محمد اعرابیان

جزوه درس الکترونیک کاربردی

جلسه هفتم

برای جزئیات بیشتر **اسکن کنید**

نسخه ۱.۱ | تهیه شده در بهمن ۱۴۰۰

تمامی حقوق این جزوه برای **محمد اعرابیان** محفوظ است.

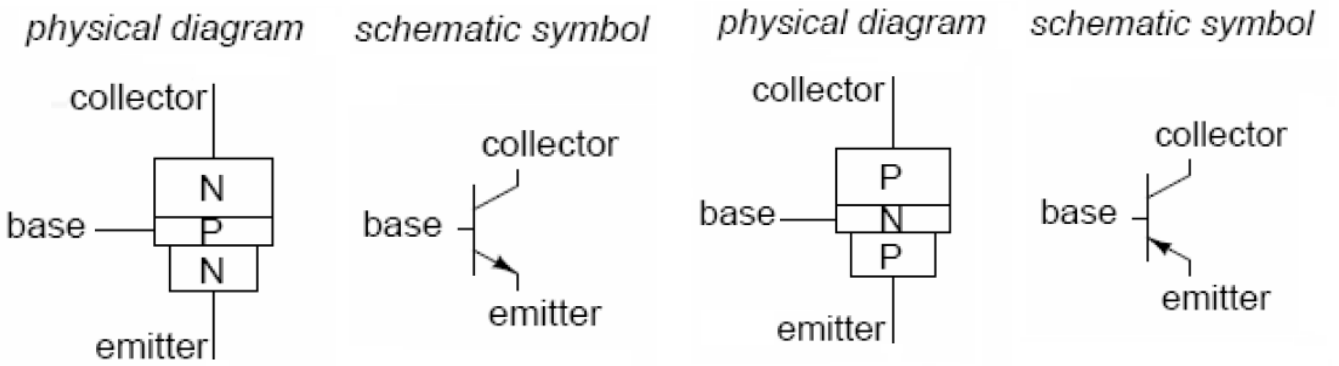
ترانزیستور

ترانزیستورها، اساس آن یک پیوند P-N معمولی است،، این‌بار می‌خواهیم قطعه‌ای را که از اتصال دو پیوند P-N به هم ایجاد می‌شود و ترانزیستور نام دارد، بشناسیم. ترانزیستور یک قطعه‌ی سه پایه‌ی نیمه‌هادی است که می‌تواند ولتاژ یا جریان را تحت کنترل گرفته و تنظیم کند. به عبارتی ترانزیستور در مقابل سیگنال‌ها مانند یک سوییچ یا دروازه عمل می‌کند.

ترانزیستور وسیله‌ای است که کار تقویت کردن سیگنال را برای ما انجام می‌دهد. هم‌چنین می‌تواند مانند سوییچی بین حالات و انتخاب‌های مختلف ما در مدار باشد؛ و نیز می‌تواند ولتاژ و جریان سیگنالی که دریافت می‌کند را تنظیم کند.

ساختار ترانزیستور *BJT*

ترانزیستور یک دستگاه یا ابزار حالت جامد سه پایه است که از اتصال متوالی (back to back) دو دیود ایجاد می‌شود؛ بنابراین در ساختار خود دارای دو پیوند P-N است. سه پایه‌ی آن از سه نیمه‌هادی موجود در این پیوندها گرفته می‌شوند. اتصال متوالی یا پشت به پشت دیود ها، دو نوع ترانزیستور ایجاد می‌کند؛ NPN و PNP؛ که به ترتیب به معنای قرار گرفتن نیمه هادی نوع P. در بین دو نیمه هادی نوع N، و قرار گرفتن نیمه هادی نوع N. در بین دو نیمه هادی نوع P. است.

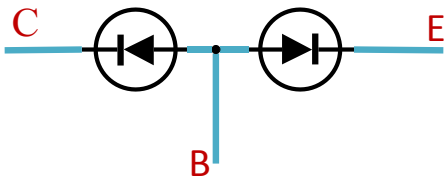


۱- امیتر (منتشر کننده) Emitter

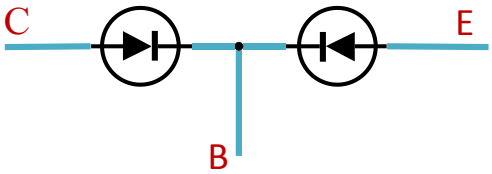
۲- بیس (فرمان) Base

۳- کلکتور (جمع کننده) Collector

- معادل دیودی ترانزیستور برای نیمه هادی NPN

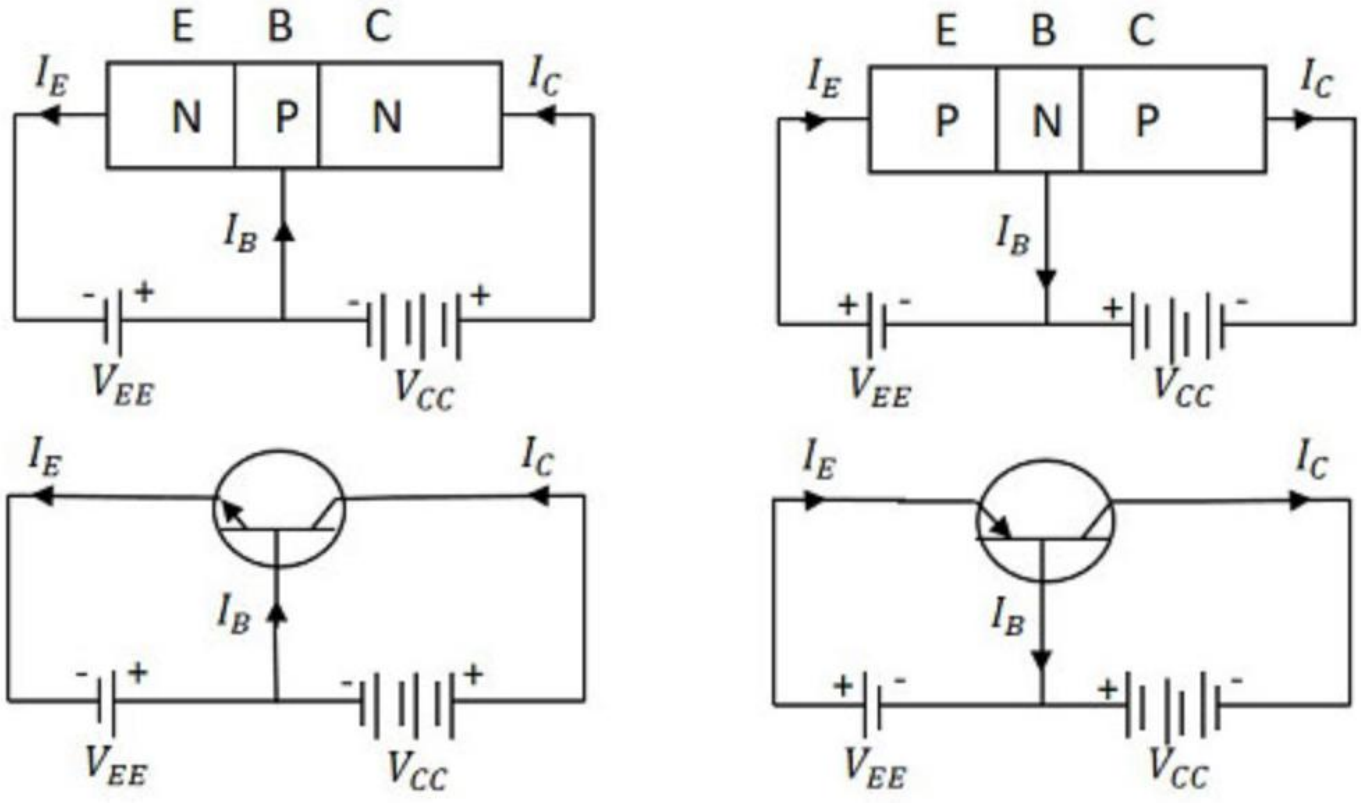


- معادل دیودی ترانزیستور برای نیمه هادی PNP



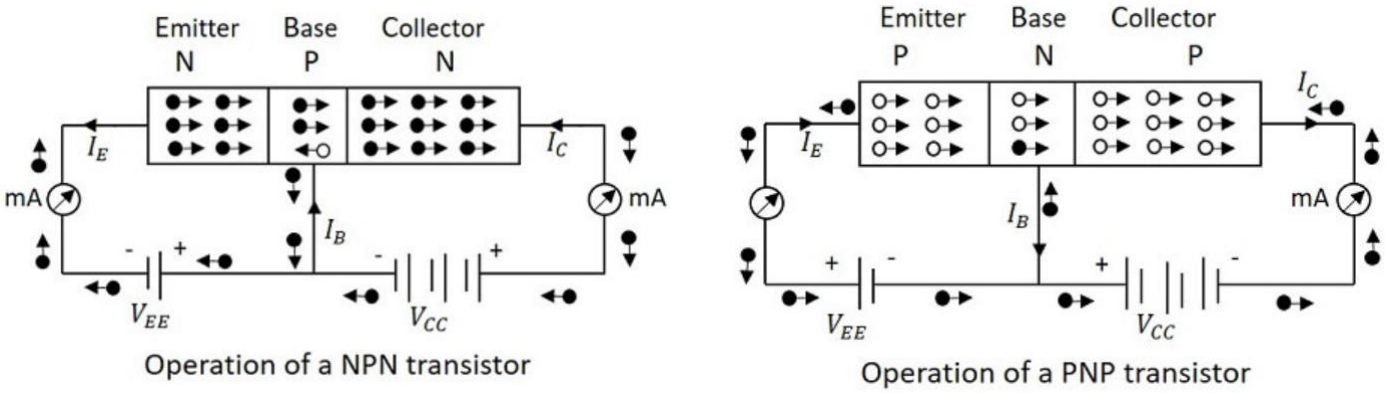
بایاس ترانزیستور

بایاس دهی به معنای کنترل عملکرد مدار از طریق تامین منبع توان می‌باشد. به عبارت دیگر، عملکرد هر دو پیوند P–N موجود در ترانزیستور را می‌توان با کمک بایاس دادن به آن‌ها از طریق یک منبع dc ، کنترل کرد. حالات مختلف بایاس دهی ترانزیستور را در تصویر زیر می‌بینید.



- اگر نیمه‌هادی نوع N را به تغذیه‌ی منفی و نیمه‌هادی نوع P را به تغذیه‌ی مثبت وصل کنیم، بایاس مستقیم خواهیم داشت.
- اگر نیمه‌هادی نوع N را به تغذیه‌ی مثبت و نیمه‌هادی نوع P را به تغذیه‌ی منفی وصل کنیم، بایاس معکوس خواهیم داشت.

کارکرد ترانزیستور NPN و PNP



NPN: ولتاژ V_{EE} پتانسیلی منفی را برای امیتر تامین می‌کند و در نتیجه امیتر که در اینجا یک نیمه‌هادی نوع N است، با دریافت پتانسیل منفی الکترون ها را از خود دور می‌کند. الکترون‌ها از پیوند بیس- امیتر عبور کرده و به ناحیه‌ی بیس می‌روند. ناحیه‌ی بیس در اینجا یک نیمه‌هادی نوع P است و به همین دلیل درصد کمی از آن الکترون ها با حفره‌های آزاد بیس بازترکیب می‌شوند. این فرآیند بازترکیبی باعث ایجاد جریانی اندک در بیس می‌شود که آن را با I_B نمایش می‌دهند. اما الکترون‌های باقی مانده از پیوند کلکتور- بیس عبور کرده و به ناحیه‌ی کلکتور می‌روند. این‌ها جریان کلکتور را که با I_C نشان داده می‌شود ، ایجاد می‌کنند.

با رسیدن الکترون‌ها به انتهای ناحیه کلکتور و ورود آن‌ها به ناحیه پتانسیل مثبت باتری، به ازای هر الکترون ورودی، الکترونی از ترمینال منفی باتری یعنی VEE وارد ناحیه امیتر می‌شود. این جریان الکترونی (IE) به مرور افزایش یافته و در ترانزیستور جریان می‌یابد.

PNP: ولتاژ VEE پتانسیلی مثبت را برای امیتر تامین می‌کند و در نتیجه امیتر که در اینجا یک نیمه‌هادی نوع P است، با دریافت پتانسیل مثبت حفره ها را از خود دور می‌کند. حفره‌ها از پیوند بیس- امیتر عبور کرده و به ناحیه‌ی بیس می‌روند. ناحیه‌ی بیس در اینجا یک نیمه‌هادی نوع N است و به همین دلیل درصد کمی از آن حفره ها با الکترون‌های آزاد بیس بازترکیب می‌شوند. این فرآیند بازترکیبی باعث ایجاد جریانی اندک در بیس می‌شود که آن را با IB نمایش می‌دهند. اما حفره‌های باقی مانده از پیوند کلکتور-بیس عبور کرده و به ناحیه‌ی کلکتور می‌روند. این‌ها جریان کلکتور را که با IC نشان داده می‌شود ، ایجاد می‌کنند. بنابراین جریان کلکتور در ترانزیستور NPN جریانی حفره‌ای است.

با رسیدن حفره‌ها به ناحیه کلکتور، الکترون‌هایی از سمت منفی باتری که به کلکتور متصل است، آمده و حفره‌ها را پر می‌کنند. این جریان الکترون‌ها به مرور زیادتر شده و در حالی‌که جریان اقلیت محسوب می‌شوند به سمت امیتر روانه خواهند شد. در آن‌جا هر الکترون که به ترمینال مثبت VEE وارد می‌شود، حفره‌ای در عوض آن به سمت امیتر خواهد رفت که باعث ایجاد جریان امیتر، IE خواهد شد.

به این ترتیب داریم؛

هدایت جریان در یک ترانزیستور NPN از طریق الکترون‌ها و ترانزیستور PNP از طریق حفره‌ها اتفاق می‌افتد.

جریان کلکتور بالاتر از جریان امیتر است.

کاهش یا افزایش جریان امیتر بر جریان کلکتور نیز تاثیر خواهد گذاشت.

مزایای ترانزیستورها

ترانزیستورها نسبت به سایر انواع تقویت‌کننده ها مزایای زیادی دارند که عبارت است از:

بهره ولتاژ بالا.

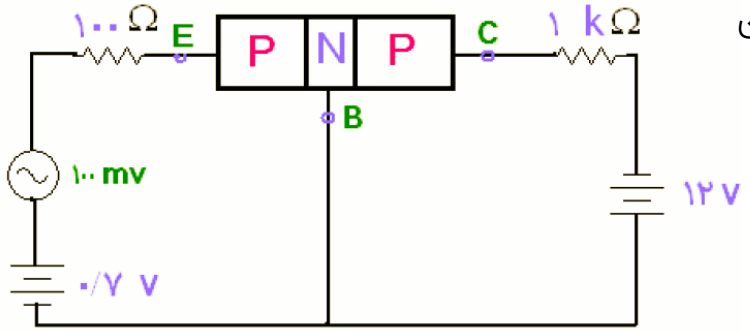
به ولتاژ تغذیه کمتری نیاز دارند.

برای کاربردهای تقویت‌کنندگی توان پایین بهترین انتخاب هستند.

ابعاد کوچک و وزن کم.

برای اینکه با خازن‌ها و مقاومت‌ها ترکیب شده و تشکیل IC دهند، بسیار ایده‌آل هستند.

مثال: در شکل زیر اگر مقاومت بیس - امیتر ۳۰ اهم باشد دامنه سیگنال در مقاومت کلکتور و بهره را حساب کنید؟



ترانزیستور در بایاس مناسب قرار دارد. با نوشتن kvl در بیس امیتر داریم:

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

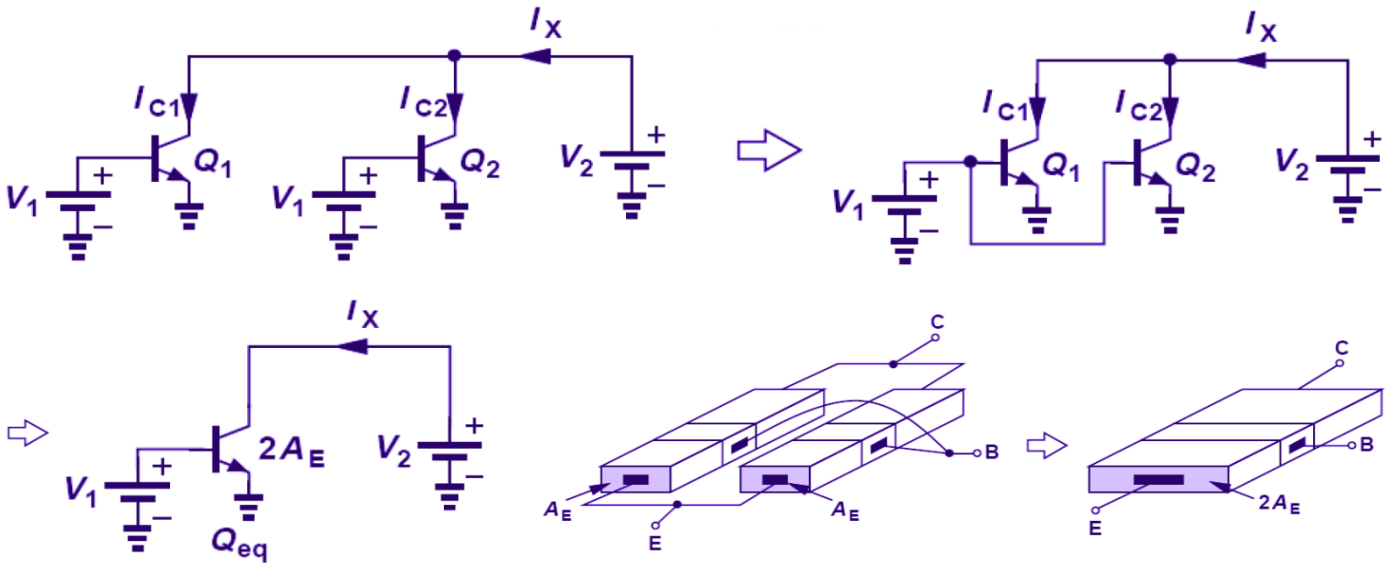
چون جریان بیس در مقابل جریان امیتر و کلکتور ناچیز است می‌توان جریان امیتر و کلکتور را برابر در نظر گرفت.

$$i_c = i_e = 0769mA$$

$$V_R = Ri_c = 1k \times 0.769m = 0.769v$$

$$A_v = \frac{V_R}{V_i} = \frac{0.769v}{10mv}$$

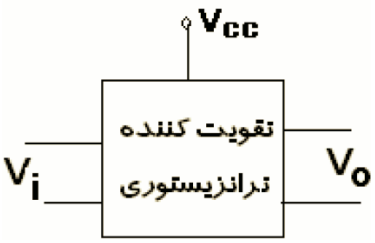
ترانزیستورهای موازی



هرگاه دو ترانزیستور با هم موازی باشند به طوری که ولتاژ پایه های هر دو ترانزستور نظیر به نظیر یکسان باشد در این صورت می توان این دو ترانزیستور را معادل با یک ترانزیستور بزرگتر در نظر گرفت. برای اینکه این معدل سازی درست باشد بایستی مساحت امیتر ترانزیستور معادل دو برابر مساحت امیتر هر یک از دو ترانزیستور باشد.

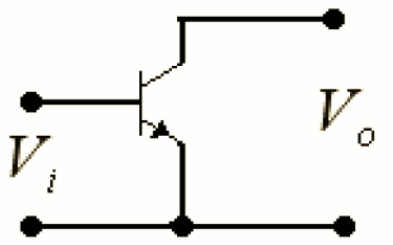
آرایش‌های ترانزیستورها

منظور از آرایش، چگونگی دادن و گرفتن سیگنال از ترانزیستور است. به مکان اعمال سیگنال ورودی (input) و از جایی که سیگنال تقویت شده دریافت می‌گردد خروجی (out put) می‌نامند.



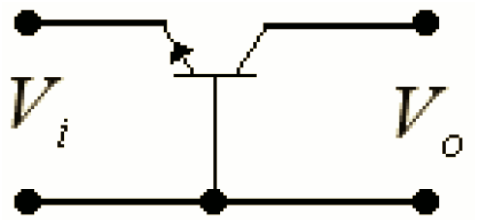
آرایش‌ها فقط در حالت ac برای تقویت کننده‌ها مطرح می‌شود. پایه بیس هرگز به عنوان خروجی و پایه کلکتور ه عنوان ورودی استفاده نمی‌شوند. تقویت ولتاژ، جریان و توان در تقویت کننده‌ها به نوع آرایش بستگی دارد.

الف) آرایش امیتر مشترک(C.E): در این آرایش پایه امیتر بین ورودی و خروجی مشترک است. سیگنال ورودی به بیس داده و از کلکتور دریافت می‌شود.



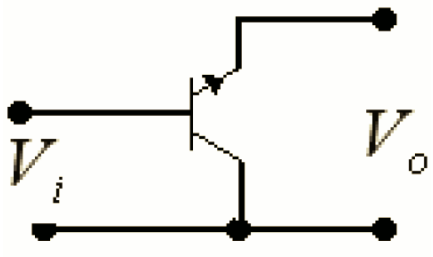
تقویت جریان، ولتاژ و توان

ب) آرایش بیس مشترک(C.B): در این آرایش پایه بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. سیگنال ورودی را به امیتر داده و خروجی را از کلکتور دریافت می‌شود.



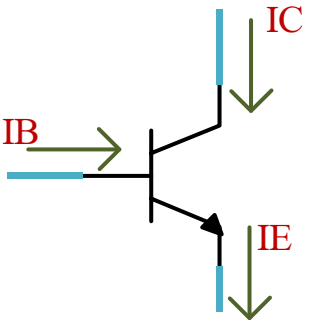
تقویت ولتاژ

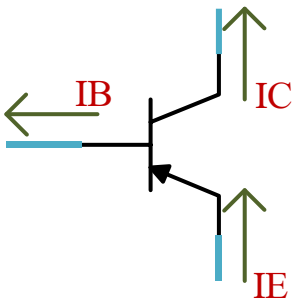
ج) آرایش کلکتور مشترک(C.C): در این آرایش پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است. سیگنال ورودی را به بیس داده و خروجی را از امیتر دریافت می‌شود.



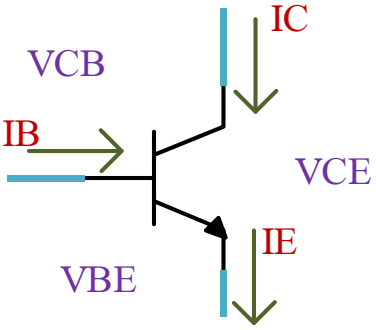
تقویت جریان

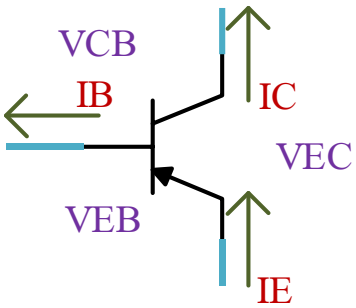
جهت جریان ها در ترانزیستور در ناحیه فعال





نام گذاری ولتاژهای ترانزیستور:





عبور جریان

گرایش مستقیم پیوند بیس امیتر باعث می‌شود تا یک جریان نفوذی الکترونها از ناحیه امیتر به بیس کشانده شده و متقابلا حفره‌ها را از بیس به امیتر جذب نماید.

معمولا نسبت ناخالصی امیتر بسیار بیشتر از بیس در نظر گرفته می‌شود تا نسبت جریان به حفره بیشتر باشد.

الکترون‌هایی که از پیوند عبور کرده و وارد بیس می‌شوند در بیس بعناون ناقل اقلیت محسوب شده و غلظت آنها در مرز امیتر بیشتر و در مرز کلکتور کمتر خواهد بود. در مرز امیتر این غلظت برابر خواهد بود با:

$$n_p(0) = n_{p0} e^{V_{BE}/V_t}$$

n_{p0} : چگالی الکترون‌ها در نیمه هادی نوع P (ناخالصی سه ظرفیتی) در دمای متعادل

تجمع الکترون‌ها در بیس باعث بوجود آمدن یک جریان نفوذی به سمت کلکتور می‌شود.

$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx} = A_E q D_n \left(-\frac{n_p(0)}{W}\right)$$

A_E سطح مقطع بیس امیتر (در جهت عمود بر صفحه)

q بار الکترون

D_n ثابت دیفیوژن الکترون های نیمه هادی یا ثابت انتشار الکترون‌ها

W ناحیه گذر (Transition Region)

تجمع حامل اقلیت منجر به جریان منفی در سراسر پایه می شود.

البته تعدادی از الکترون‌ها در بیس با حفره ها ترکیب می‌شوند که باعث شده تا جریانی که به کلکتور می‌رسد کمتر از جریانی باشد که از امیتر می‌آید.

جریان کلکتور

بعلت اینکه ولتاژ کلکتور مثبت است الکترون‌هایی که به مرز بیس و کلکتور می‌رسند توسط این ولتاژ جذب شده و از ناحیه تخلیه کلکتور بیس عبور کرده و به ناحیه کلکتور می‌رسند.

این جریان تقریبا برابر با جریان بوجود آمده در ناحیه بیس امیتر می‌باشد.

$$I_c = I_S \cdot e^{V_{BE}/V_t}$$

جریا ن اشباع:

$$I_S = A_E q D_n \left(\frac{n_{P0}}{W}\right)$$

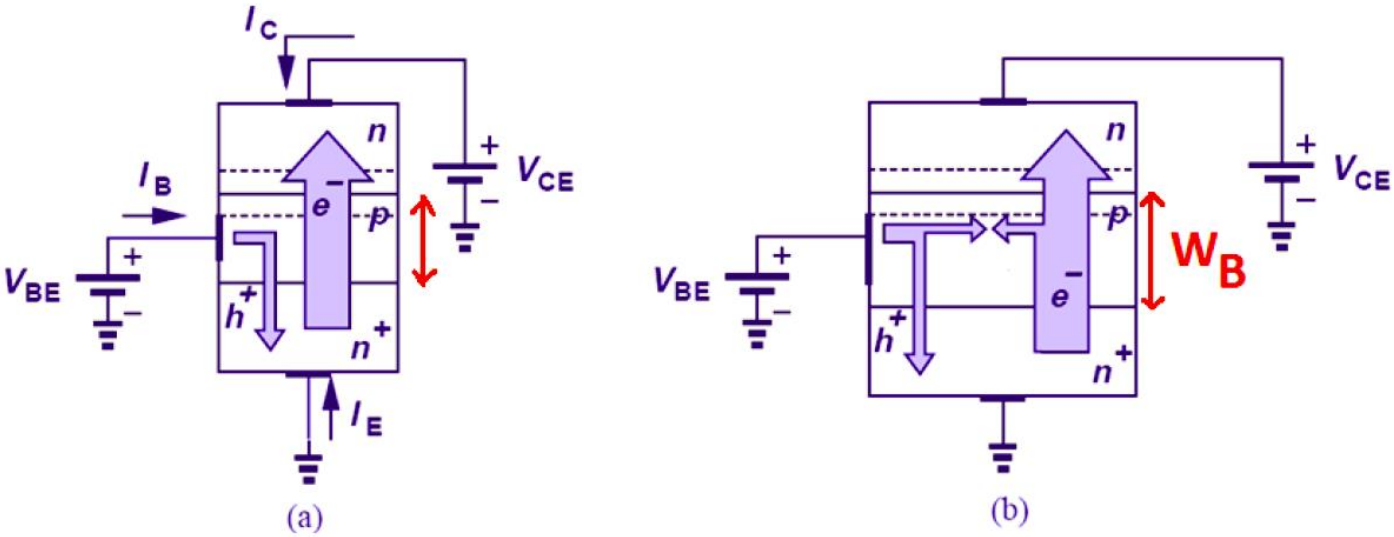
طبق مطلبی که در جزوه دوم گفته شد

$$n_{P0} \approx \frac{n_i^2}{N_A} \Longrightarrow I_S = \left(\frac{A_E q D_n n_i^2}{N_A W}\right)$$

دقت شود که مقدار جریان I_c مستقل از ولتاژ کلکتور بیس است. فقط باید ولتاژ کلکتور بیس در گرایش معکوس قرار گیرد.

جریان بیس

دارای دو مولفه است:



یکی حفره‌هایی که از بیس وارد امیتر می‌شوند.

$$I_{B1} = \frac{A_E q D_p n_i^2}{N_D L_p}$$

L_p طول انتشار حفره‌ها در امیتر می‌باشد.

و دیگری جریانی که باید از بیرون تامین شود تا جبران حفره‌هایی که با الکترون‌های جمع شده در بیس ترکیب می‌شوند را بنماید. توجه شود هرچه عرض بیس بیشتر باشد میزان باز ترکیب بیشتر می شود.

$$I_{B2} = I_S \left(\frac{D_p}{D_n} \frac{N_A}{N_D} \frac{W}{L_p} + \frac{1}{2} \frac{W^2}{D_n \tau_b} \right) e^{V_{BE}/V_t}$$

τ_b طول عمر حامل اقلیت

از مقایسه جریان بیس با جریان کلکتور به یک رابطه مهم در ترانزیستور می‌رسیم:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

مقدار ضریب β برای یک ترانزیستور بخصوص ثابت بوده و در حد ۵۰ تا ۲۰۰ می‌باشد.

این ضریب را بهره جریان امیتر مشترک می‌نامند.

جریان امیتر

از آنجایی که جریانی که وارد ترانزیستور می‌شود با جریانی که از آن خارج می‌شود داریم:

$$I_E = I_C + I_B$$

ما به دلیل اینکه I_B خیلی کوچک است می‌توانیم I_C و I_E با هم مساوی در نظر بگیریم.

$$I_E = I_C$$

فرمول‌های جریان ترانزیستور:

$$I_c = I_S \cdot e^{V_{BE}/V_t}$$

$$I_B = \frac{1}{\beta} I_S \cdot e^{V_{BE}/V_t}$$

$$I_E = \frac{\beta}{\beta + 1} I_S \cdot e^{V_{BE}/V_t}$$

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

بررسی روابط بین جریان های ترانزیستور:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \qquad \beta = \frac{I_C}{I_B} \qquad \gamma = \frac{I_E}{I_B}$$

روابط بین α و β و γ

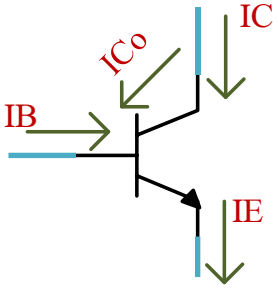
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad ، \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad ، \quad \gamma = \beta + 1 \quad ، \quad \alpha = \frac{\beta}{\gamma}$$

از نظر مقایسه ای : $\gamma > \beta > \alpha$

α همیشه کوچکتر از یک است.

تاثیر درجه حرارت در ترانزیستور:

با توجه به این که پیوند بیس کلکتور در بایاس مخالف است، جریان بسیار ضعیفی از کلکتور به طرف بیس جاری می‌شود این جریان را جریان شباع معکوس می‌نامند و با I_{CBo} یا I_{Co} نمایش می‌دهند.



$$I_C = \beta I_B + (1+\beta) I_{CBo}$$

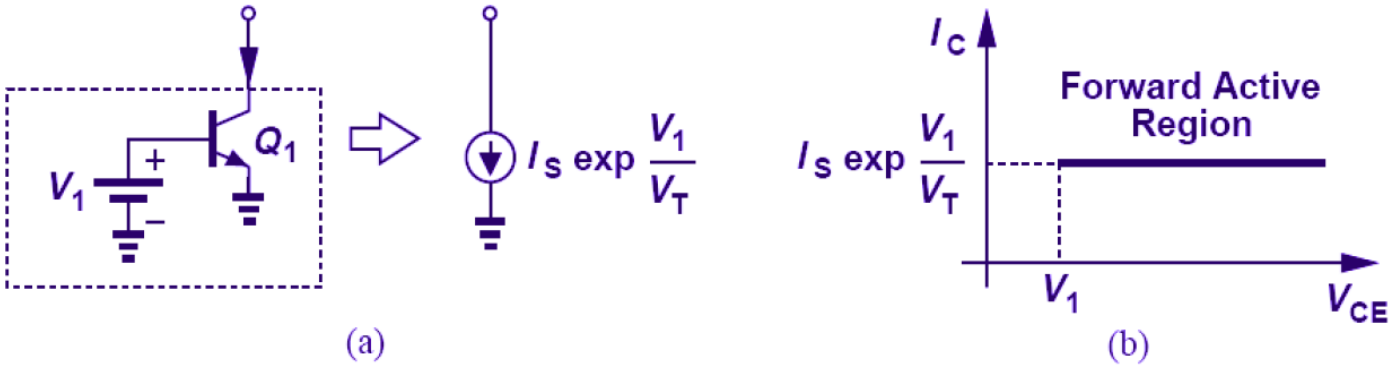
$$I_C = \alpha I_E + I_{CBo} = \alpha I_E$$

$$I_B = (1-\alpha) I_E - I_{CBo} = (1-\alpha) I_E$$

عامل جریان قطع کلکتور حامل‌های اقلیت هستند.

ایجاد منبع جریان ثابت با استفاده از ترانزیستور

در یک ترانزیستور ایده آل جریان کلکتور هیچ گونه وابستگی به ولتاژ کلکتور امیتر ندارد. همین ویژگی سبب می شود که بتوان ترانزیستور را همانند یک منبع جریان ثابت در نظر گرفت مشروط بر اینکه ولتاژ بیس امیتر مقدار ثابتی داشته باشد.

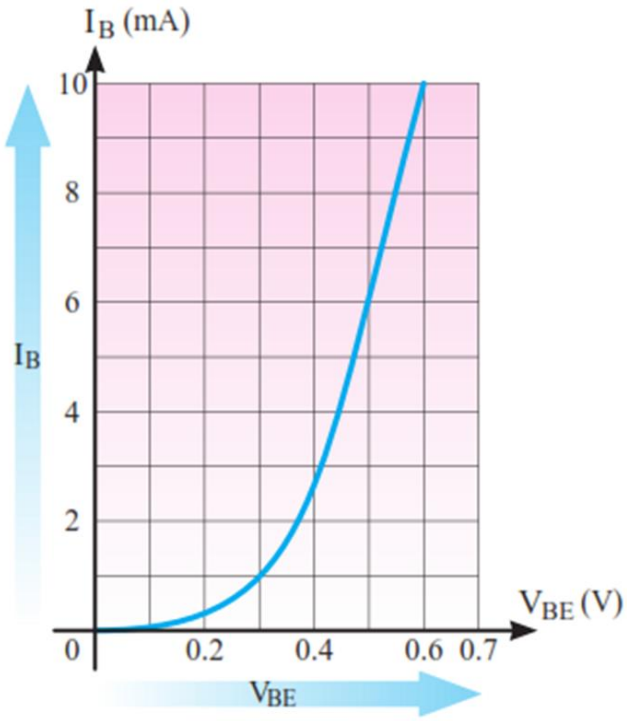


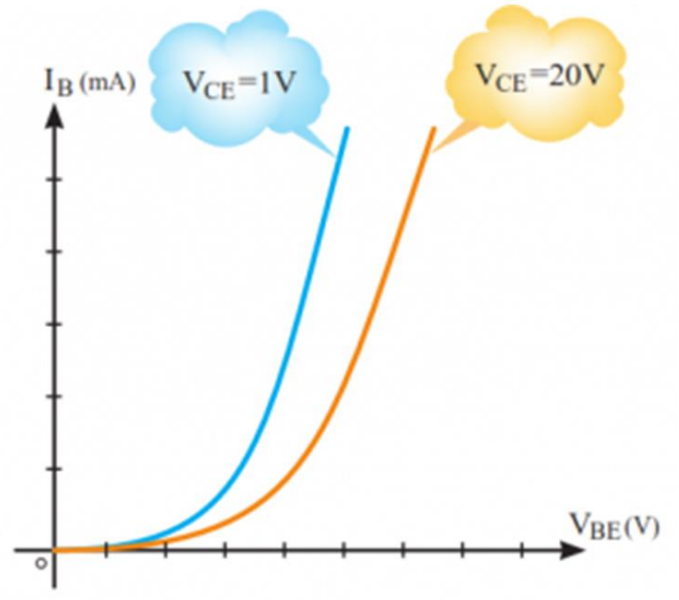
منحنی مشخصه های ترانزیستور

روابط بین جریان ها و ولتاژ ها و تغییرات آن ها در ترانزیستور و هم چنین ضریب تقویت به عامل هایی چون درجه حرارت ، فرکانس و غیر خطی بودن المان ها بستگی دارد (منظور از غیر خطی بودن این است که نسبت تغییرات جریان ها و ولتاژ ها تابع یک معادله ی خطی ریاضی نیست.) لذا معمولا از طریق ریاضی نمی توان مقادیر را به درستی تعیین کرد . برای به دست آوردن این رابطه ها از منحنی هایی ، که بیان کننده ی روابط بین جریان ها و ولتاژ ها (باتوجه به آرایش ترانزیستور) است استفاده می شود. این منحنی ها عبارت است از :

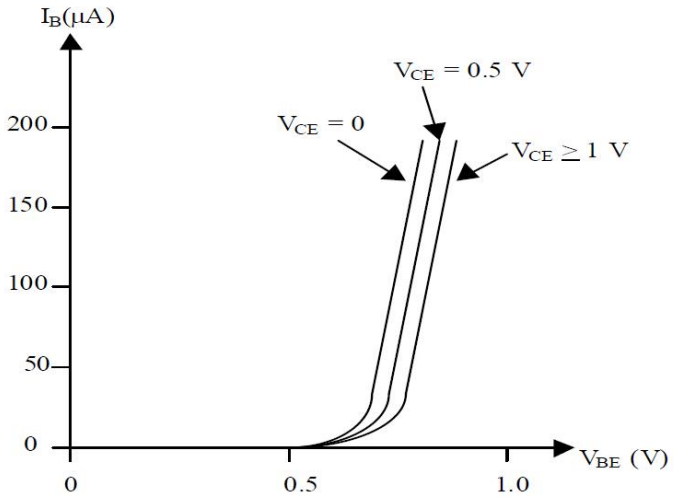
۱) منحنی مشخصه ی ورودی

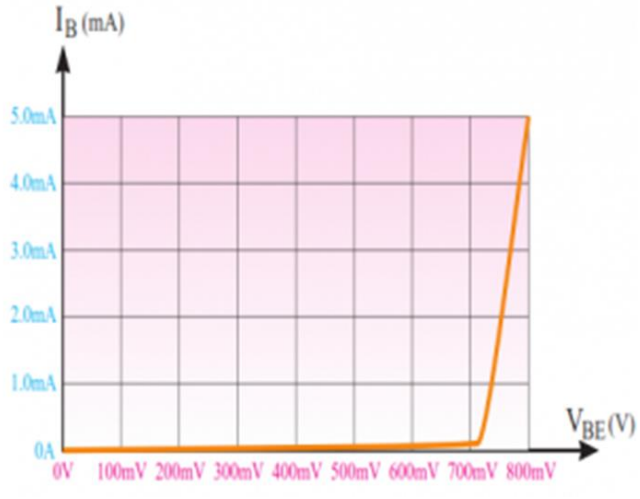
منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور همان مشخصه دیود BE است که معمولا در ناحیه هدایت بکار می‌رود، بطوریکه مشابه مشخصه یك دیود است. چون پهنای باند بیس تحت تأثیر ولتاژ V_{CB} یا V_{CE} است، لذا مشخصه ورودی ترانزیستور با تغییر این ولتاژها تغییر می‌کند. علت کاهش جریان با افزایش V_{CE}، کاهش احتمال ترکیب بندی مجدد به علت کاهش پهنای بیس است.





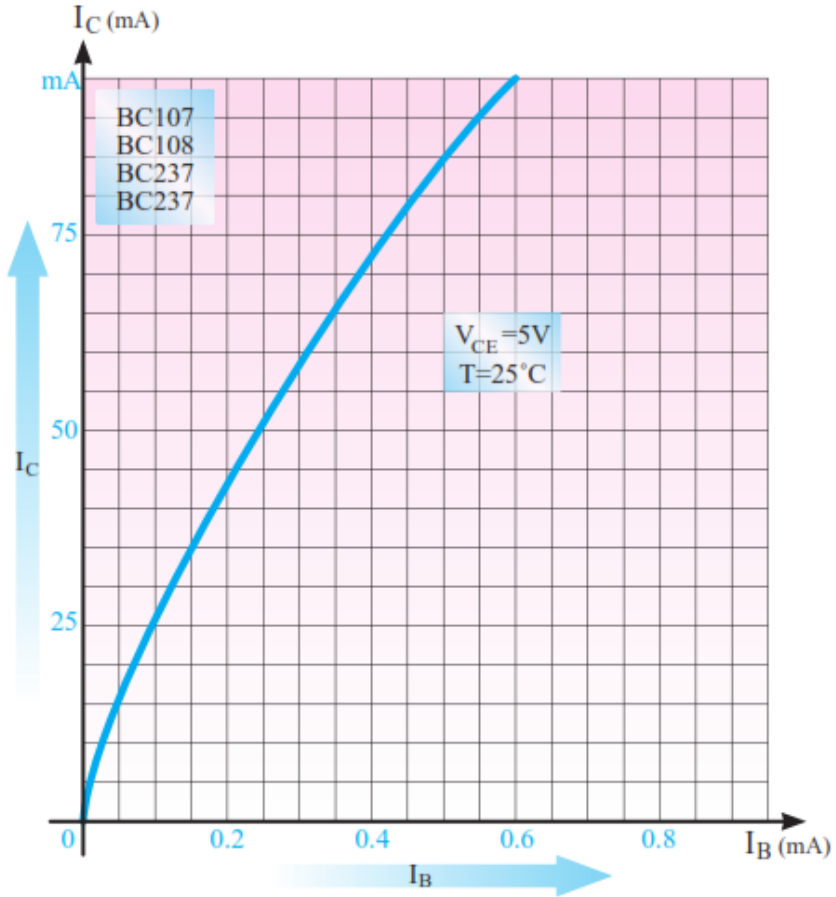
در ناحیه هدایت که ولتاژ V_{CE} زیاد است مشخصه ورودی تقریبا ثابت است.





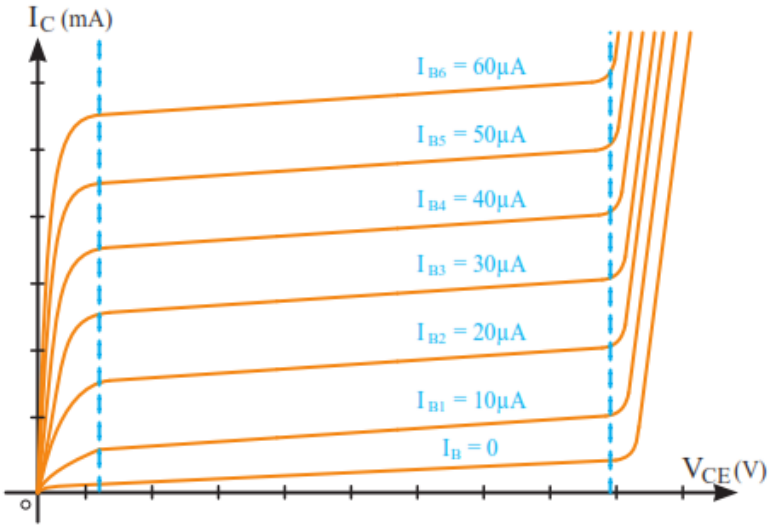
۲) منحنی مشخصه ی انتقالی

منحنی مشخصه‌ی انتقالی، رابطه ی بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می‌دهد. چون ضریب تقویت جریان ، برابر نسبت جریان خروجی به ورودی است ، لذا از این منحنی می توان ضریب تقویت جریان را بدست آورد . ضریب تقویت جریان را با β نشان می دهند. مقدار β بستگی به مشخصات فیزیکی و ساخت ترانزیستور دارد.



۳) منحنی مشخصه ی خروجی

منحنی مشخصه ی خروجی رابطه ی بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معین را نشان می‌دهد. اگر تقویت کننده امیتر مشترک باشد (تقویت کننده ی امیتر مشترک بعدا توضیح داده خواهد شد) جریان ورودی را I_B ، جریان خروجی I_C و ولتاژ خروجی V_{CE} خواهد بود. شکل زیر منحنی مشخصه خای خروجی ترانزیستور را به ازای جریان های I_B ثابت نشان می دهد.



مقدار جریان خروجی تابع دو عامل I_B و V_{CE} است. یعنی با کم و زیاد شدن I_B جریان خروجی I_C نیز کم یا زیاد می شود. این مطلب در مورد V_{CE} نیز ثابت است ، لیکن تاثیر تغییرات V_{CE} بر I_C ناچیز و در مواردی غیر قابل توجع است. از طرفی جریان I_B هم به V_{BE} بستگی دارد. منحنی مشخصه ی خروجی ترانزیستور ، شامل ۳ ناحیه ی قطع ، فعال و اشباع است.

الف) ناحیه ی قطع

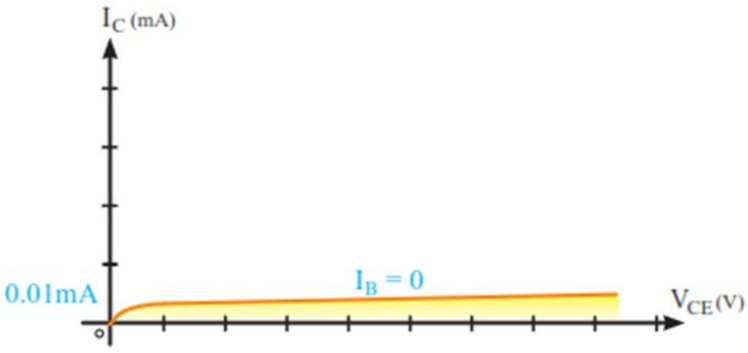
ناحیه ای است که جریان بیس ، صفر و ترانزیستور هنوز به آستانه ی هدایت نرسیده است. لذا دارای مقادیر زیراست:

ناحیه‌ی قطع

$I_B = 0$

$I_C = 0$

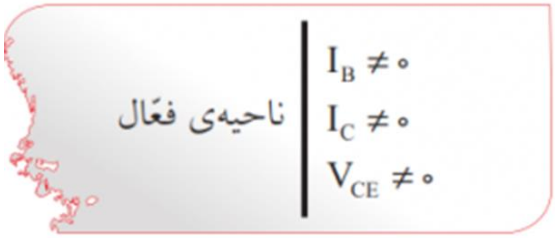
$V_{CE} \approx V_{CC}$

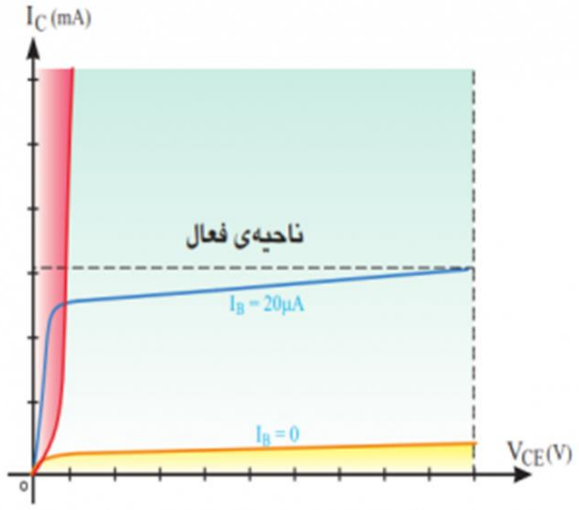


هر دو دیودهای BE و BC در بایاس معکوس قرار دارند. در این ناحیه از ترانزیستور به عنوان سوئیچ قطع استفاده می‌شود.

ب) ناحیه ی فعال

در این ناحیه ، ترانزیستور در حال هدایت است و با تغییرات زیاد V_{CE} تغییرات جریان کلکتور کم است. (جریان بیس ثابت است) لذا این ناحیه دارای مشخصات زیر است :





دیودهای BE و BC به ترتیب در بایاس مستقیم و بایاس معکوس قرار دارد و خواهیم داشت :

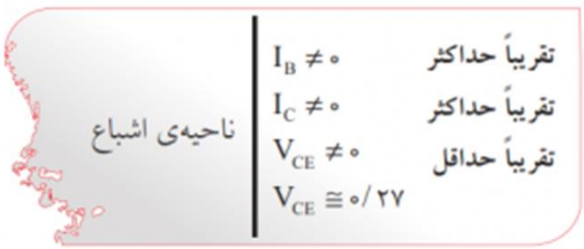
$$V_{CE} \geq V_{CEsat} \quad , \quad I_C = \beta I_B$$

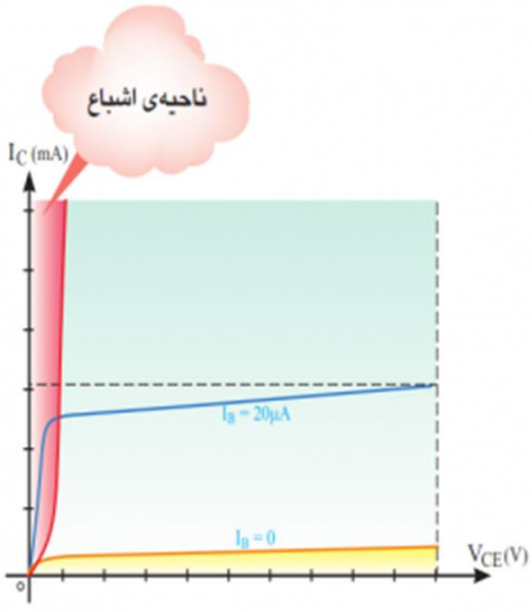
V_{CEsat} حداقل ولتاژ لازم برای باقی ماندن دیود BC در گرایش معکوس است.

ج) ناحیه ی اشباع

ناحیه ای است که ترانزیستور در حال هدایت است ، ولی با تغییر جزئی V_{CE} (کسری از ولت) تغییرات بسیار زیادی در جریان کلکتور مشاهده می شود . لذا دارای مشخصات زیر است.

هر دو دیودهای BE و BC در بایاس مستقیم قرار دارند، پس $V_{CE} < V_{CEsat}$ و شرط $I_C = \beta I_B$ بر قرار نمی‌شود. با توجه به ولتاژ کم بین کلکتور و امیتر $(V_{CEsat} \approx 0.1v)$ در این ناحیه از ترانزیستور به عنوان سوئیچ وصل استفاده می‌شود.





به طور خلاصه حالت‌های مختلف کاربرد ترانزیستور به صورت زیر می‌باشد.

ردیف	حالت ترانزیستور	پیوند BE	پیوند BC
۱	فعال	مستقیم	معکوس
۲	قطع	معکوس	معکوس
۳	اشباع	مستقیم	مستقیم
٤	فعال معکوس	معکوس	مستقیم

مقادیر نامی ترانزیستور :

در تحلیل و طراحی مدارهای ترانزیستوری ، پارامترهای مختلفی بایستی برای آن در نظر گرفت تا مطابق آنچه که می‌خواهیم عمل نماید. در اینجا برخی از مهمترین پارامترها را بررسی می‌کنیم :

حداکثر جریان کلکتور $I_C max$:

این مقدار بستگی به سطح کلکتور و سطح مشترك پیوند بیس- کلکتور دارد.

حداکثر توان ترانزیستور P_{max}:

مربوط به توان مصرفی کلکتور است. زیرا توان مصرفی بیس بسیار پائین است.

$$P_{max} = V_{CE}I_C + V_{BE}I_B \approx V_{CE}I_C$$

حداکثر ولتاژ خروجی BV_{CEo}:

حداکثر ولتاژی که را که می‌توان به کلکتور و امیتر با بیس مدار باز (جریان بیس صفر است) اعمال نمود با BV_{CEo} مشخص می‌نمایند. در این حالت ناحیه تخلیه کلکتور- بیس گسترش یافته و به امیتر می‌رسد. لذا منجر به ایجاد جریان امیتر قابل ملاحظه‌ای می‌گردد.

حداکثر ولتاژ خروجی BV_{CBo}:

حداکثر ولتاژي که را که می‌توان به کلکتور و بیس با امیتر مدار باز (جریان امیتر صفر است) اعمال نمود با BV_{CBo} مشخص می‌نمایند.

معمولا BV_{CBo} بیشتر از BV_{CEo} بوده و هر دو در حدود چند ۱۰ ولت است.

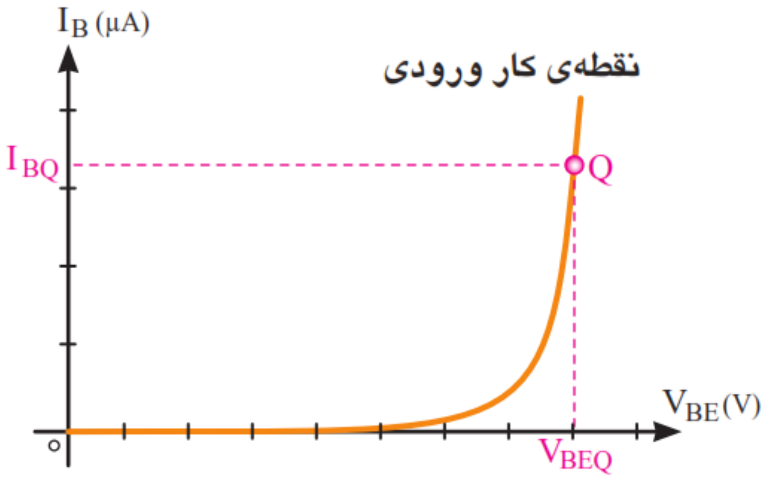
حداکثر ولتاژ ورودی BV_{EBo}:

پیوند p-n دیود بیس - امیتر نیز در اثر اعمال ولتاژ معکوس زیاد دچار شکست می‌شود. حداکثر ولتاژ معکوسی را که دیود امیتر - بیس یك ترانزیستور در حالت کلکتور باز می‌تواند تحمل کند، با BV_{EBo} نشان می‌دهند که معمولا چند ولت است.

نقطه کار و خط بار

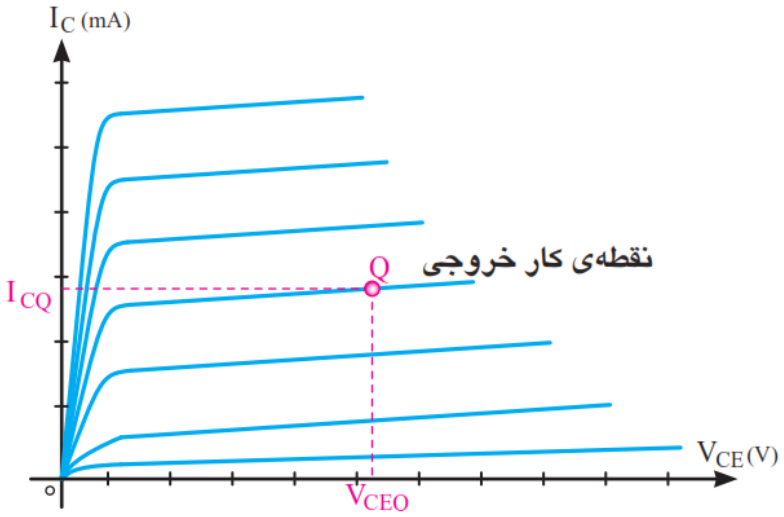
الف) تعریف نقطه ی کار

به مقادیر Dc کمیت های $I_B - I_C - V_{CE} - V_{BE}$ در شرایطی که هیچ منبع سیگنال AC به ورودی آن متصل نباشد، نقطه‌ی کار Dc ترانزیستور می‌گویند.



نقطه کار را با حرف Q نشان می دهند . Q حرف اول کلمه ی Quicken Point به مفهوم نقطه کار است.

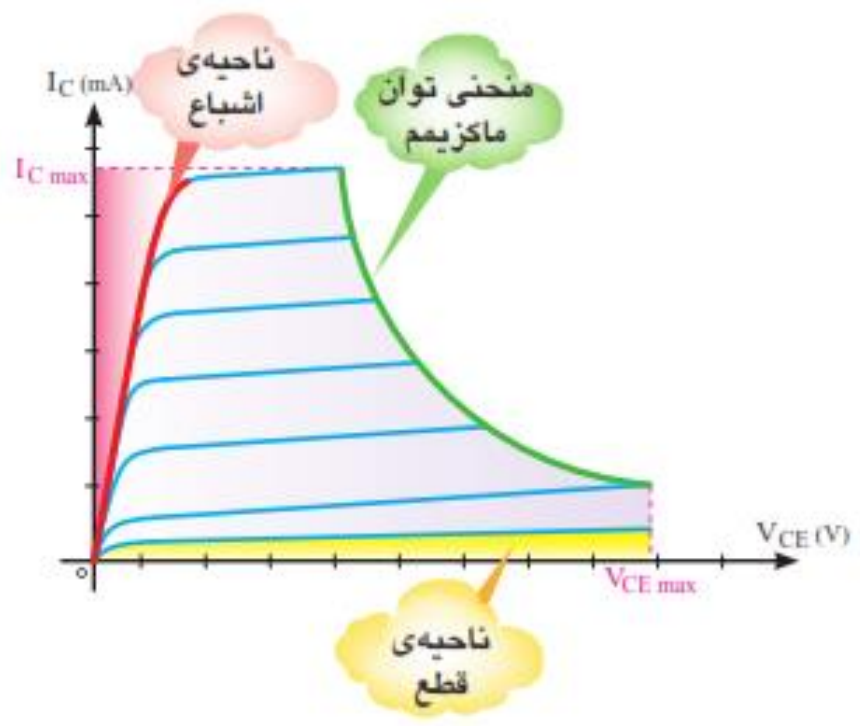
در شکل زیر نقطه کار را روی منحنی مشخصه ی خروجی مشاهده می کنید.



ب) انتخاب نقطه ی کار

برای انتخاب نقطه ی کار ، ابتدا باید محدودیت های ترانزیستور را در نظر گرفت. از جمله محدودیت ها ، تحمل توان تلف شده در ترانزیستور ، حداکثر جریان کلکتور و حداکثر ولتاژ بین کلکتور و امیتر است. نظر به این که تلفات توان توسط ترانزیستور برابر $P_{max} = V_{CE}I_C + V_{BE}I_B$ است یادآور می شود که مقدار $V_{BE}I_B$ کم است و معمولا از آن صرف نظر می شود.

نقطه‌ی کار باید در محلی قرار گیرد که حاصل ضرب $V_{CE}I_C$ با ماکزیمم توان قابل تحمل ترانزیستور مساوی باشد یا کمتر باشد. رسم مشخصه ی $V_{CE}I_C$ در شکل زیر آمده است. در ضمن نقطه کار باید در محلی قرار گیرد که بتواند سیگنال را از دو طرف به یک اندازه تقویت کند.

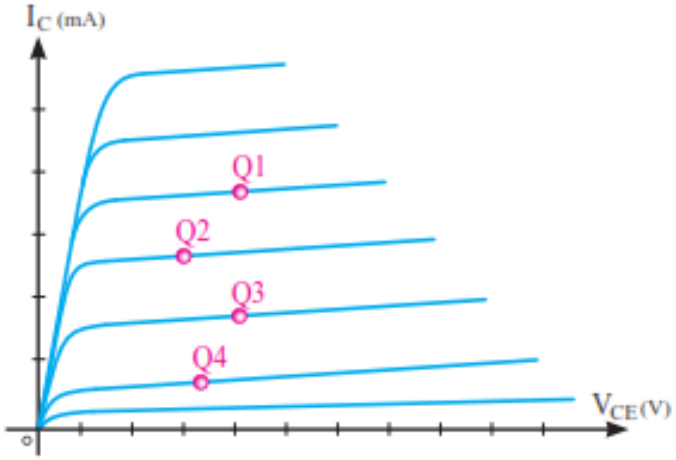


توان تلف شده در ترانزیستور:

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

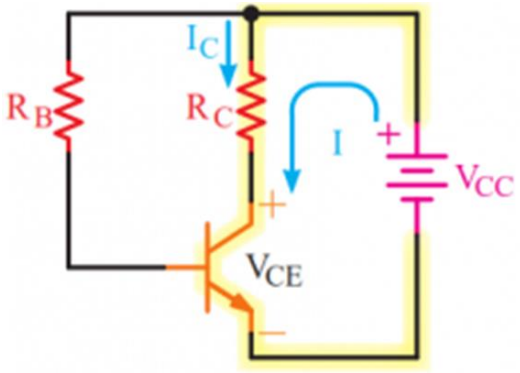
خط بار:

بر روی منحنی مشخصه ی خروجی ترانزیستور ، می توان نقاط زیادی را به عنوان نقطه ی کار انتخاب نمود. این نقاط روی خط راست قرار ندارند و با تغییر ولتاژ منبع یا R_B یا R_C بدست آمده اند. اگر نقطه ی کار را به صورتی پیدا کنیم که در آن ها ولتاژ منبع تغذیه و مقاومت R_C ثابت مانده باشد نقاط روی یک خط راست قرار می گیرند که به آن خط بار ترانزیستور می گویند.



معادله خط بار و نحوه رسم آن

برای رسم خط بار ابتدا باید معادله آن را بنویسیم. برای این کار ، باتوجه به جهت جریان و جهت گردش در حلقه ی خروجی از یک نقطه (مثلا قطب منفی منبع تغذیه) در مدار شکل زیر معادله KVL را می‌نویسیم.



معادله‌ی خط بار

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

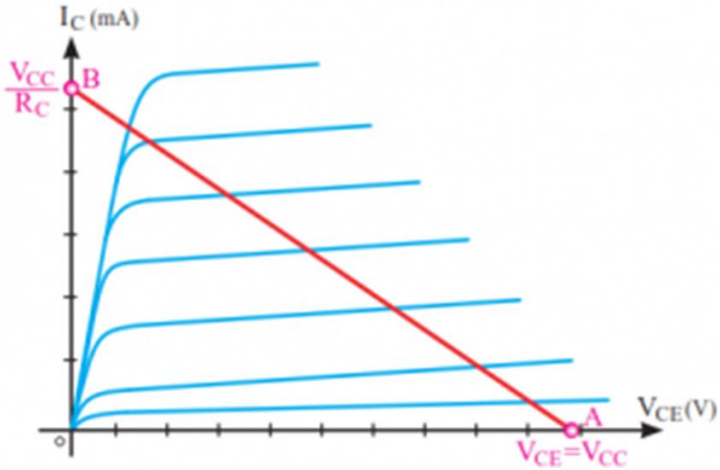
در معادله ی بالا R_C و V_{CC} ثابت اند ولی I_C و V_{CE} متغیر هستند. لذا برای بدست آوردن حداقل دو نقطه از خط بار ، یک بار I_C را برابر صفر فرض می کنیم و در معادله ی خروجی قرار می دهیم و V_{CE} را بدست می‌آوریم (نقطهA) ,و بار دیگر V_{CE} را برابر صفر فرض می کنیم و در معادله ی خروجی قرار می دهیم و I_C را به دست می آوریم (نقطهB) ، سپس نقاط A و B را به هم وصل می کنیم تا خط بار به دست آید.

نقطه‌ی A

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

نقطه‌ی B

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



نحوه‌ی ترسیم خط بار

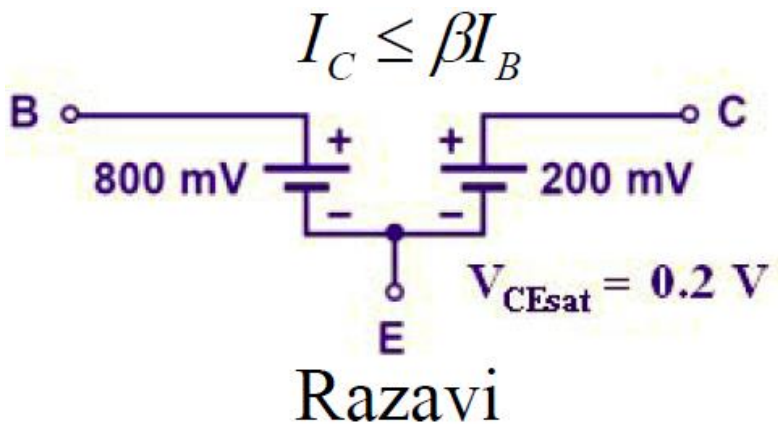
اثر دما بر مشخصات ترانزیستور :

چون تغییر دما ، موجب تغییر آزاد شدن یا ترکیب مجدد ناقل‌ها می‌گردد، لذا دما بر همه پارامترهای مشخصه ترانزیستور اثر دارد. مهمترین اثر مربوط به جریان اشباع معکوس است. هر تغییر ۱۰ درجه دما ، این جریان به میزان ۲ برابر تغییر می‌کند.

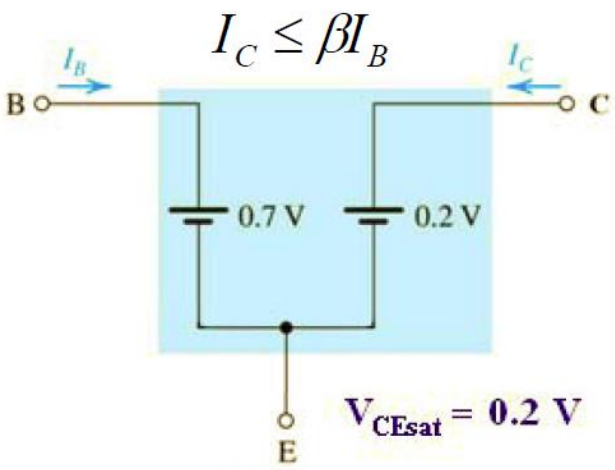
$$I_{CBo2}=I_{CBo1}\times 2^{\Delta t/10}$$

مدل ساده تر برای ناحیه اشباع عمیق (Deep Saturation):

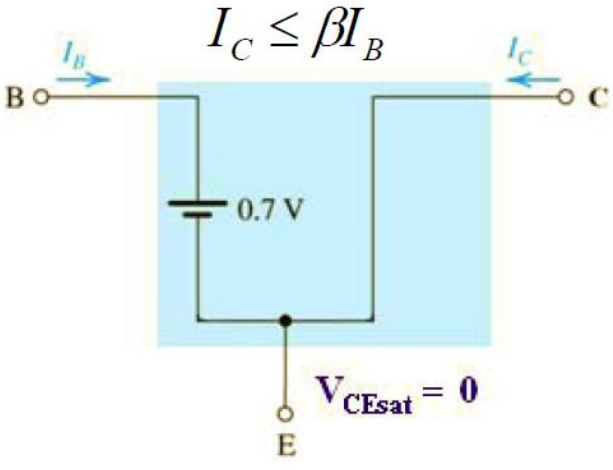
در ناحیه اشباع عمیق ترانزیستور دیگر به صورت منبع جریان کنترل شده با ولتاژ عمل نمی کند.
در ناحیه اشباع عمیق مقدار ولتاژ V_{CE} ثابت می ماند و ما این مقدار ثابت را V_{CEsat} می نامیم .
در ناحیه اشباع عمیق ترانزیستور همانند یک سوئیچ روشن عمل می کند و به تبع آن کلکتور به امیتر متصل می شود. از این ناحیه معمولا در الکترونیک دیجیتال استفاده می شود.



Razavi

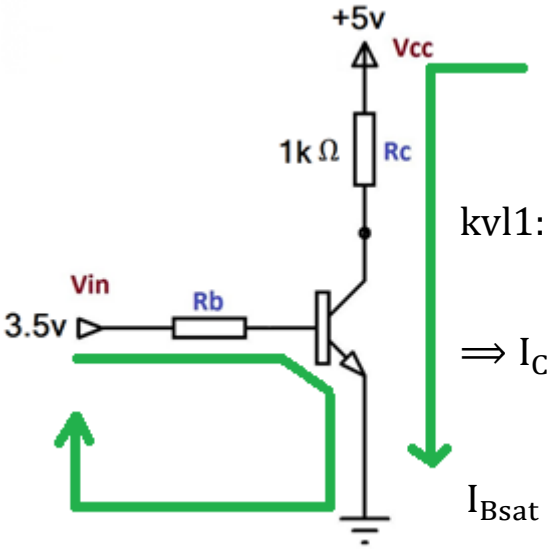


Sedra



Digital Electronic

مثال: در مدار شکل زیر، ترانزیستور مشخصات ذیل را دارد.بیشترین مقدار مقاومت R_B که می‌تواند ترانزیستور را در حالت اشباع نگه‌دارد را محاسبه کنید.



$$\boldsymbol{\beta_{min} = 50\ , V_{BEsat} = 0.7v\ , V_{CEsat} = 0.2v}$$

$$\text{kvl1: } -5 + 1\text{k}(\text{I}_{\text{Csat}}) + \text{V}_{\text{CEsat}} = 0$$

$$\Longrightarrow \text{I}_{\text{Csat}} = \frac{5 - 0.2}{1\text{k}} = 4.8mA$$

$$\text{I}_{\text{Bsat}} = \frac{\text{I}_{\text{Csat}}}{\beta_{min}} = \frac{4.8mA}{50} = 96\mu A$$

$$\text{kvl2: } -3.5 + R_B(\text{I}_{\text{Bsat}}) + V_{BEsat} = 0$$

$$R_B = \frac{3.5 - 0.7}{96\mu A} = 29k\Omega$$

منابع:

1- Microelectronic Circuits Adel S. Sedra, OXJFORD UNIVERSITY PRESS

۲- سایت microlearn.ir

پایان جلسه هفتم

روزگار خوشی را برای شما آرزومندم.

محمد اعرابیان