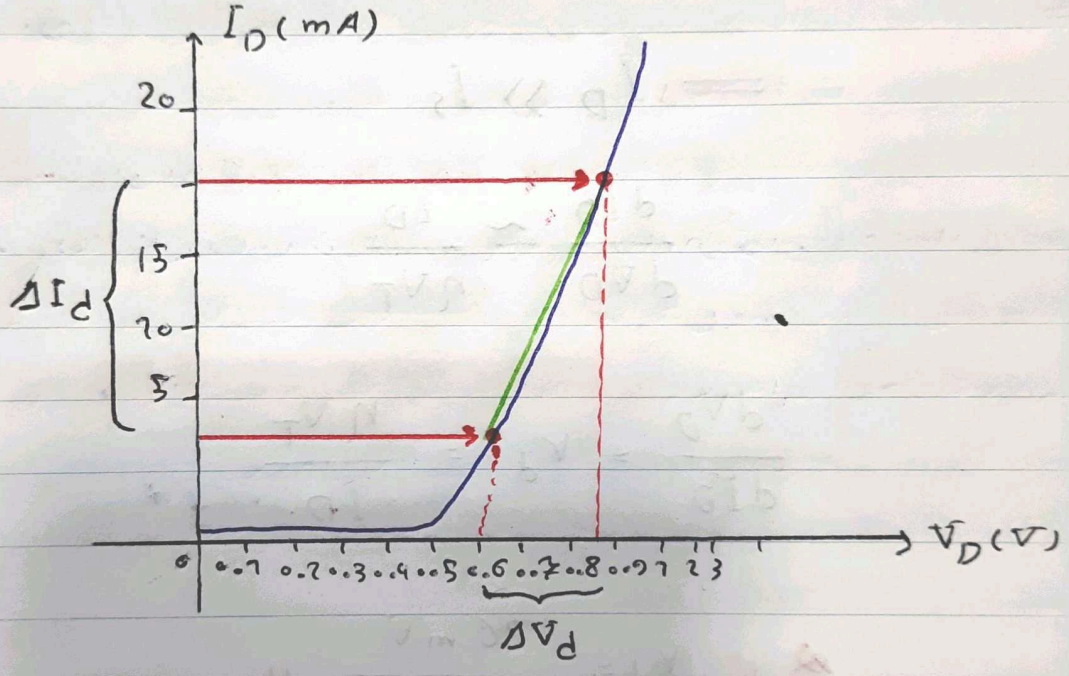
$$r_d \simeq \frac{\Delta V_D}{\Delta i_d} \simeq \frac{dV_D}{di_D} = \left[\frac{di_D}{dV_D}\right]^{-1}$$

$$r_d = \left[\frac{di_D}{dV_D}\right]^{-1}\Bigg|_Q = \left[\frac{I_S}{\eta V_T}e^{V_D/\eta V_T}\right]^{-1} = \frac{\eta V_T}{I_S e^{V_D/\eta V_T}}$$

$$r_d = \frac{\eta V_T}{I_D + I_S} \Longrightarrow r_d = \frac{26\,mV}{I_D}$$

- مقاومت متوسط یا ave :

اگر سیگنال ورودی به اندازه کافی بزرگ باشد که بتواند یک نوسان گسترده مانند شکل زیر ایجاد کند، یا اگر سیگنال ورودی به قدر کافی بزرگ باشد یا مقاومتی که با مقادیر مینیمم و یا ماکزیمم بدست می آید.



$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \quad \text{pt.to.pt}$$

$$\Delta I_d = 17\,mA - 2\,mA = 15\,mA$$

$$\Delta V_d = 0.725\,V - 0.65\,V = 0.075\,V$$

$$r_{av} = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.075\,V}{15\,mA} = 5\,\Omega$$

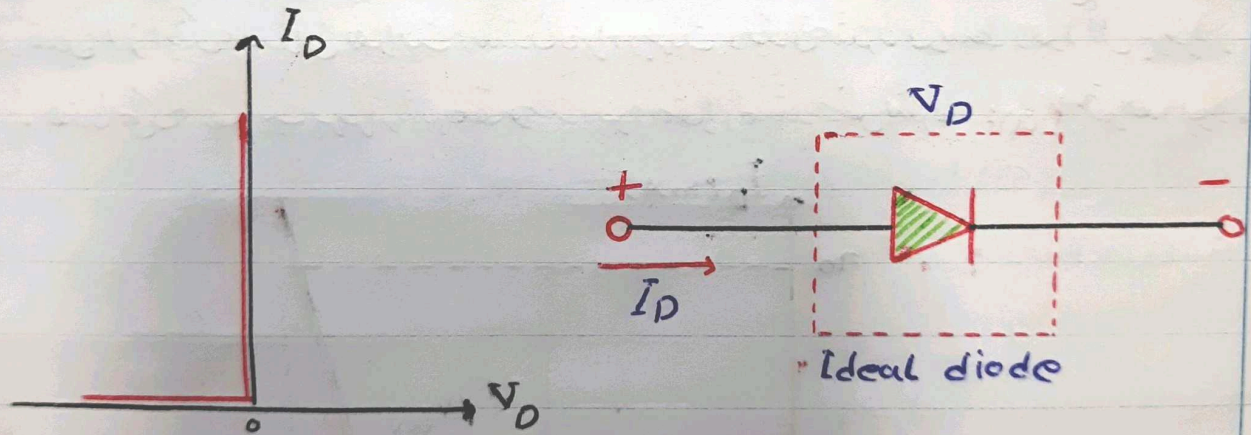
- مدار های معادل دیود :

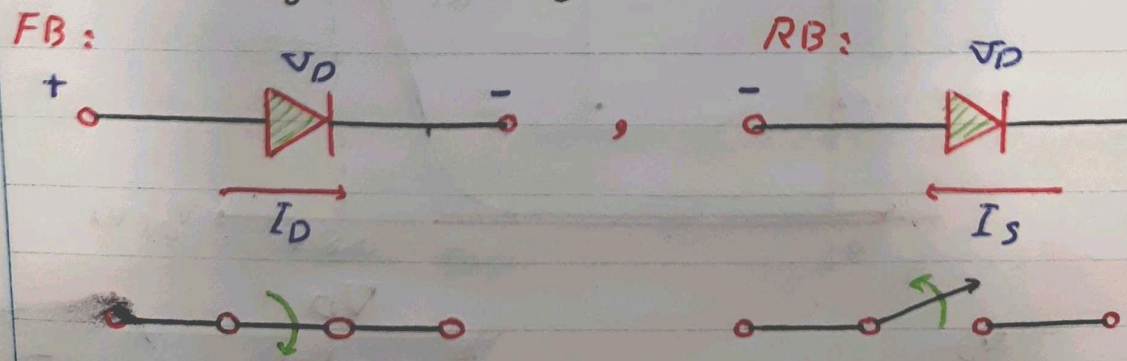
مدار معادل ترکیبی از عناصری است که به درستی انتخاب شده اند تا به بهترین وجه ویژگی های ترمینال واقعی یک دستگاه یا سیستم را در یک منطقه عملیاتی خاص نشان دهند. به عبارت دیگر هنگامی که مدار معادل تعریف شد نماد دستگاه را می توان از یک شماتیک حذف کرد و مدار معادل را بدون تاثیر شدید در جای خود قرار داد. برای مدارهای معادل دیودی ما تقریب یا مدلسازی های مختلفی را برای دیود داریم:

1) ایده آل
2) خطی پاره ای
3) کاربردی

- دیود ایده آل برای تحلیل AC :

در این حالت مدار معادل دیود و منحنی مشخصه آن به صورت زیر خواهد بود:





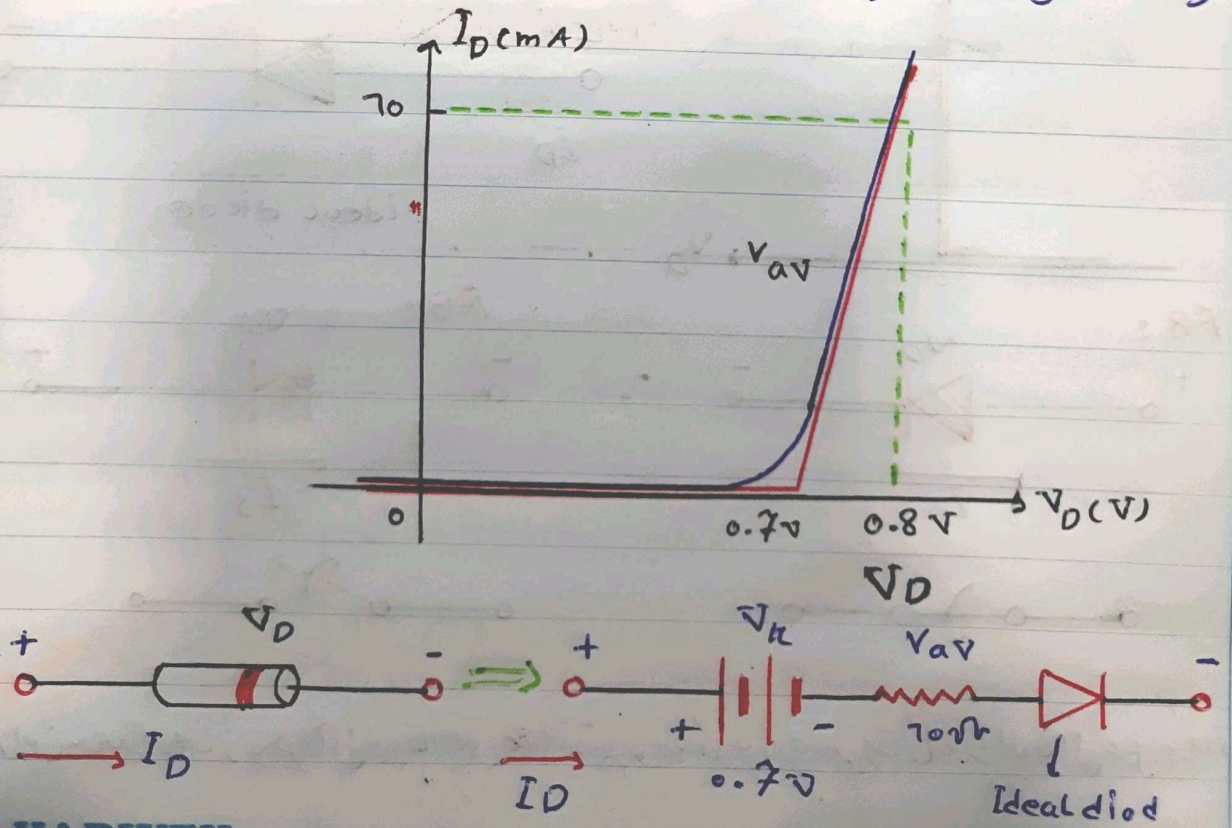
در این حالت ولتاژ و جریان در بایاس مستقیم و معکوس به صورت کامل ایده آل عمل می کنند.

۱: Piecwise - Linear یا تقریب قطعه ای خطی

یک روش برای بدست آوردن یک مدار معادل برای یک دیود، تقریب ویژگی های دستگاه توسط بخش های مستقیم خط است. همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید مدار معادل حاصل را خطی قطعه ای می نامند. از شکل باید مشخص باشد که بخش های خط مستقیم منجر به تکرار دقیق ویژگی های واقعی به ویژه در ناحیه زانو نمی شود. برای بخش شیب دار همراه با مقاومت AC همانطور که در بخش مقاومت متوسط معرفی شد سطح مقاومت ظاهر شده است.

یک دیود نیمه هادی سیلیکونی تا زمانی که V_D یا V_R با بایاس مستقیم به 0.7 ولت نرسد به حالت رسانایی یا عبور جریان یا روشن شدن نمی رسد ۱/۰

در مدلسازی دیود ما آن را به صورت یک باتری یا منبع تغذیه مدل می کنیم، باتری به سادگی مشخص می کند که ولتاژ در سراسر دستگاه باید بیشتر از ولتاژ استانه باتری باشد قبل از اینکه به توان هدایت دستگاه را در جهت دیکته شده توسط دیود آل برقرار کرد، هنگامی که هدایت برقرار شد مقاومت دیود مقدار مشخص شده r_{av} خواهد بود.



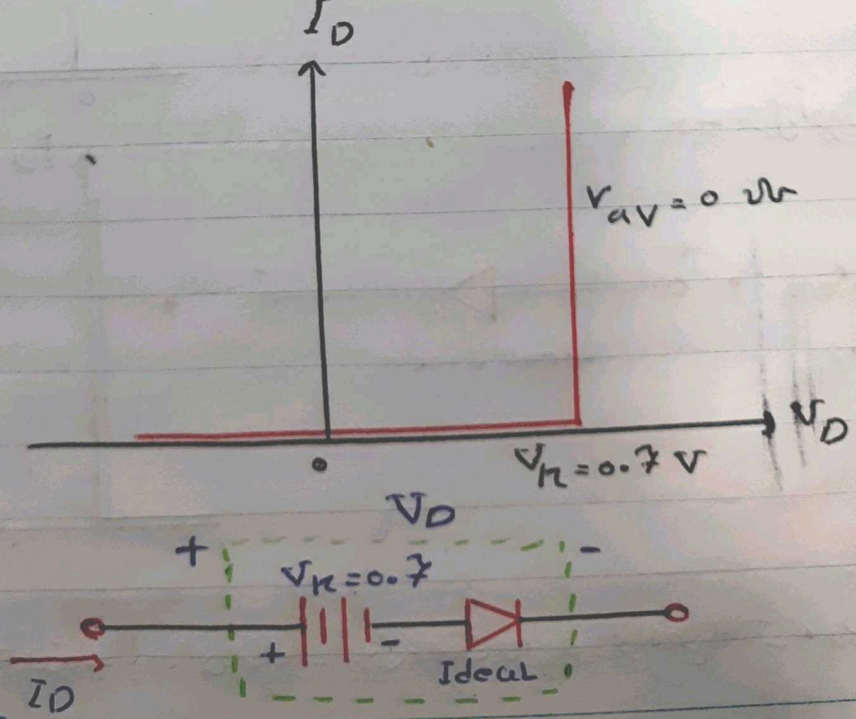
HADIYEH

البته به خاطر داشته باشید که V_K در مدار معادل یک منبع ولتاژ مستقیم مستقل نیست اگر یک ولت متر روی یک دیود ایزوله در آزمایشگاه قرار گیرد ولتاژ 0.7 درست نمی آید باتری به سادگی نشان دهنده انحراف افقی ویژگی هایی است که برای ایجاد رسانایی باید از آنها فراتر رفت. سطح تقریبی r_{av} را می توان از یک نقطه عملیاتی مشخص در دیتاشیت تعیین کرد، به عنوان مثال برای یک دیود نیمه هادی سیلیکونی نیمه های آن $I_F = 10\,mA$ (« جریان هدایت یا بایاس مستقیم») در $V_D = 0.8V$ باشد می دانیم که برای سیلیکون یک جابجایی 0.7 ولت قبل از افزایش مشخصات راز است و درست می آوریم.

$$r_{av} = \left.\frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}\right|_{pt.to.pt} = \frac{0.8\,V - 0.7\,V}{10\,mA - 0\,mA} = \frac{0.1\,V}{10\,mA} = 10\,\Omega$$

- مدار معادل ساده شده:

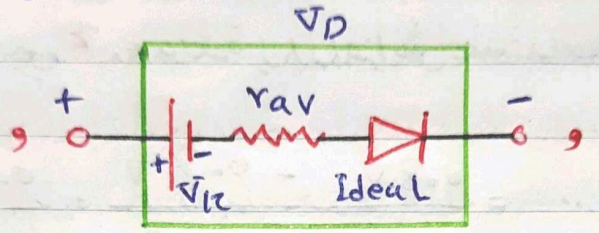
این مدل تقریب برای تحلیل های در حالت DC کاربرد دارد. برای اکثر کاربرد ها، مقاومت r_{av} به اندازه ای کوچک است که در مقایسه با عناصر شبکه نادیده گرفته می شود، حذف r_{av} از مدار معادل مشابه این است که مشخص شود ویژگی های دیود همانطور که در شکل زیر است می باشد:

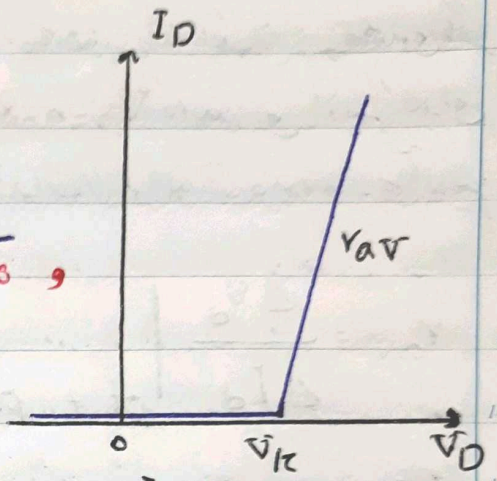


و مدار معادل آن به صورت اخرین شکل صفحه قبل ظاهر می شود و بیان می کند که یک دیود سیلیکونی در بایاس مستقیم در یک سیستم الکترونیکی تحت شرایط DC دارای افت ۰.۷ ولت در مرز آن است در حالت هدایت در هر سطحی از جریان دیود «

⟸ به طور خلاصه :

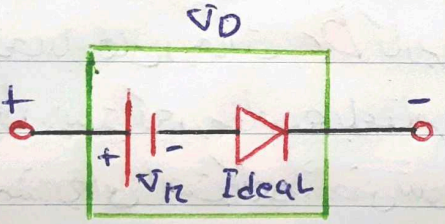
1) ⟸ مدل تقریب پاره ای خطی

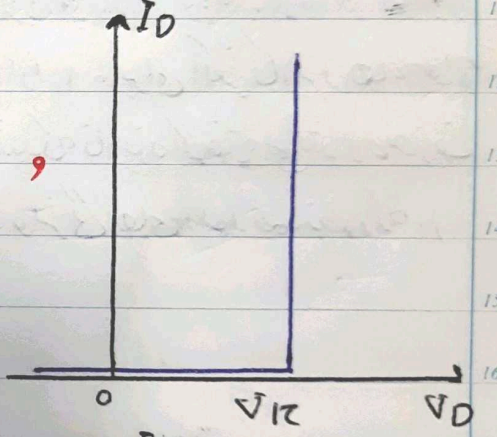




2) ⟸ مدل تقریب کار برای

$R_{net} \gg r_{av}$ ،

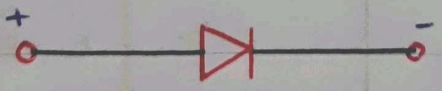


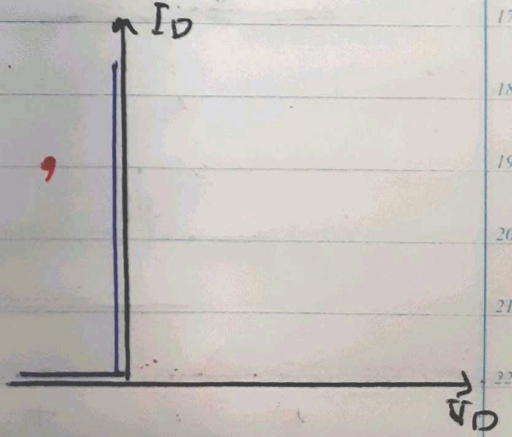


3) ⟸ مدل تقریب ایده آل

$R_{net} \gg r_{av}$ ،

$E_{net} \gg V_K$



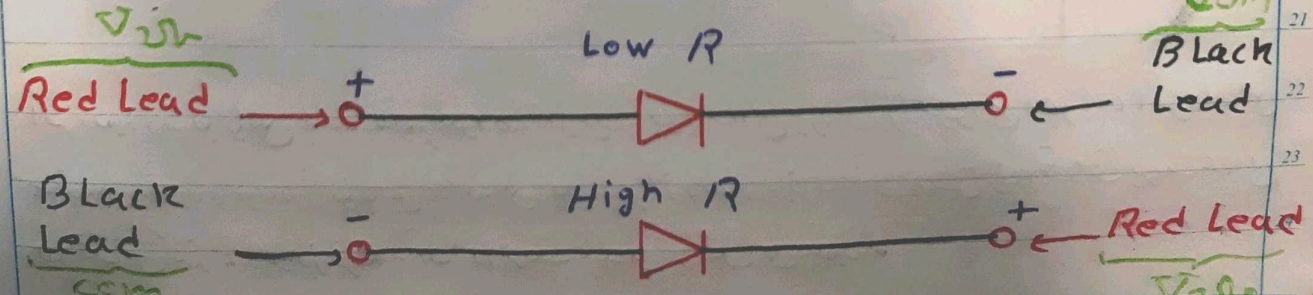


لازم به ذکر است که تقریب پاره ای خطی نزدیک ترین حالت به دیود واقعی است ، ولی با اطمینان

می توان گفت که مدل مدار معادل ساده شده بیشتر در تجزیه و تحلیل سیستم های الکترونیکی استفاده می شود در حالی که مدل ایده آل اغلب در تجزیه و تحلیل سیستم های منبع تغذیه استفاده می شود که در آنها ولتاژ بزرگی وجود دارد.

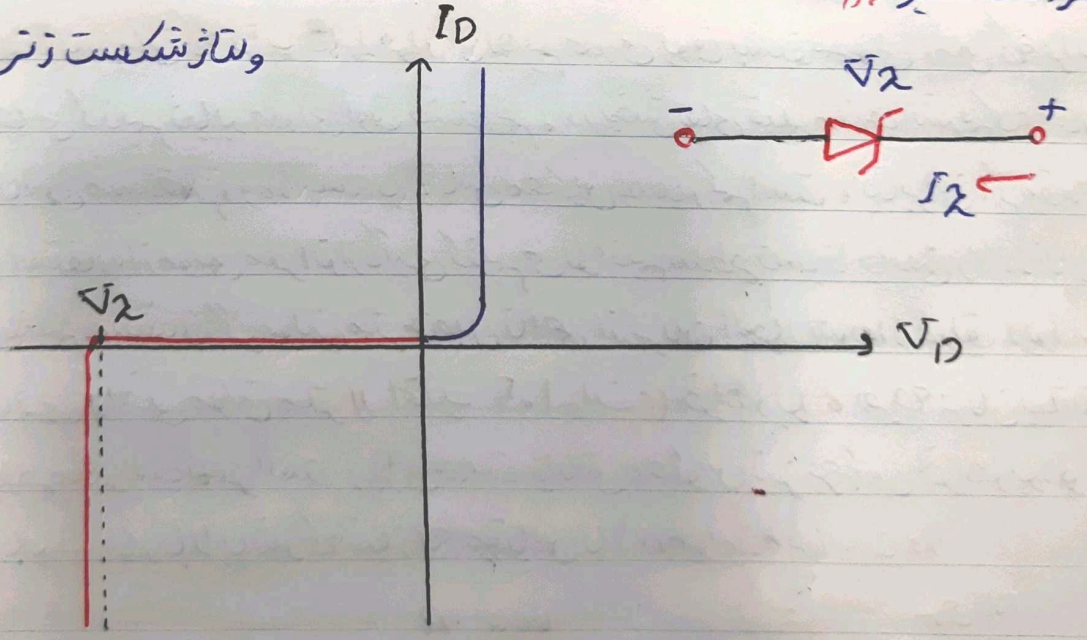
- تست دیود :

یک دیود زنر به های را می توان به دو روش تست کرد یکی با استفاده از مولتی متر (بخش اهم متر، بخش تست باز یا تست دیود) و دیگری با استفاده از رد یاب منحنی یا Tracer Curve، در تست دیود با مولتی متر، بر روی دیود یک حلقه یا نوار نقره ای یا مشکی وجود دارد که نشان دهنده کاتد است، این نشان دهنده اتصال ولتاژ است، اگر ولتاژ به ترتیب + و - اتصال شود جریان از دیود عبور خواهد کرد و زمانی که مولتی متر را در حالت تست دیود قرار دهیم طبق چیزی که مولتی متر نشان می دهد وقتی دیود روشن است و هدایت می کند شاهد افت ولتاژ 0.67 ولت هستیم (در دیود سیلیکونی) حال اگر پراب ها را جابجا کنیم جریان مسدود است و صفحه نمایش مولتی متر OL نشان می دهد، حال در حالت تست باز باید زمانی که پراب ها را قرار می دهیم صدای بوق بشنویم ولی زمانی که پراب ها را جابجا می کنیم نباید صدای بوق بشنویم. در بخش های قبلی متوجه شدیم که مقاومت دیود در بایاس مستقیم در مقایسه با بایاس معکوس بسیار کم است، بنابراین اگر مقاومت دیود را با استفاده از مولتی متر اندازه گیری کنیم می توانیم سطح تقریبا پایینی را انتظار داشته باشیم، نشان گر مولتی متر حاصل تاثیر جریان ایجاد شده از طریق دیود توسط باتری داخلی مولتی متر (اغلب 1.5 ولت) خواهد بود، هرچه جریان بیشتر باشد سطح مقاومت کمتر است و برای حالت بایاس معکوس نیز برعکس خواهد بود و مقاومت باید بسیار بالا باشد که نیاز به مقیاس بالا در مولتی متر است.



نکته این است که قرائت مقدار مقاومت با لا در هر او جهت نشان دهنده دیود معیوب است.
روش دیگر استفاده از دستگاه Curve Tracer است، در این دستگاه منحنی می تواند ویژگی های انواع ادوات نیمه هادی را مانند دیود نیمه هادی نشان داده و رسم کند، با اتصال صحیح دیود به پنل تست در مرکز پایین دستگاه و تنظیم کنترل ها می توان منحنی دیود را رسم کرد.

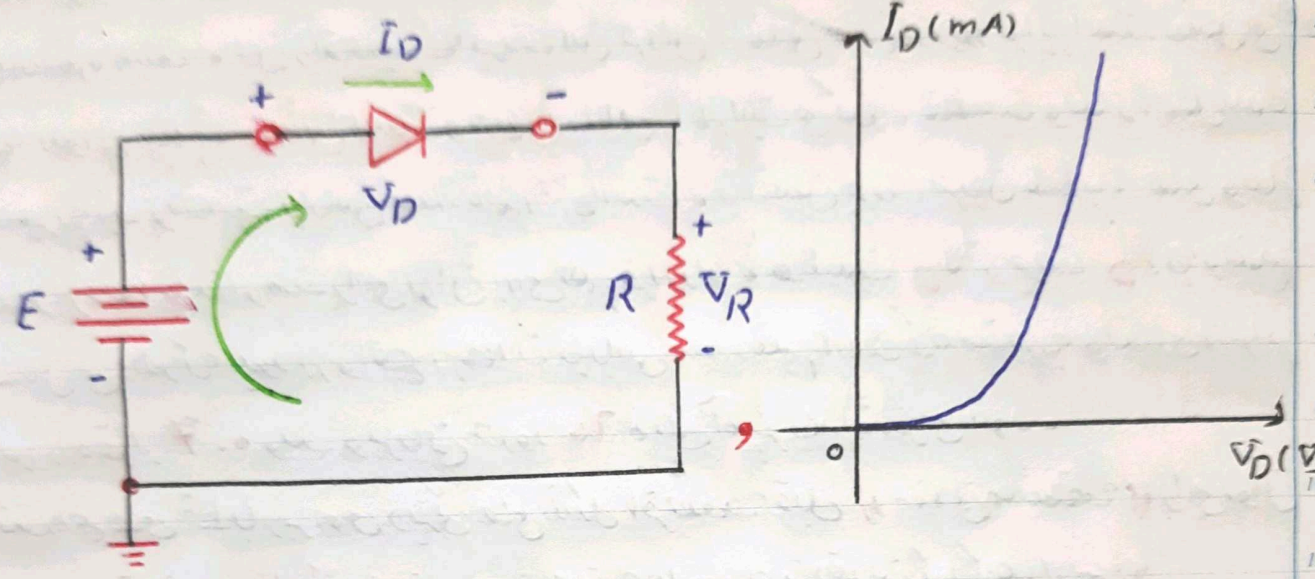
=> میان بحث: دیود زنر: دیود زنر در ناحیه بایاس معکوس کار می کند و استفاده عملی از آن به صورت بایاس معکوس است و برای حفاظت در مدارهای میکروکنترلری استفاده می شود، این نوع دیود برای کار در ناحیه شکست تر طراحی شده است، این دیود در شرایط بایاس مستقیم مانند یک دیود عادی عمل می کند ولی نسبت به دیود های ناخالصی دارد و بنابراین یک ناحیه تخلیه بسیار نازک دارد و به همین دلیل نیز جریان بیشتری نسبت به دیگر دیود ها از خود عبور می دهد، اصلی ترین تفاوت دیود زنر با دیود های معمولی این است که دیود زنر با ورود به ناحیه شکست اسیبی نمی بیند. به منحنی مشخصه دیود زنر دقت کنید:



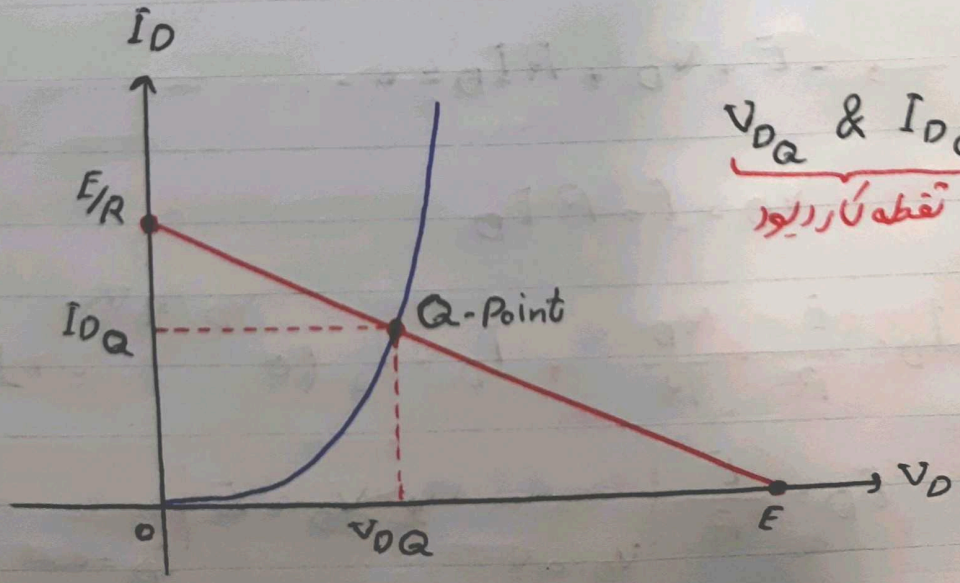
اگر دیود زنر بایاس مستقیم شود مانند یک دیود عادی جریان را عبور می دهد اما اگر بایاس معکوس شود و ولتاژ بایاس معکوس بیشتر از ولتاژ زنر باشد جریان را در خلاف جهت عادی هدایت می کند، دیود زنر همیشه در جهت عکس وصل می شود.

- بدست آوردن نقطه کار دیود :

مدار شکل زیر ساده ترین پیکربندی دیود است که برای توصیف تحلیل مدار دیود با استفاده از ویژگی های واقعی آن استفاده خواهد شد.



در شکل زیر مشخصات دیود بر روی همان مجموعه محورها به عنوان یک خط مستقیم که توسط پارامترهای شبکه تعریف شده است قرار داده شده است. خط مستقیم را خط بار می نامند زیرا تقاطع روی محور عمودی با بار اعمال شده R تعریف می شود. تحلیلی که باید انجام شود همین نقطه است که به آنالیز خط بار نام دارد. تقاطع روی منحنی را شبکه مشخص می کند.



V_{DQ} & I_{DQ}

نقطه کار دیود

قبل از بررسی جزئیات ترسیم خط بار روی مشخصه‌ها باید پاسخ مورد انتظار مدار ساده شکل صفحه قبل را تعیین کنیم، در این مدار دقت کنید که اثر فشار ایجاد شده توسط منبع dc ایجاد یک جریان معمولی در جهتی است که با فلش در جهت عقربه‌های ساعت نشان داده شده است، این واقعیت که جهت این جریان با فلش در نماد دیود برابر است نشان می‌دهد که دیود در حالت روشن است و جریان بالایی را هدایت می‌کند. قطبیت ولتاژ اعمال شده منجر به یک وضعیت بایاس مستقیم شده است، با تعیین جهت جریان قطبیت‌های ولتاژ در برابر دیود و مقاومت را می‌توان روی هم قرار داد، قطبیت V_D و جهت I_D به وضوح نشان می‌دهد که دیود در واقع در حالت بایاس مستقیم است که مذجره ولتاژی در برابر دیود در مقدار 0.7 ولت و جریانی حدود 10 میلی آمپر یا بیشتر می‌شود.

تقاطع های خط بار بر روی ویژگی های شکل از صفحه قبل (منحنی مشخصه) را می‌توان با اعمال قانون ولتاژ کیرشهف در جهت عقربه‌های ساعت تعیین کرد که داریم:

$$\longrightarrow +E - V_D - V_R = 0$$

$$E = V_D + R I_D$$

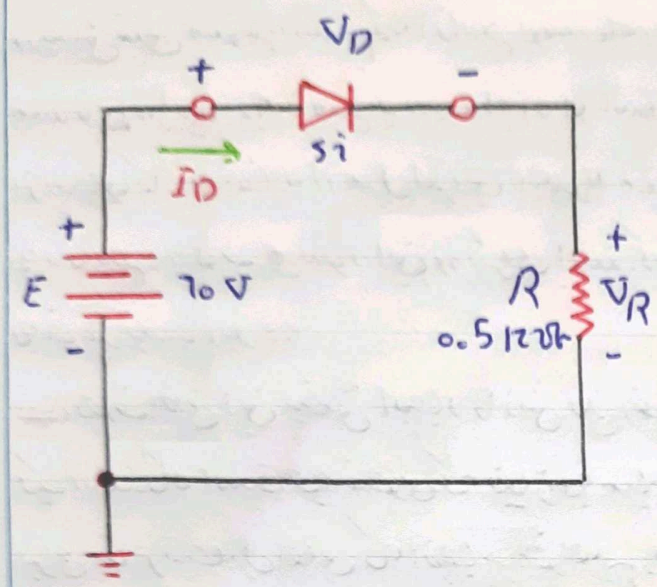
$$\longrightarrow -E + V_D + R I_D = 0$$

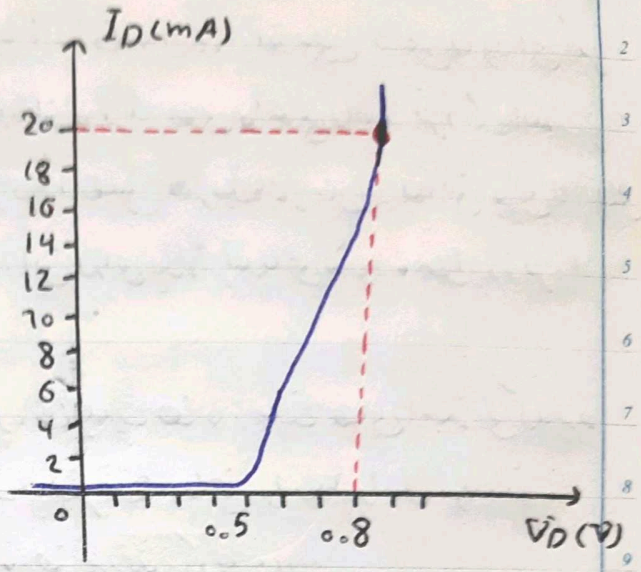
$$V_D = E = R I_D$$

$$I_D = \frac{E}{R} - \frac{V_D}{R} \quad , \quad I_D = I_S \left(e^{V_D/\eta V_T} - 1\right)$$

$$I_D = \frac{E}{R}\Big|_{V_D = 0\,V} \quad , \quad V_D = E\Big|_{I_D = 0\,A}$$

مثال: ۱۱ نقطه کار و ولتاژ V_R را بدست آورید.





0.5 kΩ

$$-70 + V_D + R I_D = 0$$

$$V_D = 10 - 500\, I_D$$

$$I_D = \frac{E}{R}\Big|_{V_D=0V} = \frac{70\,V}{0.5\,K\Omega} = 20\,mA$$

$$V_D = E\Big|_{I_D=0A} = 70\,V$$

$$V_R = E - V_D = 70 - 0.78_V = 9.22\,V$$

$$V_{DQ} \cong 0.78\,V$$

$$I_{DQ} \cong 18.5\,mA$$

Mo Tu We Th Fr Sa Su

Subject: ..... Date:.....

- تقریب ایده‌آل:

در بخش قبلی متوجه شدیم که نتایج بدست آمده با استفاده از مدل تقریبی خطی پاره‌ای اگر مساوی نباشد به پاسخ بدست آمده با استفاده از ویژگی‌های واقعی کاملا نزدیک است و از آنجایی که استفاده از مدل تقریبی معمولا منجر به کاهش هزینه، زمان و تلاش برای دستیابی به نتایج مطلوب می‌شود این رویکردی است که در این درس بکار گرفته می‌شود. موارد زیر را به خاطر بسپارید:

⇒ هدف اصلی این بخش ایجاد دانش کلی رفتار، قابلیت‌ها و زمینه‌های احتمالی کاربرد یک دستگاه است به نحوی که نیاز به مباحث پیشرفته ریاضی را به حداقل برساند.

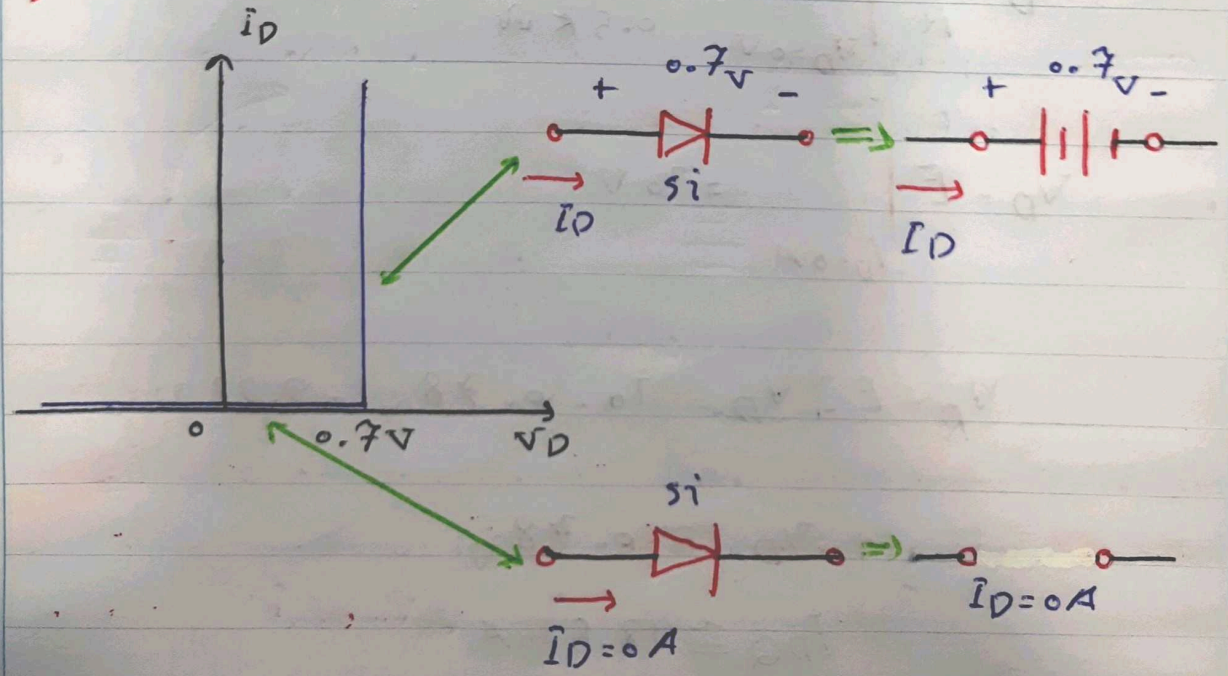
برای تمام تحلیل‌هایی که انجام خواهیم داد فرض می‌شود که:

⇒ مقاومت بایاس مستقیم دیود انقدر کم است نسبت به سایر عناصر شبکه که می‌توان آن را نادیده گرفت.

جدول زیر مدل‌های دیود ایده‌آل و تقریبی را نشان می‌دهد:

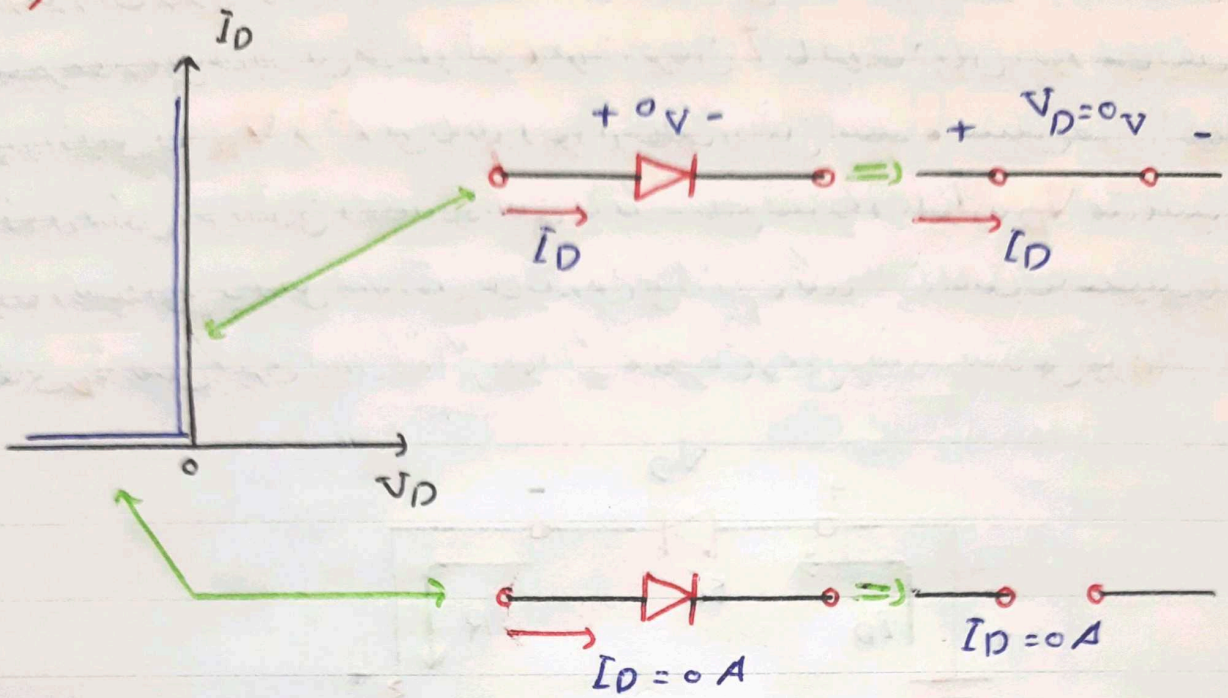
Approximate and Ideal Semconductor Diode

1) Silicon:



HADIYEH

2) Ideal

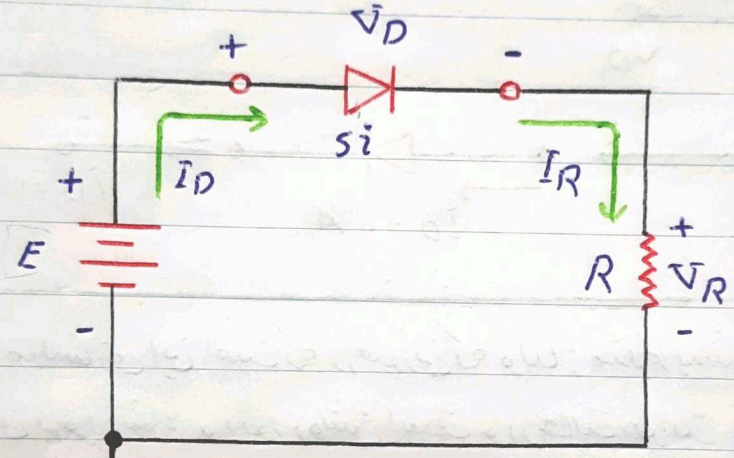


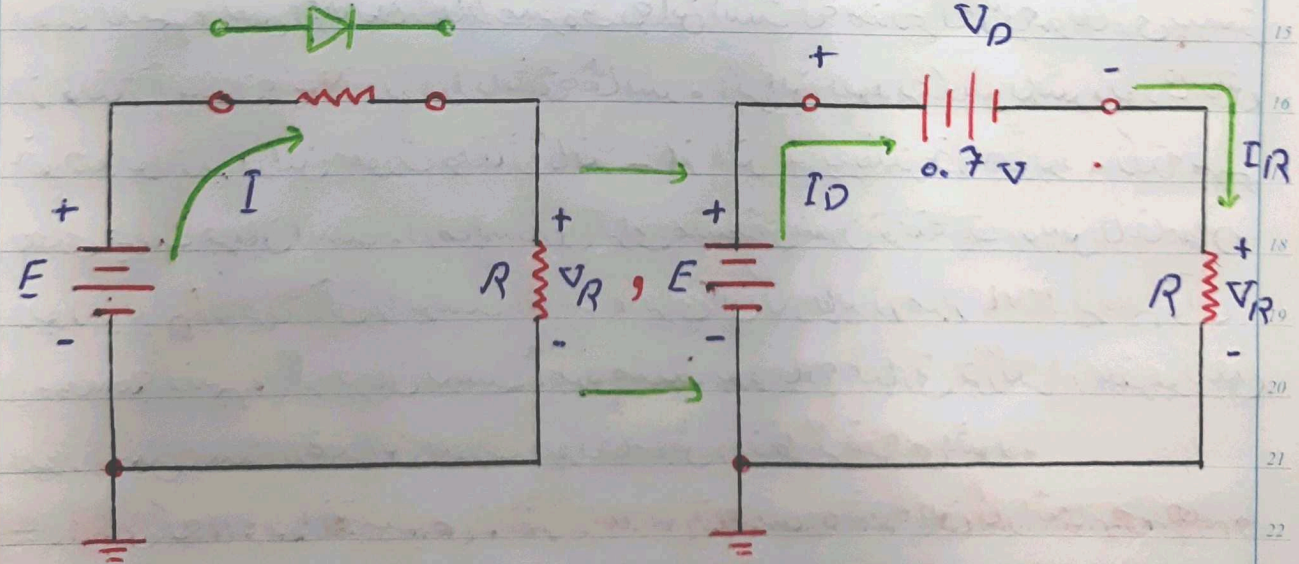
نکته مهم در این مدلسازی این است که در صورتی که ولتاژ منبع بیشتر از ولتاژ آستانه دیود باشد جریان برقرار شده و دیود روشن است و در حالت هرایت در غیر این صورت دیود خاموش خواهد بود، در مسائل برای تعیین ولتاژ استانه یا V_K باید به جنس دیود دقت کنیم، پس توضیحات بالا مشروط به این است که منبع تغذیه ولتاژی بیشتر از ولتاژ آستانه V_K دیود را داشته باشد. اگر این دیود برعکس باشد دیود خاموش خواهد بود زیرا در این صورت ولتاژ کاتد - از آند + بیشتر خواهد بود. نکته مهم بعدی جهت جریان است، در مدلسازی برای مشخص شدن وضعیت روشن یا خاموش دیود باید I_D و جهت آن را درست آوریم، برای این کار باید در مدار KVL بزنیم و آن را محاسبه کنیم، اگر جریان درست آمده مثبت بود یا به عبارتی بزرگتر از صفر بود یعنی دیود روشن است در غیر این صورت دیود خاموش در نظر گرفته می شود.

=> زمانی که دیود را تقریبی می زنیم بر اساس نوعی ساده شده این کار انجام می دهیم و دیود را با یک منبع تغذیه به اندازه V_K جایگزین می کنیم و تشخیص روشن یا خاموش بودن دیود با درست آوردن جهت I_D مهم است، و همیشه در جهت دیود KVL می زنیم V_0

HADIYEH

در مداری زیر ابتدا دیود با یک مقاومت به طور ذهنی جایگزین خواهد شد یا اصطلاحاً با یک منصر مقاومتی جایگزین خواهد شد، جهت جریان I با جهت جریان دیود مطابقت دارد و از آنجایی که $E > V_R$ می باشد دیود در حالت روشن است، سپس مدار را همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است با یک منبع تغذیه به اندازه V_D متناسب با یک دیود سیلیکونی بایاس مستقیم جایگزین می کنیم، نکته این است که قطبیت یا پلاریته های V_D همان چیزی است که اگر دیود یک منصر مقاومتی باشد بدست می آید!!





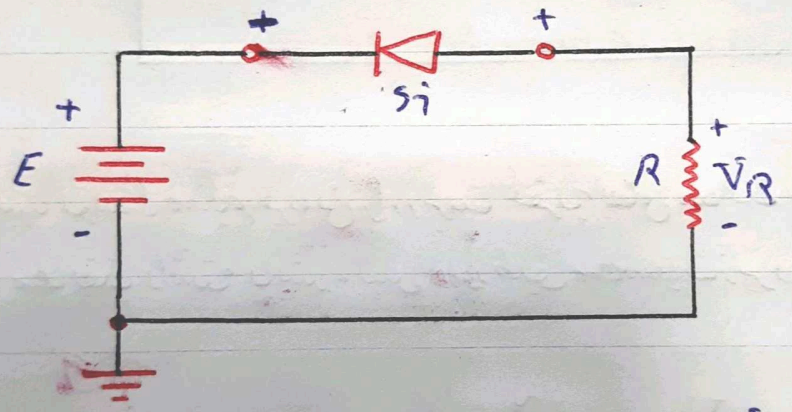
سطوح ولتاژ و جریان حاصل به این شرح است:!!

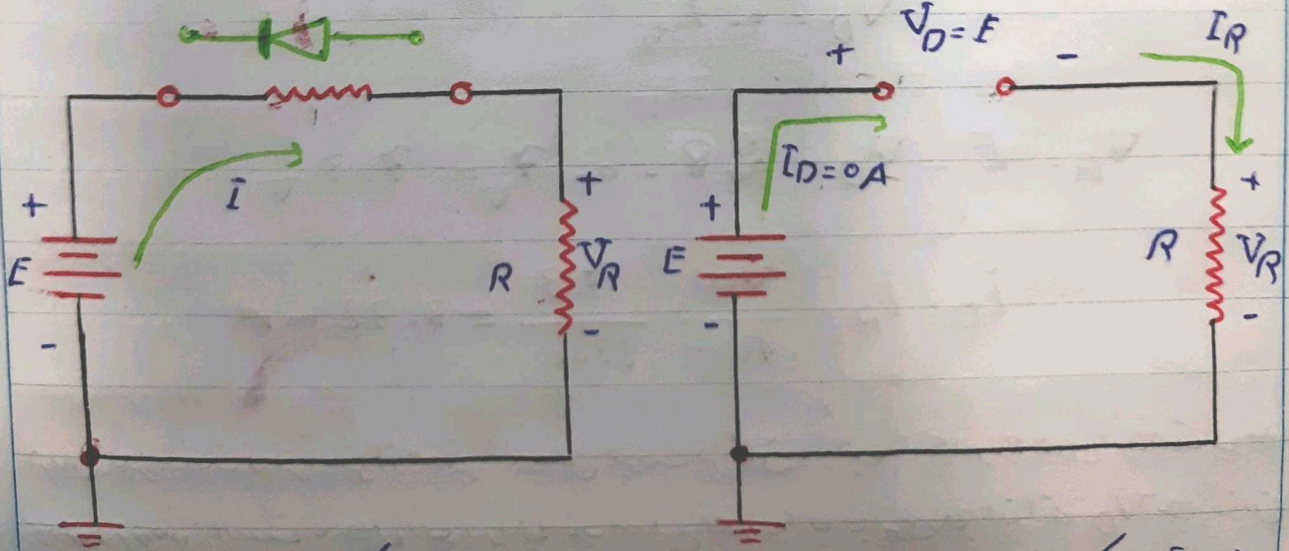
$$V_D = V_R$$

$$V_R = E - V_K \quad , \quad I_D = I_R = \frac{V_R}{R}$$

در شکل زیر دیود مدار صفحه قبل معکوس شده است و جایگذینی ذهنی دیود با یک عنصر مقاومتی نشان می دهد که جهت جریان حاصل I با جهت جریان دیود یا فلش در نماد دیود مطابقت ندارد، در نتیجه دیود خاموش است و مدار معادل به صورت زیر خواهد بود، به دلیل مدار باز بودن جریان دیود $I_D = 0A$ و ولتاژ مقاومت به صورت زیر است:

$$V_R = I_R R = I_D R = (0A) R = 0\,V$$

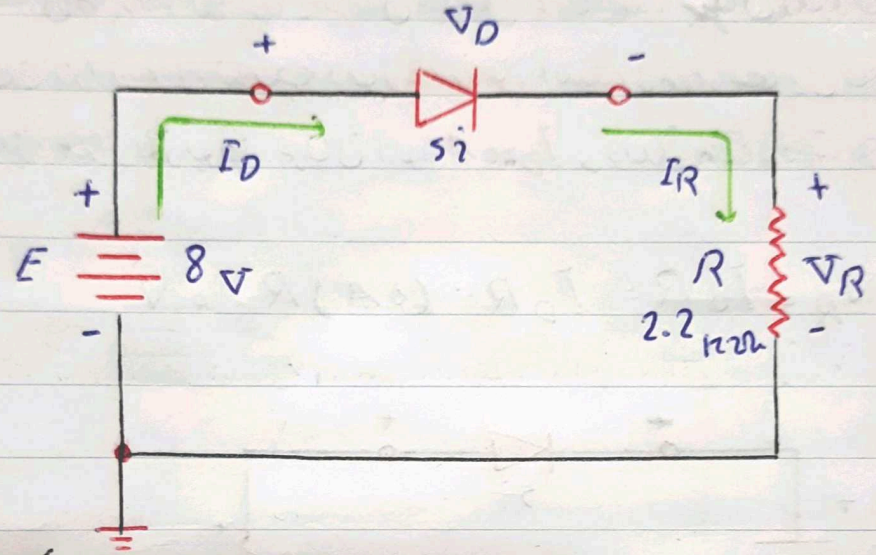




این واقعیت که $V_R = 0V$ ولتاژ E را در برابر مدار باز برقرار می کند توسط قانون ولتاژ

گیرشیفت تعریف شده است، و نکته بسیار مهم این است که تحت هر شرایطی چه DC و چه مقادیر لحظه ای AC پالس ها و غیره قانون ولتاژ گیرشیفت باید رعایت شود.

مثال: برای مداربری دیودی زیر V_D ، V_R و I_D را تعیین کنید و سپس در حالت معکوس نیز مدار را تحلیل کنید.



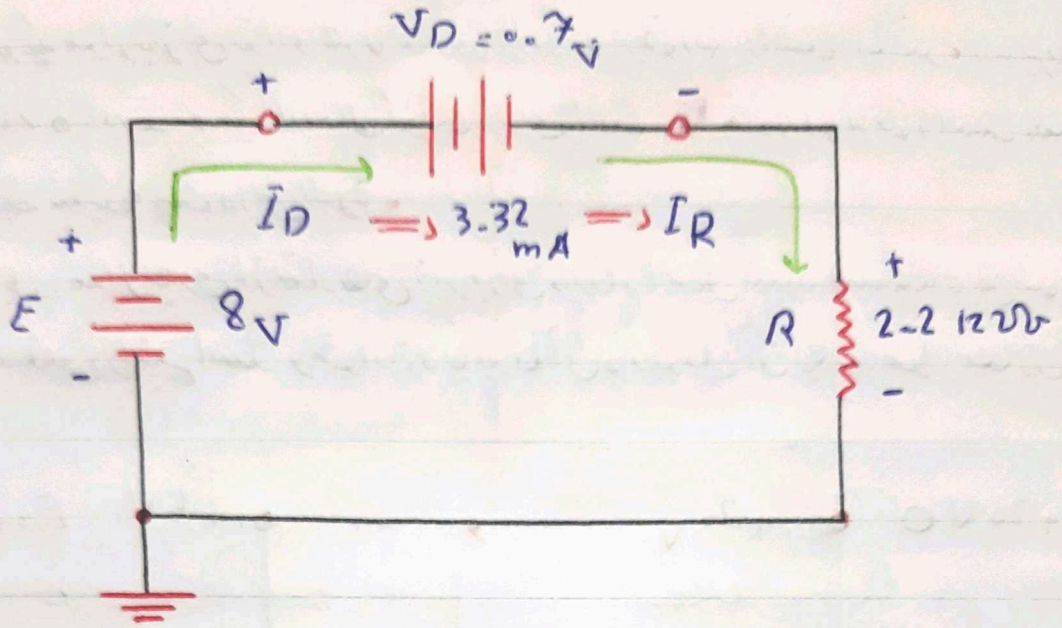
ولتاژ اعمال شده توسط منبع جریانی را در جهت حرکت عقربه های ساعت برقرار می کند تا با فلش علامت دیود مطابقت داشته باشد، پس دیود طبق محاسبات زیر در حالت روشن است:

$$V_D = 0.7\ V$$

$$V_R = E - V_D = 8\ V - 0.7\ V = 7.3\ V$$

$$I_D = I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{7.3}{2200} = 3.32\ mA$$

جریان نیز مثبت و بزرگتر از صفر شد پس جهت جریان در جهت حرکت عقربه های ساعت بوده و دیود روشن است، حال دیود را با یک منبع تغذیه یا باتری به اندازه V_D جایگزین می کنیم:



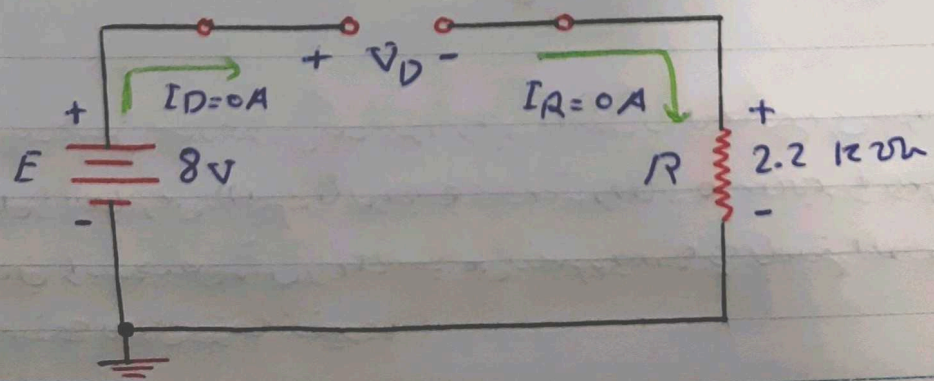
حال اگر این دیود در حالت معکوس باشد، متوجه می‌شویم که I برخلاف فلش در نماد دیود است و معادل دیود مدار باز است، داریم:

$$I_D = 0\,A \quad , \quad V_R = \underbrace{I_R}_{I_R = I_D} R \Longrightarrow V_R = (0)R = 0V$$

و داریم:

$$E - V_D - V_R = 0$$

$$V_D = E - V_R = E - 0 = E = 8V$$

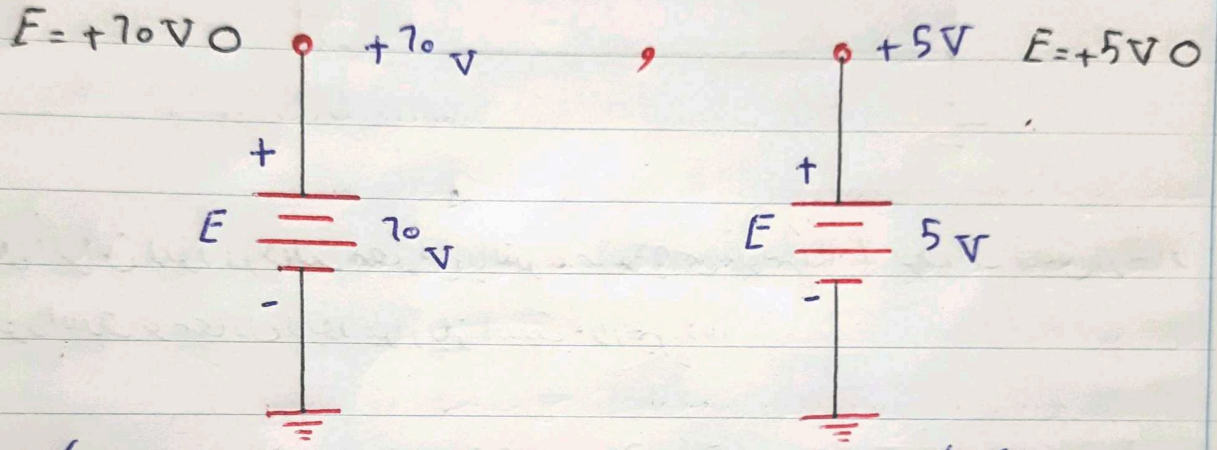


Mo Tu We Th Fr Sa Su

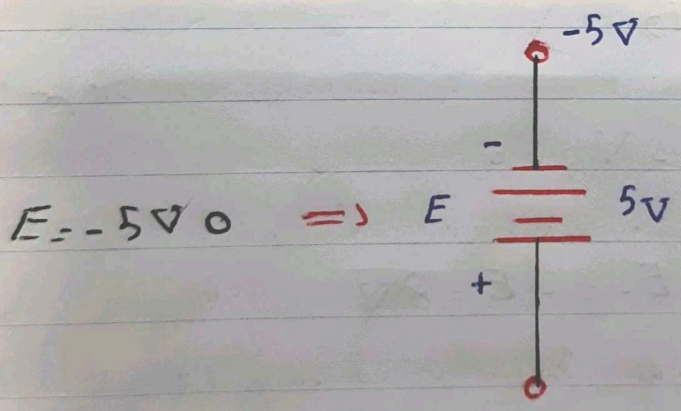
Subject: ..... Date: .....

نکته ۱: یک مدار باز می تواند هر ولتاژی را در دو سر خودش داشته باشد، اما جریان آن همیشه ۰ A است، یک اتصال کوتاه دارای افت ۰ V در دو سر خود است اما جریان فقط توسط شبکه محدود می شود.

نکته 2: در مثال بعدی از نمادهای زیر برای ولتاژ اعمال شده استفاده می شود، این یک نماد صنعتی رایج است و خواننده باید با آن و تبدیل آن به یک مدار معادل آشنا شود:

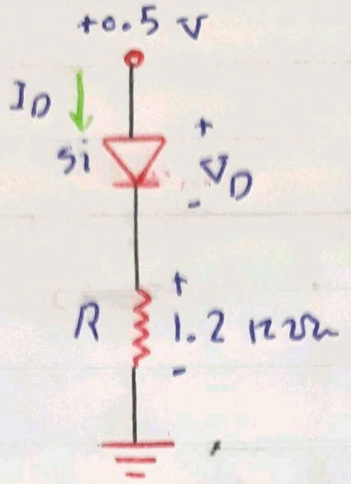


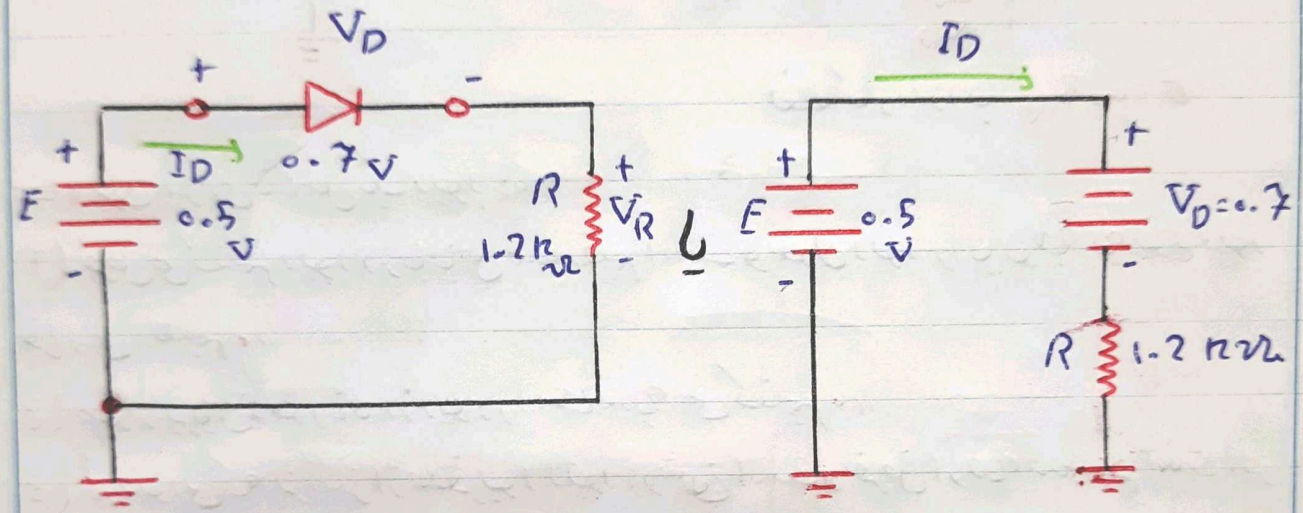
باید دقت داشت که اگر علامت ولتاژ سر قطب منفی باشد پلاریته های منبع برعکس خواهند بود یعنی:



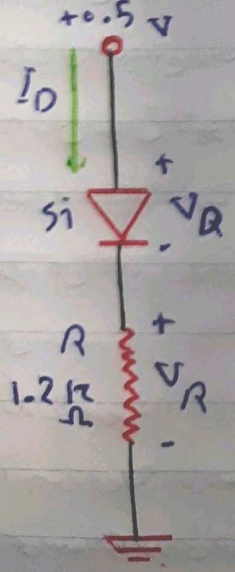
حال اگر در یک چنین نماد مداری یک ایدیو وجود داشت که با منبع بری شده بود همان اعمال قبل را انجام می دهیم، با توجه به علامت ولتاژ ۰ منابع را رسم می کنیم سپس جهت جریان را تشخیص و آن را محاسبه می کنیم و بسته به پاسخ ایدیو را مدل می کنیم به مدار صفحه بعدی توجه کنید!!

HADIYEH





مثال: برای مدار زیر شکل زیر V_D، V_R و I_D را تعیین کنید:

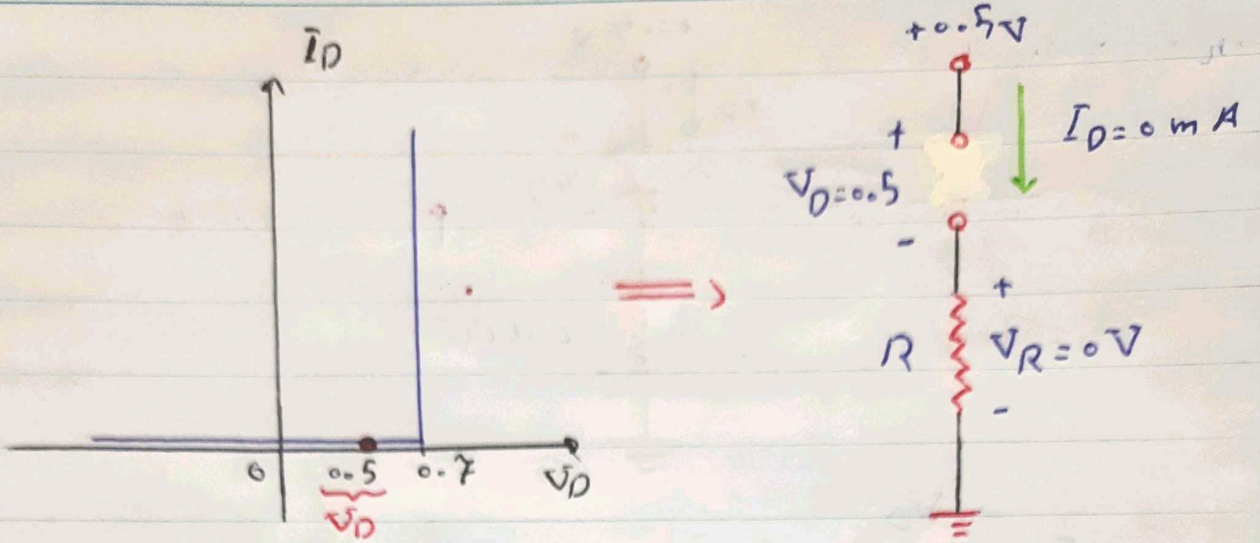


$$KVL: -0.5 + 0.7 + 1.2\,k\Omega \times I_D = 0$$

$$I_D = \frac{0.2}{1.2\,k} < 0 \longrightarrow I_D = 0$$

$$V_R = I_R R = I_D R = (0A)1.2\,k\Omega = 0V$$

$$V_D = E = 0.5\,V$$



نقطه کار دیود با $E=0.5_V$

⟹ برای مواری شامل یک دیود :

1) فرض می کنیم دیود در بایاس مستقیم است و مدل دیود را با توجه به نوع دیود قرار می دهیم.

2) مقدار جریان گذرنده از دیود را محاسبه می کنیم.

3) در صورتی که بزرگتر از صفر بود دیود روشن است و فرض اولیه صحیح است اگر جریان کوچکتر یا مساوی با صفر بدست آمد یعنی دیود خاموش است و جریان صفر است.

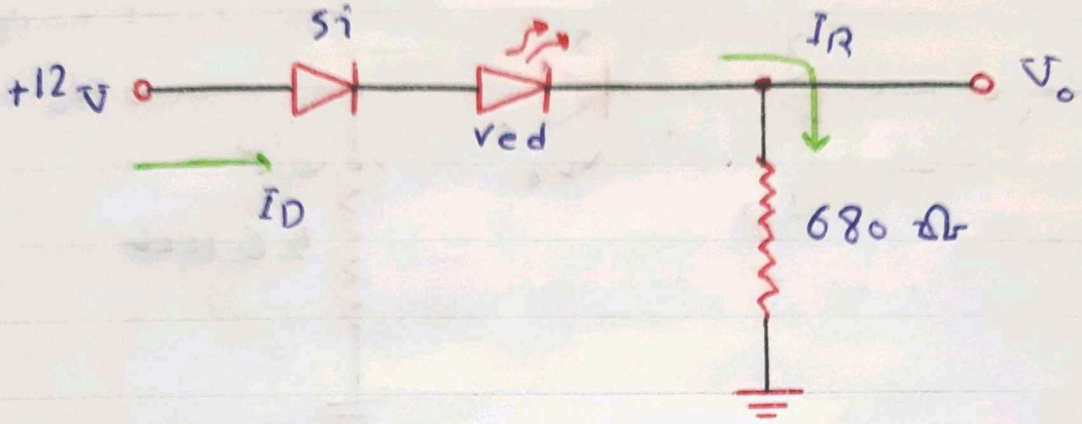
برای روشن کردن یک دیود حتما لازم است که مقدار ولتاژ آستانه یا V_R مورد نیاز آن را با توجه به جنس دیود به آن اعمال کنیم، در غیر این صورت دیود خاموش خواهد بود. این خاموش بودن دیود به معنی بایاس معکوس نیست. در هنگام معادلسازی یک مدار ابتدا منابع تغذیه را با توجه به علامت آن مدل می کنیم سپس به جای دیود یک منبع تغذیه قرار می دهیم و ولتاژ استانه را طبق جنس دیود اعمال می کنیم و جهت جریان را مشخص می کنیم.

نکته مهم:

در مواری که دو دیود با یکدیگر بری شده باشند، اگر ولتاژی که از سمت منبع به انها اعمال می شود به قدری قوی باشد که یکی از دیودها را روشن کند ولی دیگری را نه، جریان در مدار برقرار نشده و دیود خاموش است.

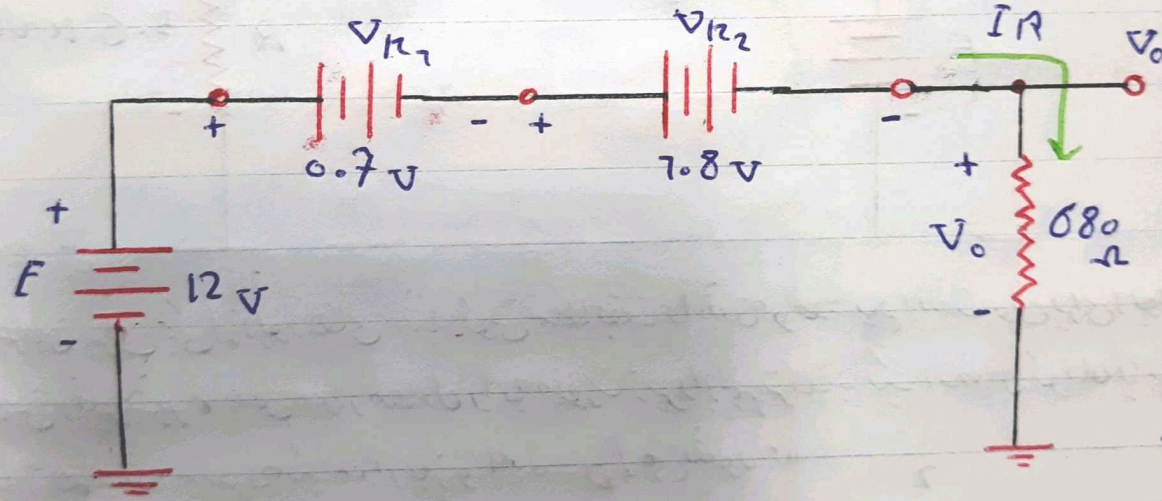
مثال: مقدار V_o و I_D را برای مداری زیر بدست آورید.

$V_{Red} \Rightarrow 7.8\,V$



$$KVL: -12 + 0.7 + 1.8 + 680 \times I_D = 0$$

$$I_D = \frac{12 - 2.5}{680} = 13.97$$

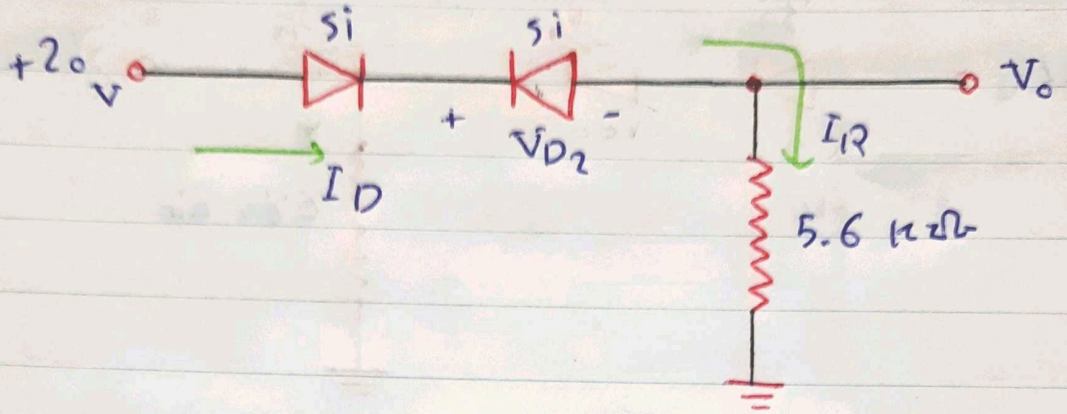


$$V_o = E - V_{R_1} - V_{R_2} = 12\,V - 2.5\,V = 9.5\,V$$

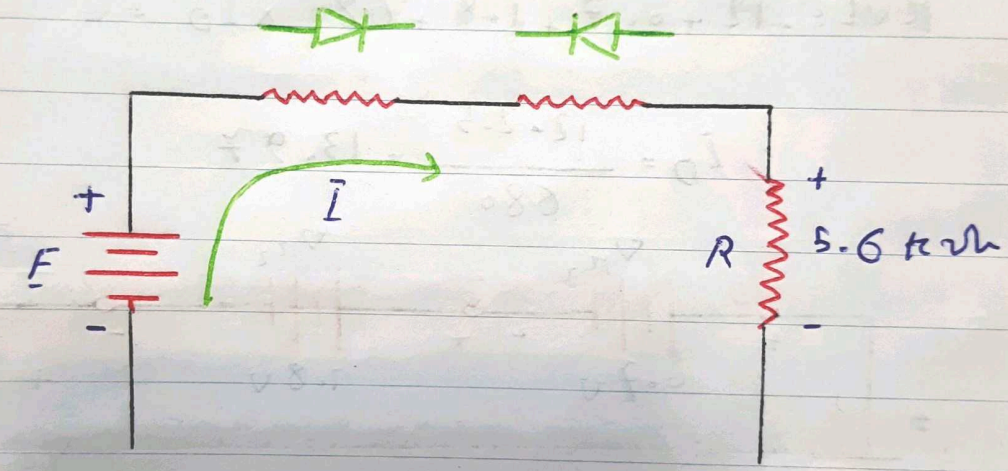
$$I_D = I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_o}{R} = \frac{9.5}{680} = 13.97\ mA$$

$\Rightarrow 13.97 > 0 \Rightarrow$ Diode is on

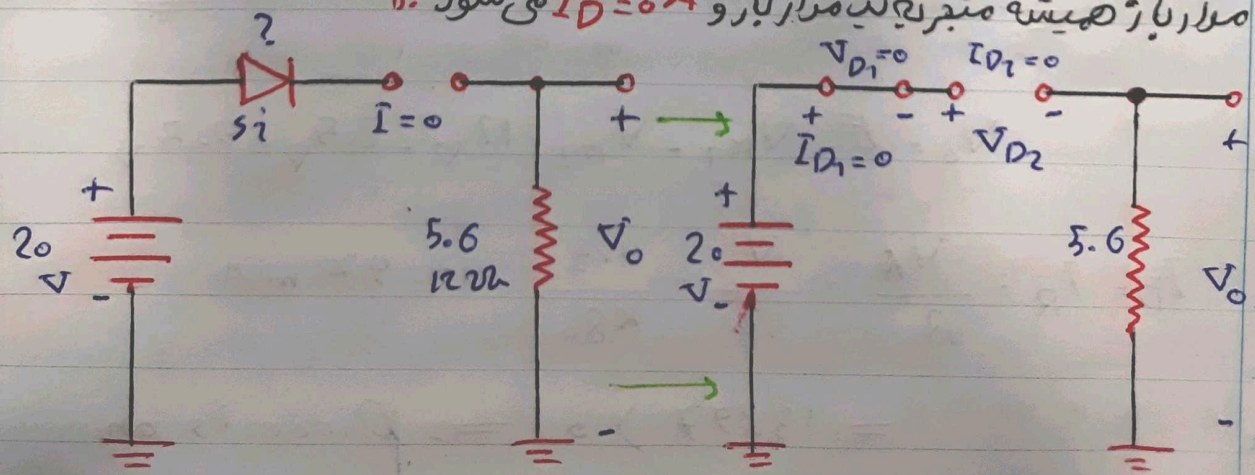
مثال: مقدار I_D ، V_{D_2} و V_o را برای مدار زیر بدست آورید:



ابتدا مدارسازی ها را انجام می دهیم:



جهت جریان برای یکی از دیودهای سیلیکونی مطابقت داشته و صحیح است ولی برای دیود سیلیکونی دیگر خیر، پس مدار معادل را به صورت زیر (دو مدار) ترکیب یک اتصال کوتاه یا یک مدار باز همیشه منجر به یک مدار باز و $I_D = 0\,A$ می شود:



$I_D = 0\,A$, $V_D = 0\,V$, $V_{D_1} = 0\,V$

$$V_o = I_R R = I_D R = (0\,A)(5.6\,k\Omega) = 0\,V$$

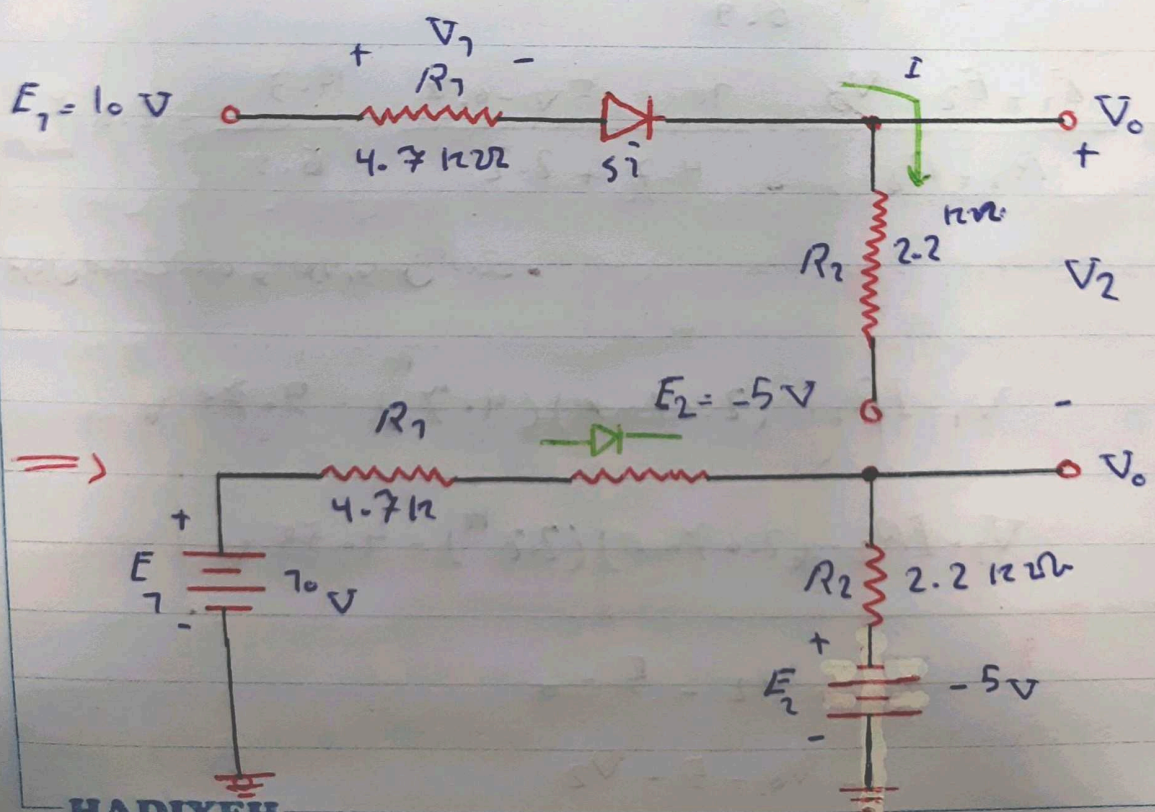
$$V_{D_2} = V_{\text{open circuit}} = E = 20\,V$$

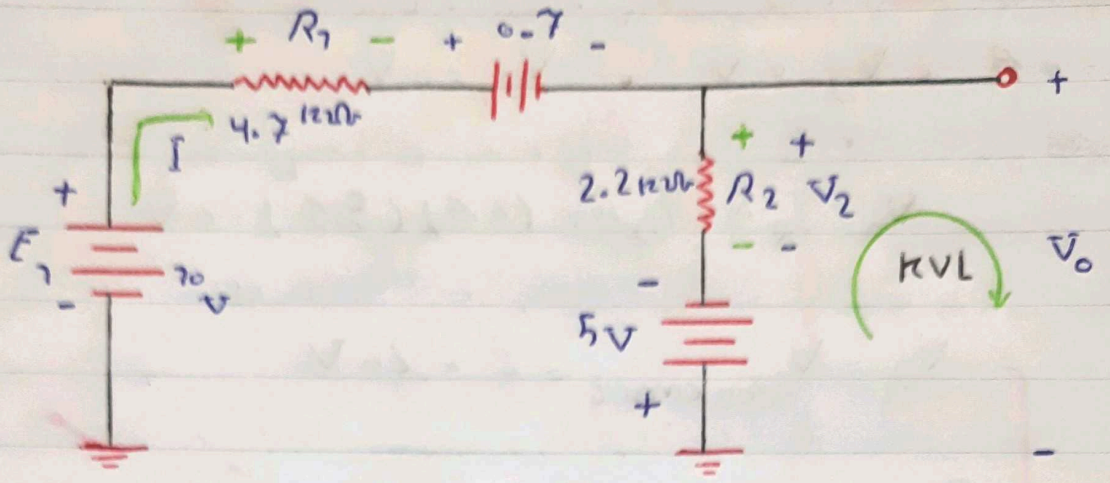
$$E - V_{D_1} - V_{D_2} - V_o = 0$$

$$\Rightarrow V_{D_2} = E - V_{D_1} - V_o = 20\,V - 0 - 0 = 20\,V$$

$$V_o = 0\,V$$

مثال: مقادیر I, V_1, V_2, V_o را برای مدار زیر dc زیر بدست آورید.





$$KVL: -10 + 4.7\,k\,I_D + 0.7 + 2.2\,k\,I_D - 5 = 0$$

$$\Rightarrow 6.9\,k\,I_D = 14.3$$

$$I_D = \frac{14.3}{6.9} = 2.07\ mA$$

$$I = \frac{E_1 + E_2 - V_D}{R_1 + R_2} = \frac{10V + 5V - 0.7}{4.7 + 2.2} = \frac{14.3}{6.9} = 2.07\ mA$$

جریان مثبت شده و دیود روشن است.

$$V_1 = IR_1 = (2.07mA)(4.7\,k) = 9.73\ V$$

$$V_2 = IR_2 = (2.07mA)(2.2\,k) = 4.55\ V$$

$$-V_o + V_2 - 5 = 0$$

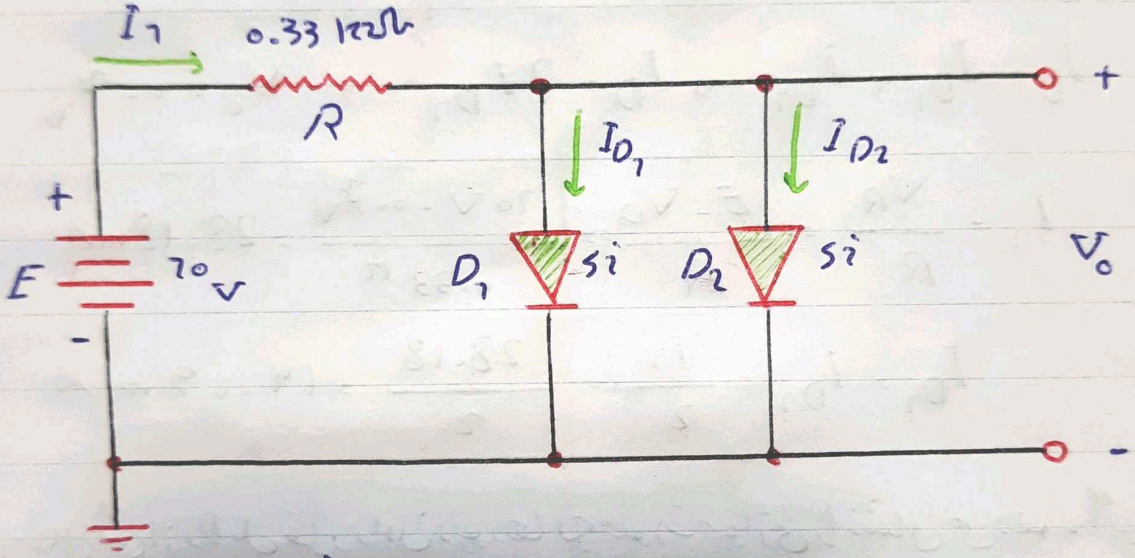
$$-V_o = 5 - V_2$$

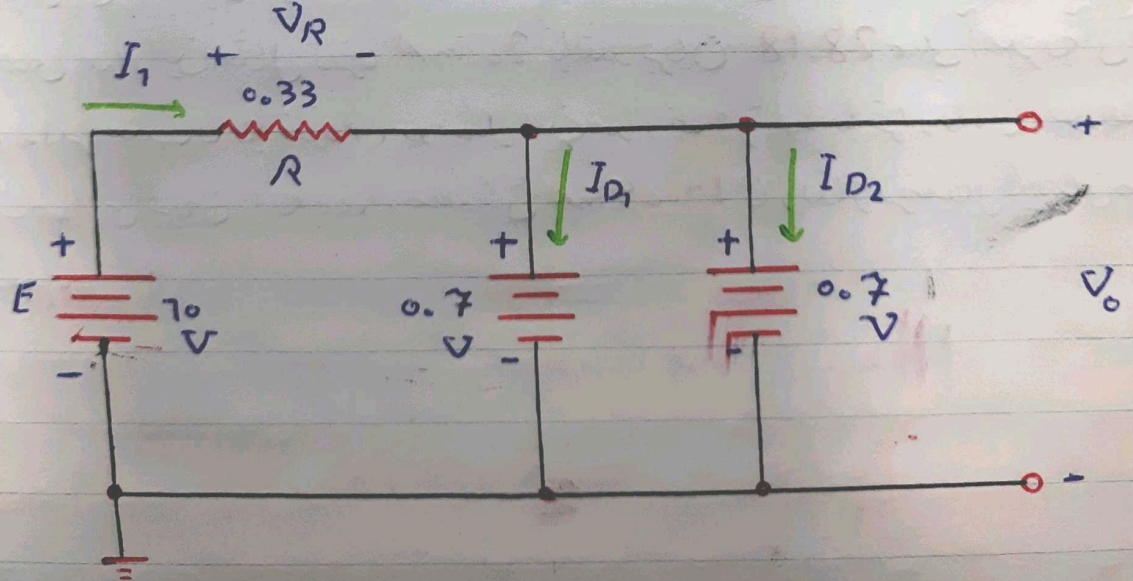
$$-E_2 + V_2 - V_o = 0$$

$$V_o = V_2 - E_2 = 4.22\,V - 5\,V = -0.45\,V$$

تمامی این روش‌های اعمالی را برای محاسبه ولتاژها و جریان‌های مدار دیودی را می‌توان هم برای مواردی و هم برای مدار موازی پیاده سازی کرد.

مثال: مقادیر V_o ، I_1 ، I_{D_1} و I_{D_2} را برای مدار دیودی موازی زیر بیابید.





برای ولتاژ اعمال شده مدلیم برای ایجاد جریان از طریق هر دیود در همان جهتی که شکل بالا

نشان داده شده است، عمل می‌کند، از آنجایی که جهت جریان حاصل با فلش در هر نماد دیود مطابقت دارد و ولتاژ اعمال شده بیشتر از 0.7 ولت است هر دو دیود در حالت روشن هستند، و نکته این است که ولتاژ بین عناصر موازی همیشه یکسان است.

$$KVL: -10 + 0.33\,k\Omega \times I_D + 0.7 = 0$$

$$I_D = \frac{10 - 0.7}{0.33\,k\Omega} = \frac{9.3}{0.33} > 0$$

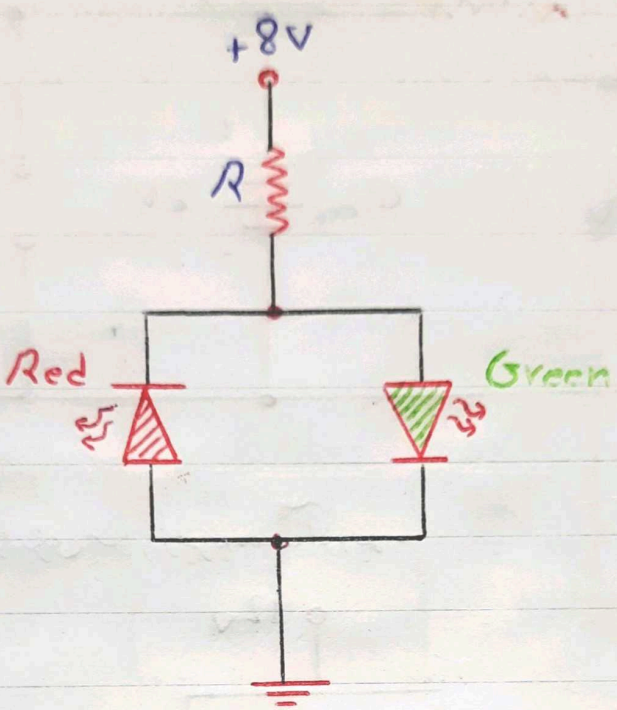
$$I_D = I_{D_1} + I_{D_2} \rightarrow I_D = 2I_{D_1} \quad , \quad V_o = 0.7\,V$$

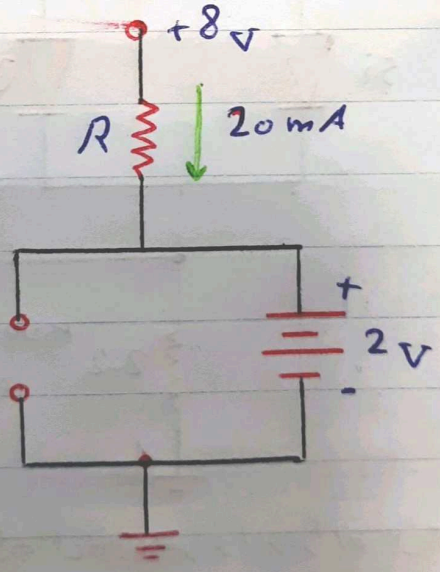
$$I_1 = \frac{V_R}{R} = \frac{E - V_D}{R} = \frac{10\,V - 0.7\,V}{0.33\,k\Omega} = 28.18\,mA$$

$$I_{D_1} = I_{D_2} = \frac{I_1}{2} = \frac{28.18}{2} = 14.09\,mA$$

این مثال یکی از دلایل قرار دادن دیودها به صورت موازی را نشان می‌دهد، اگر نرخ جریان دیودهای مدار این مثال تنها 20 mA باشد جریان 28.18 میلی آمپر به آن آسیب می‌زند، اگر دستگاه به تنهایی در شکل این مدار ظاهر شود با قرار دادن دیودها به صورت موازی جریان را به مقدار مطمئن 14.09 mA با ولتاژ ترمینال یکسان محدود می‌کنیم.

مثال: مقاومت R را برای جریان 20mA گذرنده از طریق دیود روشن برای مدار زیر پیدا کنید. هر دو دیود دارای ولتاژ شکست معکوس 3 ولت و ولتاژ روشن شدن متوسط 2 ولت هستند.

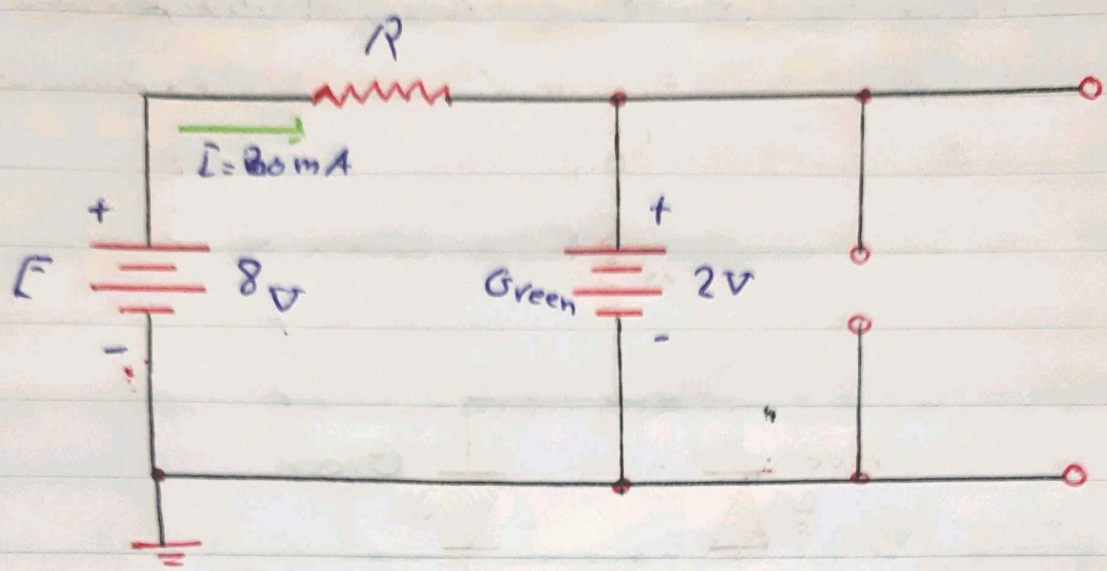




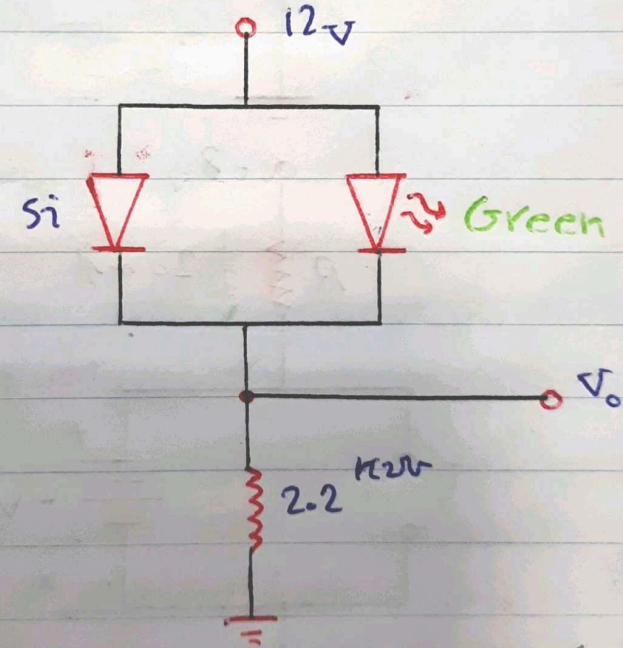
KVL: $-8 + R \times 20mA + 2 = 0$

$$I = 20mA = \frac{E - V_{LED}}{R} = \frac{8V - 2V}{R} \Rightarrow R = \frac{6V}{20mA} = 0.3\ k\Omega = 300\ \Omega$$

مدار معادل مداری که در آن LED را اعمال کردیم به شرح زیر است :

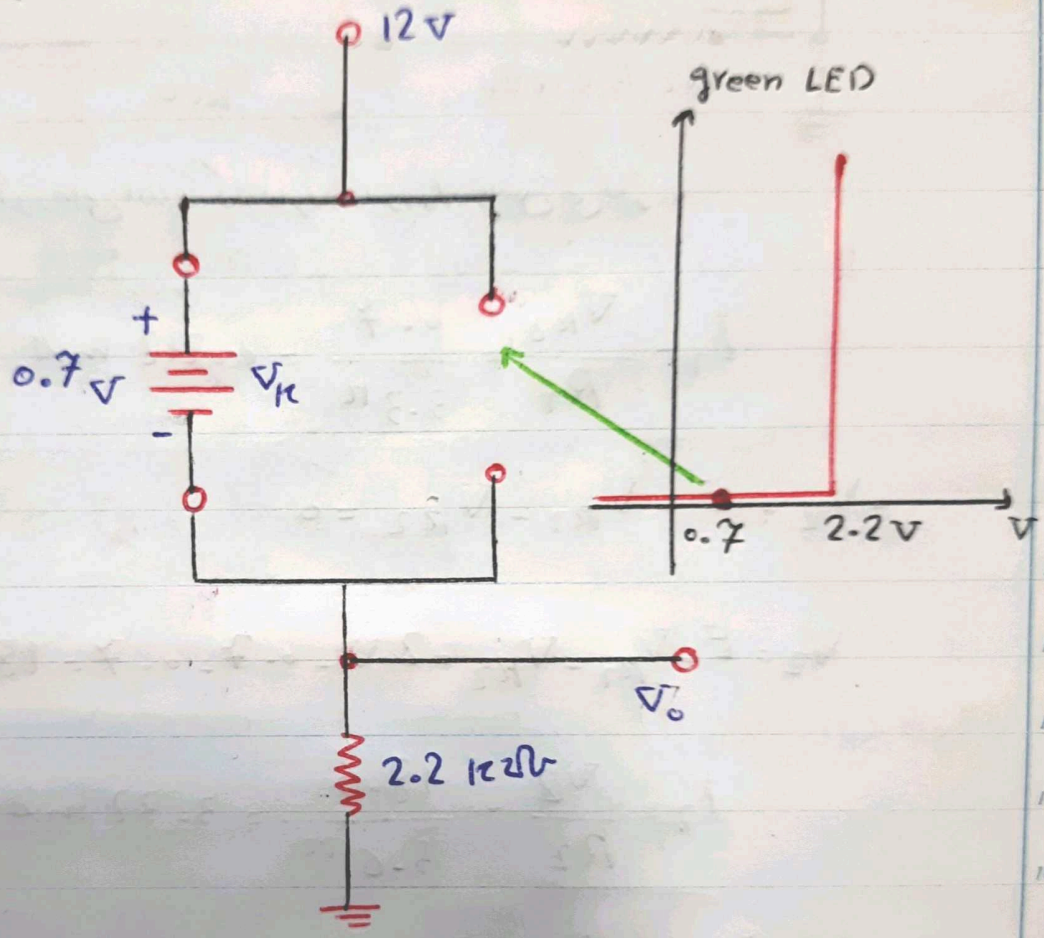


مثال : مقدار ولتاژ V_o را برای مدار زیر بدست آورید .



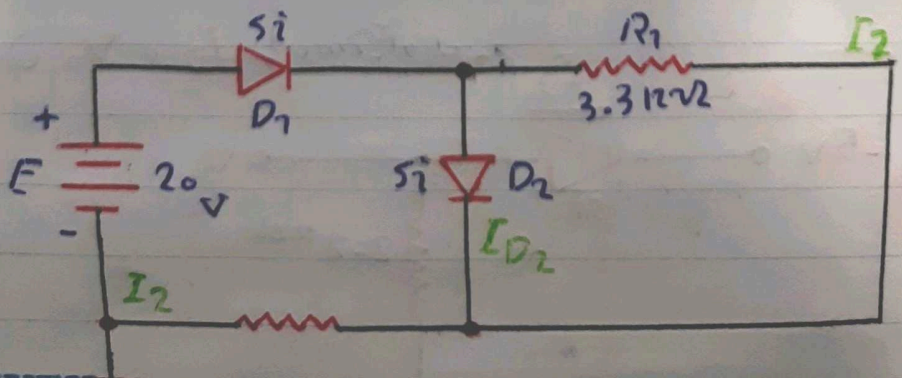
در ابتدا شاید به نظر برسد که ولتاژ اعمال شده هر دو دیود را روشن می کند زیرا ولتاژ اعمال شده در تداش است تا یک جریان معمولی را از طریق هر دیود برقرار کند که حالت روشن را نشان دهد با این حال اگر هر دو روشن بودند بیش از یک ولتاژ در دیودهای موازی وجود داشت که یکی از قوانین اساسی تجزیه و تحلیل مدار را نقض می کند ؛ ولتاژ باید بین عناصر موازی در مدار یکسان باشد .

پس در این مدار در لحظه افزایش ولتاژ منبع تغذیه به 0.7 ولت می رسد و دیود سیلیکونی را روشن می کند و سطح ولتاژ 0.7 حفظ می شود زیرا مشخصه ولتاژ در آن نمودی است و جریان دیود به سادگی به سطح تعریف شده افزایش می یابد، نتیجه این است که ولتاژ LED سیز هرگز از 0.7 ولت بالاتر نمی رود، مدار معادل به صورت زیر است:

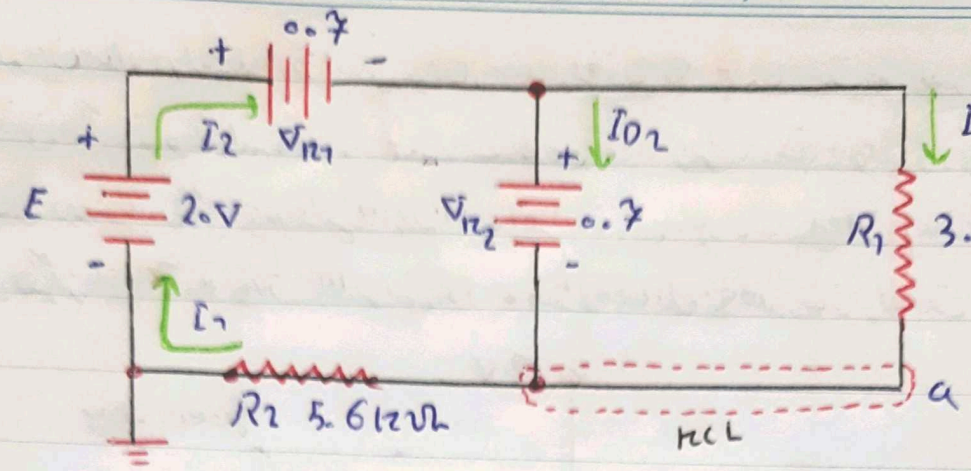


$$V_o = 12^V - 0.7^V = 11.3\ V$$

مثال: جریان های I_1، I_2 و I_{D_2} را در مدار زیر تعیین کنید:



HADIYEH



• ولتاژ اعمال شده به گونه‌ای است که هر دو دیود را روشن می کند

$$I_1 = \frac{V_{R2}}{R_1} = \frac{0.7}{3.3\,k} = 0.212\ mA$$

$$-V_2 + E - V_{R1} - V_{R2} = 0$$

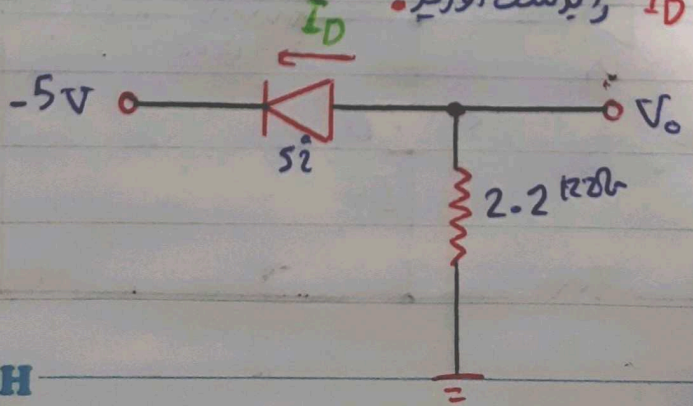
$$V_2 = E - V_{R1} - V_{R2} = 20V - 0.7 - 0.7 = 18.6\ V$$

$$I_2 = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{18.6}{5.6\,k} = 3.32\ mA$$

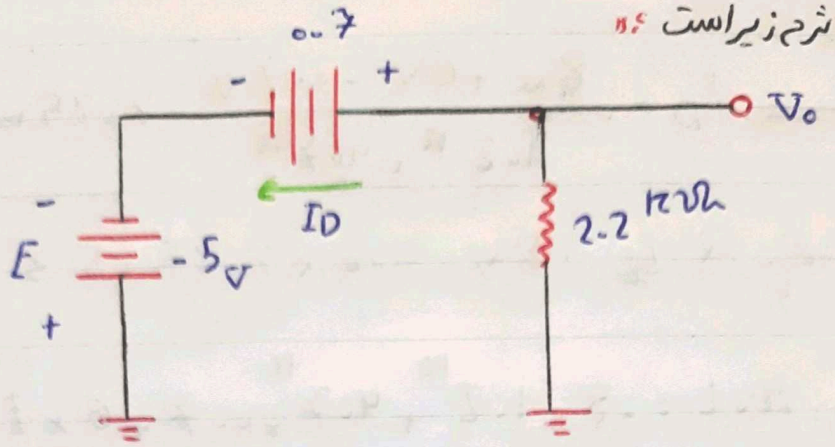
KCL: $I_{D2} + I_1 = I_2$

$$I_{D2} = I_2 - I_1 = 3.32 - 0.212 \simeq 3.11\ mA$$

• مثال: در مدار زیر جریان I_D و ولتاژ V_o را بدست آورید.



مدار معادل به شرح زیر است:

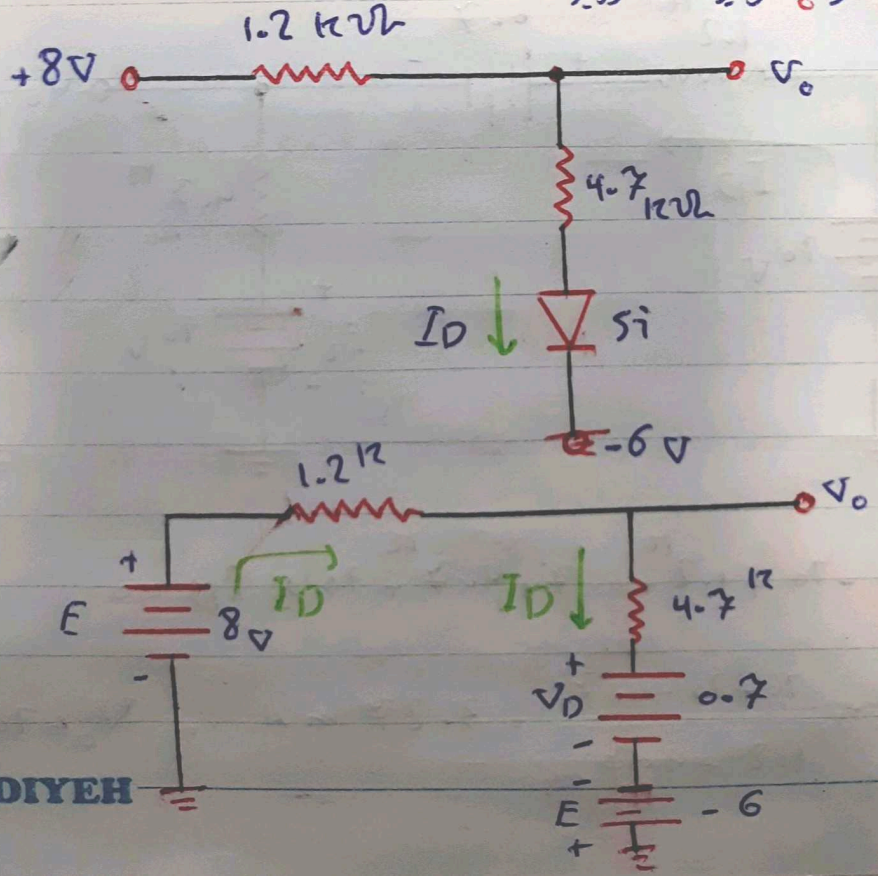


$$KVL: +5V + 0.7_V - V_o = 0$$

$$V_o = 5_V - 0.7_V = +4.3\,V$$

$$I_R = I_D = \frac{V_o}{R} = \frac{4.3}{2.2^{k}} = 1.95\ mA$$

مثال: جریان I_D و V_o را بدست آورید.

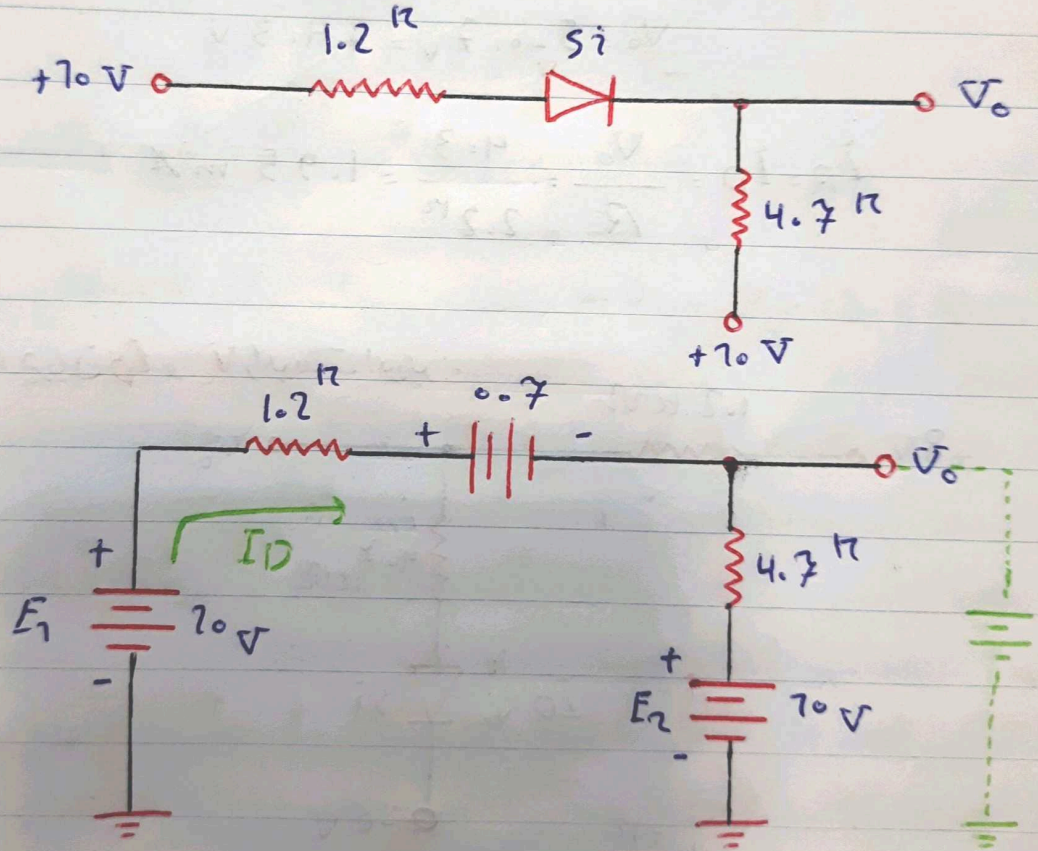


$$\Longrightarrow I_D = \frac{8V + 6V - 0.7V}{1.2\,k\Omega + 4.7\,k\Omega} = 2.25\,mA$$

$$V_o = E_1 - R_1 I_D = 8V - 1.2 \times 2.25 = 5.3\,V$$

$$I_D \Longrightarrow KVL: -8 + 1.2\,k\Omega + 4.7\,k\Omega + 0.7 + 6 \times I_D = 0$$

مثال: جریان V_o را بدست آورید:

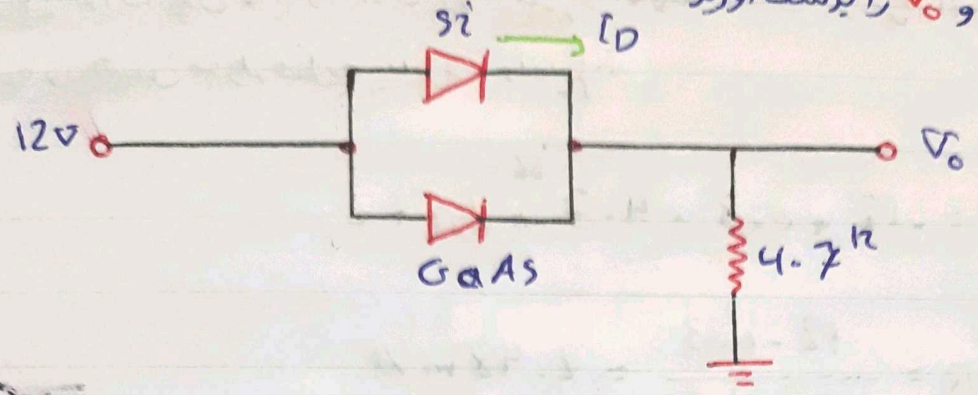


$$KVL: -10 + 1.2\,k\Omega + 0.7 + 4.7\,k\Omega + 10 \times I_D = 0$$

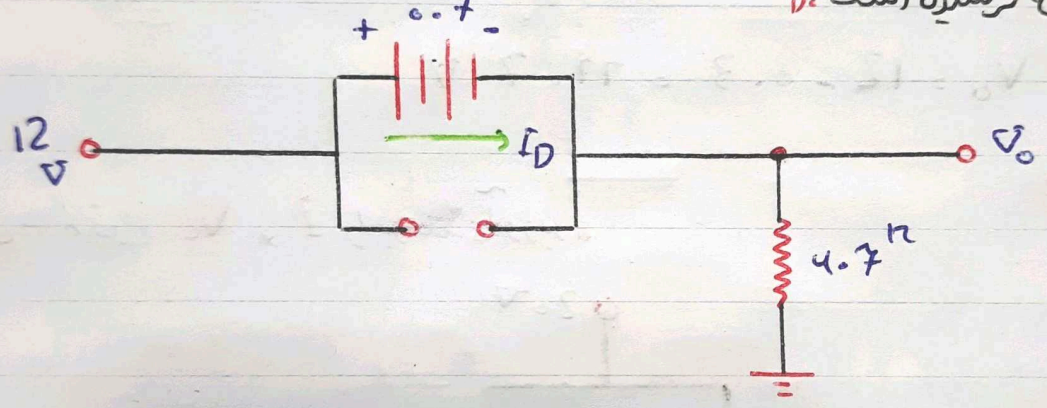
$$I_D = \frac{10 + 10 - 0.7}{1.2 + 4.7} = 3.27\,mA \quad , \quad V_o = 10\,V$$

HADIYEH

مثال: جریان I و V_o را بدست آورید.



دیود سیلیکونی زودتر روشن می‌شود و ولتاژ روی 0.7 ولت قفل می‌شود. و دیود دوم که از جنس گالیم ارسنید است روشن نمی‌شود به صورت مدار باز خواهد بود زیرا به مقدار ولتاژ استان نرسیده است.



$$KVL: -12 + 0.7 + 4.7\,k\Omega \times I_R = 0$$

$$I_R = \frac{12 - 0.7}{4.7\,k\Omega} = 2.4\ mA$$

$$I_D = I_R = 2.4$$

$$V_o = 12 - 0.7 = 77.3\ V$$

حال اگر جنس دیود دوم به جای گالیم آرسنید ژرمانیوم باشد موارد را حساب کنید.

در این صورت چون ولتاژ استانه ژرمانیوم 0.3 ولت است زودتر از دیود سیلیکونی روشن شده و در همان مقدار قفل می‌شود و داریم:

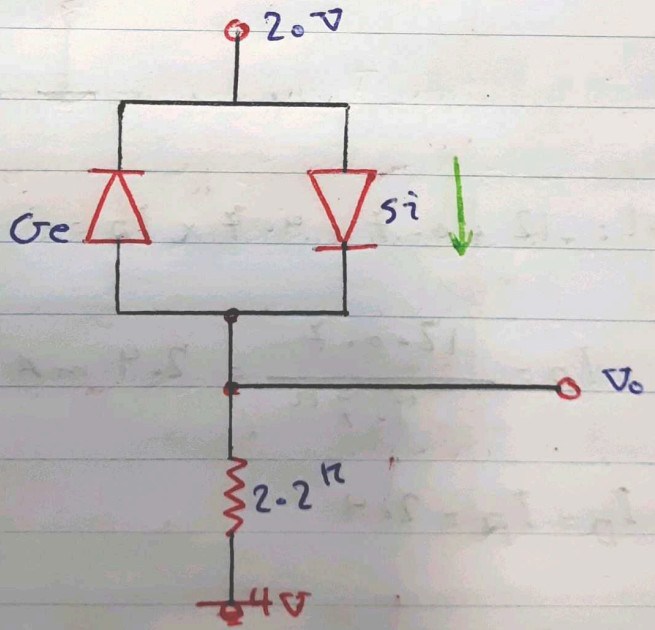
$$KVL: -12 + 0.3 + 4.7^{k} \times I_R = 0$$

$$I_R = \frac{12 - 0.3}{4.7} = 2.48\ mA$$

$$I_D = I_R = 2.48\ mA$$

$$V_o = 12 - 0.3 = 11.7\ V$$

مثال: مقدار V_o و I را بدست آورید.

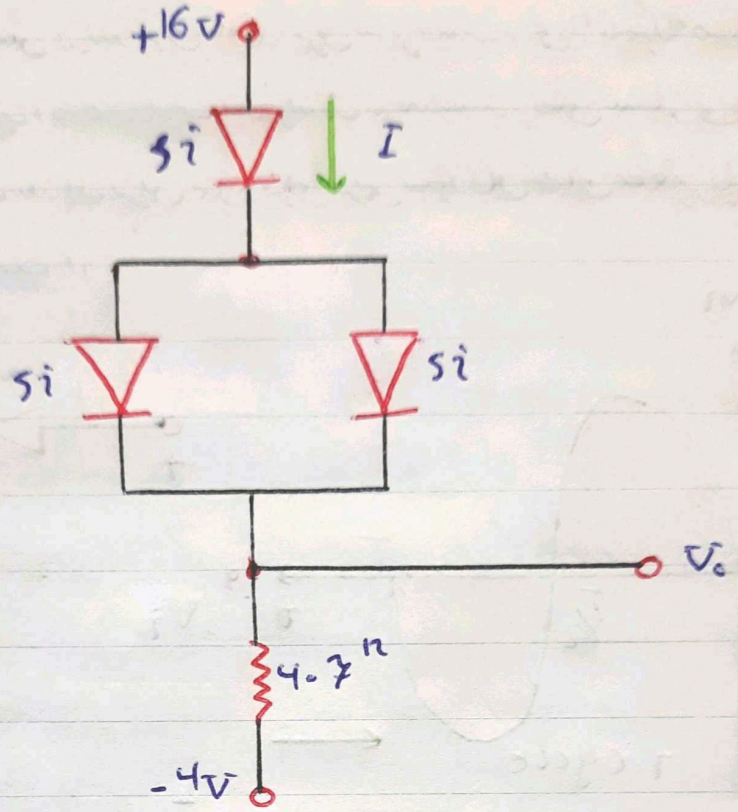


$$KVL: -20V + 0.7 + 2.2^{k} + 4 \times I_D = 0$$

$$I_D = \frac{20 + 4 - 0.7}{2.2^{k}} = 10.59\ mA$$

$$V_o = 20 - 0.7 = 19.3\ V$$

مثال: مقدار V_o و I را بدست آورید.



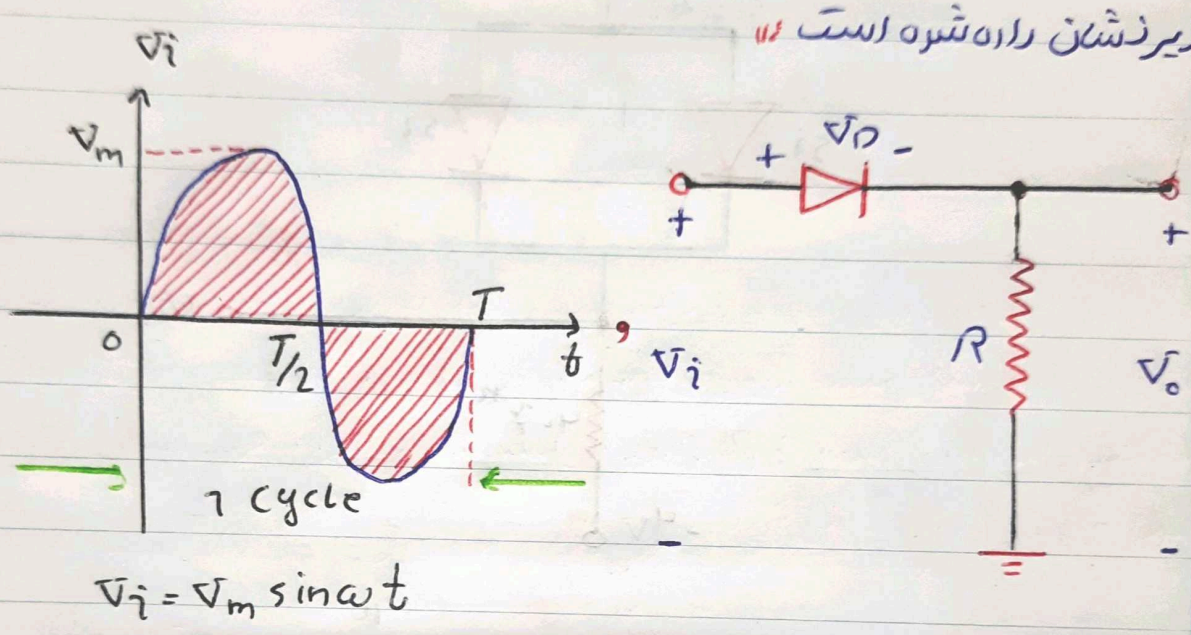
$$KVL: -16 + 0.7 + 0.7 + 4.7\,k\Omega \times I + 4 = 0$$

$$I = \frac{16 - 0.7 - 0.7 + 4}{4.7\,k\Omega} = \frac{18.6}{4.7\,k\Omega} = 3.96\,mA$$

$$V_o = 16\,V - 0.7 - 0.7 = 14.6\,V$$

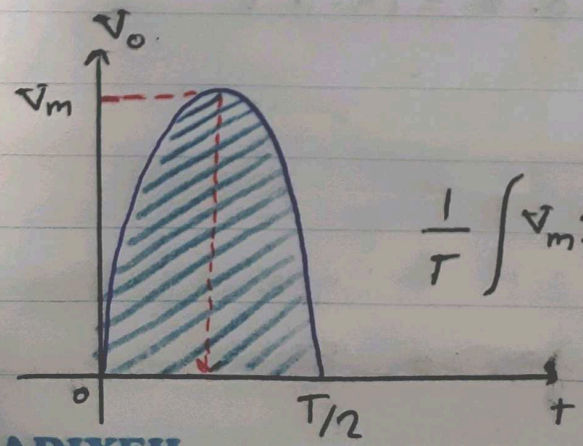
ورودی های سینوسی، نیم موج :

اصلی ترین بحث در این بخش تولید برق dc از برق شهر است. می دانیم که مقدار متوسط یا dc یک موج سینوسی در یک دوره تناوب صفر است. سیستم های سینوسی سیستم های متغیر با زمان هستند، ساده ترین مدار برای بررسی سیگنال های متغیر با زمان در شکل زیر نشان داده شده است :



$$v_i = V_m \sin \omega t$$

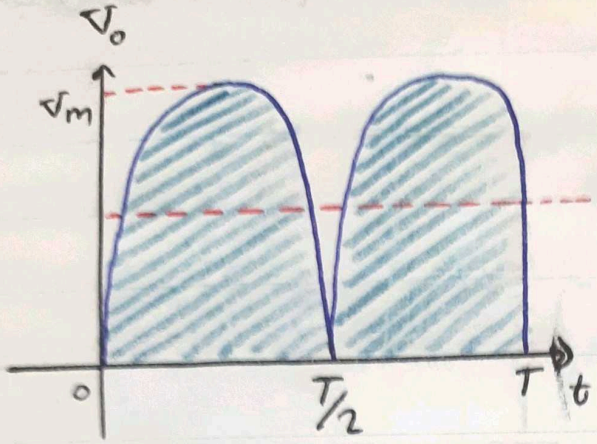
در یک سیکل کامل که با دوره تناوب T تعریف شده است مقدار متوسط برابر یا صفر است و مدار بالا یک یکسو کننده نیم موج نامیده می شود که یک شکل موج V_o ایجاد می کند که دارای یک مقدار متوسط برای استفاده خاص در فرایند تبدیل AC به DC است. زمانی که از دیود برای چنین کاربردهایی استفاده می شود به آن دیود یکسو کننده می گویند. پس با توجه به اینکه برق شهر سینوسی است تولید موج سینوسی به صورت زیر امکان پذیر است که یک مقدار متوسط dc را به ما می دهد :



یکسوسازی نیم موج :

$$\frac{1}{T}\int V_m \sin(\omega t + \phi)\, dt \longrightarrow V_{dc} = \frac{V_m}{\pi}$$

=> یکسوسازی تمام موج :



$$V_{dc} = 0.636\, V_m \rightarrow V_{dc} = \frac{2V_m}{\lambda}$$

=> یکسوسازی نیم موج :

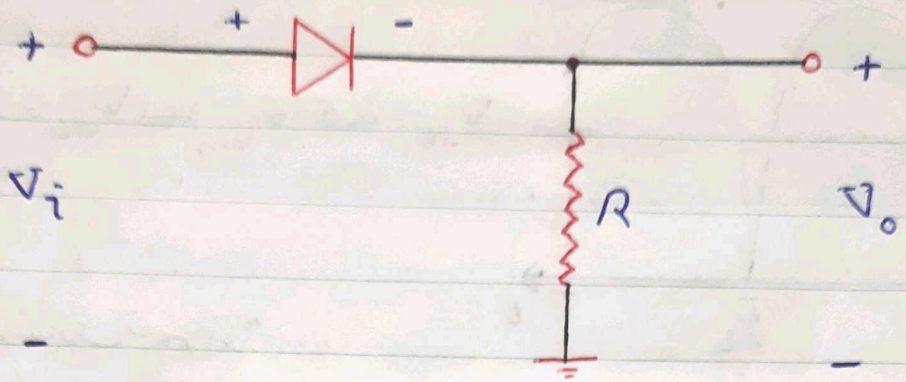
در یک چرخه کامل که با دوره T تعریف شده است، مقدار متوسط ((مجموع جبری دامنه بالا و پایین)) صفر است، مدار شکل صفحه قبل که یکسو کننده نیم موج نامیده می شود یک شکل موج V_o ایجاد می کند که دارای یک مقدار متوسط برای استفاده خاص در فرایند تبدیل AC to DC است، دیود هنگامی که در این فرایند به کار می رود معمولا به عنوان یکسو کننده نامیده می شود. حال قصد داریم که یک مدار یکسوساز نیم موج را بررسی کنیم، چون شکل موج ولتاژ ورودی سینوسی بوده و دامنه مثبت و منفی یا ماکزیمم و می نیمم دارد پایه شکل موج و مقادیر متوسط را برای هر دو نیم سیکل محاسبه کنیم، دو نکته بسیار مهم وجود دارد.

=> در حالت تحلیل و مدلسازی دیودها با ولتاژ AC باید از مدل تقریب ایده آل دیود برای مدارسازی آن استفاده کنیم.

=> در بخش های قبلی زمانی که ولتاژ استانه دیود به آن اعمال می شود گفتیم که دیود به قطع روشن است و در حالت پایدار قرار دارد و یا حتما خاموش است، ولی در این بخش و حالت AC دیگر چنین نیست زیرا ولتاژ ورودی متناوب بوده و مدام بین مقادیر مثبت و منفی در حال تناوب است و نمی توان گفت دیود در یک حالت پایدار حتما روشن یا حتما خاموش قرار دارد.

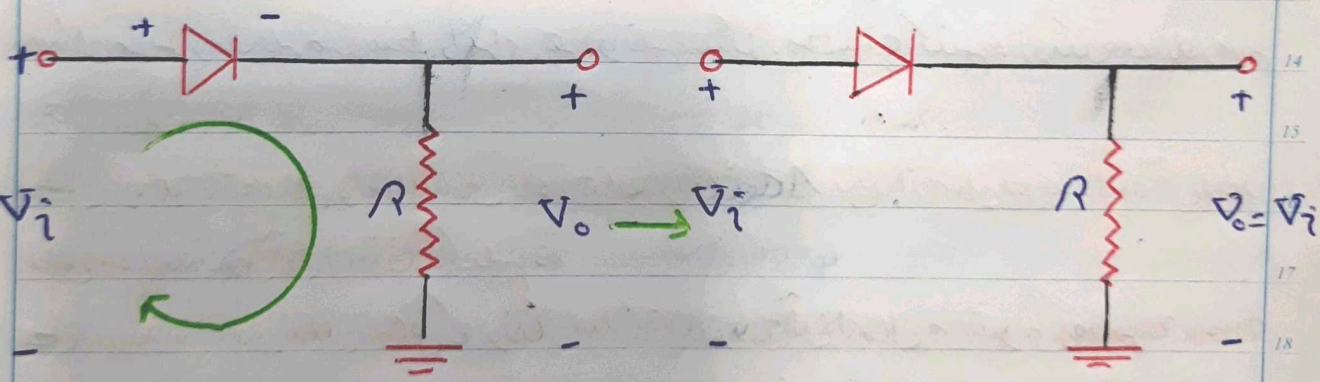
در تحلیل هایمان برای بدست آوردن دامنه خروجی باید دو مقدار زمانی $t = 0 \rightarrow T/2$ و $t = T/2 \rightarrow T$ را محاسبه کنیم این مقادیر زمانی دوره تناوب یک سیکل کامل هستند.

مدار یکسو کننده نیم موج به صورت زیر است:

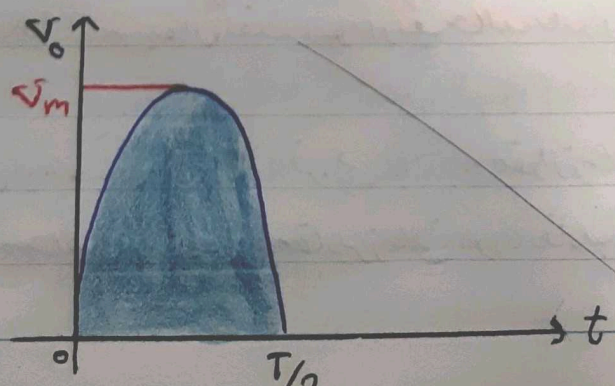


در مدار بالا مقاومت نقش حفاظتی را برعهده دارد تا یک دیود به ترمینال متصل نشود. حال دیود را در نیم سیکل مثبت بررسی می‌کنیم، در طول بازه $t=0 \longrightarrow T/2$ در شکل بالا قطبیت ولتاژ اعمال شده V_i به گونه‌ای است که ولتاژ را در جهت نشان داده شده برقرار می‌کند و دیود را روشن می‌کند.

$t=0 \longrightarrow T/2$, D: on , $V_i > 0$



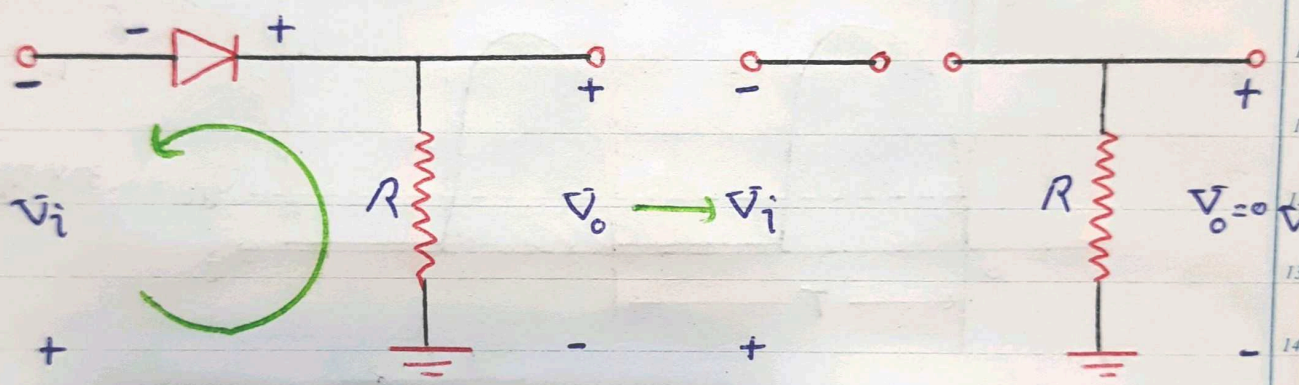
$$KVL: -V_i + V_o = 0 \longrightarrow V_o = V_i$$

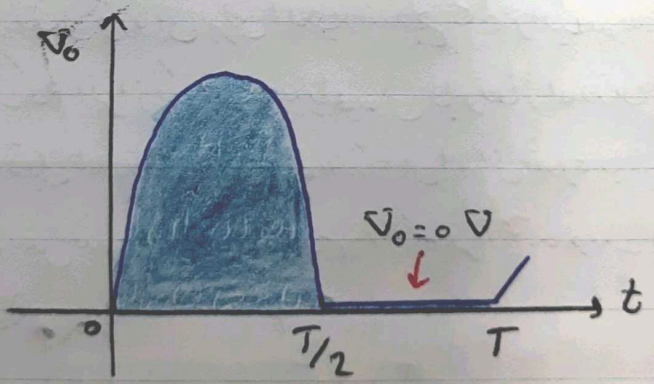


HADIYEH

پس در نیم سیکل مثبت جهت جریان ورودی به مدار از بر مثبت است، و همانطور که در شکل قبل مشاهده می کنید دیود دیا یک اتصال کوتاه یا مدار بسته معادل شده است جایی که کاملا واضح است ولتاژ خروجی یک کپی دقیق از ولتاژ اعمال شده است. حال به بررسی نیم سیکل منفی می پردازیم، برای دوره تناوب T $\longrightarrow$ $t = T/2$ قطبیت ولتاژ ورودی V_i از بر منفی مدار است، و این قطبیت مخالف در برابر یک دیود ایده آل یک حالت خاموش یا یک مدار باز معادل ایجاد می کند و نتیجه عدم وجود مسیری برای جریان بار است و داریم:

$$V_o = iR = (0)R = 0\,V \longrightarrow t = T/2 \longrightarrow T$$

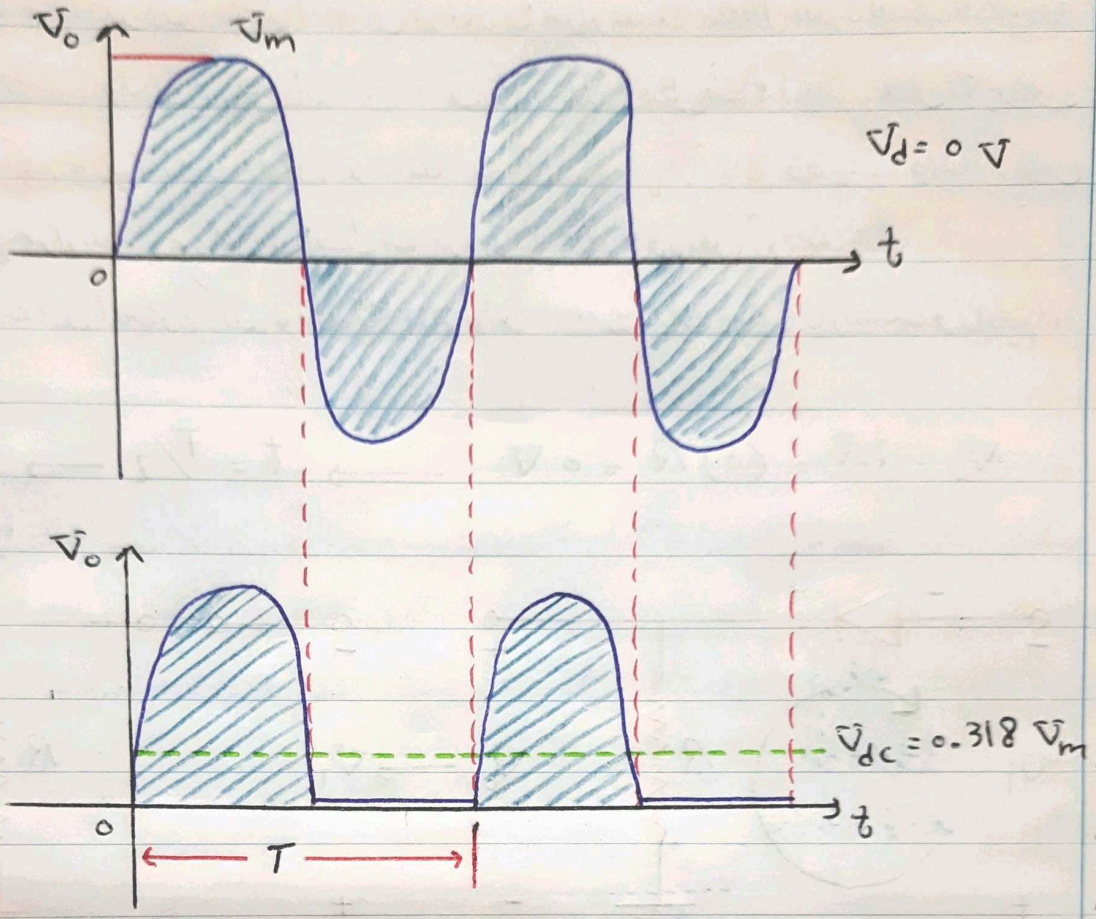




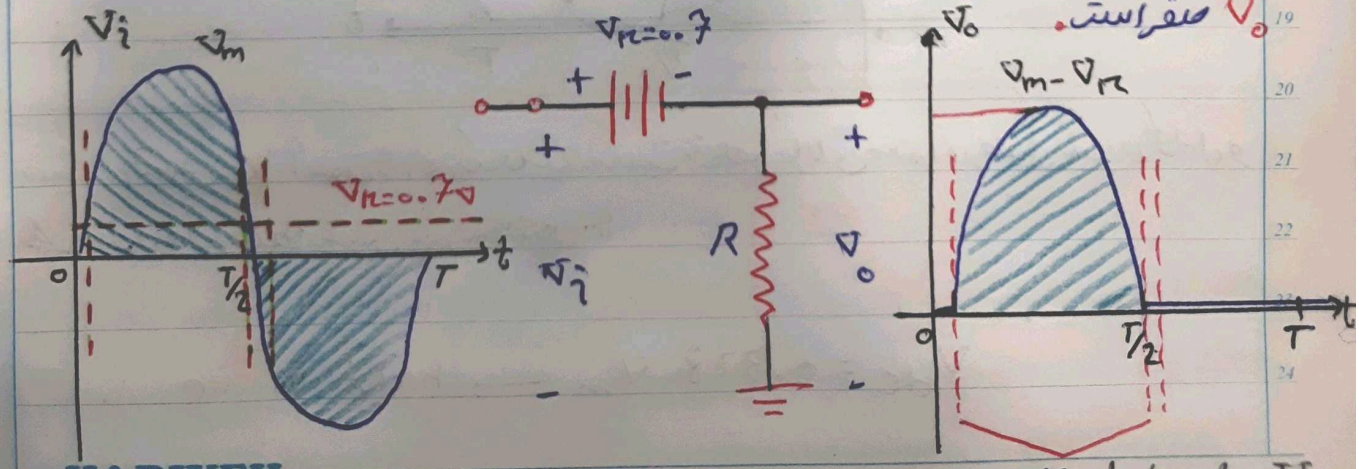
سیگنال خروجی V_o اکنون دارای یک ناحیه مثبت خالص بالای محور در طول یک دوره کامل و یک مقدار متوسط تعیین شده توسط:

$$V_{dc} = 0.318\,V_m \longrightarrow \text{half wave}$$

یکسوسازی نیم موج مدار را می‌توانید به طور خلاصه در شکل زیر مشاهده کنید:



فرایند حذف نیمی از سیگنال ورودی برای ایجاد سطح dc را یکسوسازی نیم موجی می‌نامند. نکته مهم این است که اگر از یک دیود سیلیکونی با ولتاژ استانه $V_\gamma = 0.7\ V$ در مدار یکسو ساز نیم موج صفحه قبل استفاده شود، سیگنال اعمال شده باید حداقل 0.7 ولت - یا شد تا دیود بتواند روشن شود، برای سطوح V_i کمتر از 0.7 ولت دیود در حالت مدار باز و V_o صفر است.



HADIYEH

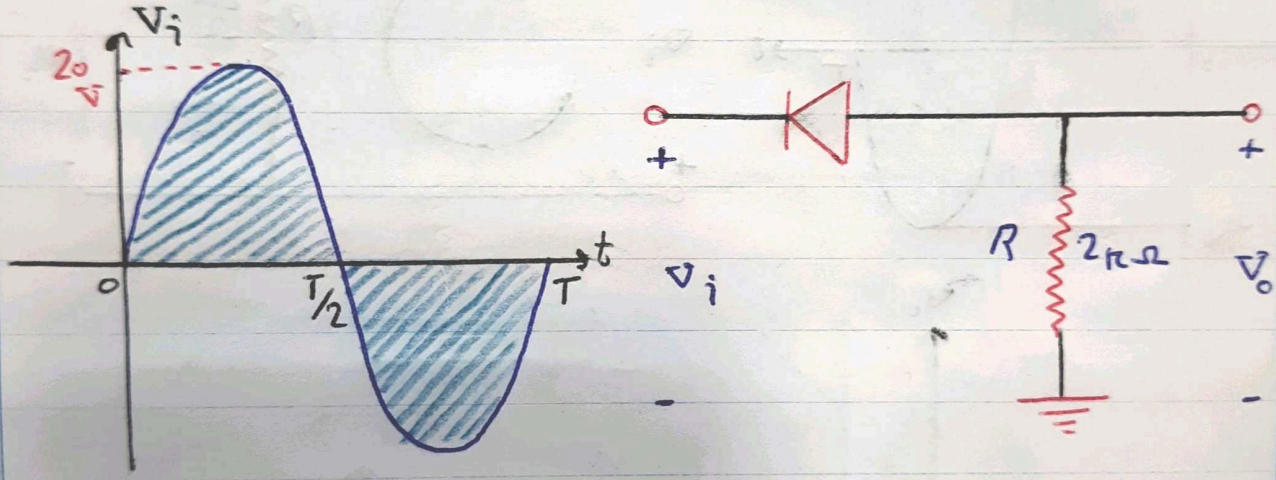
در شکل صفحه قبل فاصله ای وجود آمده برای شروع نیم سیکل مثبت همان مقدار ولتاژ آستانه مورد نیاز دیود است.

$$KVL: -V_i + V_R + V_o = 0$$

$$V_o = V_i - V_R \longrightarrow V_m \gg V_R$$

$$\Longrightarrow V_{dc} \cong 0.318\,(V_m - V_R)$$

مثال: شکل موج خروجی مدار زیر را پرحسب ورودی رسم نمایید و ولتاژ dc را بدست آورید.



در این وضعیت دیود در نیم موج منفی ورودی روشن می شود، برای اورده تفاوت کامل سطح dc برابر است با:

$$V_{dc} = -0.318\,V_m \Rightarrow -0.318 \times 20 = -6.36\ V$$

حال اگر دیود مدار از نوع سیلیکونی باشد داریم:

$$V_{dc} = -0.318\,(V_m - V_R) = -0.318\,(20 - 0.7) = -0.318 \times 19.3$$

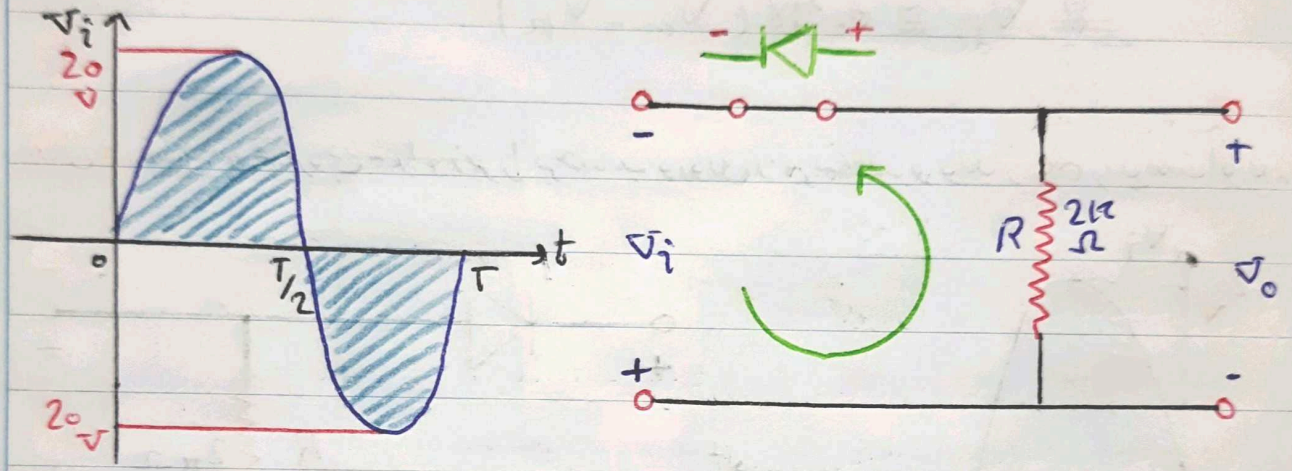
$$= -6.14\ V$$

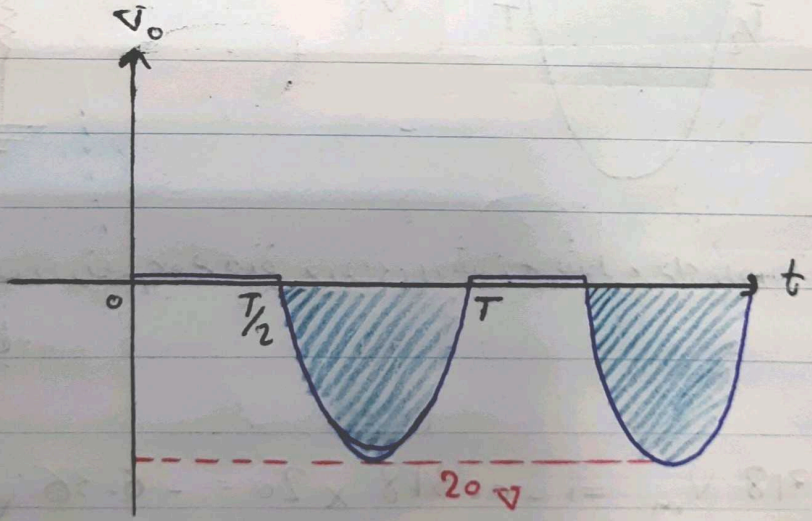
HADIYEH

واگر V_m به 200 ولت افزایش یابد خواهیم داشت

$$V_{dc} = -0.318\, V_m = -0.318\,(200\ V) = -63.6\ V$$

$$V_{dc} = -0.318(V_m - V_R) = -0.318(200 - 0.7) = -0.318(199.3)$$
$$= -63.38\ V$$

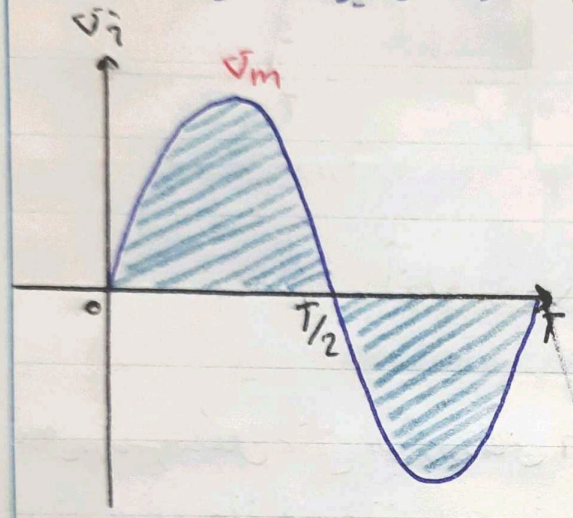


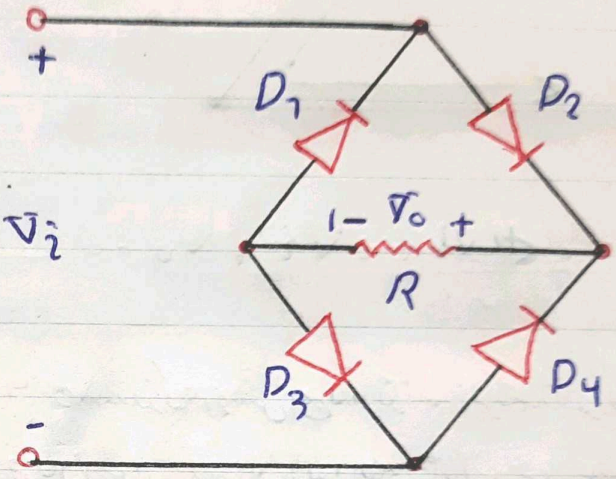


تا به اینجای کار ما در خصوص یکسوسازی نیم موج صحبت کردیم و یک مثال از آن را نیز حل کردیم، در بخش بعدی قصد داریم تا یکسوسازی تمام موج مدارهای دیودی را به طور کامل توضیح می دهیم.

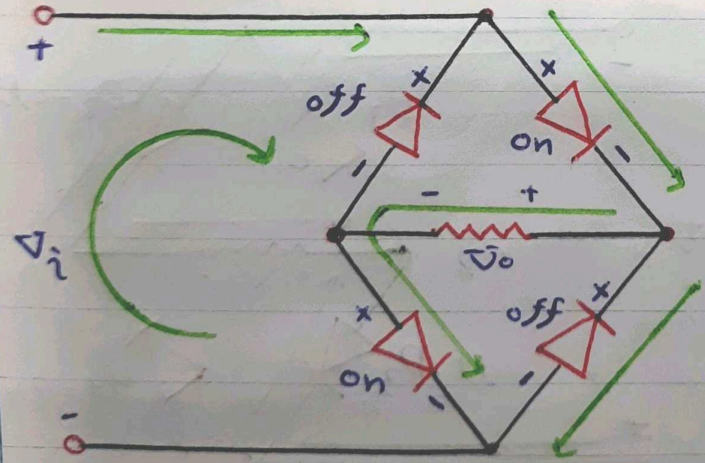
= یکسوسازی تمام موجی :

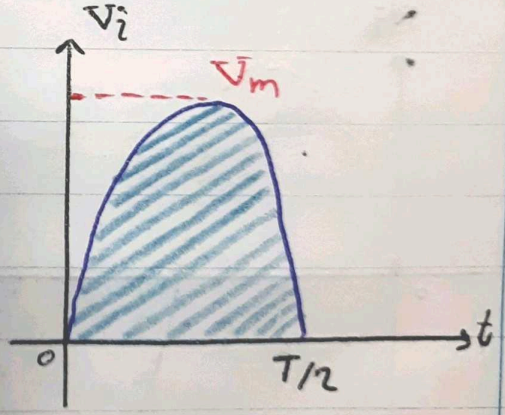
سطح dc به دست آمده از ورودی سینوسی را می توان با استفاده از فرایندی به نام یکسوسازی تمام موجی صددرصد بهبود داد. آشناترین شبکه برای چنین عملگرای پل دیودی یا رکتیفایر است که مدار آن به صورت زیر است، در تحلیل مدارهای پل دیودی نیز باید دو زمان $t=0 \longrightarrow T/2$ و $t=T/2 \longrightarrow T$ را بدست آورد، به شکل زیر دقت کنید.



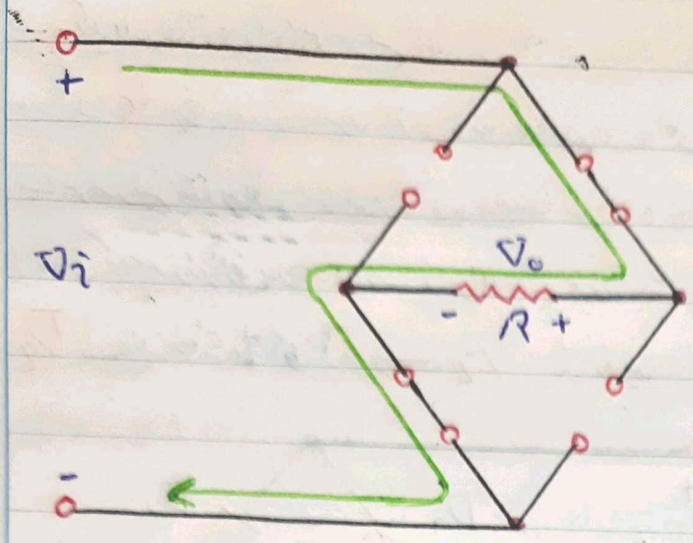


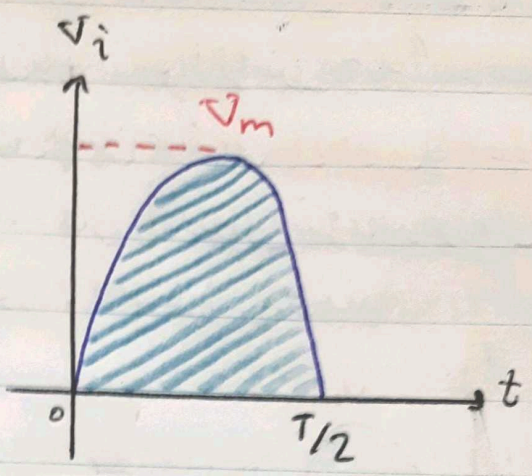
$t=0 \longrightarrow T/2$, $D_{2,3}=on$





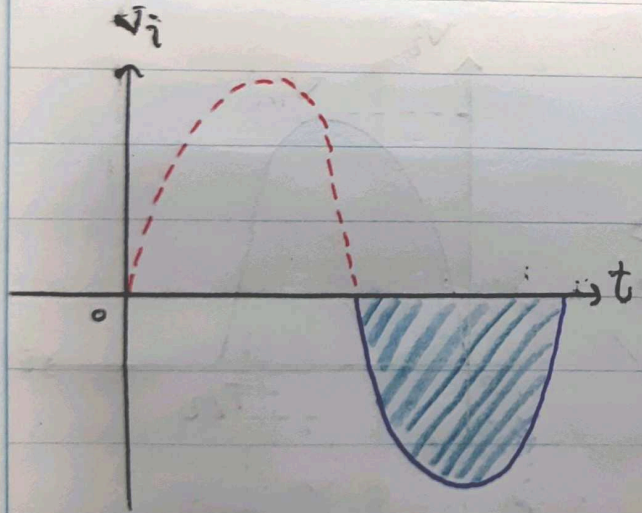
همانطورکه مشاهده می کنید طبق قرار قبلی در نیم سیکل مثبت ولتاژ ورودی از بر مثبت عبور می شود و دیودهای 2 و 3 به دلیل هم جهتی با جریان ایجادی روشن می شوند، در مدار صفحه بعدی دیود های روشن را با مقاومت مدار بسته معادل می کنیم.

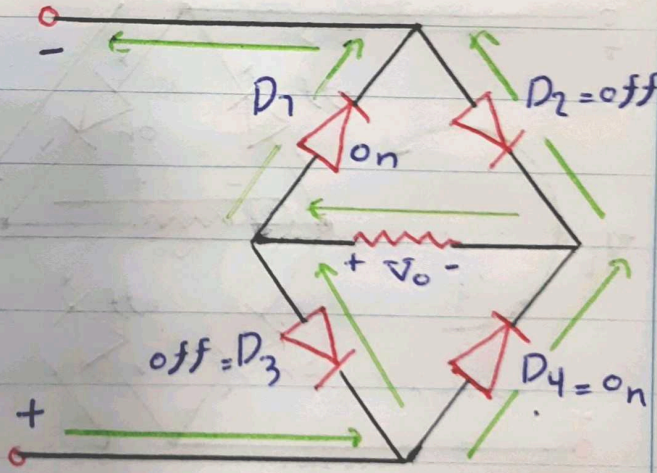




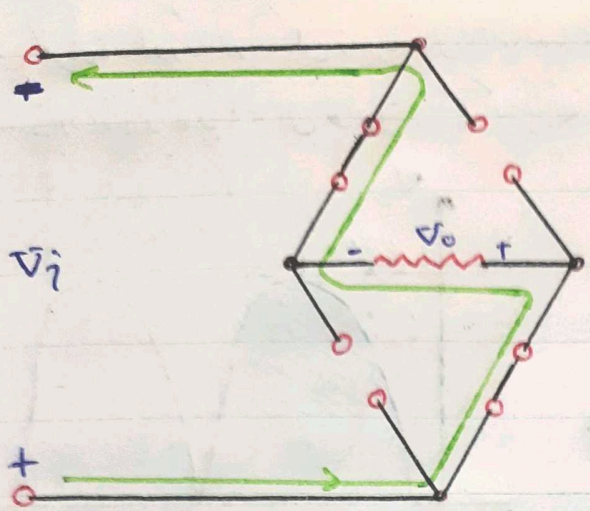
$$KVL: -V_i + V_o = 0 \longrightarrow V_o = V_i$$

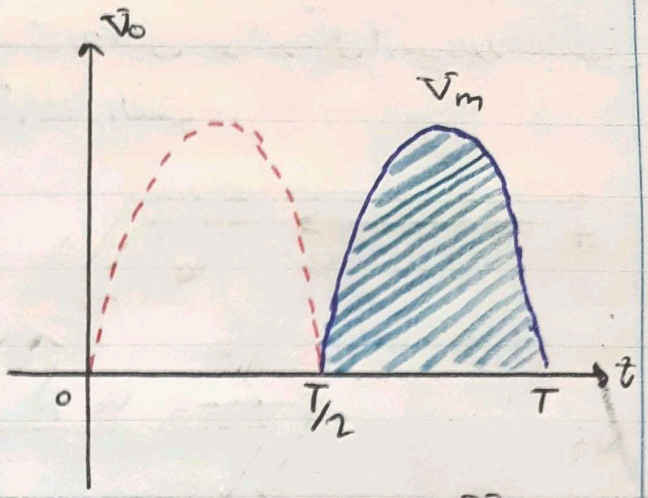
حال در نیم سیکل منفی این دیودهای ۲ و ۴ هستند که روشن می‌شوند ، زیرا همانطور که گفتیم در نیم سیکل منفی از بار منفی وارد می‌شود ((جریان مدار)) و این دیودهای اول و چهارم هستند که با این جریان هم جهت هستند ؛))





همدار در نیم سیکل منفی دو دیود دیگر نیم سیکل منفی را یکسو کرده و به صورت مثبت وارد می‌کنند با این کار تمام یک موج سینوسی یکسو می‌شود و مقدار متوسط دو برابر حالت نیم موجی خواهد بود .





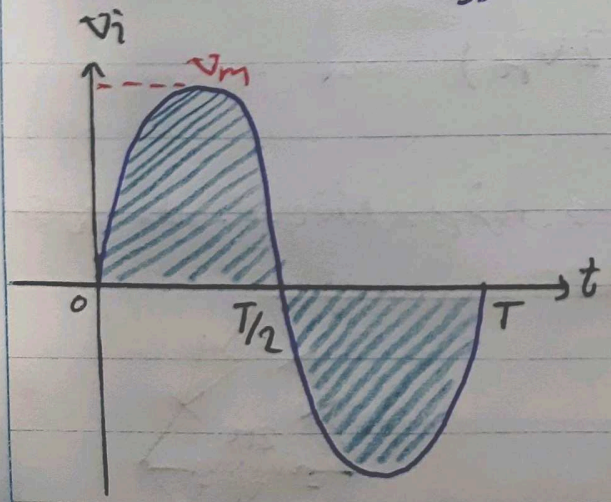
KVL: $+V_o + V_i = 0 \longrightarrow V_o = -V_i$

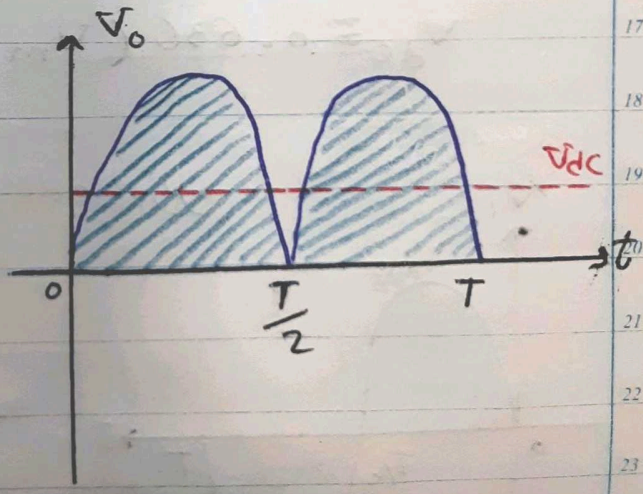
از انجایی که مساحت بالای محور برای یک سیکل کامل اکنون دو برابر آن چیزی است که برای یک سیستم نیم موج یکسو می آید سطح dc نیز دو برابر شده است :

$$V_{dc} = 2(0.318\, V_m)$$

$$V_{dc} = 0.636\, V_m \longrightarrow \text{full-wave}$$

و تبدیلات در مدار تمام موج به طور خلاصه به صورت زیر است :



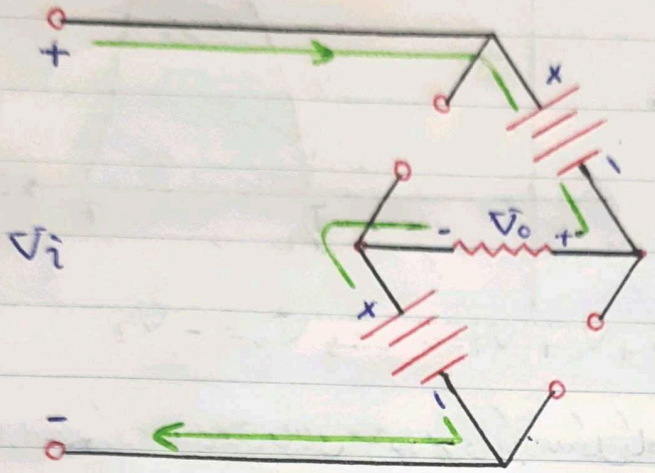


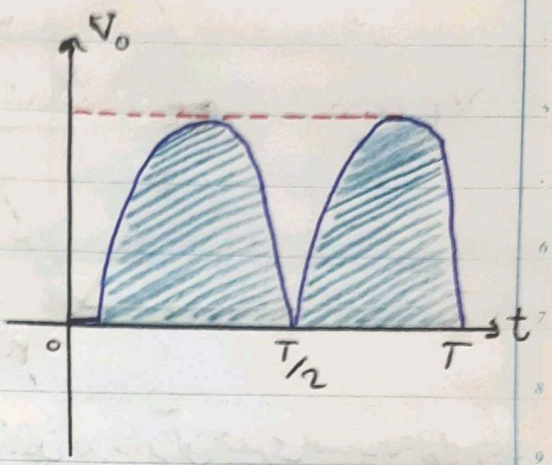
$$\Rightarrow V_{dc} = 0.636\, V_m$$

Mo Tu We Th Fr Sa Su

Subject: ..... Date: .....

حال اگر همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است به جای دیود ایده آل از یک دیود سیلیکونی استفاده شود، با اعمال قانون ولتاژ کیرشف خواهیم داشت:





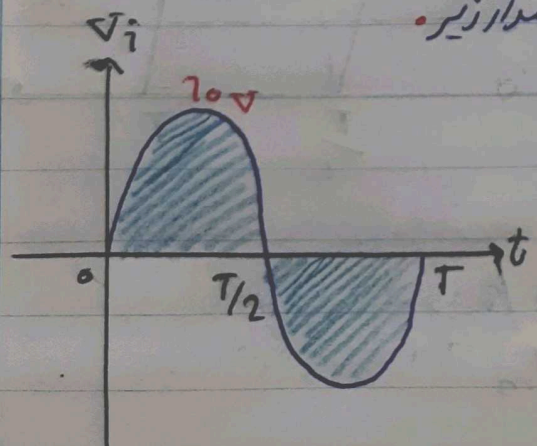
$$KVL: V_i - V_R - V_o - V_R = 0$$

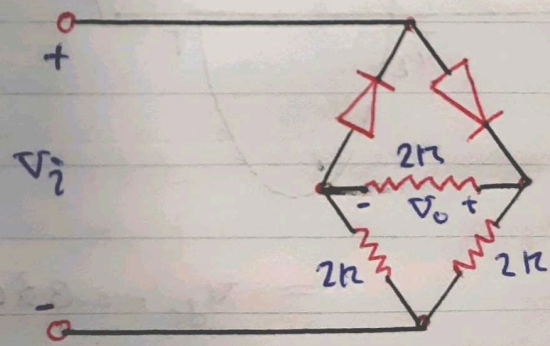
$$V_o = V_i - 2V_R$$

$$V_{o_{max}} = V_m - 2V_R \longrightarrow V_m \gg 2V_R$$

$$V_{dc} \cong 0.636\,(V_m - 2V_R)$$

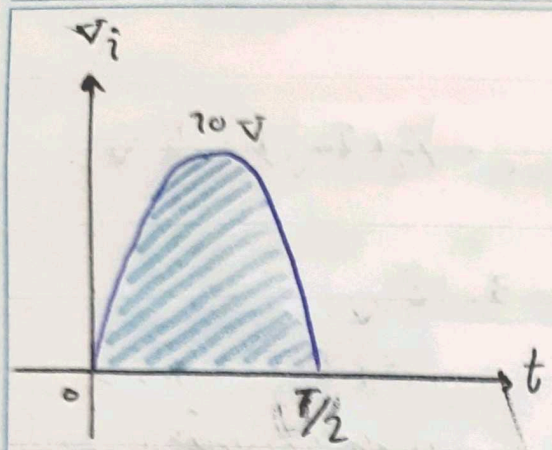
مثال: مطلوب است شکل موج خروجی و مقدار dc مدار زیر.

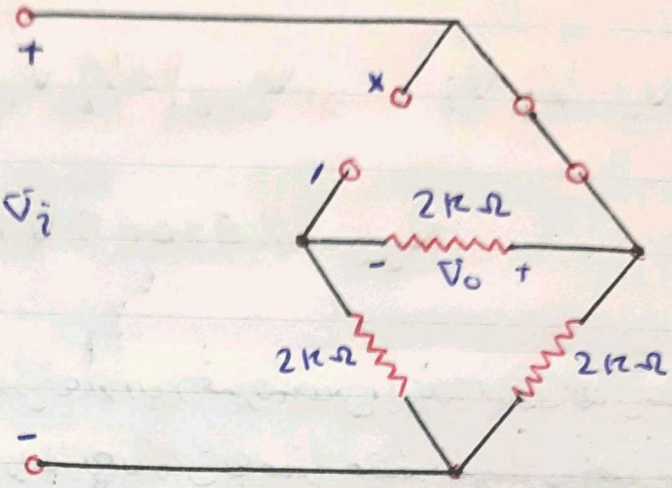


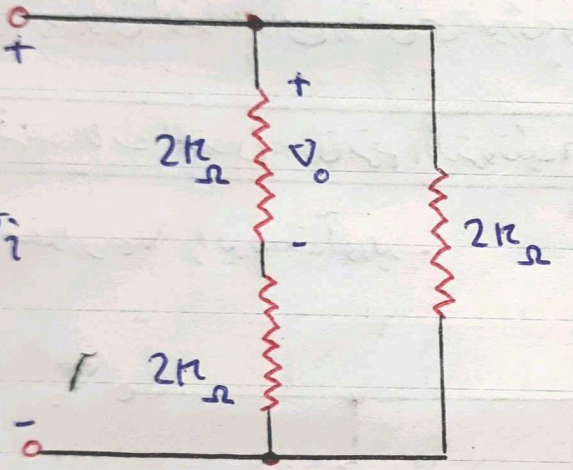


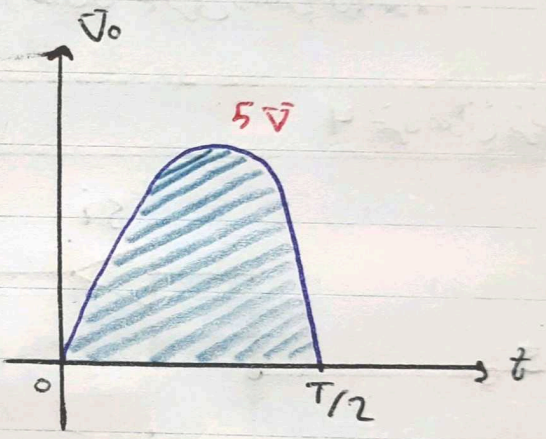
HADIYEH

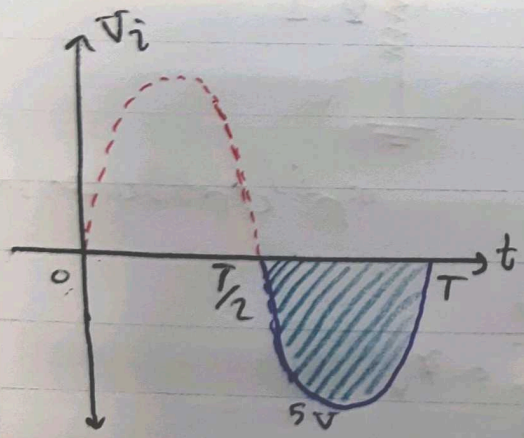
77

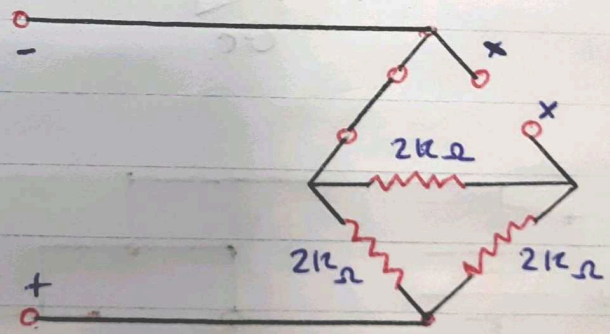

V_i
10 V
0
T/2
t

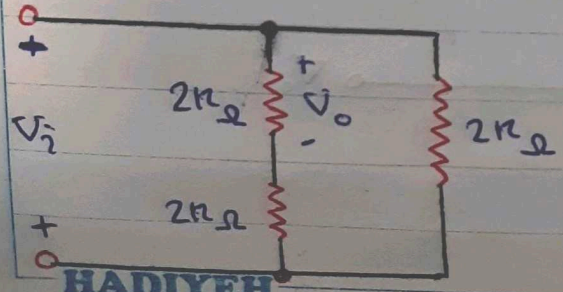

+
x
1
V_i
2kΩ
-
V_o
+
2kΩ
2kΩ
-

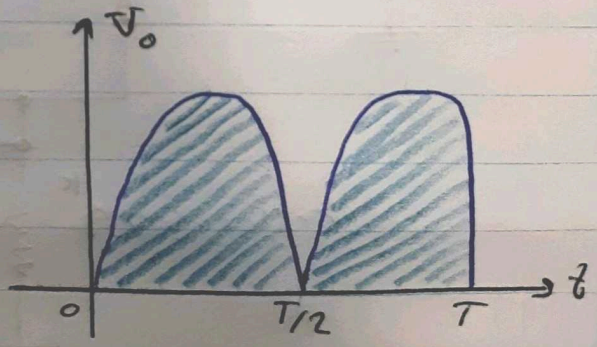

+
+
2kΩ
V_o
V_i
-
2kΩ
2kΩ
-


V_o
5 V
0
T/2
t


V_i
0
T/2
T
t
5V


-
x
x
2kΩ
2kΩ
2kΩ
+


+
+
2kΩ
V_o
V_i
-
2kΩ
2kΩ
+


V_o
0
T/2
T
t

HADIYEH

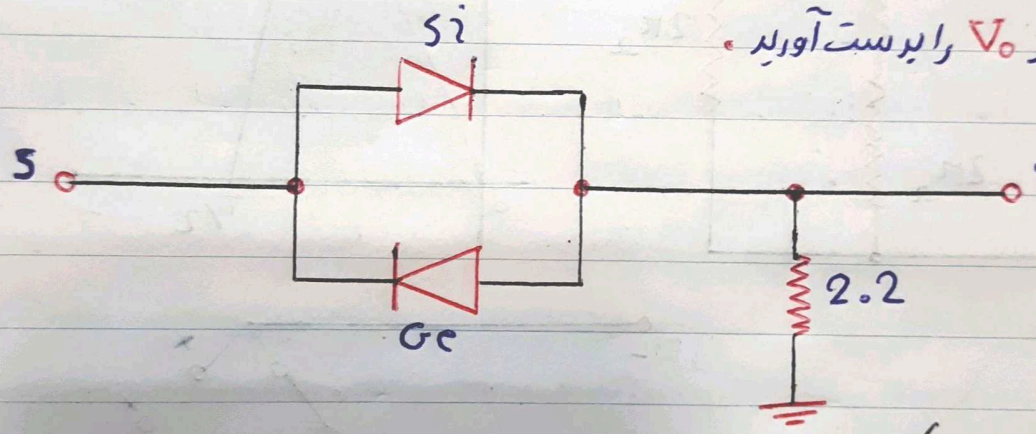
$$V_o = \frac{1}{2} V_i \longrightarrow V_{omax} = \frac{1}{2} V_{imax} = \frac{1}{2}(10_V) = 5\ V$$

$$V_{dc} = 0.636(5\ V) = 3.18\ V$$

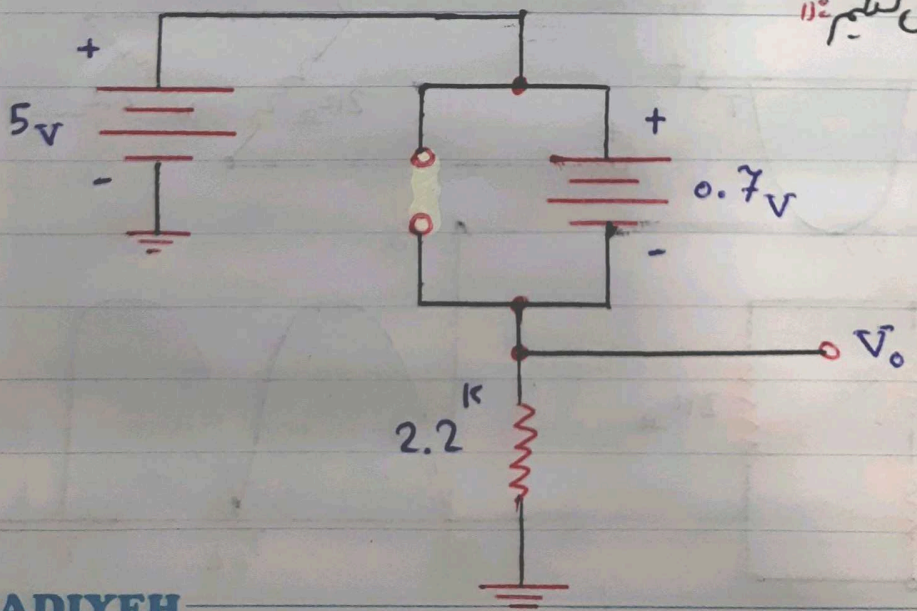
نکته مهم در خصوص مدارهای دیودی: «زمانی که دیود غیرهمجنس با ولتاژ استانه‌های متفاوت با هم موازی می‌شوند باید دقت داشت که ولتاژی به تابعی که مقدار منفی‌تر می‌رسد و از صفر شروع می‌شود بنابراین ابتدا دیودی روشن می‌شود که ولتاژ استانه کمتری داشته باشد.»

پاسخ سوالات امتحان میان ترم الکترونیک ۲ — نمره میان ترم

۱) مقدار V_o را بدست آورید.



مدار معادل را رسم می‌کنیم:



$$KVL: -5 + 0.7 + 2.2 I_D = 0$$

$$I_D = \frac{5 - 0.7}{2.2} = \frac{4.3}{2.2} = 1.95 > 0 \quad , \quad D : on$$

باتوجه به اینکه مقدار جریان بزرگتر از صفر شد پس فرض اولیه ما در خصوص روشن بودن دیود صحیح بوده و دیود روشن است ، حال داریم :

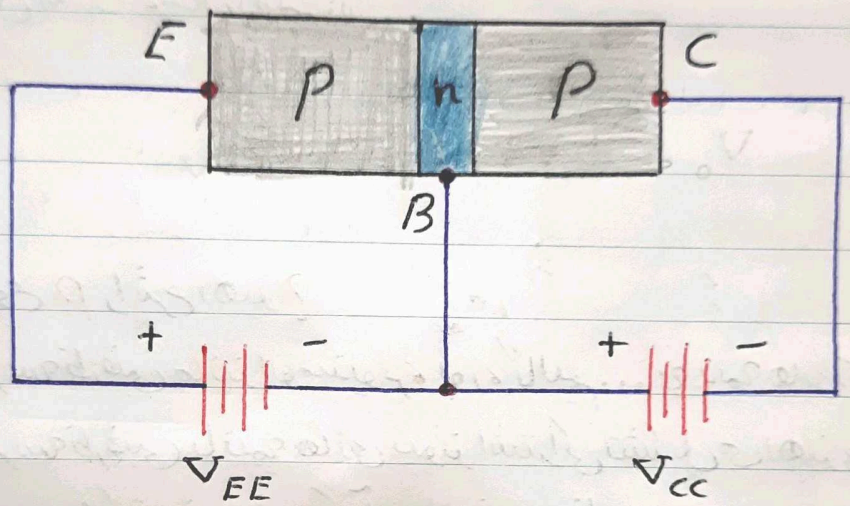
$$V_o = 5 - 0.7 = 4.3 \ V$$

2) نیمه‌های نوع P را شرح دهید ؟

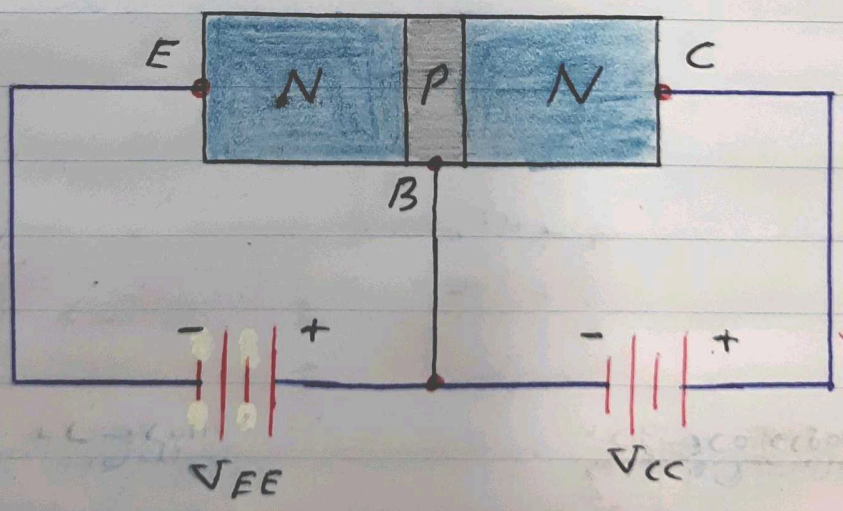
با افزودن عناصر سه ظرفیتی مانند آلومینیوم ، بور ، گالیم ... به نیمه‌های ، سه الکترون لایه ظرفیت عناصر سه ظرفیتی با نیمه‌های پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند و پیوند چهارم نیمه‌های رحیار کمبود الکترون می‌شود که آن را حفره می‌نامیم .

ترانزیستور یک وسیله نیمه هادی سه لایه است که از دو لایه n و یک لایه p و یا دو لایه p و یک لایه n تشکیل شده است، در واقع برخلاف دیودها که از یک اتصال pn تشکیل شده اند ترانزیستورها از دو اتصال pn تشکیل می شوند، پیرو صحبت بالا به طور کلی دو نوع ترانزیستور BjT یا Bipolar Junction Transistor داریم:

1) PnP

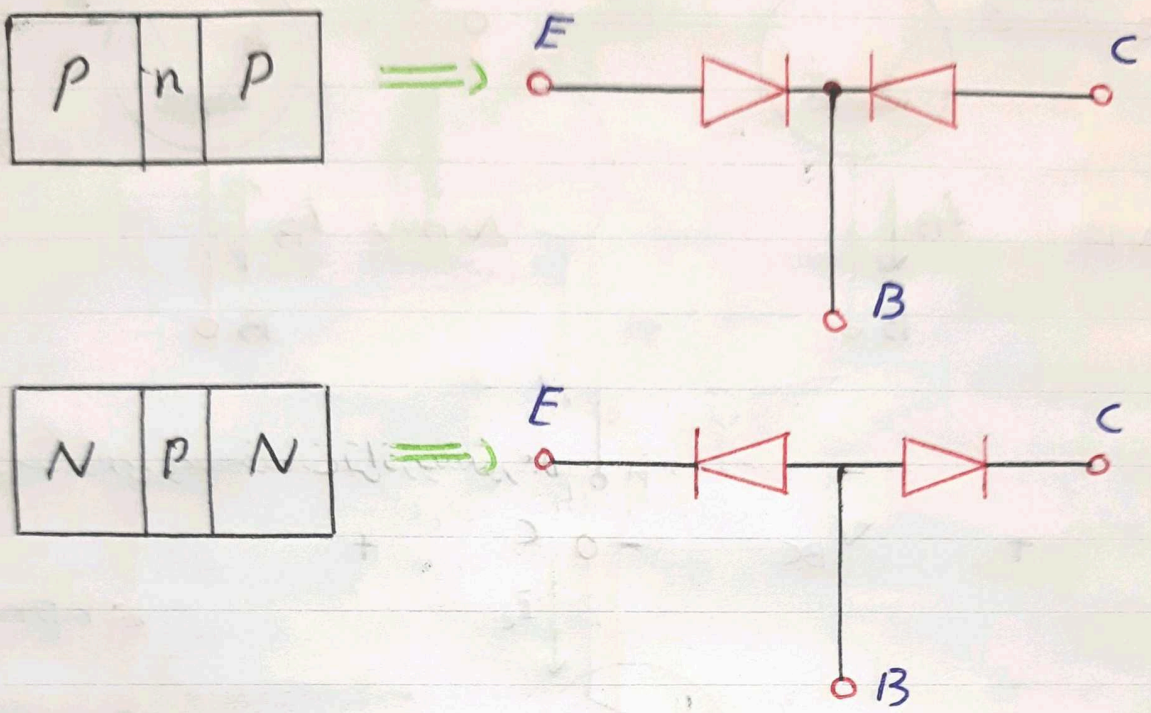


2) NpN



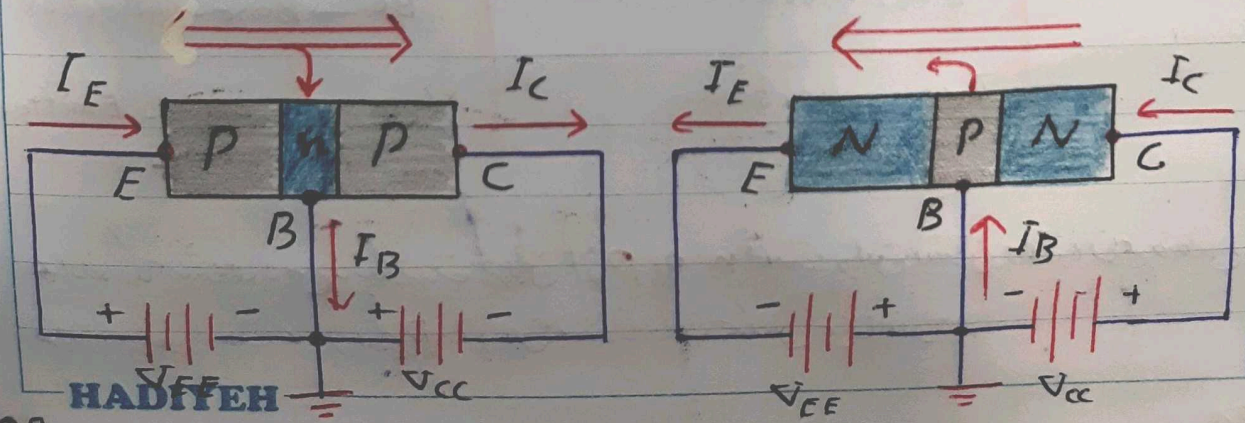
ترانزیستورها دارای سه پایه Base، Emitter و Collector هستند که پیوندبین پایه ها قطب ها را ایجاد می کنند. گفتیم ترانزیستور از دو اتصال pn تشکیل شده

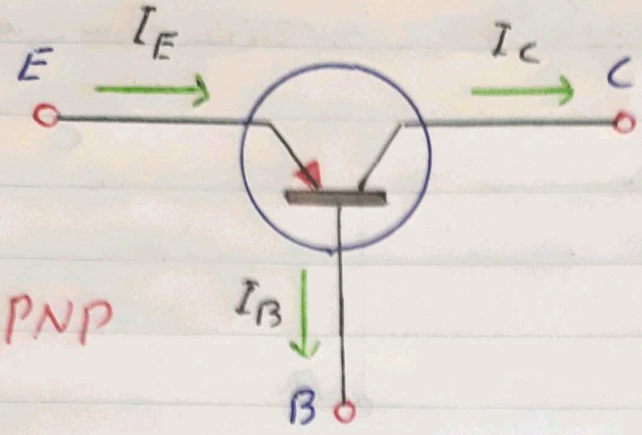
است بیس می توان به صورت زیر تعبیر کرد ؛؛



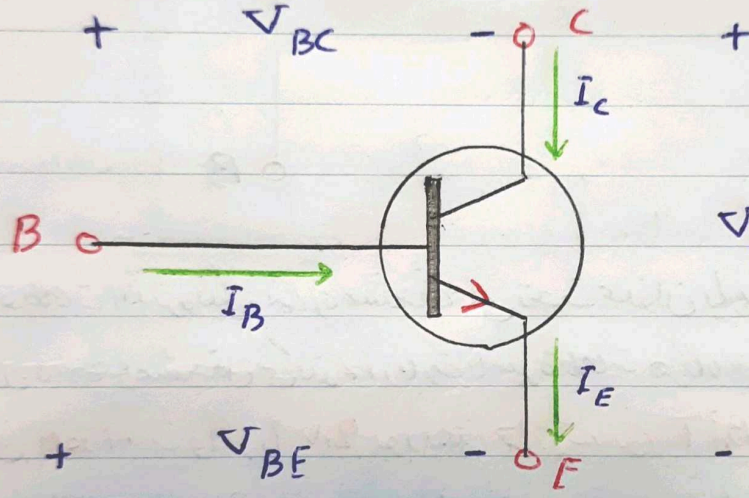
بر روی قطعات الکترونیکی شماره مشخصه ای تحت عنوان پارت نامبر نوشته شده است که نام و مدل قطعه را مشخص می کند ، در پارت نامبر قطعات هرگاه قطعه ای با مشخصه 7N شروع شد یعنی دیود است و اگر با 2N بود یعنی ترانزیستور BjT ، دیگر اطلاعات نظیر شکل آجر تشکیل دهنده PN را می توان از دیتاشیت قطعات استخراج کرد .

می دانیم که جهت جریان از P به N می باشد و در ترانزیستورها نوع لایه ها از طریق جهت جریان مشخص می شود ، زمانی که جریان به داخل بیس حرکت کند ترانزیستور PnP و زمانی که به جهت خارج بیس است ترانزیستور NpN .





- علامت گذاری و مشخصات ترانزیستور:

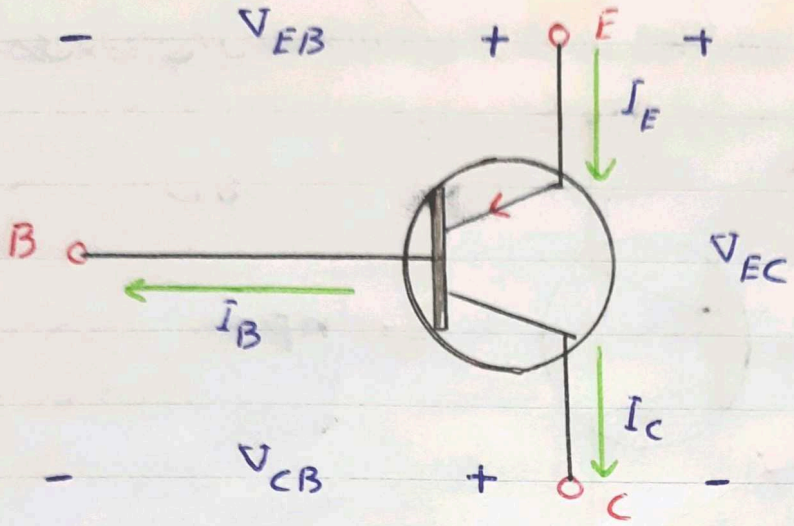


D: npn(1

$$\Rightarrow I \begin{cases} I_B \rightarrow Base \\ I_E \rightarrow Emitter \\ I_C \rightarrow collector \end{cases} \qquad \Rightarrow V \begin{cases} V_{BE} \rightarrow Base\text{-}Emitter \\ V_{BC} \rightarrow Base\text{-}collector \\ V_{CE} \rightarrow collector\text{-}Emitter \end{cases}$$

همانطور که مشاهده می کنید جهت جریان از p به n است و این نشان دهنده نوع خطی ترانزیستور است و در نوع PnP این مشخصات عکس می باشد:

2) pnp :



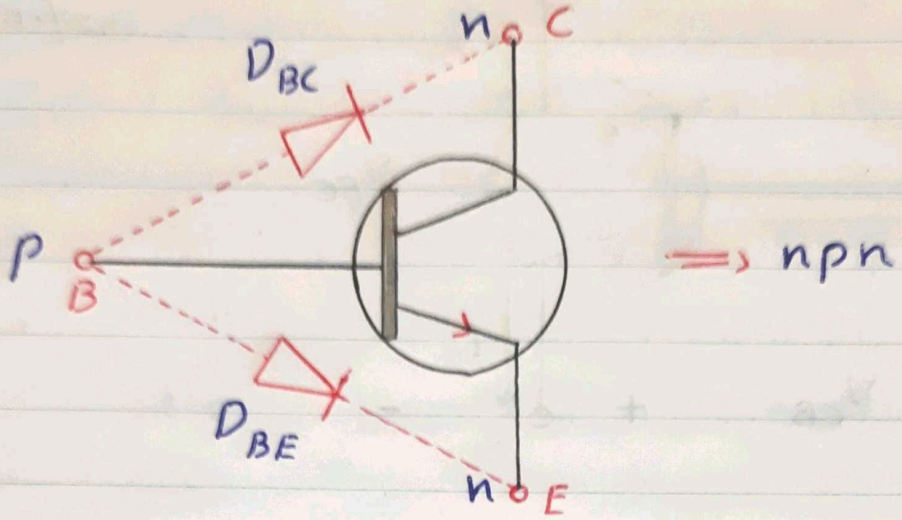
$$\Rightarrow I \begin{cases} I_B \rightarrow \text{Base} \\ I_C \rightarrow \text{collector} \\ I_E \rightarrow \text{Emitter} \end{cases} \qquad \Rightarrow V \begin{cases} V_{CB} \rightarrow \text{collector- Base} \\ V_{EB} \rightarrow \text{Emitter- Base} \\ V_{EC} \rightarrow \text{Emitter- collector} \end{cases}$$

پس به طور کلی مشخصه ولتاژی ترانزیستورهای pnp و npn عکس هم می باشد :

npn	pnp
V_{BE}	V_{EB}
V_{BC}	V_{CB}
V_{CE}	V_{EC}

ترانزیستور دارای دو پیوند PN است و در نتیجه دارای دو دیود در درون خود می باشد و نقطه

قرارگیری و بایاس این دیود ها در کارکرد ترانزیستور اهمیت دارد، به شکل زیر دقت کنید:



ترانزیستور سه ناحیه کاری دارد که عبارتند از:

1) فعال یا Active

2) اشباع یا saturation

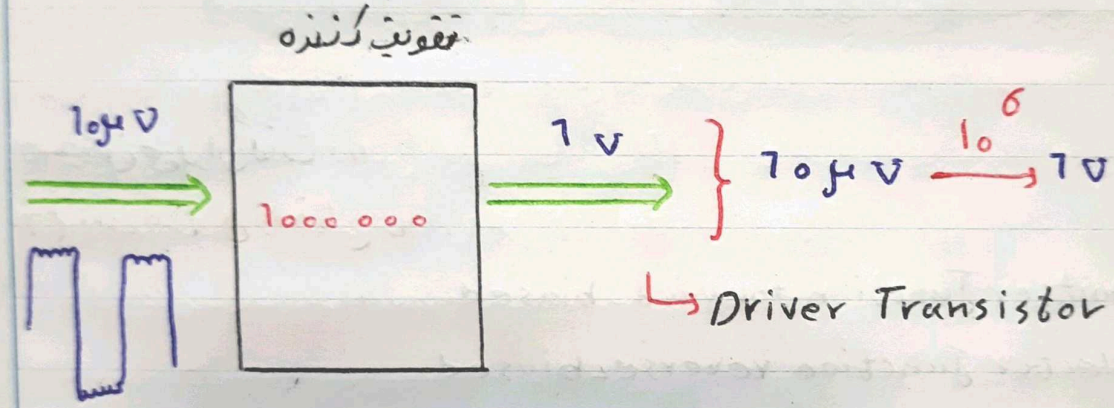
3) قطع یا cutt-off

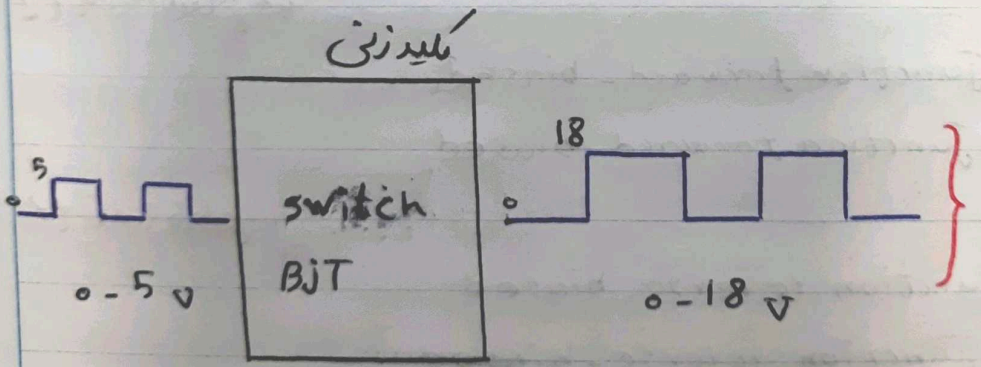
نحوه بایاس دیود های ترانزیستور بر نواحی عملکرد ترانزیستور اثرگذار می باشد، زمانی که پیوند کلکتور با بایاس معکوس باشد یعنی ولتاژ پایه بیس از ولتاژ پایه کلکتور کمتر باشد کاتد ترانزیستور نسبت به آنش مثبت تر باشد و پیوند امیتر نیز بایاس معکوس باشد و ولتاژی بیش از پایه بیس داشته باشد یعنی ترانزیستور در ناحیه قطع قرار دارد، اگر پیوند بیس - امیتر بایاس مستقیم باشد و ولتاژ بیس از ولتاژ امیتر بیشتر باشد و پیوند بیس - کلکتور در بایاس معکوس باشد و ولتاژ کلکتور بیشتر از بیس باشد یعنی ترانزیستور در ناحیه فعال قرار دارد و اگر هر دو دیود ترانزیستور در بایاس مستقیم باشند و پایه بیس ولتاژ بیشتری نسبت به پایه های کلکتور و امیتر داشته باشد یعنی ترانزیستور در ناحیه اشباع قرار دارد.

⇒ ترانزیستور در ناحیه اشباع کاملا روشن است و در ناحیه قطع به طور کامل قطع می باشد.

=> ترانزیستور پیوندی دوقطبی npn بیشترین کاربرد را دارد.

ترانزیستورها کاربرد بسیار مهم دارند، تقویت کنندگی و سوئیچینگ یا کلیدزنی، در حوزه الکترونیک آنالوگ از کاربرد تقویت کنندگی ترانزیستور استفاده می‌شود، ترانزیستورها در ناحیه فعال به عنوان تقویت کننده هم ولتاژ و هم جریان و هم بافر استفاده می‌شوند و عمل می‌کنند، برای استفاده و عملکرد یک ترانزیستور برای سوئیچینگ و کلیدزنی ترانزیستور باید یا در ناحیه قطع باشد یا در اشباع، زیرا مبنای کار یک کلید یا سوئیچ به صورت صفر یا یک یا فقط روشن و فقط خاموش است و همانطور که گفتیم ترانزیستور در ناحیه اشباع کاملاً روشن و در ناحیه قطع کاملا قطع می‌باشد.





ترانزیستورها یا بایاس AC و DC را دارند، در ابتدا بایاس DC را بررسی می‌کنیم، در این تحلیل فرض بر این است که ترانزیستور در ناحیه فعال قرار دارد درست مانند تحلیل دیودکه فرض می‌کردیم روشن است، نکته مهم این است که ترانزیستور در ناحیه فعال در نقطه کار

Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date:.....

و اصطلاحا Q - Point قرارداد ، نقطه کار دیودها V_D و I_D بودولی در ترانزیستورها نقطه کار V_{CE} و I_C می باشد ، بابدست آوردن این دومشخصه می توان متوجه شد که ترانزیستور در چه ناحیه ای کار می کند . به جدول زیر دقت کنید :»

پیوند امیتر	پیوند کلکتور	ناحیه عملکرد
بایاس مستقیم	بایاس مستقیم	اشباع
بایاس مستقیم	بایاس معکوس	فعال
بایاس معکوس	بایاس معکوس	قطع

همچنین می توان گفت :»

1) ناحیه فعال یا خطی :»

Base_emitter Junction forward_biased

Base-collector Junction reverse_biased

2) ناحیه اشباع :»

Base_emitter Junction forward_biased

Base-collector Junction forward_biased

3) ناحیه قطع :»

Base-emitter Junction reverse_biased

Base-Collector Junction reverse_biased

در تحلیل DC سه مرحله اساسی داریم :»

1) اگر خازن در مدار وجود داشت آن را مدار باز می کنیم ، $Z = 1/jwC = \infty$, $DC: f = 0$ ، $= 0$

2) فرض می کنیم ترانزیستور در ناحیه فعال قرار دارد .»

3) نقطه کار ترانزیستور را بدست می آوریم .»

HADIYEH

87

معادلات به شرح زیر است:

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \alpha I_E \quad , \quad I_C = \beta I_B$$

در ترانزیستور α و β مقدار زیر را داراهستند ، β بهره جریان است و هرچقدر که α به یک نزدیک تر شود β بزرگتر خواهد شد:

$$\alpha \approx 1$$

$$0.99 \leq \alpha \leq 0.9999 \quad , \quad 50 \leq \beta \leq 250$$

در ادامه داریم:

$$\Longrightarrow I_E = (\beta + 1)\, I_B$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_C + \frac{I_C}{\beta} \longrightarrow$$ از I_C فاکتوری گیریم

$$I_C\,(1/\alpha) = I_C\,(1/\beta)$$

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta} \longrightarrow \frac{1}{\alpha} = \frac{\beta + 1}{\beta}$$

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

در ادامه داریم:

$$\beta = \alpha\beta + \alpha = (\beta + 1)\,\alpha$$

$$\beta(1 - \alpha) = \alpha \longrightarrow \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad , \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B \cong I_E \quad , \quad I_C = \beta I_B \quad , \quad V_{BE} \cong 0.7\ V$$

هرچقدر که β بزرگتر باشد α به سمت یک میل می‌کند.

= ، پارامتر β تغییر پذیر با دما می‌باشد و از موارد مهم در تکنولوژی ساخت ترانزیستور ها است ، نکته این است که طراحی خوب ترانزیستور طراحی می‌باشد که مستقل از β باشد.

= ، نکته مهم بعدی این است که زمانی که با فرض حضور در ناحیه فعال ترانزیستور را تحلیل می‌کنیم دیود بیس کلکتور یا D_{BC} مورد باز خواهد بود ، و در زمان تحلیل موقع استفاده از KVL از آن منطقه مورد باز عبور نمی‌کنیم.

در مثال بعد قصد داریم تا نقطه کار ترانزیستور را بدست آوریم ، مراحل تحلیل به شرح زیر است:

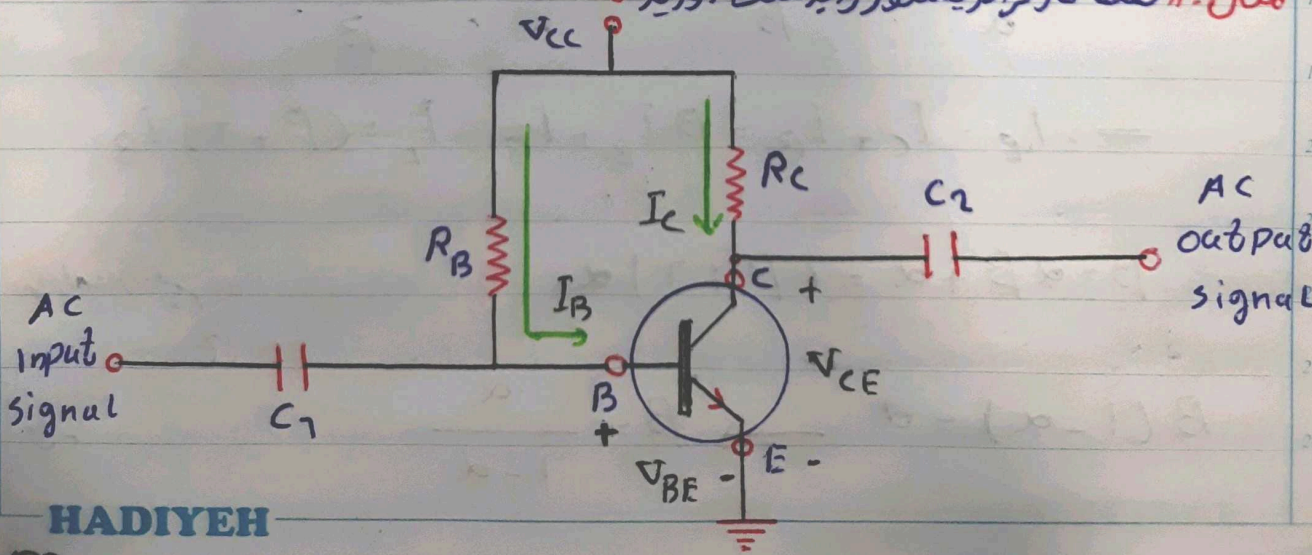
1) سمت B و E به جهت بدست آوردن I_B ، KVL می‌زنیم.

2) از رابطه $I_C = \beta I_B$ برای بدست آوردن I_C استفاده می‌کنیم.

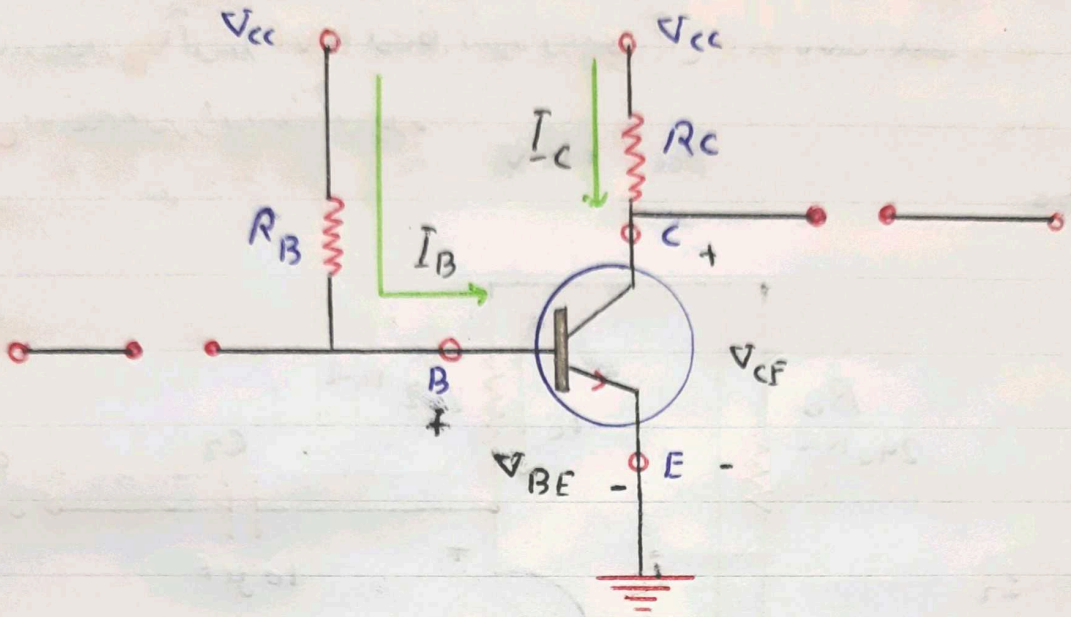
3) در سمت E و C به جهت بدست آوردن V_{CE} ، KVL دور را می‌زنیم.

= ، البته سه مرحله صفحه 87 را در ابتدا انجام می‌دهیم.

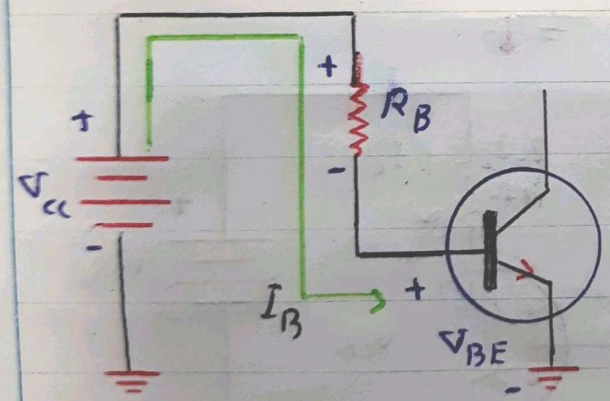
مثال: نقطه کار ترانزیستور را بدست آورید.



ابتدا خازن ها را مدار باز کرده و مدار معادل را رسم می کنیم ؛



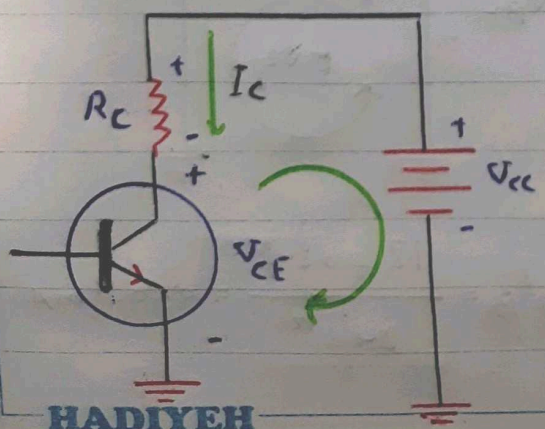
سپس مرحله اول و دوم را اجرا می کنیم با نظر به اینکه با فرض فعال بودن ترانزیستور این کار را انجام می دهیم و V_{BC} مدار باز است و نباید از آن ناحیه عبور کنیم .



$$KVL_1 : -V_{cc} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{V_{cc} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \beta I_B$$



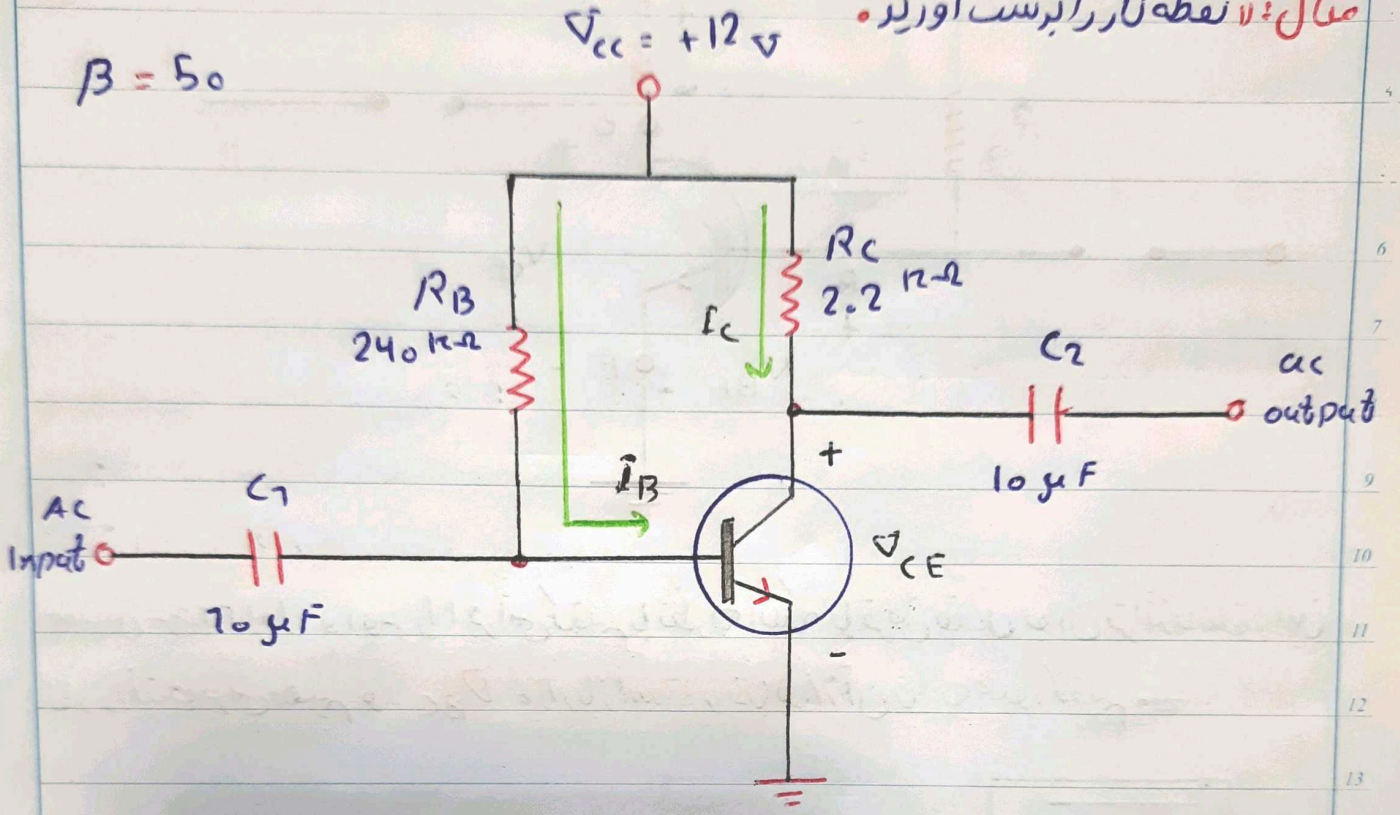
$$KVL_2 : -V_{cc} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

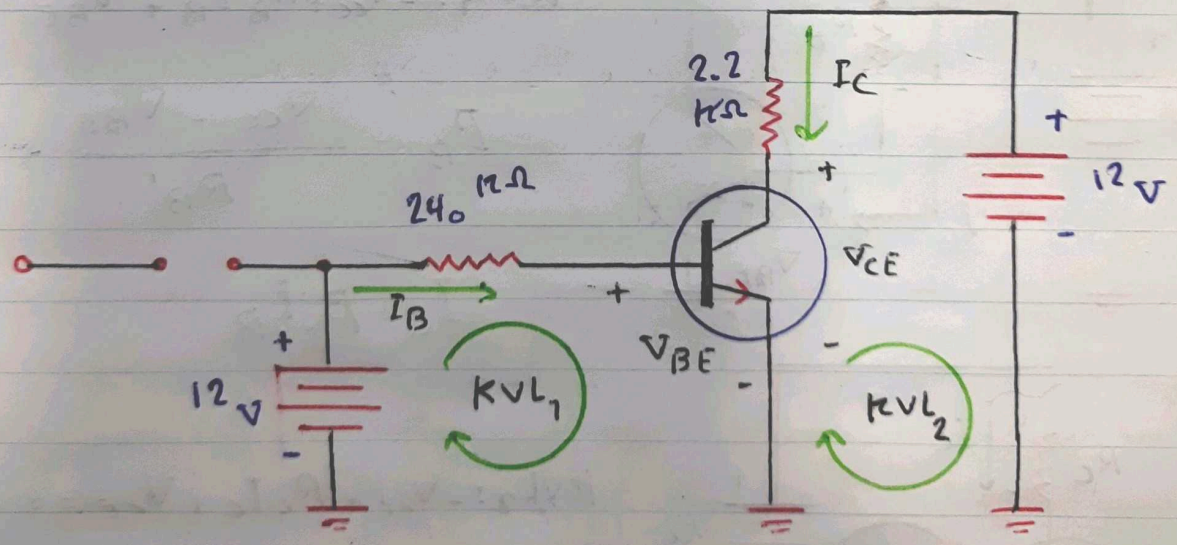
$$V_{CE} = V_{cc} - I_C R_C$$

HADIYEH

نکته: در KVL اول مقدار ولتاژ V_{BE} در واقع ولتاژ استانه دیود D_{BE} است که روشن می باشد و باید V_R آن در KVL لحاظ شود که مقدار آن 0.7 ولت است.

مثال: نقطه کار را بدست آورید.





$$KVL_1: -12 + 240\, I_B + 0.7 = 0 \longrightarrow I_B = \frac{12 - 0.7}{240^{k}} = 0.04\ mA$$

$$I_C = 50 \times 0.04 \ (mA) = 2\ mA$$

$$KVL_2 : -12 + 2 \times 2.2 \ (k\Omega) + V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = 12 - 2 \times 2.2 \ (k\Omega) = 6.83\ V$$

فرض فعال بودن ترانزیستور صحیح است، $I_B > 0$ پس ترانزیستور در ناحیه فعال یا اشباع می‌باشد.

- تشخیص نواحی کاری ترانزیستور:

در KVL اول I_B را برحسب می‌آوریم، اگر $I_B \leq 0$ باشد ترانزیستور در ناحیه قطع می‌باشد، اگر چنین شد در این حالت I_C صفر است و باید V_{CE} را برحسب آوریم که $V_{CE} = V_{CC}$ می‌باشد زیرا:

$$KVL_2 = -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

$$V_{CE} = V_{CC} - \cancel{R_C I_C}^{\,0}$$

$$V_{CE} = V_{CC}$$

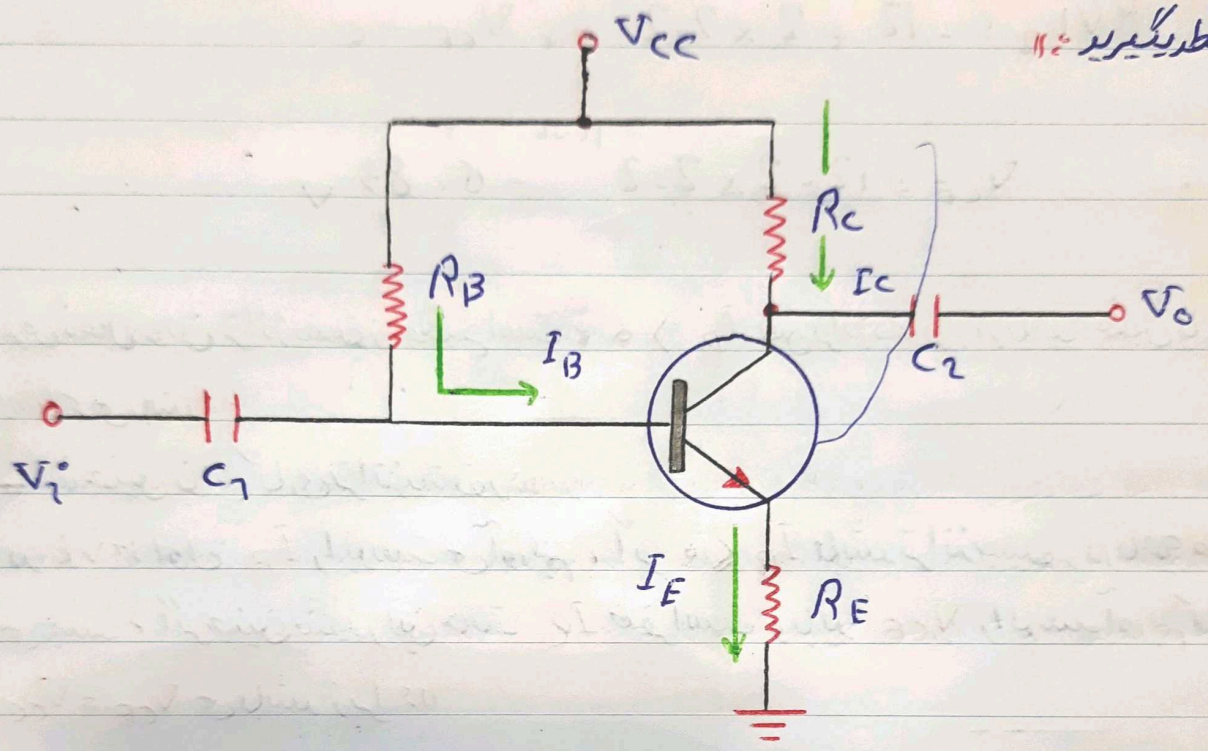
حال اگر در KVL اول I_B را برحسب آوردیم و $I_B > 0$ شد آنگاه ترانزیستور در ناحیه فعال یا اشباع قرار دارد.

درصورتی که $I_B > 0$

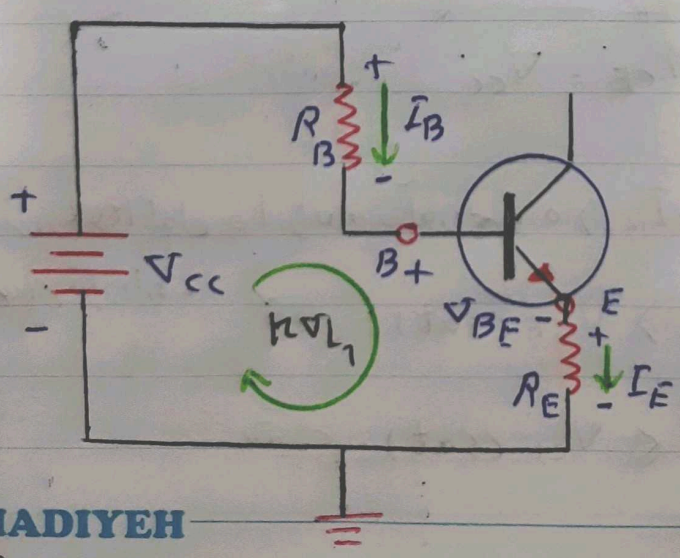
- $V_{CE} > V_{CE(sat)}$: فعال
- $V_{CE} \leq V_{CE(sat)}$: اشباع

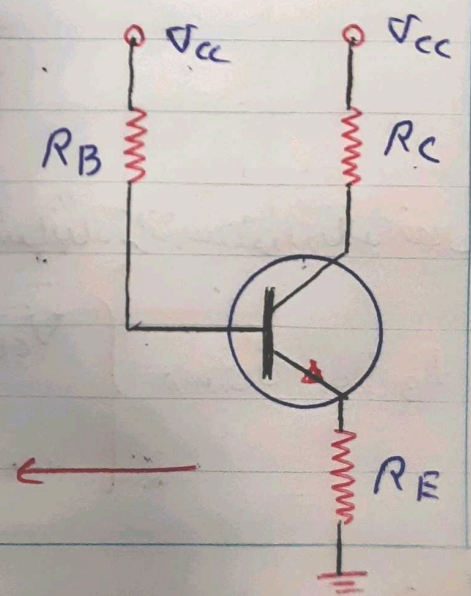
- بایاس ثابت یا مقاومت امیتر:

در بخش قبلی بایاس نقطه ثابت تر از بیستور را کامل شرح دادیم، حال به سراغ بایاس ثابت با مقاومت امیتر می‌رویم، این بار یک مقاومت نیز امت یا به امیتر حضور دارد، مدار شکل زیر را در نظر بگیرید:



در این مدار V_i منبع AC می‌باشد که چون در حال تحلیل DC هستیم و در این تحلیل خازن‌ها مدار باز می‌شوند منبع متناوب هم از بین خواهد رفت. حال باید یک KVL امت بیس امیتر بنویسیم تا I_B را بدست آوریم:





$$KVL_1 : -V_{CC} + R_B I_B - V_{BE} + R_E I_E = 0$$

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

$$KVL_1 : -V_{CC} + R_B I_B - V_{BE} + (\beta + 1) I_B R_E = 0$$

در اینجا با نوشتن KVL متوجه می‌شویم دو مجهول I_B و I_E را داریم، نکته این است که این دو جریان قابل تبدیل به یکدیگر هستند، برای اینکه بخواهیم I_B را بدست آوریم دو راه داریم، راه اول این است که از طریق رابطه بالا I_E را حذف کرده و سپس I_B را محاسبه کنیم و در نهایت β برابر I_B می‌توانیم I_C را بدست آوریم، راه دوم این است که I_B را برحسب I_E نوشته و I_B را حذف کنیم و یا محاسبه I_E می‌توان گفت که I_E برابر I_C است. در ادامه داریم:

$$KVL : -I_B (R_B + (\beta + 1) R_E) + V_{CC} - V_{BE} = 0$$

$$\longrightarrow I_B (R_B + (\beta + 1) R_E) - V_{CC} + V_{BE} = 0$$

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

$$\Longrightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1) R_E} \longrightarrow I_C = \beta I_B$$

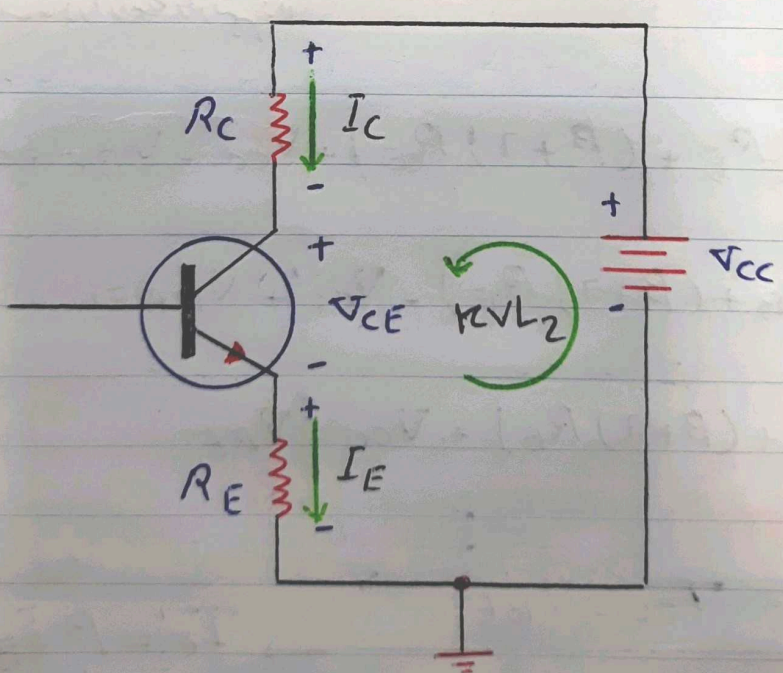
حال اگر از راه دوم بهره بپیریم خواهیم داشت :

$$KVL_1 : -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$I_B = I_E / \beta + 1$$

$$\Rightarrow I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\frac{R_B}{\beta+1} + R_E} \Rightarrow I_E \approx I_C$$

ولی کتاب ترجیح داده است که از راه اول استفاده کند و I_B را بدست آورد ، راه دوم برای حل مسائلی بهتر است که گفته شده نقطه کار ترانزیستور را بدست آورید . حال در مرحله دوم KVL دوم را می‌نویسیم تا V_{CE} را بدست آوریم :



$$KVL_2 : -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

$$V_{CE} - V_{cc} + I_C (R_C + R_E) = 0 \quad , \quad I_E \approx I_C$$

$$\Rightarrow V_{CE} = V_{cc} - I_C (R_C + R_E)$$

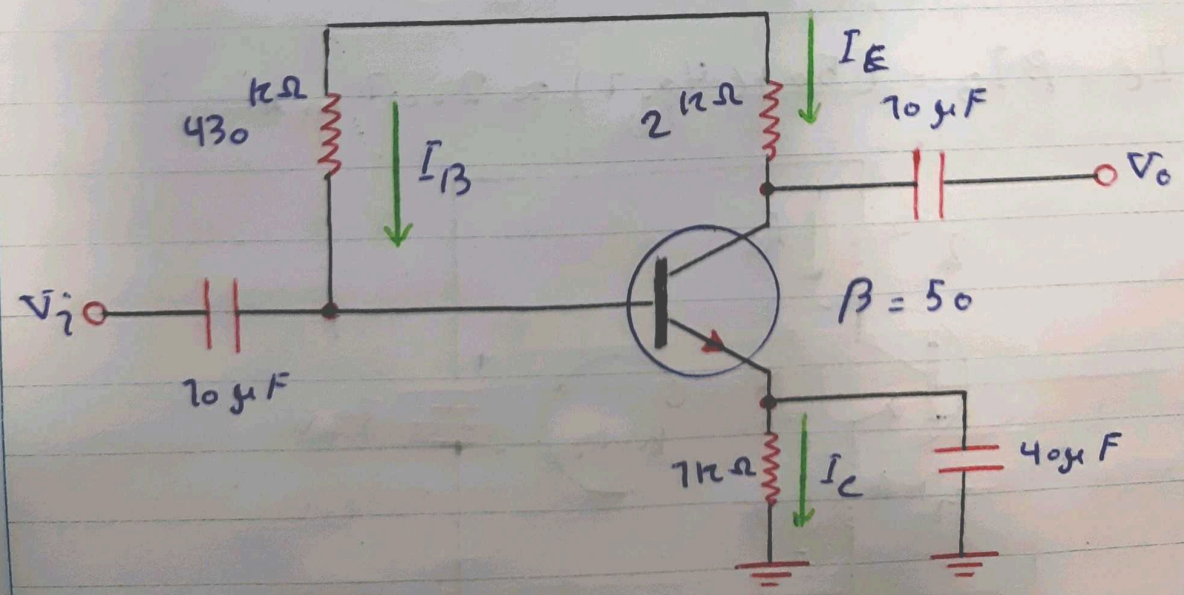
همچنین روابط زیر را نیز داریم:

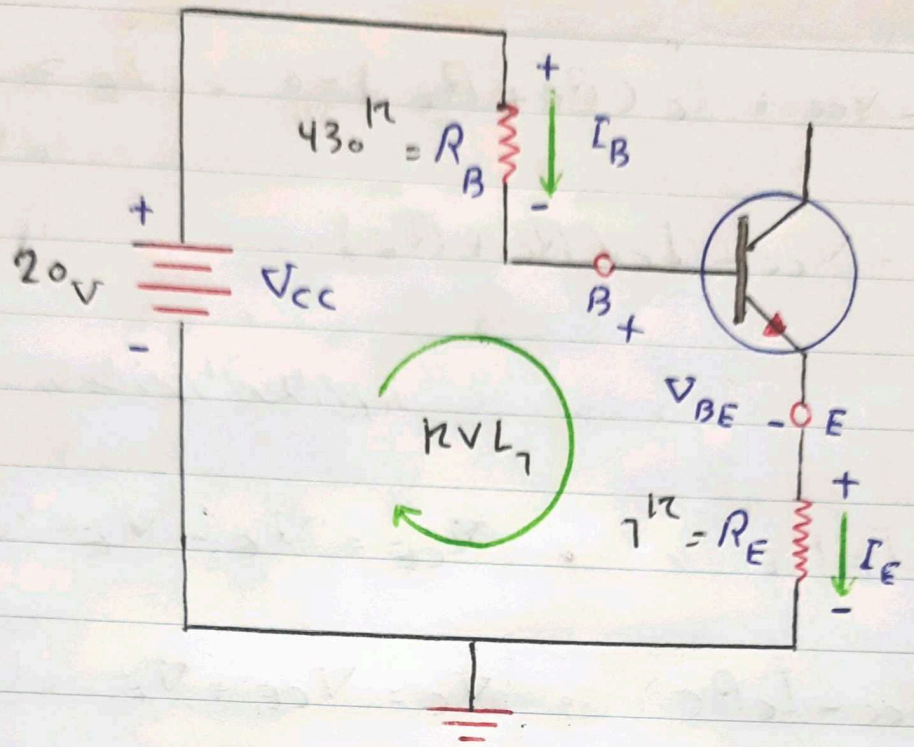
$$V_E = I_E R_E \quad , \quad V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_C = V_{cc} - I_C R_C \quad , \quad V_C = V_{CE} + V_E$$

$$V_B = V_{cc} - I_B R_B \quad , \quad V_B = V_{BE} + V_E$$

مثال) مطلوب است محاسبه I_B، I_C، V_{CE}، V_C، V_E، V_B و V_{BC} در مدار شکل زیر:

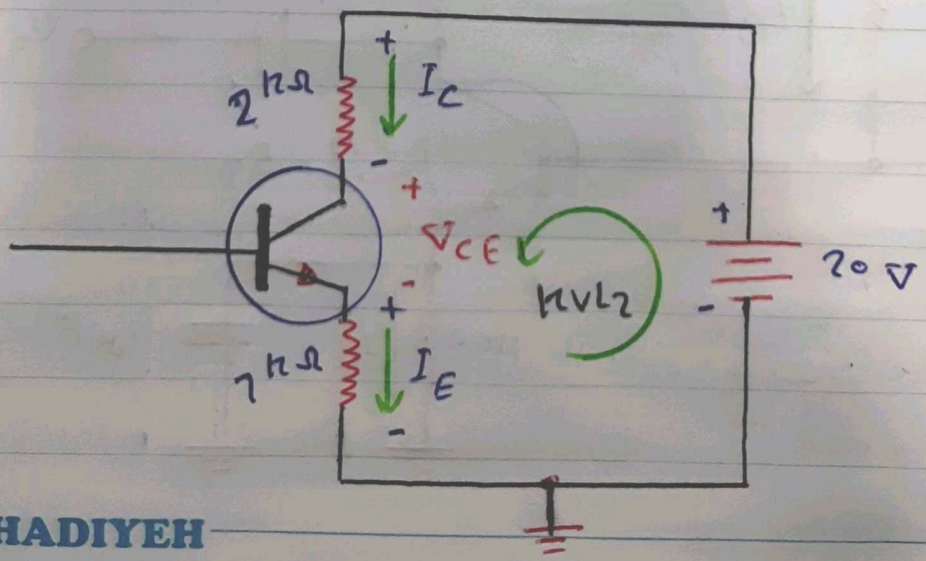




$$KVL_1: -20 + 430^{k} I_B + 0.7 + 7^{k} I_E = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta+1) R_E} = \frac{20 - 0.7}{430 + (50+1)\times 7} = \frac{19.3}{487^{k}} = 40.7\ \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = (50)(40.7) \approx 2.07\ mA$$



$KVL_2 : -20 + 2^{k} I_C + 0.7 + 1^{k} I_E = 0$

$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E) = 20 - (2.07)(2^{k} + 1^{k})$

$= 20 - 6.03 = 13.97\ V$

$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 20 - (2.07)(2) = 20 - 4.02 =$

$= V_C = 15.98\ V$

$V_E = V_C - V_{CE} = 15.98 - 13.97 = 2.07\ V$

$V_E = I_E R_E = I_C R_E = (2.07)(1^{k}) = 2.07\ V$

} دو راه

$V_B = V_{BE} + V_E = 0.7 + 2.07 = 2.7\ V$

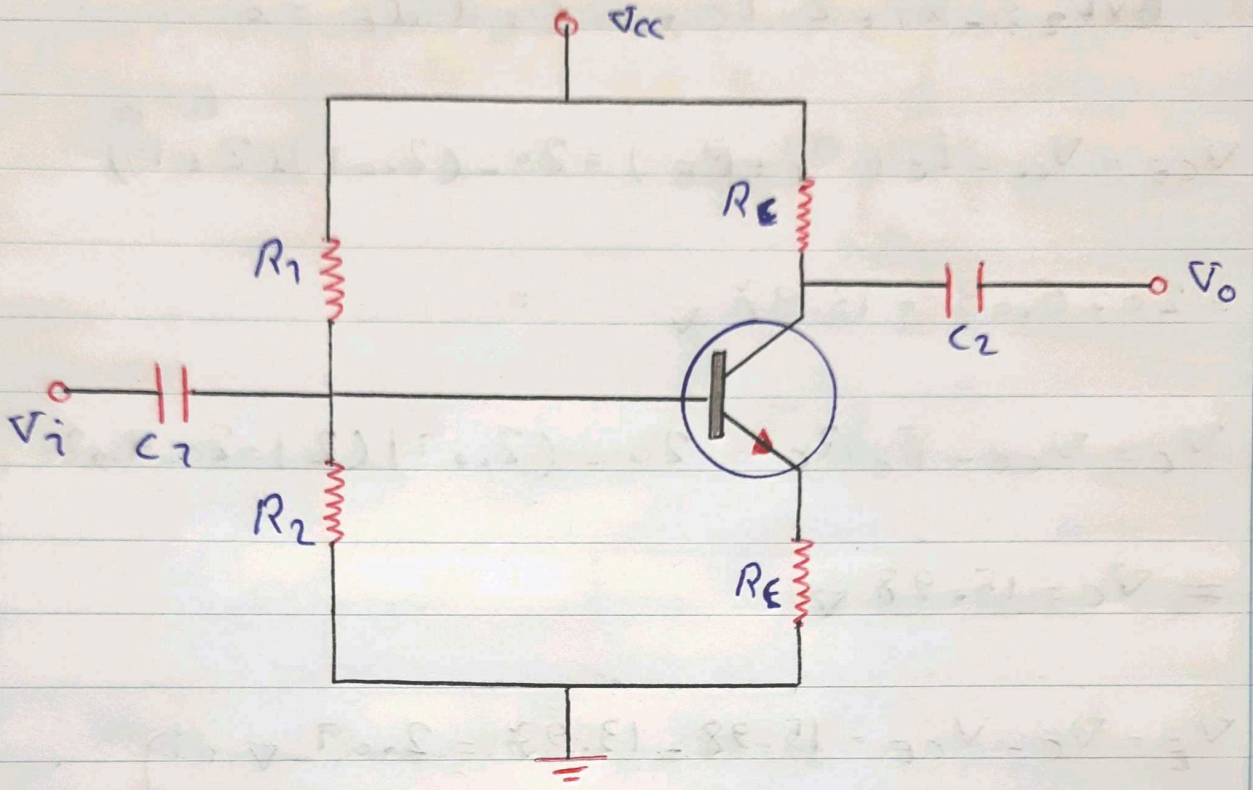
$V_{BC} = V_B - V_C = 2.71 - 15.98 = -13.27$

Reverse-biase as required

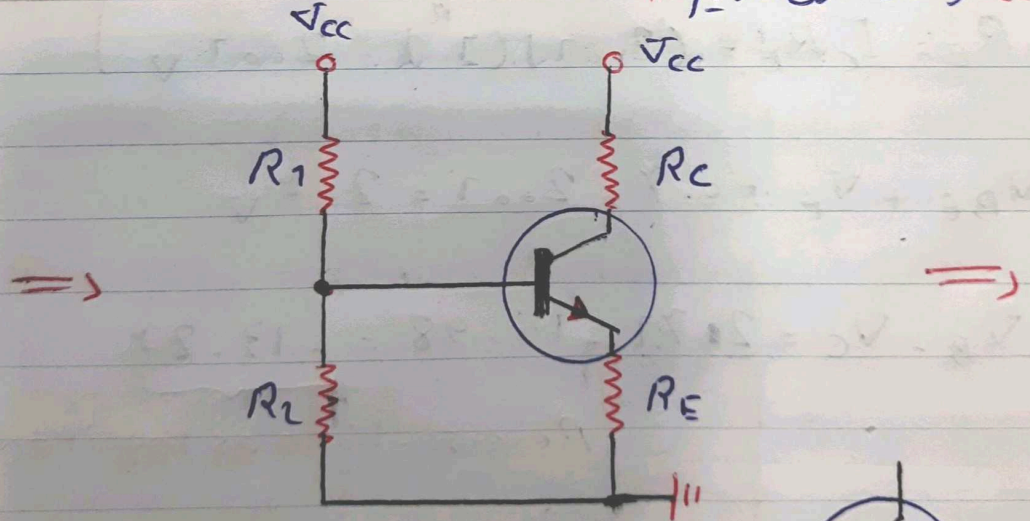
- تحلیل دقیق ترانزیستور:

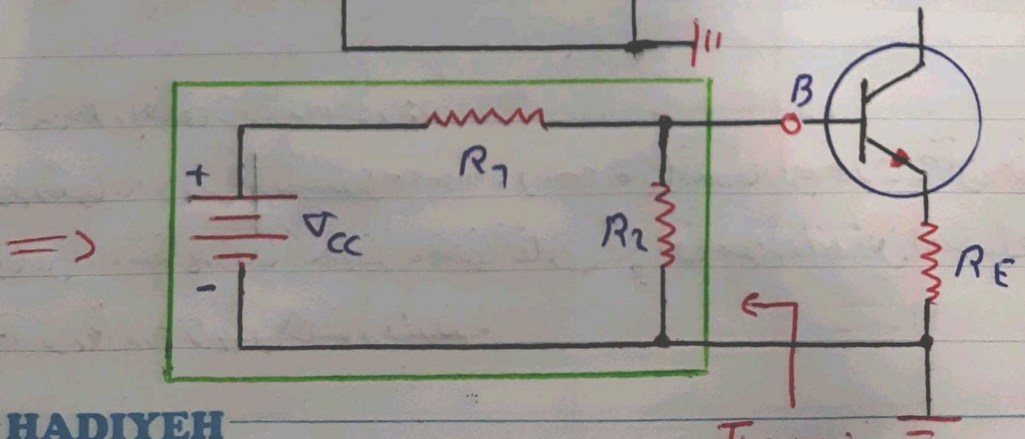
نوع دیگر بایاس ترانزیستور self-biase می باشد که اصطلاحا به آن خود بایاس و یا بایاس مستقل از بتا گویند، تنها تفاوتی که این مدار دارد این است که دو مقاومت R_1 و R_2 در مدار آن حضور دارند.

مدار بایاس مستقل از بتا به شرح زیر است :

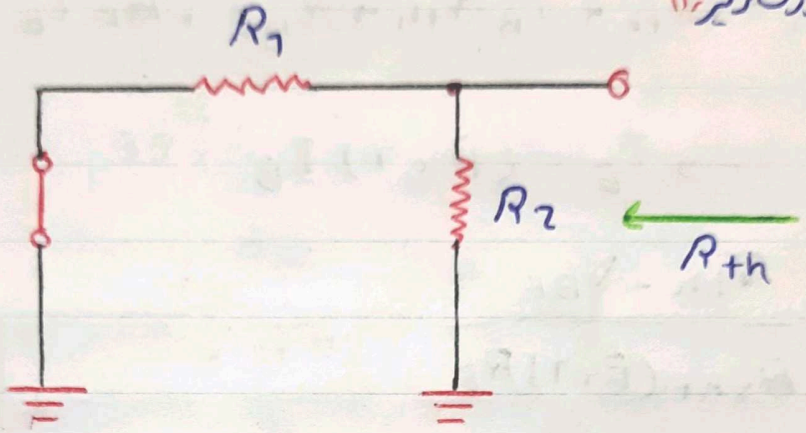


باجداسازی Vcc و معادلسازی داریم :





مقاومت R_2 باعث می‌شود که جریان منبع موازی است و ولتاژی بر آن قرار گیرد، و دیگر نمی‌توان به راحتی در آن حلقه KVL زد به این دلیل که باید ولتاژ نقطه R_2 محاسبه شود، برای این کار معادل تونن مدار را رسم می‌کنیم، یعنی یک مقاومت R_{th} بسته شده با V_{th} در مدار جایگذین کنیم، به صورت زیر:



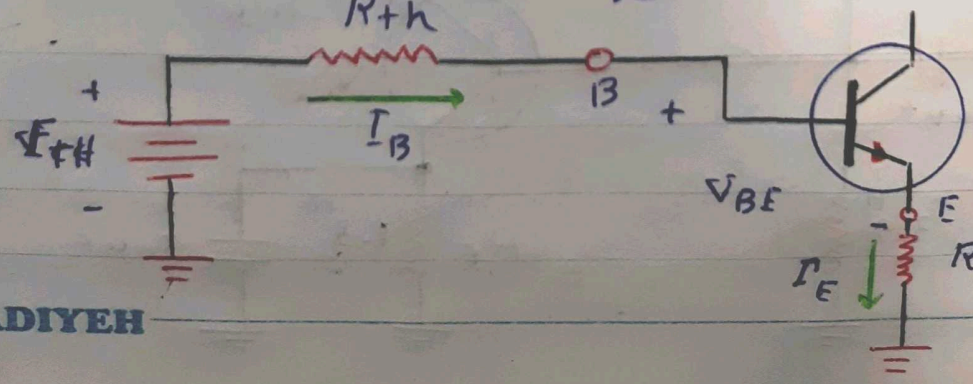
برای بدست آوردن R_{th} باید تمامی منابع مدار را اتصال کوتاه یا حذف کنیم، در این حالت R_1 و R_2 با یکدیگر موازی هستند و خواهیم داشت:

$$R_{th} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

در مرحله بعد باید V_{th} را بدست آوریم که می‌شود ولتاژ دو سر R_2 که طبق قانون تقسیم ولتاژ داریم:

$$V_{th} = V_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

که با بدست آوردن این دو مقدار داریم:



HADIYEH

بین طبق مراحلی که مشاهده کردید R_{th} و V_{th} جایگزین R_2 و منبع را مدار قبلی شدند حال می‌توانیم مانند قبل KVL شماره یک را بنویسیم، داریم:

$$KVL_1 : -V_{th} + I_B R_{th} + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

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

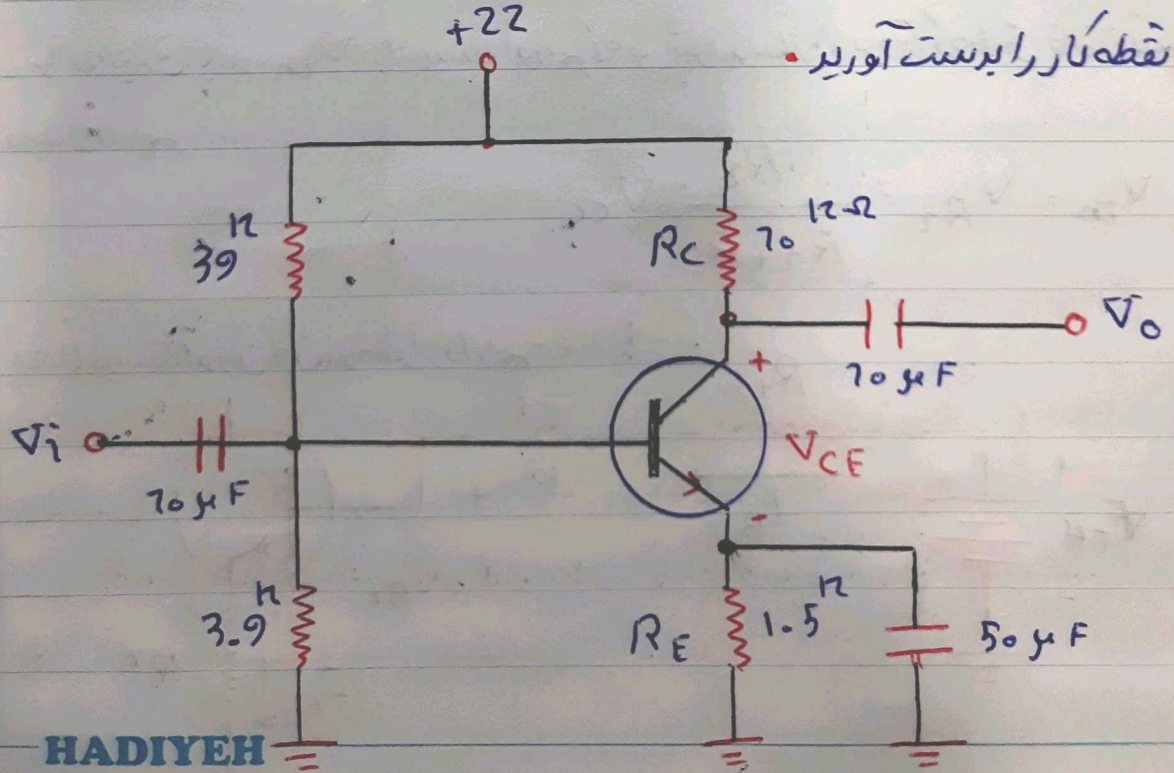
$$I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta+1) R_E}$$

حال KVL دوم را می‌نویسیم:

$$KVL_2 : -V_{th} + R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

$$V_{CE} = V_{cc} - I_C (R_C + R_E)$$

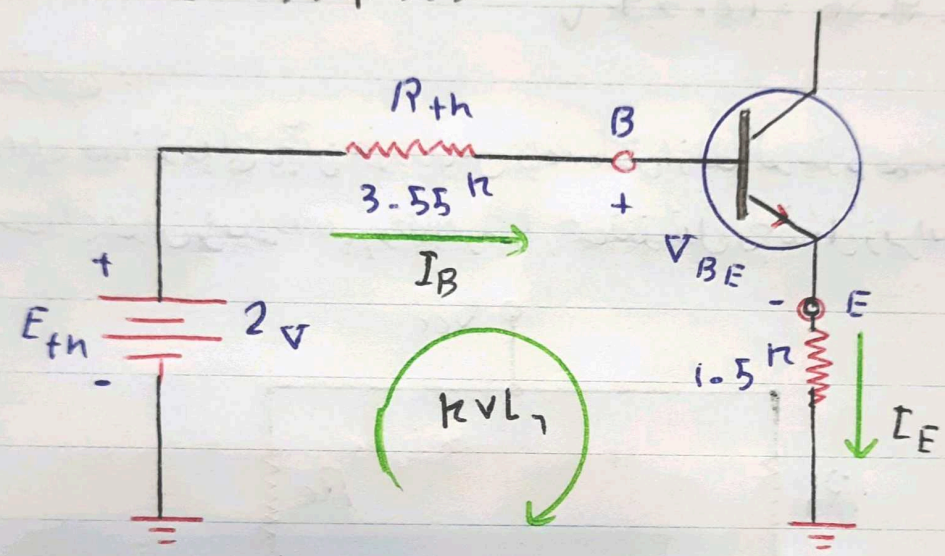
مثال) نقطه کار را بدست آورید.



HADIYEH

$$R_{th} = R_{39k} \,||\, R_{3.9k} = \frac{39^{k} \times 3.9^{k}}{39^{k} + 3.9^{k}} = 3.55^{k}$$

$$E_{th} = \frac{R_2 V_{cc}}{R_1 + R_2} = \frac{3.9^{k} \times 22}{39^{k} + 3.9^{k}} = 2\,V$$



$$KVL: -2 + 3.55^{k} I_B + 0.7 + 1.5^{k} I_E = 0$$

$$I_B = \frac{E_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta+1) R_E} = \frac{2 - 0.7}{3.55^{k} + (100+1)(1.5^{k})}$$

$$= \frac{1.3}{3.55 + 151.5} = 8.38\ \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = (100)(8.38\,\mu) = 0.84\ mA$$

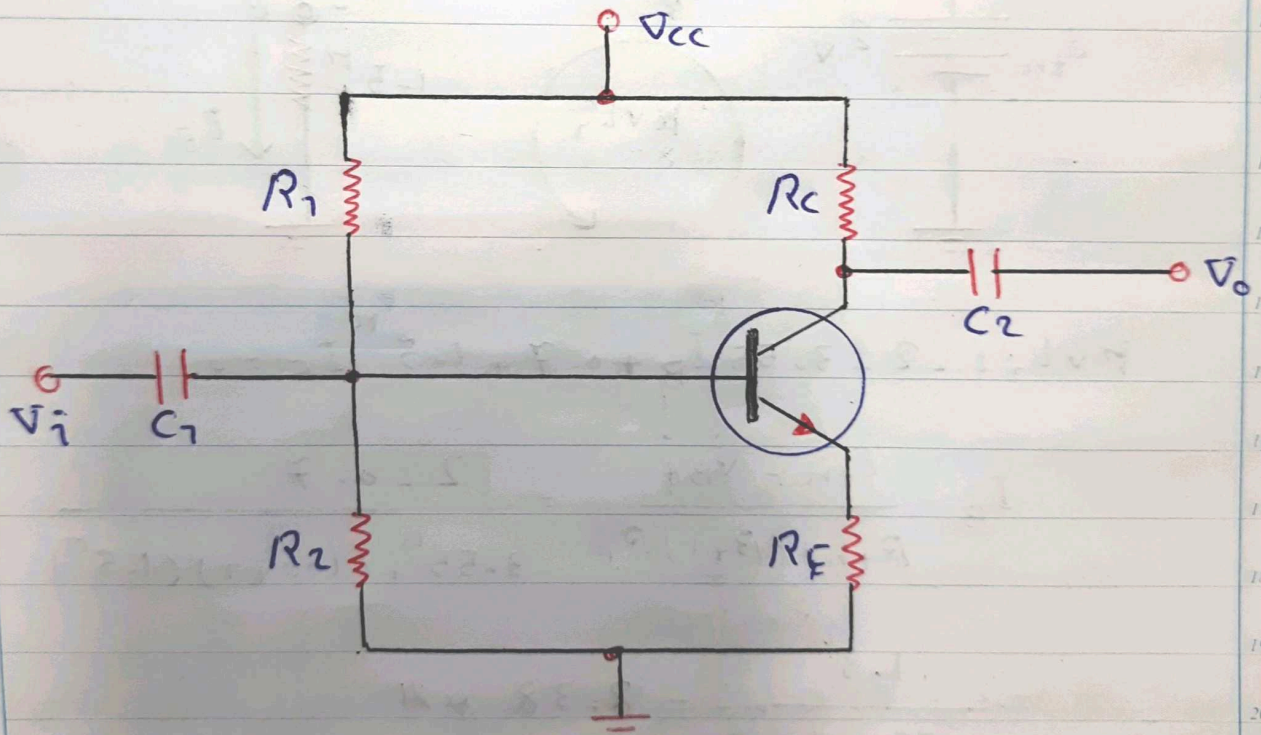
$$KVL_2 = -2 + 10^{k} I_C + 0.7 + 1.5^{k} I_E = 0$$

$$V_{CE} = V_{cc} - I_C (R_C + R_E) = 22 - (0.84)(10^{k} + 1.5^{k})$$

$$= 22 - 9.66 = 12.34 \ V$$

- تحلیل تقریبی :

به این تحلیل همانند قبلی به آن خود بایاس یا مستقل از بتا گویند و همانند مدار قبلی برای آن معادل تونن را اینو یسیم و ظاهر مدار همانند قبل به شکل زیر است :



- بیست آوردن مدار معادل تونن این مدار مانند مراحل صفحه قبل است و از تکرار آنها صرف نظر می کنیم. حال می خواهیم مستقل از β این ترانزیستور را تحلیل کنیم، برای اینکه مستقل از β تحلیل کنیم باید تحت شرایطی I_B را حذف کنیم و فقط I_E در معادلات باقی بماند، یعنی باید عبارت $I_B R_{th}$ حذف شود، پس باید به گونه ای

Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date:.....

تحلیل را انجام دهیم که R_{th} در معادلات وارد نشده و زمانی که KVL می نویسیم فقط R_E و E_E را لحاظ کنیم.

$\Rightarrow$ برای اینکه بایاس ترانزیستور مستقل از β باشد باید $I_B R_{th}$ یا عبارت R_{th} را صرف نظر کنیم، و باید شرایط صرف نظر بررسی شود.

اگر A از ده برابر B بزرگتر باشد، می گوییم A از B بسیار بزرگتر است بنابراین می توانیم از B صرف نظر کنیم (ده برابر یعنی بی نهایت فیزیکی)، حال اگر R_{th} را ضرب در ۱۰ کنیم و همچنان R_E $(\beta+1)$ $I_E =$ از R_{th} بزرگتر باشد در این صورت می توانیم از R_{th} صرف نظر کرده و تحلیل مستقل از بتا خواهد شد.

$$A \gg 10B \quad , \quad 10R_{th} \ll (\beta+1) R_E$$

مثال) اگر در مداری $R_1 = R_2 = 10^k$ باشد و $R_E = 5^k$ و $\beta = 100$ آیا می توان تحلیل تقریبی انجام داد؟

$$\left.\begin{array}{l} R_1 = 10^k \\ R_2 = 10^k \end{array}\right\} \quad R_{th} = \frac{10^k}{2} = 5^k$$

$$10 \times 5^k \ll (100+1)\, 5^k$$

بنابراین قاعده برقرار است و می توان از R_{th} صرف نظر کنیم و داریم:

$$KVL = -V_{th} + \cancel{R_{th} I_B} + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

HADIYEH

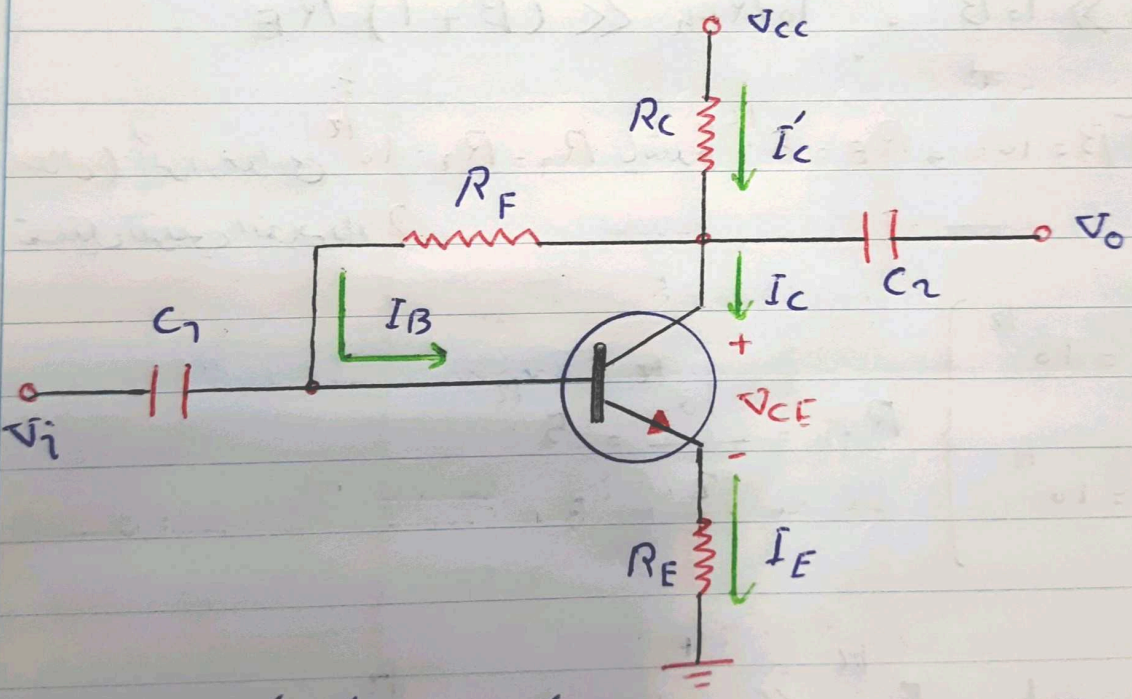
و در نتیجه زمانی I_B و R_{th} حذف شدند I_E برابر است با:

$$I_E = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_E}$$

$$KVL = -V_{th} + R_{th} I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

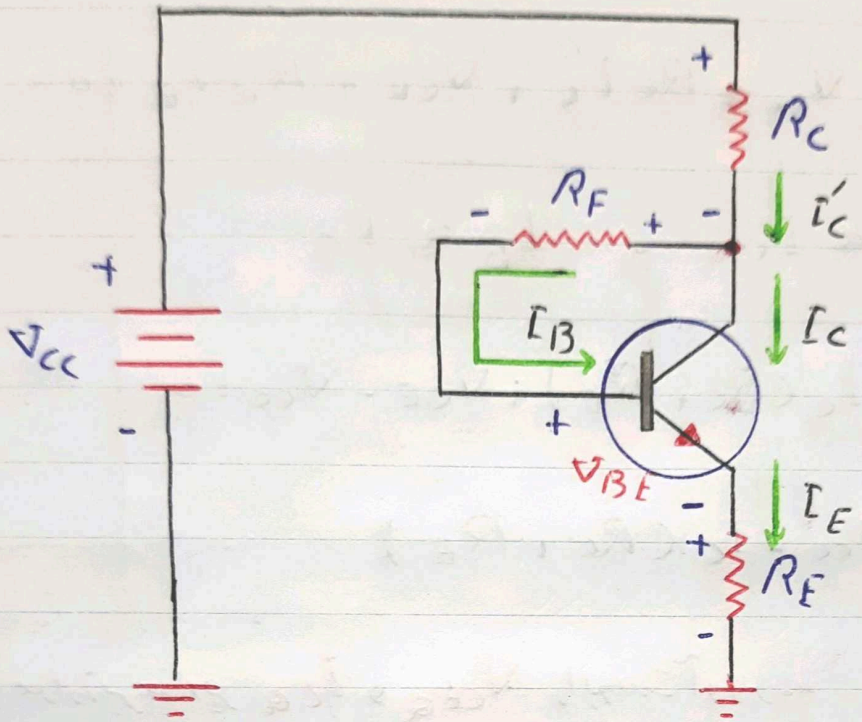
=> اتصال فیدبک کلکتور یا Collector Feedback Configuration:

به مدار زیر دقت کنید، می خواهیم نقطه کار آن را بدست آوریم:



سطح بهبود یافته ای از بایاس را می توان با معرفی یک مسیر فیدبک از کلکتور به بیس بدست آورد همانطور که در مدار بالا مشاهده می کنید، اگرچه نقطه کار یا Q در این حالت مستقل از β نیست حتی در حالت شرایط تقریبی، همچنین برای تحلیل ایگر نمی توان KVL را در یک حلقه قبلی نوشت زیرا مقادیر R_F نیز در حلقه ها ایی آن حضور دارند و باید مشخص شوند.

مدار معادل را به صورت زیر بدست می آوریم



پیش تر گفته بودیم که در تحلیل DC ترانزیستور زمانی که در ناحیه فعال قرار دارد، نباید در قسمت کلکتور KVL زد زیرا D_{BC} مدار باز است ولی با اتصال مقاومت فیدبک دیگر به ولتاژ بین کلکتور برخورد نخواهیم کرد، داریم:

$$KVL_1: -V_{CC} + R_C I'_C + R_F I_B + V_{BE} + R_E I_E = 0$$

$$\Rightarrow I'_C = I_C + I_B \quad , \quad I_E \cong I_C$$

$$\Rightarrow I'_C \cong I_C = \beta I_B$$

$$KVL_2: -V_{CC} + R_C \beta I_B + R_F I_B + V_{BE} + R_E \beta I_B = 0$$

در مرحله بعدی خواهیم داشت ۱۱۲

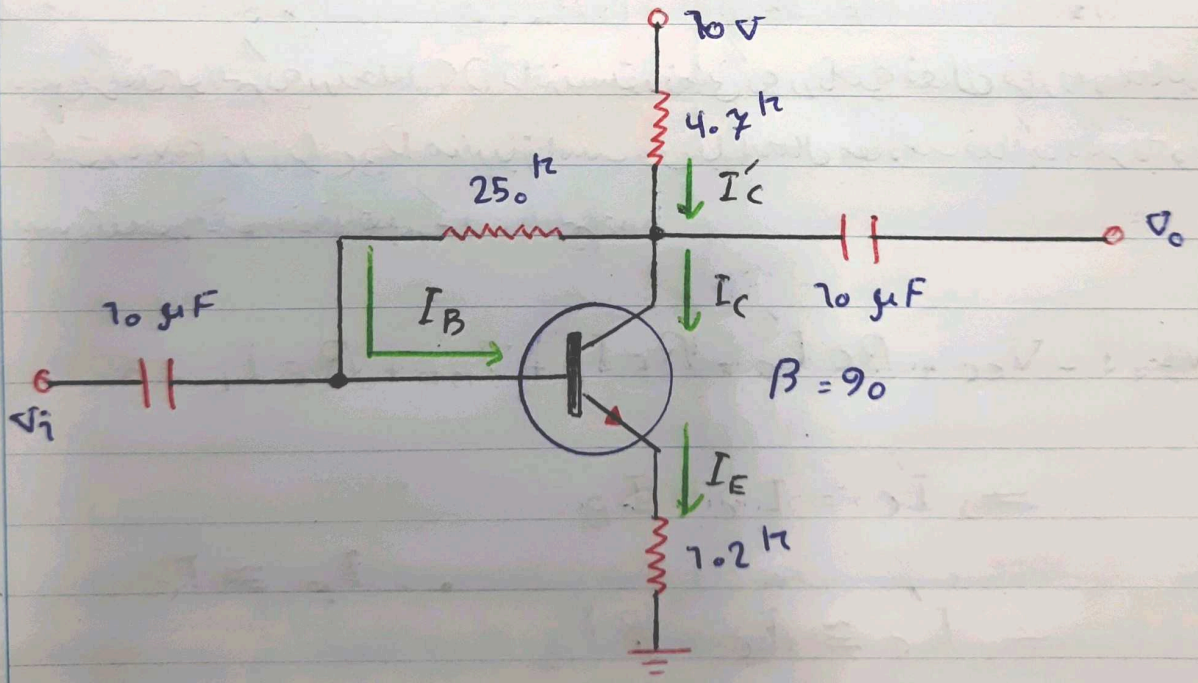
$$KVL\,2: -V_{cc} + R_C I'_C + V_{CE} + R_E I_E = 0$$

$$I'_C \approx I_C \quad , \quad I_E \approx I_C$$

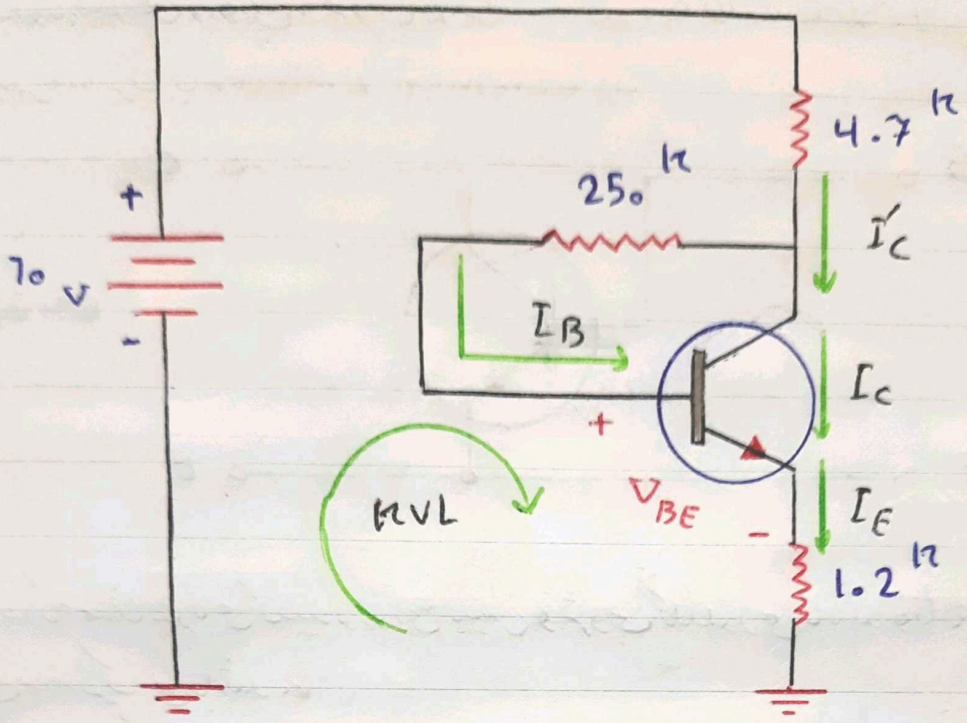
$$\Rightarrow KVL\,2: I_C(R_C + R_E) + V_{CE} - V_{cc} = 0$$

$$V_{CE} = V_{cc} - I_C(R_C + R_E)$$

مثال) در مدار زیر مقادیر I_{CQ} و V_{CEQ} را بدست آورید ۱۱۰



به جهت تحلیل آسان تر مدار معادل این مدار را همانطور که در صفحه بعدی مشاهده می کنید رسم می کنیم ۱۲۰



$$KVL_1: -10 + 4.7^{k}(90)I_B + 250^{k}I_B + 0.7 + 1.2^{k}(90)I_B = 0$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_F + \beta(R_C + R_E} = \frac{10 - 0.7}{250^{k} + 90(4.7^{k} + 1.2^{k})} = \frac{9.3}{781^{k}} = 77.91^{k}$$

$$KVL_2: -10 + 4.7^{k}I_C' + 0.7 + 1.2^{k}I_E = 0$$

$$\Rightarrow 1.07(4.7^{k} + 1.8^{k}) + 0.7 - 10 = 0$$

$$I_{C_Q} = \beta I_B = (90)(77.97) = 1.07\ mA$$

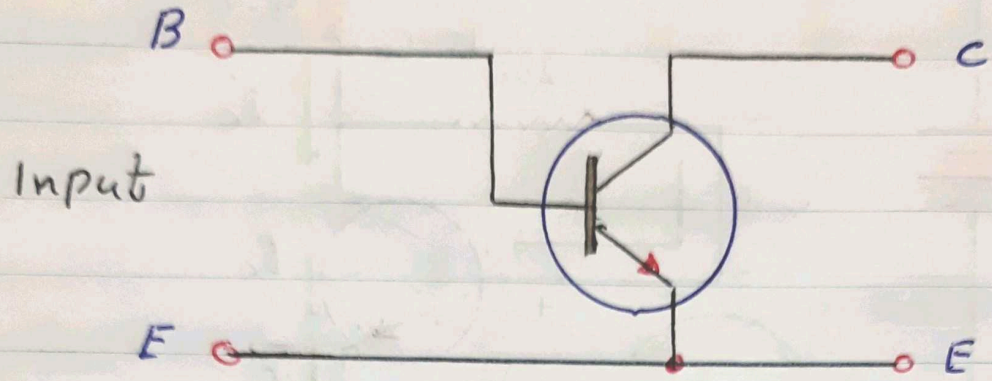
$$V_{CE_Q} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 10 - (1.07)(4.7^{k} + 1.2^{k})$$

$$= 10 - 6.37 = 3.69\ V$$

HADIYEH

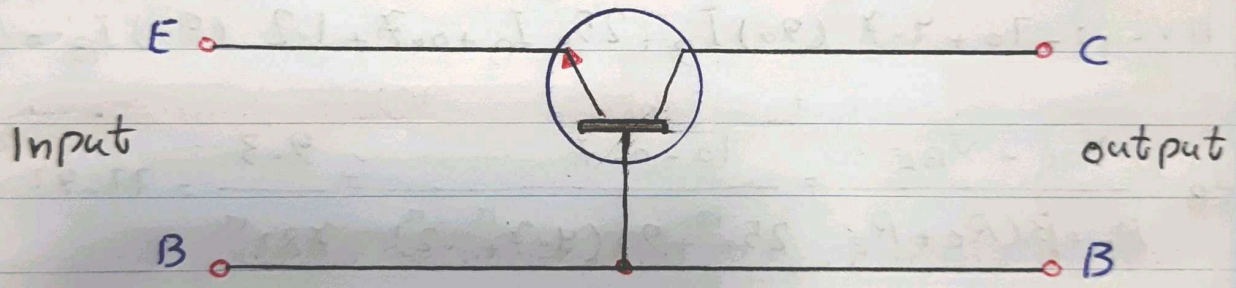
ما برای نحوه چیدمان ورودی و خروجی در ترانزیستور سه حالت مختلف داریم:

1) امیتر مشترک یا Common Emitter:



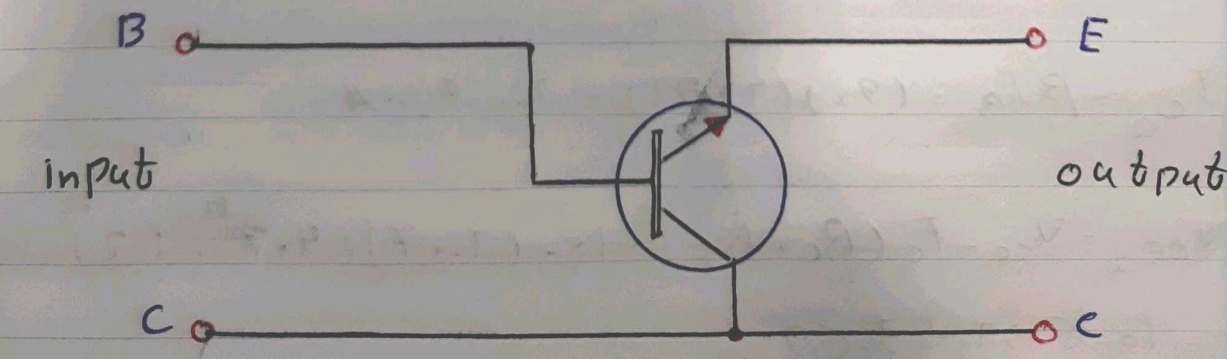
همانطور که مشاهده می کنید ورودی بیس و خروجی کلکتور می باشد و پایه امیتر بین ورودی و خروجی مشترک می باشد.

2) بیس مشترک یا Common _ base:



در این حالت ورودی امیتر و خروجی کلکتور می باشد و پایه بیس بین ورودی و خروجی مشترک است.

3) کلکتور مشترک یا Common Collector:



که در این حالت نیز ورودی بیس و خروجی امیتر است و پایه کلکتور بین انها یعنی ورودی و خروجی مشترک است ۰

از این سه حالت نتیجه می گیریم که کلکتور نمی تواند ورودی باشد و بیس نمی تواند خروجی باشد ۰ اتصال بیس مشترک نسبتا پرکاربرد است به این دلیل که در حوزه AC دارای امپدانس ورودی بسیار کم، امپدانس خروجی بالا و بهره خوب است ، ولی اتصال کلکتور مشترک بیشتر برای کارهای تطبیق امپدانس استفاده می شود زیرا دارای امپدانس ورودی بالا و امپدانس خروجی پایین است ۰

- تحلیل AC ترانزیستور BJT :

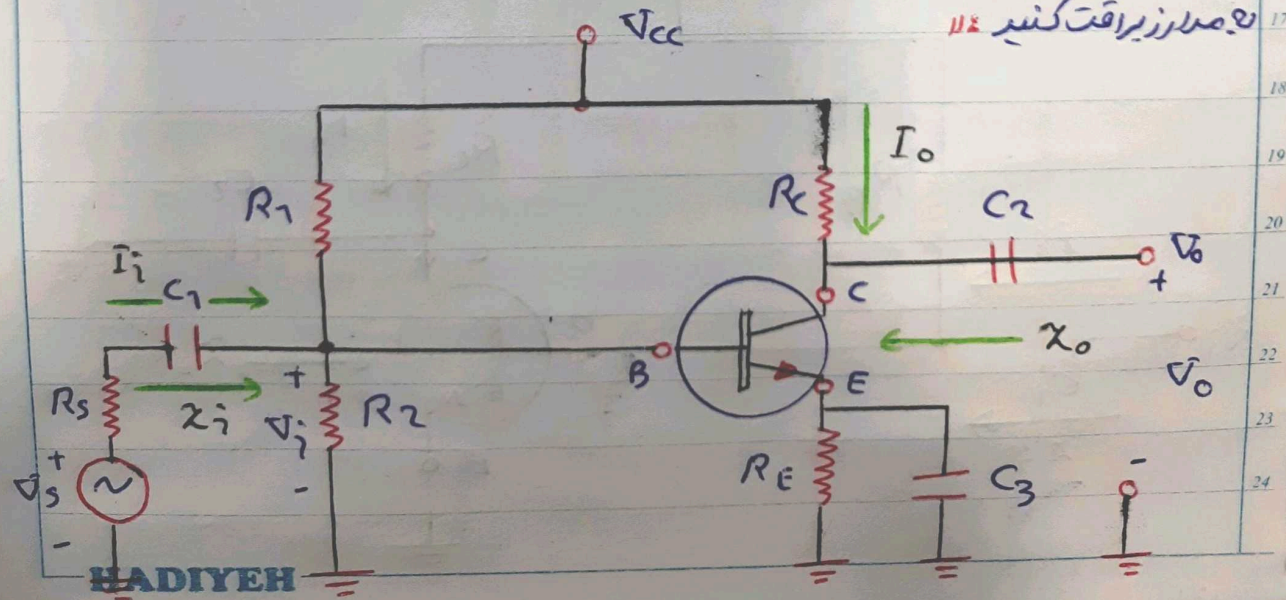
در تحلیل DC خازن ها را مدار باز می کردیم و با فرض فعال بودن ترانزیستور تحلیل را انجام می کردیم ، در تحلیل AC به صورت عمل می کنیم :

1) خازن ها اتصال کوتاه می شوند ۰

2) منابع DC حذف می شوند ۰

3) مدل هیبرید پای ترانزیستور را قرار می دهیم ۰

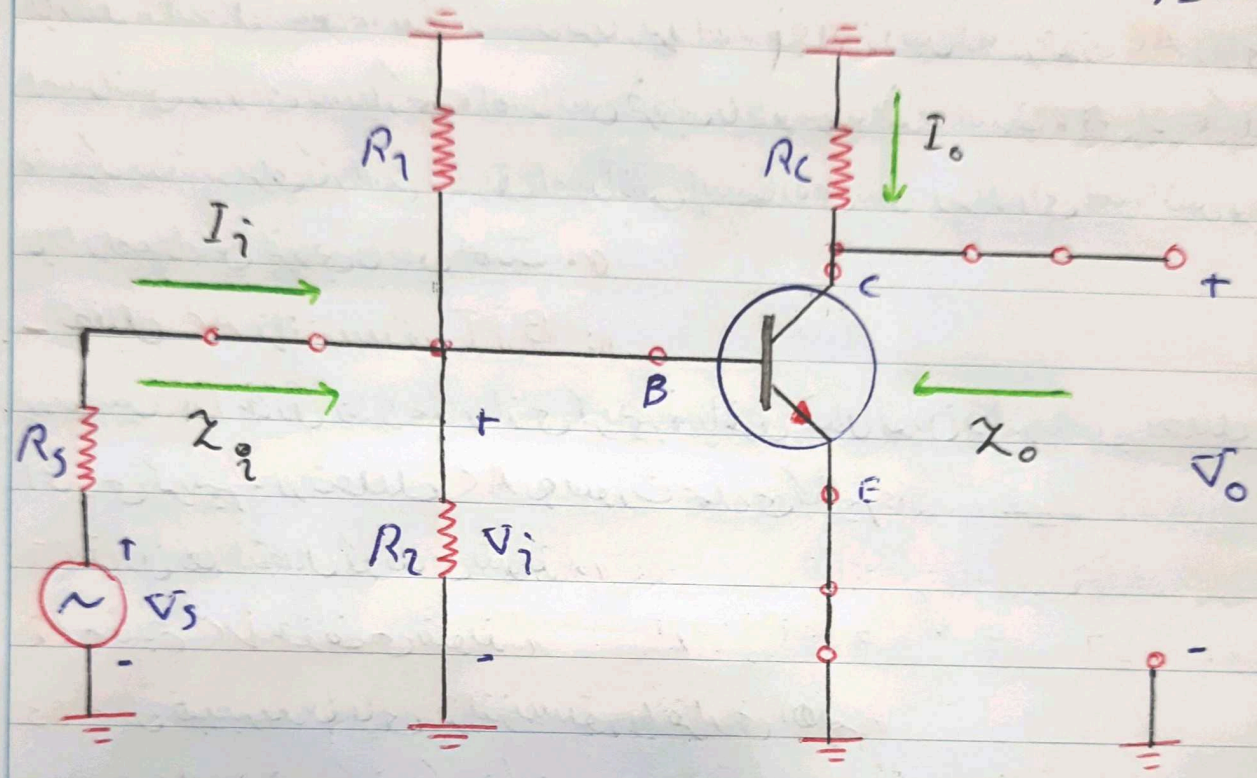
در حالت AC فرض می کنیم که فرکانس بسیار بالاست و با این فرض خازن ها را اتصال کوتاه می کنیم ، دقیقا مانند فرض در تحلیل DC که گفتیم امپدانس بی نهایت است ۰ در واقعیت هرچقدر که فرکانس را افزایش دهیم به حالت اتصال کوتاه خازن نزدیک تر می شویم ، به مدار زیر دقت کنید :



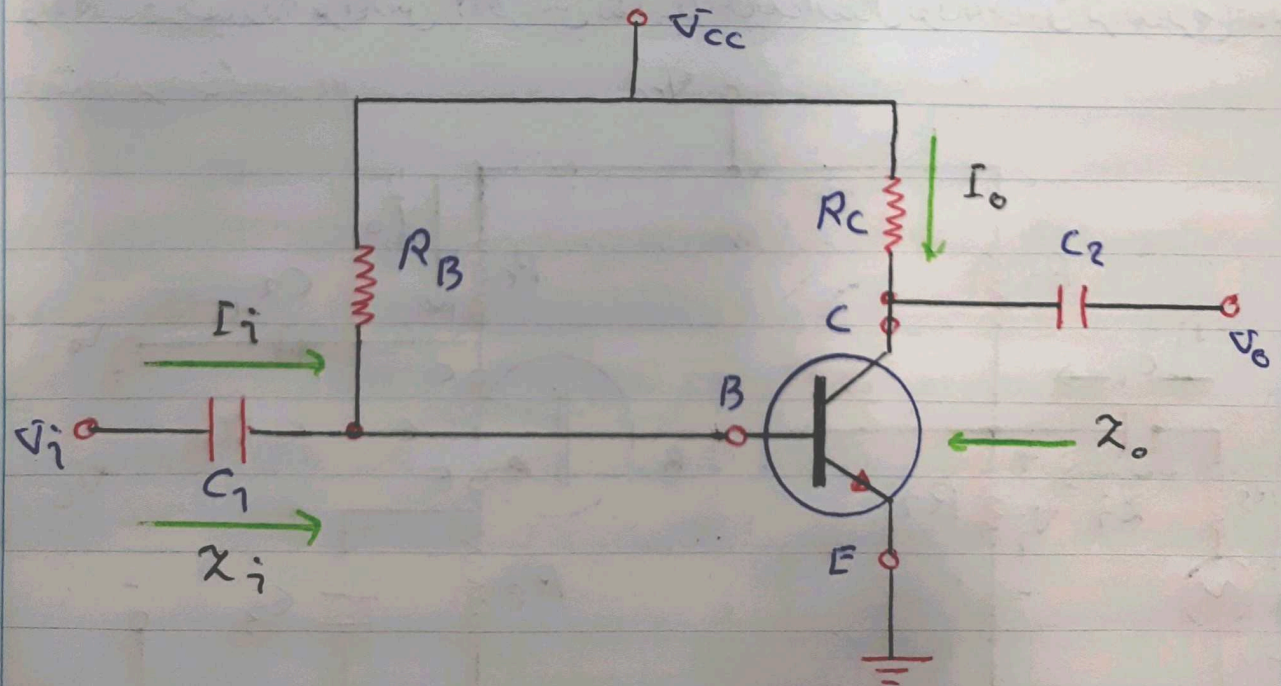
Mo Tu We Th Fr Sa Su

Subject: ..... Date:.....

زمانی که خازن اتصال کوتاه می‌شود مقاومت مجاورش را حذف یا اصطلاحاً ByPass می‌کند، و زمانی که منابع DC حذف می‌شوند به صورت اتصال زمین قرار می‌گیرند، به صورت زیر خواهیم داشت:

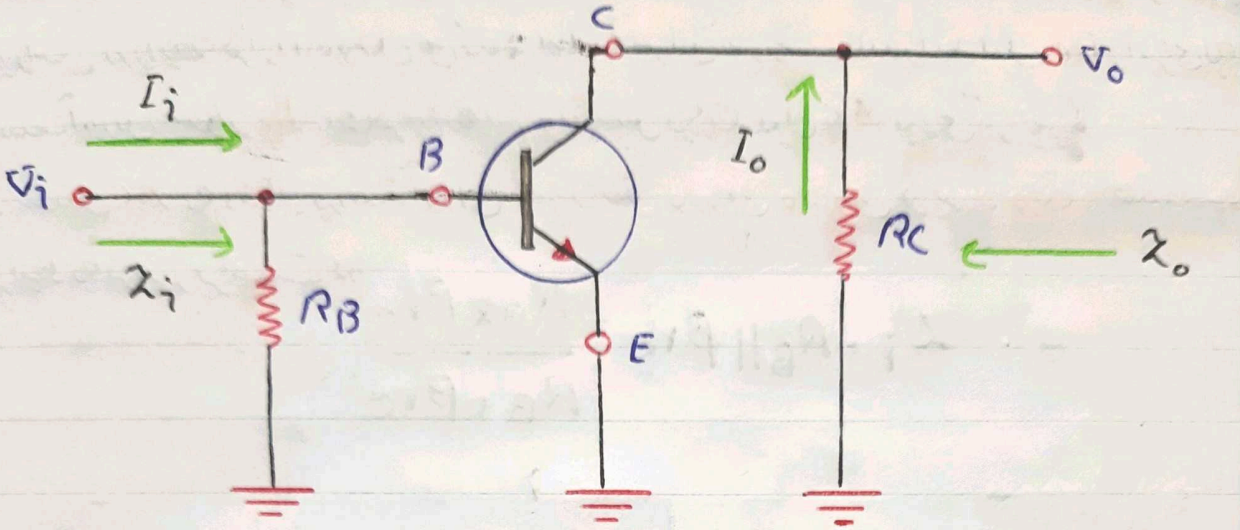


یا به عنوان مثالی دیگر مدار زیر را در نظر بگیرید، و تحلیل AC را انجام دهید:

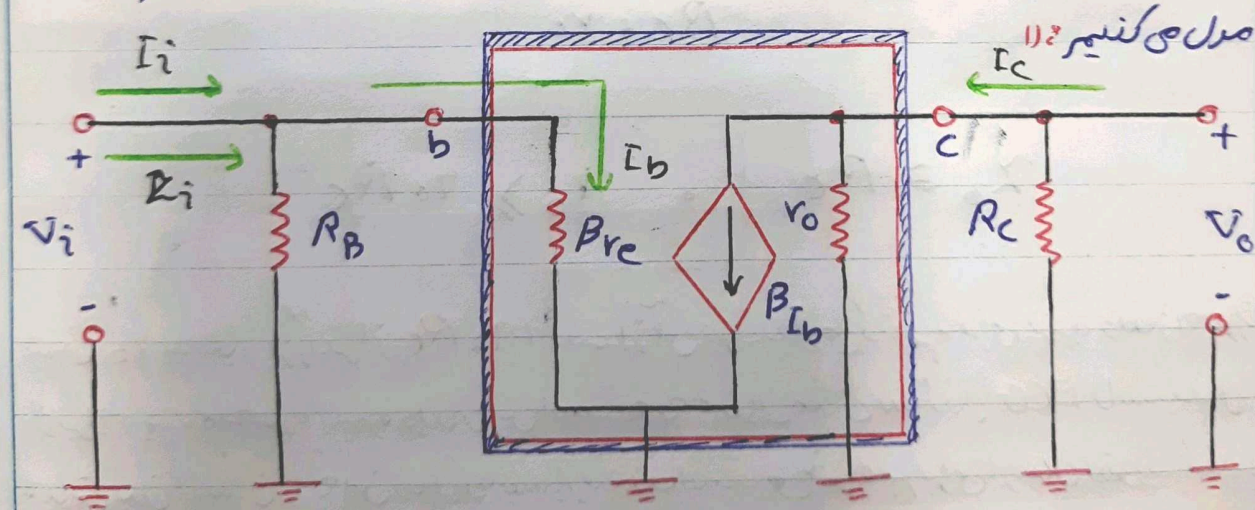


HADIYEH

۱۱) با حذف خازن ها و منابع خواهیم داشت



حال در مرحله سوم مدل هیبرید ترانزیستور را قرار می دهیم، در مدار شکل زیر کادر آبی رنگ همان ترانزیستور داخل است، در واقع مدل پای یا هیبرید ترانزیستور می باشد، پس ترانزیستور را به صورت βr_e مدل می کنیم، اصطلاحاً به آن امیتر مشترک h_{ie} نیز می گویند، سپس جریان ترانزیستور را به صورت یک منبع وابسته جریان با نام βI_b مدل می کنیم؛ ۱۲)



r_e همان مقاومتی است که وقتی دیود روشن می شد وارد می شد که به صورت زیر محاسبه می شود؛ ۱۳)

$$r_e = \frac{26\,mV}{I_E}$$

Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date:.....

نکته این است که در این رابطه I_E مربوط به حالت Dc است ، اگر مسئله مقدار I_E را داده بود به راحتی در رابطه قرار داده و حل می کنیم اما در غیر این صورت ، ابتدا تحلیل Dc را برای به دست آوردن مقدار I_E انجام می دهیم و سپس به تحلیل Ac باز می گردیم .

در تحلیل Ac به دنبال به دست آوردن امپدانس ورودی و خروجی و بهره ولتاژ هستیم ، روابط به شرح زیر است :

$$Z_i = R_B \| \beta re = \frac{R_B \times \beta re}{R_B + \beta re}$$

$$Z_i \cong \beta re \Longrightarrow R_B \geqslant 10\,\beta re$$

چون R_B بسیار بزرگتر از βre است از آن صرف نظر می شود . برای امپدانس خروجی :

$$Z_o = R_c \| r_o = \frac{R_c \times r_o}{R_c + r_o}$$

$$Z_o \cong R_c \quad , \quad r_o \geqslant 10\,R_c$$

چون r_o بسیار بزرگتر از $10\,R_c$ است از آن صرف نظر می کنیم . برای بهره ولتاژ به صورت زیر داریم ، منظور از بهره ولتاژ این است که به عنوان مثال سیگنال ECG یا سیگنال حیاتی بدن انسان را به این دلیل که بسیار ضعیف است می خواهیم برای ارسال تقویت کنیم ، یک تقویت کننده قرار می دهیم ((تقویت کننده در حالت Dc باید در حالت فعال یا بایاس شده باشد)) می گوییم بهره ولتاژ این تقویت کننده ۱۰۰۰ است ، یعنی اگر سیگنال ورودی $1\,mV$ داشته باشیم و از تقویت کننده عبورش دهیم یک ولت خواهیم داشت یعنی بهره تقویت ۱۰۰۰ می شود .

HADIYEH

روابط آن به شرح زیر است :

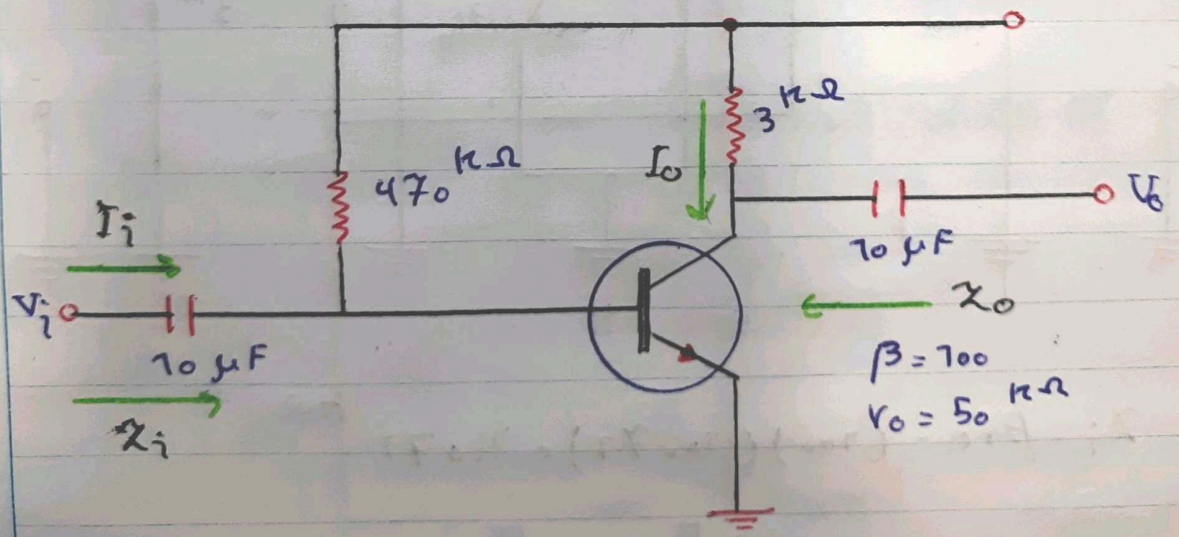
$$V_o = -\beta I_b (R_C \| r_o) \quad , \quad I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C \| r_o) \quad , \quad V_i = \beta r_e I_b$$

$$A_V = -\frac{R_C}{r_e} \quad , \quad A_V = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{(R_C \| r_o)}{r_e}$$

$r_o \geqslant 10 R_C$

مثال) در مدار زیر r_e ، Z_i ، Z_o و A_V را با فرض $r_o = \infty \Omega$ بدست آورده سپس دو گام قبلی را با فرض $r_o = 50\ k\Omega$ بدست آورید .



ابتدا باید r_o را بدست آوریم ولی I_E را در اختیار نداریم برای بدست آوردن I_E ابتدا باید

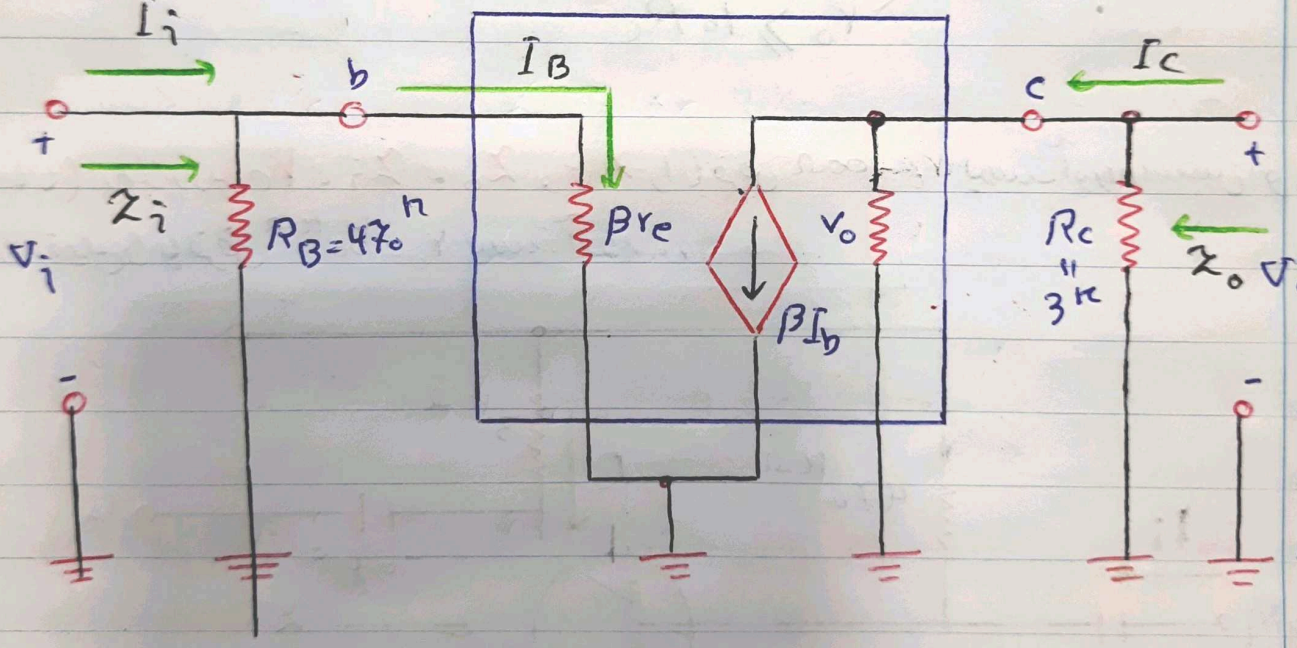
مدار را به صورت DC تحلیل کنیم سپس به تحلیل AC باز گردیم:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12 - 0.7}{470\,k} = 24.04\ \mu A$$

$$I_E = (\beta + 1)\, I_B = (100+1)(24.04\ \mu A) = 2.428\ mA$$

$$r_e = \frac{26\,mV}{I_E} = \frac{26\,mV}{2.428\,mA} = 10.71\ \Omega$$

حال مدل هیبرید را رسم می کنیم:



$$Z_i = \beta r_e = (100)(10.71) = 1.071\ k\Omega$$

$$Z_i = R_B \parallel \beta r_e = \frac{470\,k \times 1.071\,k}{470\,k + 1.071\,k} = 1.068\ k\Omega$$

$$Z_o = R_C = 3^{k\Omega}$$

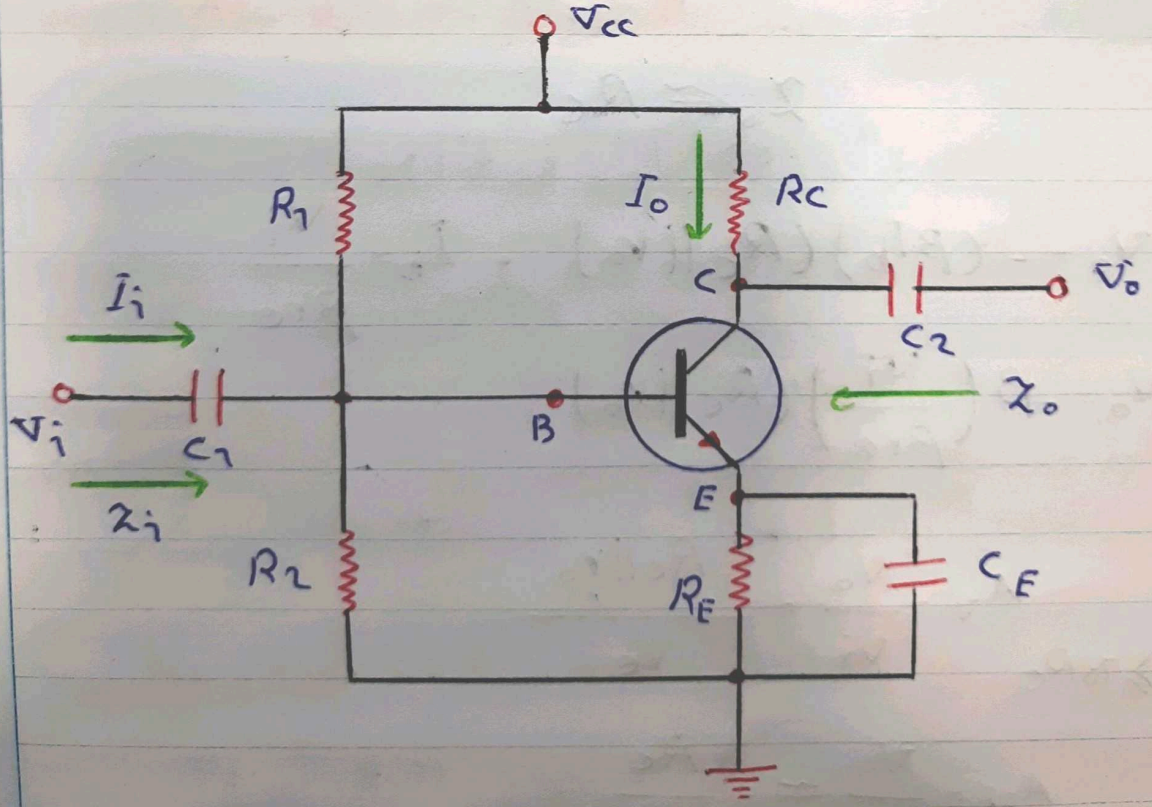
$$A_V = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{3^{k}}{10.71} = -280.77$$

$$\Leftarrow r_o = 50^{k\Omega} \Leftarrow$$

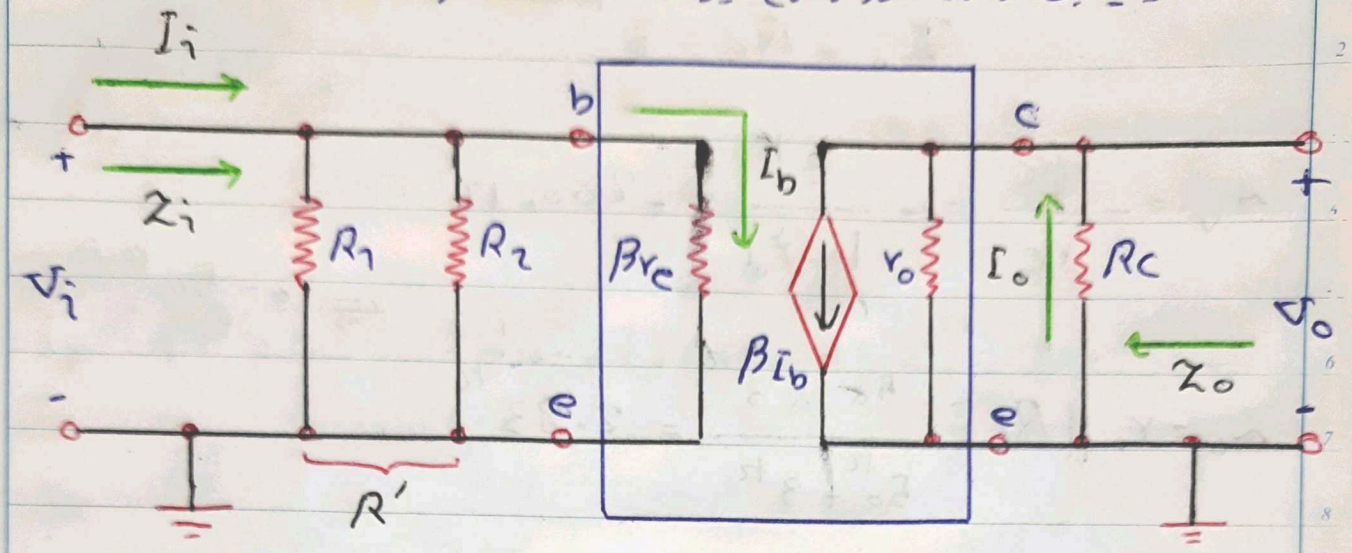
$$Z_o = r_o \,||\, R_C = \frac{50^{k} \times 3^{k}}{50^{k} + 3^{k}} = 2.83^{k}$$

$$A_V = -\frac{Z_o}{r_e} = \frac{2.83^{k}}{10.7} = -264.24$$

حال اگر یک مقاومت R_2 نیز در این مدار اضافه شود به صورت زیر خواهیم داشت:



مدل هیبرید‌ها پای ترانزیستور به شرح زیر خواهد بود و داریم: ۱۱۶



روابط تحلیلی این مدار نیز به شرح زیر می‌باشد: ۱۱۷

If $r_o \geq 7_o R_C$ $\qquad Z_o = R_C \| r_o$

$$Z_o \cong R_C$$

$$V_o = -(\beta I_b)(R_C \| r_o) \quad , \quad I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e}\right)(R_C \| r_o)$$

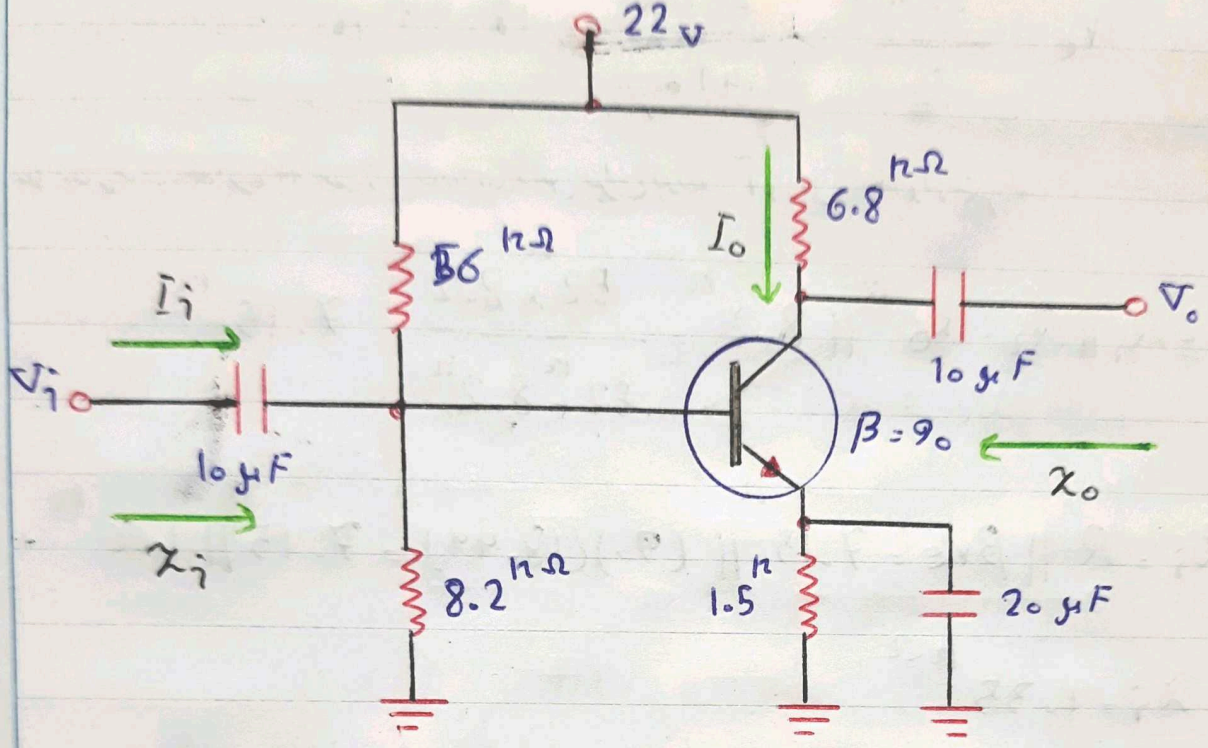
$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-R_C \| r_o}{r_e}$$

for $r_o \geq 7_o R_C$

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} \cong -\frac{R_C}{r_e}$$

HADIYEH

مثال) در مدار زیر V_o، Z_i، Z_o و A_V را با فرض $r_o = \infty\Omega$ بدست آورید.



ابتدا برای بدست آوردن I_E باید به صورت DC تحلیل کنیم طبق $\beta R_E > 10 R_2$ داریم:

$$(90)(1.5^{k}) > 10(8.2^{k})$$

$$135^{k} > 82^{k}$$

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{(8.2^{k})(22\,V)}{56^{k} + 8.2^{k}} = 2.87\,V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2.87 - 0.7 = 2.17$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.17}{1.5^{k}} = 1.47\,mA$$

$$r_e = \frac{26\,mV}{I_E} = \frac{26\,mV}{7.47\,mA} = 18.44\,\Omega$$

دو مقاومت R_1 و R_2 موازی هستند پس برای بدست آوردن R' داریم:

$$R' = R_1 \| R_2 = 56^{k} \| 8.2^{k} = \frac{52^{k} \times 8.2^{k}}{52^{k} + 8.2^{k}} = 7.15^{k}$$

$$Z_i = R' \| \beta r_e = 7.15^{k} \| (90)(18.44) = 7.15^{k} \| 1.66^{k}$$

$$= Z_i = 1.35^{k\Omega}$$

$$Z_o = R_C = 6.8^{k\Omega}$$

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{6.8^{k}}{18.44} = -368.76$$

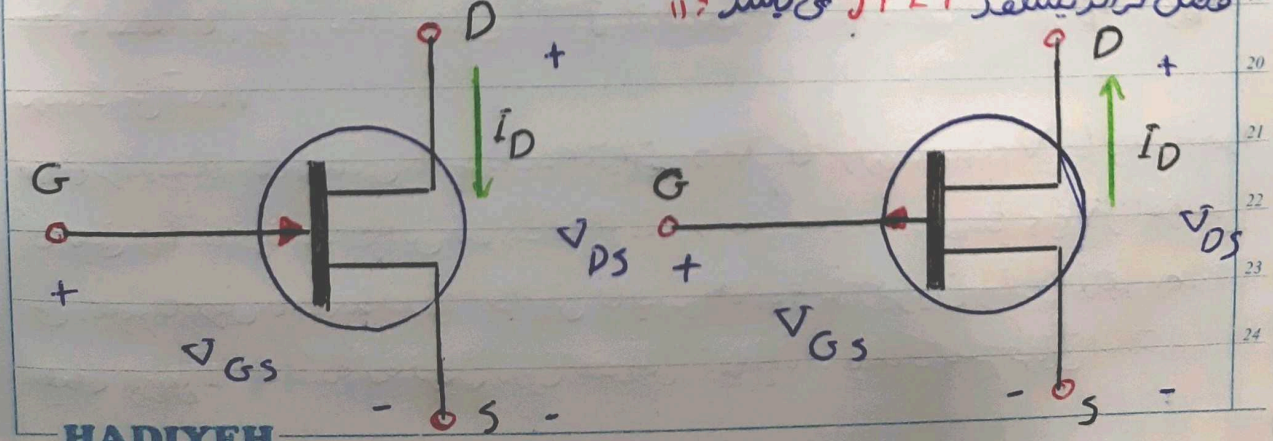
در فصل قبلی به ترانزیستورهای BJT پرداختیم، موضوع این فصل ترانزیستورهای FET هستند که تا حدی با ترانزیستورهای دوقطبی شباهت دارد، ترانزیستور BJT یک وسیله کنترل شده با جریان است درحالی که ترانزیستور FET یک دستگاه کنترل شده با ولتاژ می باشد، یکی از مهم ترین ویژگی های ترانزیستور FET یا Feild Effect Transistor امپدانس ورودی بالای آن است، همچنین FET ها نسبت به BJT ها در دما وابستگی به تغییرات دما پایدارتر هستند و FET ها معمولاً از BJT ها کوچکتر هستند که همین ویژگی باعث مفید شدن آنها در کاربردهای تراشه های مدار مجتمع یا IC ها می شود. ترانزیستورهای FET سه نوع دارند:

۱) ترانزیستور اثر میدان پیوندی یا JFET

۲) ترانزیستور اثر میدانی اکسید فلز نیمه رسانا یا MOSFET

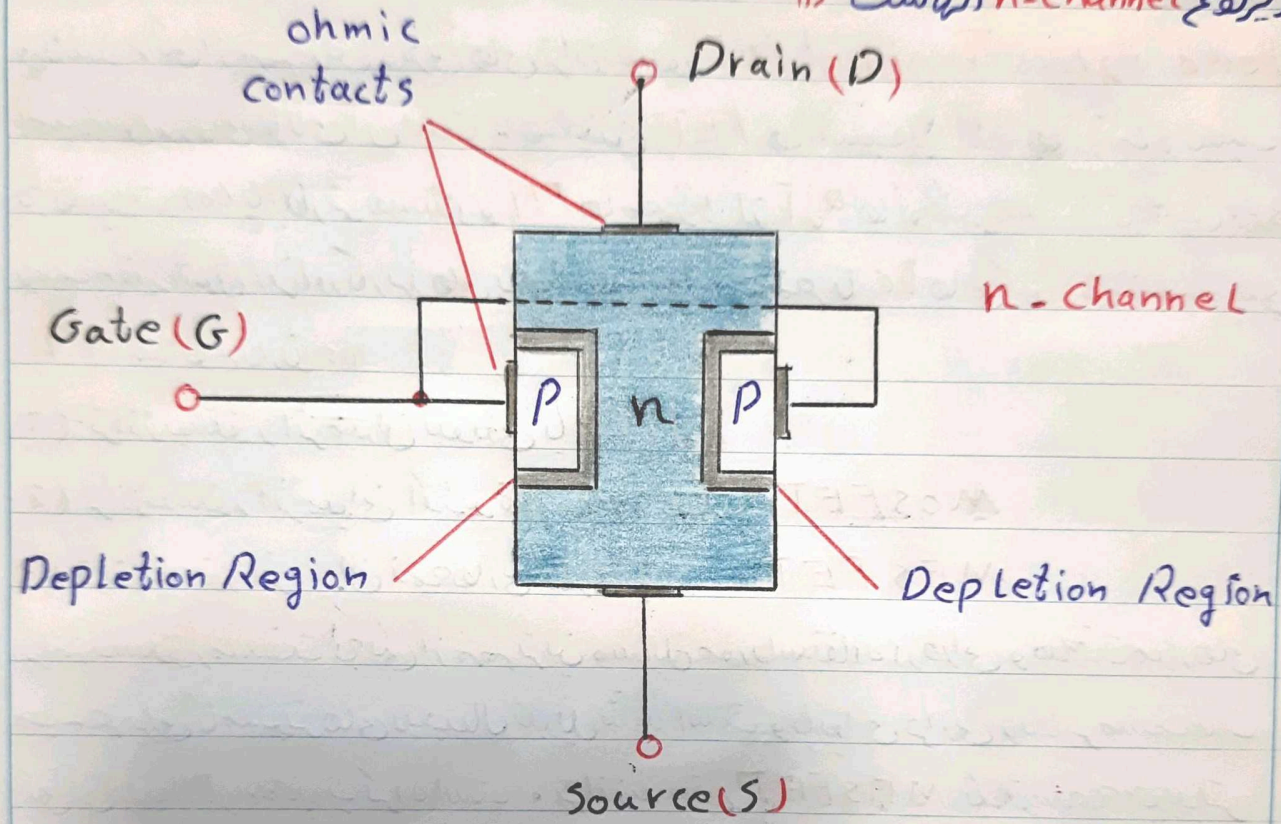
3) ترانزیستور اثر میدانی نیمه هادی فلزی یا MESFET

ترانزیستور ماسفت یکی از مهم ترین وسایل مورد استفاده در طراحی و ساخت مدارهای مجتمع برای کامپیوترهای دیجیتال تبدیل شده است و پایداری حرارتی و سایر مشخصات یکی آن را بسیار محبوب کرده است، ترانزیستور MESFET یک توسعه جدیدتر است که از GaAs به عنوان مانع نیمه هادی پایه بهره می برد و از ویژگی های آن می توان به سرعت بالای آن اشاره کرد، اگرچه گزینه گران تری است اما مسئله هزینه اغلب با نیاز به سرعت های بالاتر در طراحی مدارهای RF جبران می شود، نوع مورد بررسی ما در این فصل ترانزیستور JFET می باشد:



Mo Tu We Th Fr Sa Su Subject: ..... Date:.....

JFET ها دارای سه پایه گیت، درین و سورس هستند، البته برخی از این JFET ها چهار پایه دارند که در این صورت دو پایه آنها گیت می باشد، فت ها بسته به جهت جریان عبوری از آنها به دو نوع P-Channel و n-Channel تقسیم می شوند، شکل زیر نوع n-Channel آنهاست:



اگر جهت جریان رو به داخل باشد یعنی از P به n است و ترانزیستور n-channel است و اگر جهت جریان رو به بیرون باشد از نوع P-Channel است، اگر به یاد داشته باشید در فصل اول به این موضوع اشاره کردیم که جهت جریان همیشه از P به n می باشد.

= نقطه کار ترانزیستورهای JFET از طریق برست آوردن مقادیر I_D و V_{DS} برست می آید.

در این ترانزیستورها ولتاژی داریم تحت عنوان V_p یا $V_{pinch-off}$ یا ولتاژ انسداد که یعنی I_D صفر شود به این صورت که آنقدر ولتاژ گیت سورس یا V_{GS} را افزایش می دهیم تا عرض ناحیه تخلیه افزایش یابد و اجازه عبور جریان I_D را ندهد، مورد بعدی I_{DDS} است که که جریان درین سورس اشباع شده یا ماکزیمم جریان است.

HADIYEH

حال زمانی که ولتاژ گیت سورس V_{GS} صفر باشد دیگر ولتاژ انسداد V_P نداشته و I_{DSS} افزایش می یابد و اگر ولتاژ گیت سورس V_{GS} با ولتاژ انسداد V_P برابر باشد جریان I_D صفر خواهد بود :

$$\Rightarrow V_{GS} = 0\ V \quad , \quad I_D = I_{DSS}$$

$$\Rightarrow V_{GS} = V_P \quad , \quad I_D = 0\ mA$$

$\Rightarrow$ به دلیل مقاومت بسیار بالای گیت جریان گیت را تقریبا صفر در نظر می گیریم

برای بدست آوردن جریان درین I_D داریم :

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

constant

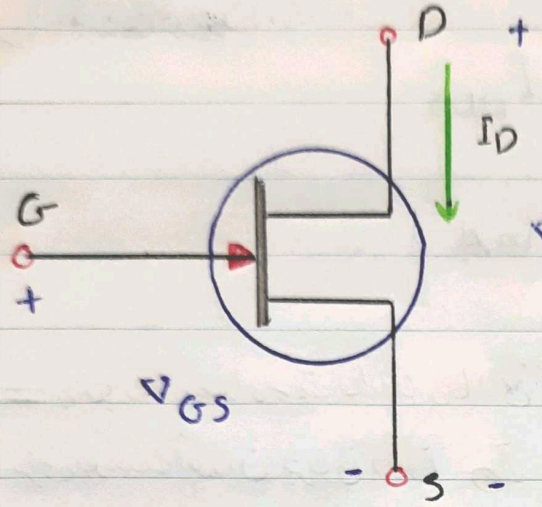
$$BJT \Rightarrow I_C = f(I_B) = \beta I_B$$

1) N-channel :

$$n\text{-channel} \begin{cases} V_P < 0 \\ V_{GS} < 0 \end{cases} \Rightarrow \text{منفی هستند}$$

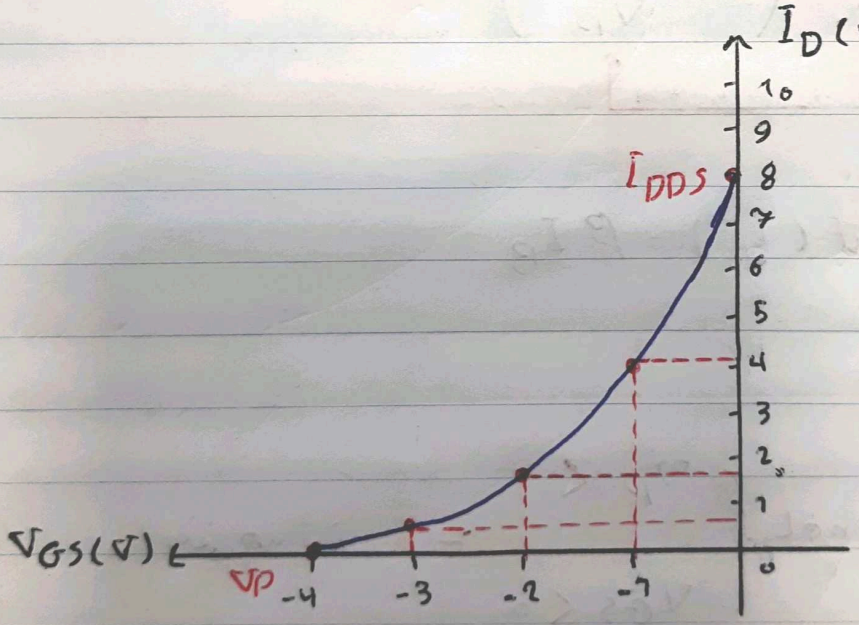
در یک ترانزیستور JFET مقادیر ولتاژ انسداد و ولتاژ گیت سورس هر دو کوچکتر از صفر بوده و به عبارتی منفی هستند ، ما از این مشخصه برای بدست آوردن I_D و رسم منحنی کاری و نقطه کار ترانزیستور استفاده می کنیم .

به شکل زیر دقت کنید، به عنوان مثال داریم $|V_P| = 4V$ که یعنی ترانزیستور ما از نوع n-channel می باشد برای رسم نمودار و بدست آوردن نقطه کار داریم:



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

چون مقدار V_P و V_{GS} منفی هستند پس باید نمودار را به سمت منفی رسم کرد:



$$I_D = 0\,mA \;,\; V_{GS} = V_P$$

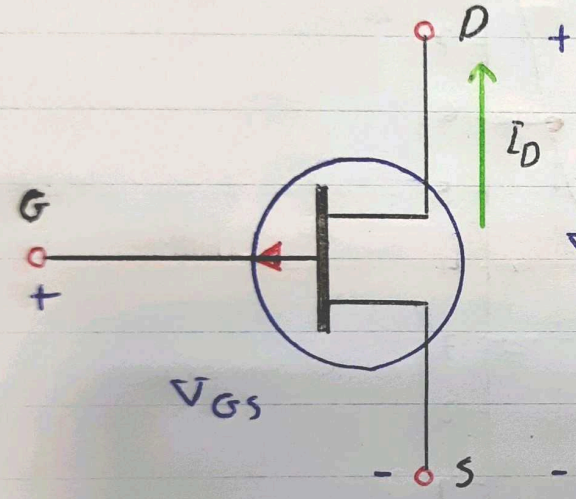
پس همانطور که مشاهده می کنید زمانی که $V_{GS} = V_P = -4V$ می باشد جریان درین صفر خواهد بود.

2) P_channel:

در این نوع ترانزیستور که جریان رو به بیرون حرکت می‌کند مقادیر ولتاژ V_p و V_{GS} بزرگتر از صفر بوده و به این ترتیب مثبت هستند:

$$P_channel \begin{cases} V_p > 0 \\ V_{GS} > 0 \end{cases} \Rightarrow \text{مثبت هستند}$$

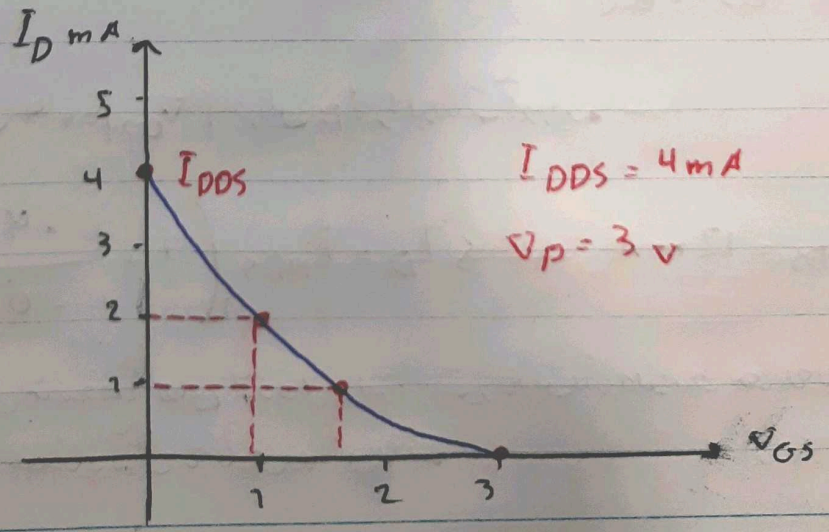
حال با توجه به اینکه این مقادیر مثبت هستند این بار برای رسم منحنی این نوع ترانزیستور باید محورها را به سمت مثبت رسم کرد:



V_{DS}

$$I_D = I_{DDS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

حال با فرض مثال $V_p = 3V$ منحنی ترانزیستور به صورت زیر خواهد بود:



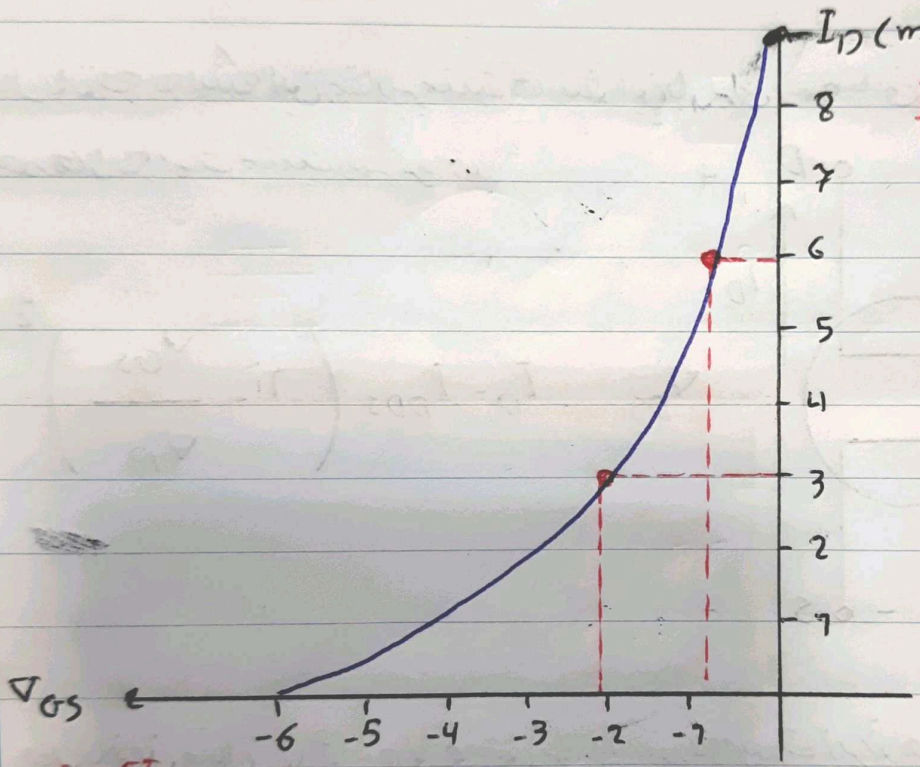
$I_{DDS} = 4mA$

$V_p = 3V$

مثال ۱: منحنی ترانزیستوری را با فرض $I_{DSS}=12mA$ و $V_P=-6V$ رسم کنید.

$$I_D=I_{DSS}\left(1-\frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \xrightarrow{V_{GS}=V_P} I_D=I_{DSS}\left(1-\frac{-6}{-6}\right)^2=0$$

$I_D=0\ mA$ ، $I_{DSS}=12\ mA$ ، $V_{GS}=V_P$



$I_D=I_{DSS}=12mA$

$V_P=V_{GS}=-6V$

مثال ۲: حال با فرض $|V_{GS}|=+4$ جریان I_D را بدست آورید.

$$I_{DSS}=12\ mA \longrightarrow I_D=I_{DSS}\left(1-\frac{-4}{-6}\right)^2=1.33\ mA$$

نکته مهم این است که این مشخصه های انتقال ترانزیستور تایین شده توسط مدل بالا تحت تاثیر شبکه ای که دستگاه در آن به کار می رود نمی باشد.

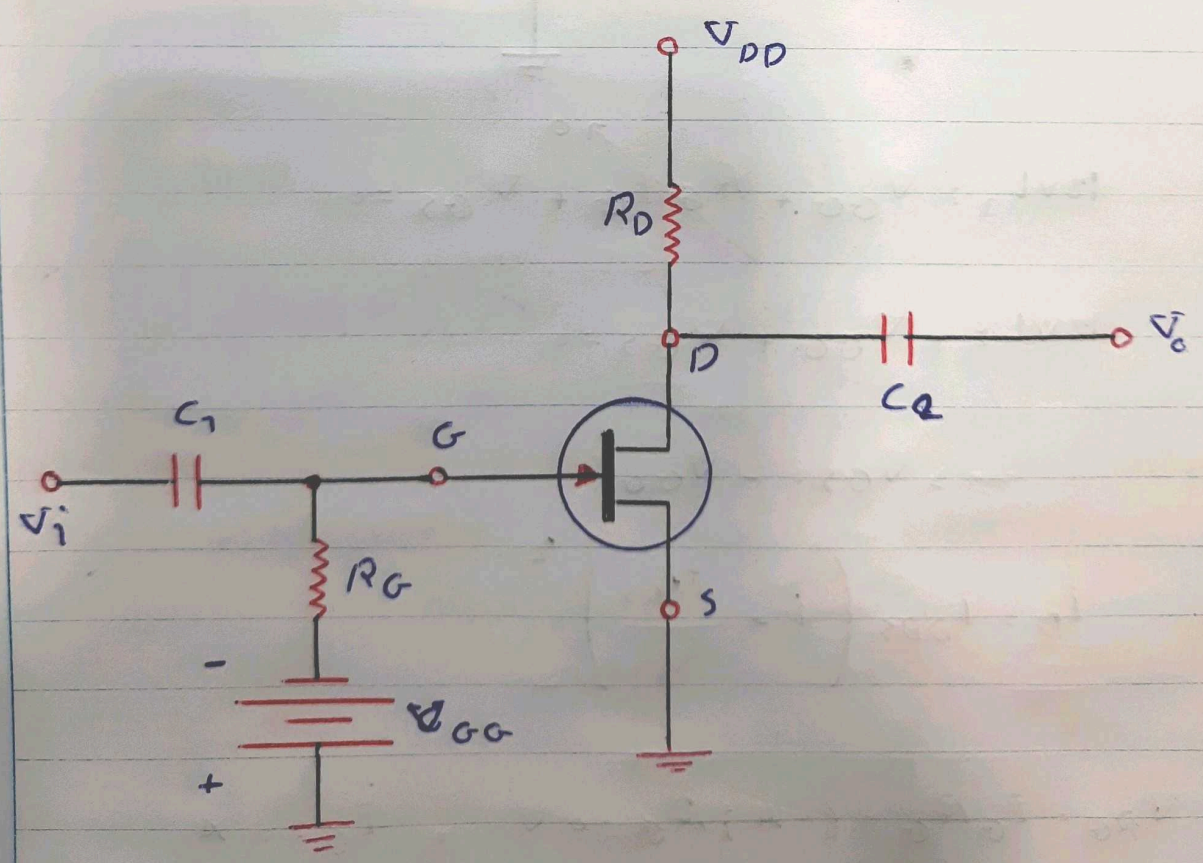
- بایاس FET ها

در بایاس ترانزیستورهای FET باید به چند نکته اساسی عمل کرد، اول اینکه جریان گیت یا I_G به دلیل مقاومت بسیار بالای گیت تقریبا برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود، همچنین جریان درین I_D برابر است با جریان سورس I_S، و مانند تحلیل های قبلی که در حالت DC انجام دادیم خازن ها نیز مدار باز می‌شوند، بنابراین روابط عمومی که برای تجزیه و تحلیل فت ها در حالت DC اعمال می‌شود به شرح زیر است:

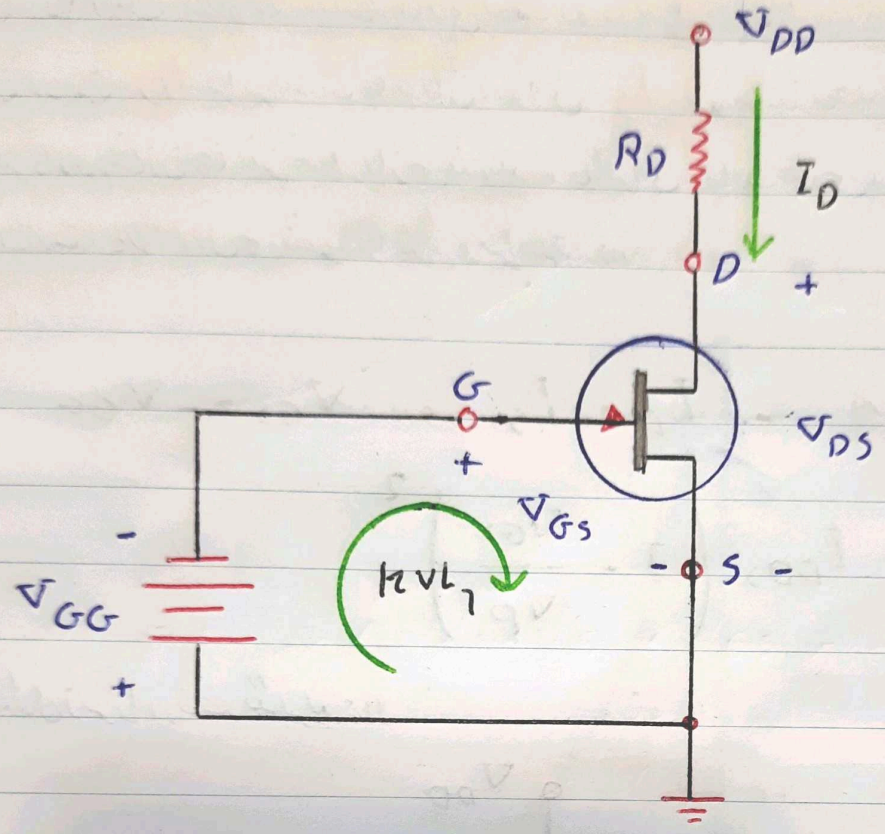
$$I_G \cong 0A \quad , \quad I_D = I_S \quad , \quad V_{GS} = -V_{GG}$$

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

مدار شکل زیر را در نظر بگیرید:



باید ولتاژ گیت سورس رابدست آورده و در مدار جایگذین کنیم سپس I_D را بدست آوریم حال خازن ها را اتصال کوتاه کرده و KVL اول را اعمال می کنیم:



$$KVL_1 : V_{GG} + R_G I_G + V_{GS} = 0$$

$$KVL : + V_{GG} + V_{GS} = 0$$

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

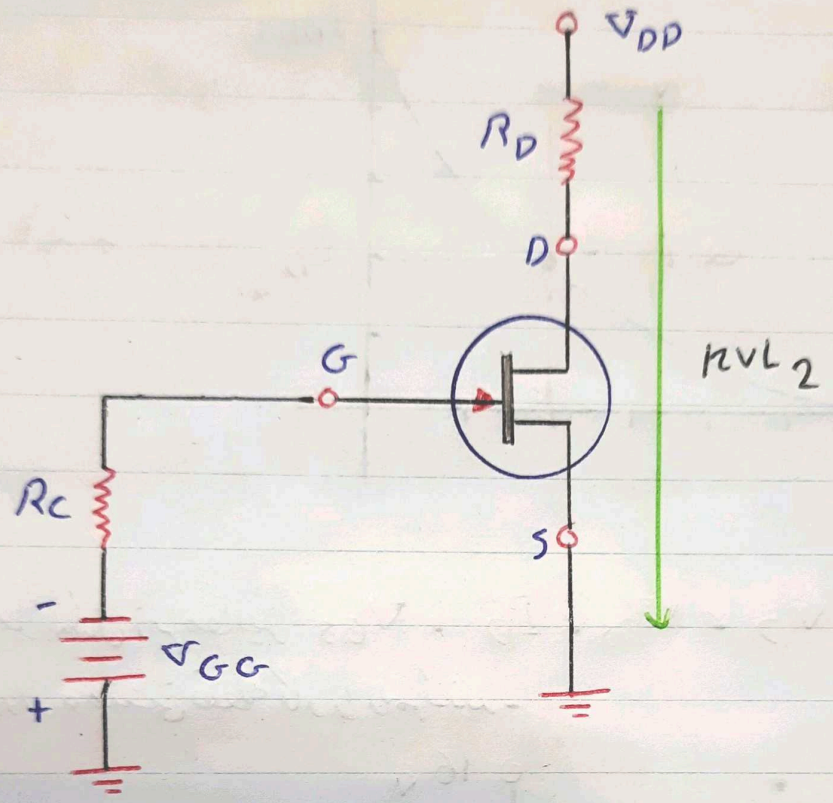
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$V_{RG} = I_G R_G = (0\,A) R_G = 0\,V \quad , \quad I_G = 0\,A$$

Mo Tu We Th Fr Sa Su

Subject: ..... Date:.....

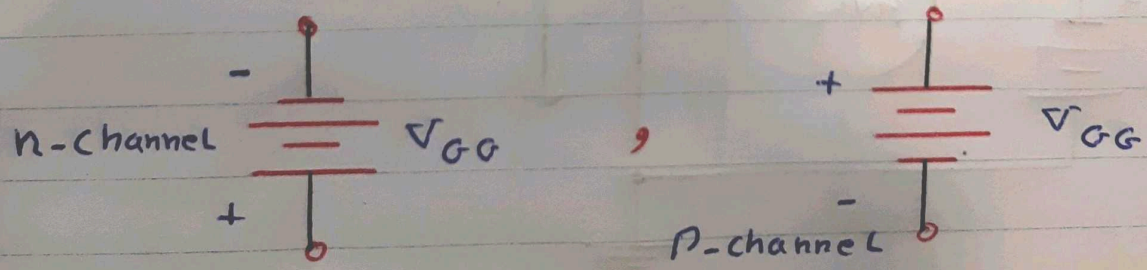
حال باید ولتاژ درین سورس V_{DS} را بدست آوریم برای این کار راه ساده است که در مسیر درین سورس KVL را می‌نویسیم، مدار معادل و روابط بصورت زیر است:



$$KVL_2 : -V_{DD} + R_D I_D + V_{DS} = 0$$

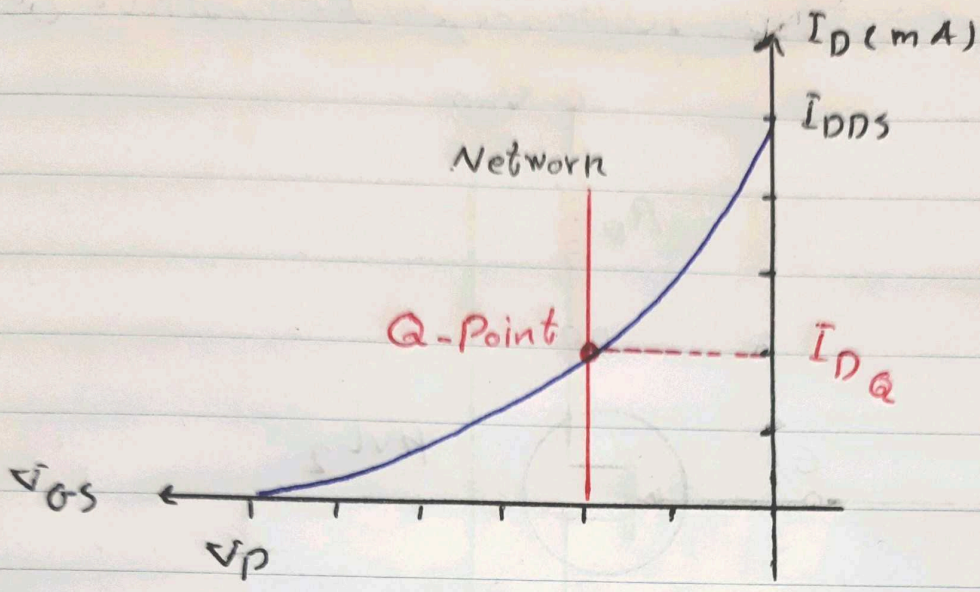
$$\Rightarrow V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

نوع n-channel یون و یا P-channel بودن ترانزیستور بر حالت قرارگیری بایاسینگ های منبع V_{GG} و ولتاژ V_{GG} اثرگذار است به صورت زیر:

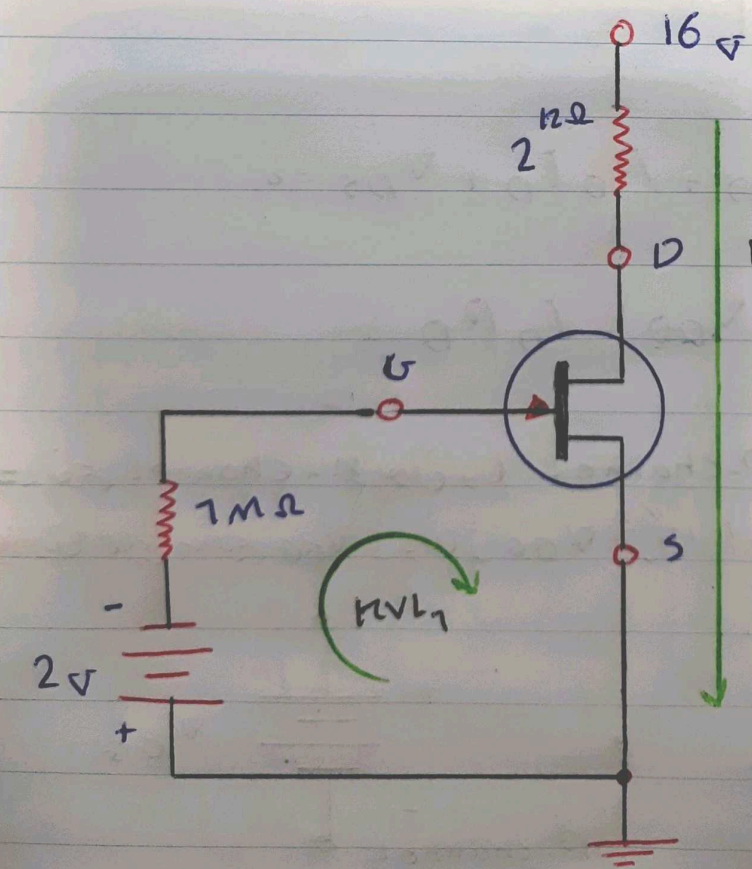


HADIYEH

همچنین منحنی نقطه‌کار این ترانزیستور به شرح زیر خواهد بود:



مثال) در مدار شکل زیر مقادیر V_{GS} ، I_D ، V_{DS} ، V_D ، V_G و V_S را بدست آورید و منحنی نقطه کار را رسم کنید.



$I_{DSS} = 10\ mA$

$V_P = -8\ V$

$$KVL_1 : 2 + 1\,I_G + V_{GS} = 0$$

($I_G \approx 0$)

$$V_{GS} = -V_{GG} \longrightarrow V_{GS} = -2$$

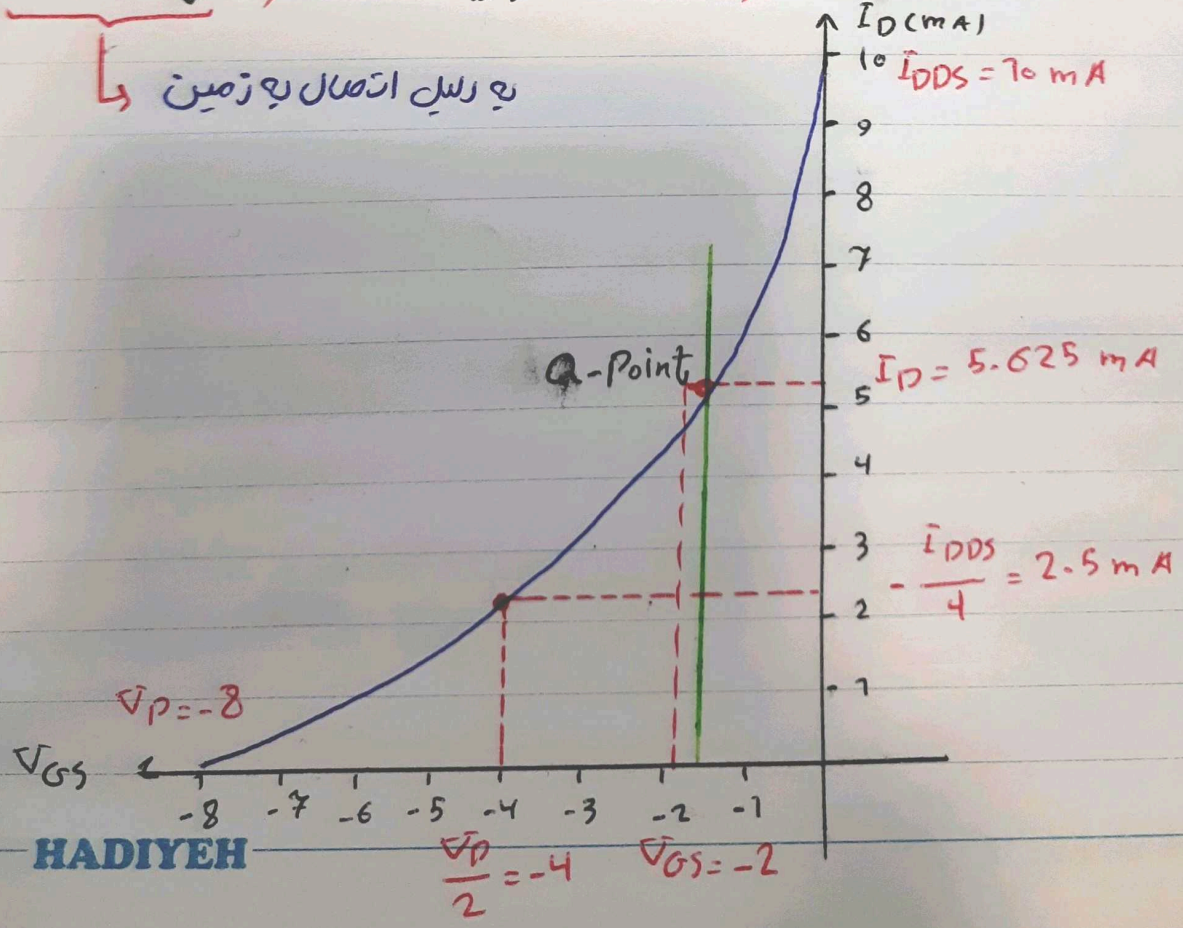
$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 10\left(1 - \frac{-2}{-8}\right)^2 = 5.6\ mA$$

$$KVL_2 : -16 + 2(5.625) + V_{DS} = 0$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 16 - 2(5.625) = 4.75\ V$$

$V_S = 0\ V$, $V_D = V_{DS} = 4.75$, $V_G = V_{GS} = -2$

↳ به دلیل اتصال به زمین



HADIYEH