

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عنوان درس : الکترونیک ۱

مدرس : دکتر مهرداد طهماسبی

شیوه ارزیابی :

1. امتحان پایان ترم ۱۵ نمره
2. حل تمرین ۵ نمره

ارتباط با مدرس : IAU.TAHMASEBI@GMAIL.COM

ٲرانزستور پيوندی دو قطبی

یکی دیگر از قطعات اساسی و پُر کاربرد در الکترونیک، ترانزیستور است. ترانزیستور به عنوان سوئیچ، تقویت کننده، تثبیت کننده ولتاژ و ... در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می گیرد. در این فصل به ساختمان ترانزیستور، بایاسینگ، خط بار، محاسبات مربوط به بایاسینگ و موارد کاربرد آن در تقویت کننده های ساده می پردازیم.

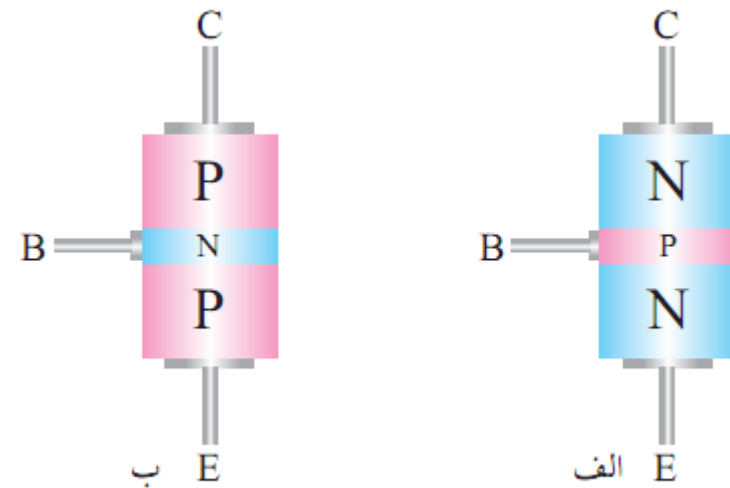
ترانزیستور معمولی، یک المان سه پایه است که از سه کریستال نیمه هادی نوع N و P، که در کنار یکدیگر قرار می گیرند، تشکیل شده است. ترتیب قرار گرفتن نیمه هادی ها در کنار هم، به دو صورت انجام پذیر است:

(الف) دو قطعه نیمه هادی نوع N در دو طرف و نیمه

هادی نوع P در وسط.

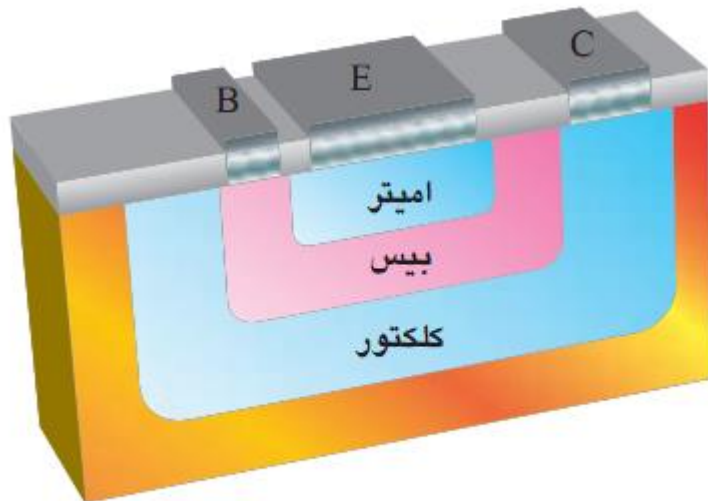
(ب) دو قطعه نیمه هادی نوع P در دو طرف و نیمه هادی نوع N در وسط.

در حالت (الف)، ترانزیستور را NPN و در حالت (ب)، ترانزیستور را PNP می نامند. شکل ۳-۵ ترتیب قرار گرفتن نیمه هادی ها را کنار هم نشان می دهد.



شکل ۳-۵ ساختمان ترانزیستور

در شکل ۴-۵، لایه‌های ترانزیستور را مشاهده می‌کنید. پایه‌های خروجی ترانزیستور را به ترتیب امیتر (منتشر کننده=Emitter)، بیس (پایه=Base) و کلکتور (جمع کننده=collector) نام‌گذاری کرده‌اند. امیتر را با حرف E، بیس را با حرف B و کلکتور را با حرف C نشان می‌دهند.



شکل ۴-۵ لایه‌های ترانزیستور

نیمه هادی نوع P یا N که به عنوان امیتر به کار می‌رود، نسبت به لایه‌ی بیس و کلکتور، ناخالصی بیش‌تری دارد. ضخامت این لایه حدود چند ده میکرون است (عملاً حدود $20-2000\mu m$) و سطح تماس آن نیز به میزان فرکانس و قدرت ترانزیستور بستگی دارد.

لایه‌ی بیس، نسبت به کلکتور و امیتر، ناخالصی کم‌تری دارد و ضخامت آن نیز به مراتب از امیتر و کلکتور کم‌تر است و عملاً از چند میکرون تجاوز نمی‌کند.

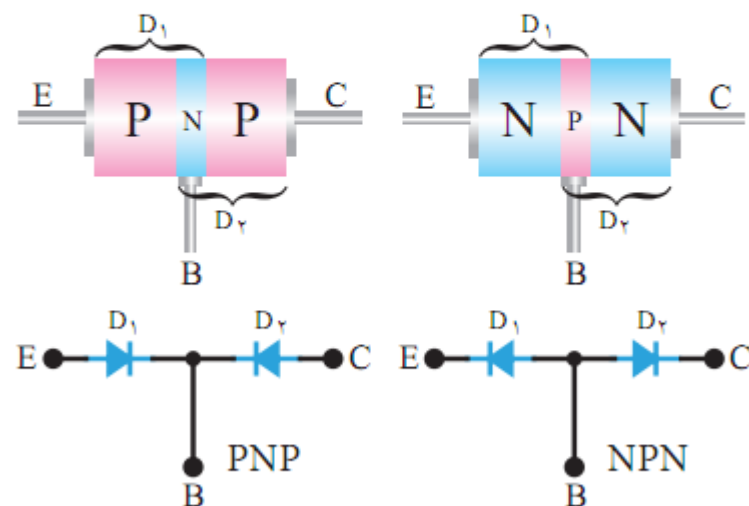
ناخالصی لایه‌ی کلکتور از امیتر کمتر و از بیس بیش‌تر است. ضخامت این لایه به مراتب از امیتر بزرگ‌تر است، زیرا تقریباً تمامی تلفات حرارتی ترانزیستور در کلکتور ایجاد می‌شود. شکل ۵-۵ تصویری از نسبت تقریبی لایه‌ها را نشان می‌دهد. سطح تماس کلکتور با بیس، حدوداً نه برابر سطح تماس امیتر با بیس است.



شکل ۵-۵ نمایش نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور

این نوع ترانزیستورها را به اختصار BJT (Bipolar Junction Transistor) می‌نامند. عبارت Bipolar یا دو قطبی، از عملکرد الکترون‌ها و حفره‌ها که حامل‌های جریان هستند، ناشی می‌شود.

هر ترانزیستور، دارای سه پایه و دو پیوند است. هر پیوند را می‌توان به صورت یک دیود نشان داد. در نتیجه، معادل دیودی یک ترانزیستور به صورت دو دیود (مطابق شکل ۵-۶) نشان داده می‌شود.



شکل ۵-۶ معادل دیودی ترانزیستور

نحوه شناخت تجربی پایه های ترانزیستور :

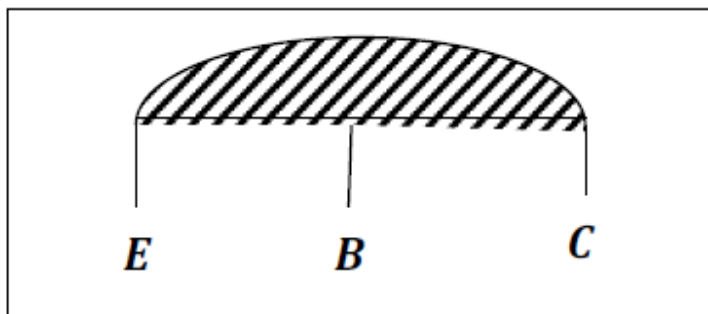
(۱) مقاومت بیس - امیتر و مقاومت بیس - کلکتور کمتر از مقاومت کلکتور - امیتر می باشد .

(۲) مقاومت بیس - کلکتور کم تر از مقاومت بیس - امیتر می باشد .

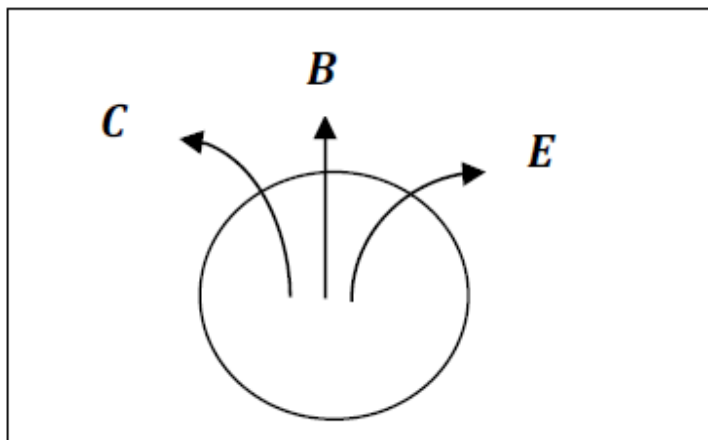
(۳) به کمک جریان در ناحیه فعال ترانزیستور

نکته :

اگر به از روبرو به ترانزیستور نگاه کنیم :



اگر از زیر به ترانزیستور نگاه کنیم :



به جدول زیر در رابطه با ویژگی های ساختمانی و کاربرد ترازیستورها توجه کنید :

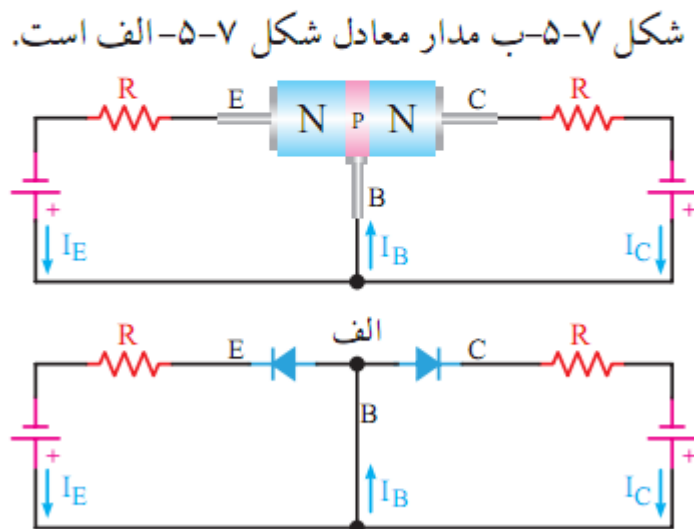
کاربرد	پیوند $B - C$	پیوند $B - E$	ناحیه کاری
به عنوان تقویت کننده توان	<i>Reverse</i>	<i>Forward</i>	<i>Active Linear</i> ناحیه فعال
<i>Switch On</i>	<i>Forward</i>	<i>Forward</i>	<i>staration</i> ناحیه اشباع
<i>Switch Off</i>	<i>Reverse</i>	<i>Reverse</i>	<i>cut off</i> ناحیه قطع
کاربردی ندارد	<i>Forward</i>	<i>Reverse</i>	<i>Reverse Active</i> ناحیه معکوس

۱-۶-۵ بایاس ترانزیستور: برای این که بتوان از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده، سویچ و ... استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ dc تغذیه کرد، عمل تغذیه ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را بایاس ترانزیستور می‌نامند.

با توجه به این که ترانزیستور دارای سه پایه‌ی مجزاست، می‌توانیم یکی از پایه‌ها را پایه‌ی مشترک و دو پایه‌ی دیگر را ورودی و خروجی آن در نظر بگیریم. اتصال ولتاژ dc به پایه‌های مختلف ترانزیستور، نحوه‌ی کار آن را بیان می‌نماید. نظر به اینکه تعداد پایه‌های ترانزیستور سه عدد است، می‌توانیم ولتاژ dc را به فرم‌های مختلف به ترانزیستور متصل کنیم. در این قسمت به شرح انواع اتصال ولتاژ dc به ترانزیستور می‌پردازیم. با این توضیح که در این جا بیس بین ورودی و خروجی مشترک گرفته

شده است.

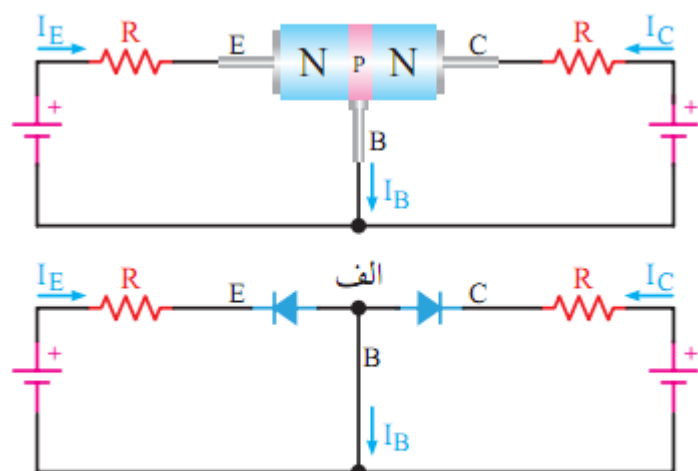
الف) اتصال بیس - امیتر در بایاس مستقیم و اتصا بیس - کلکتور نیز در بایاس مستقیم است. شکل ۷-۵-الف این نوع بایاس را نشان می‌دهد. مقاومت R در این شكا برای کنترل جریان به کار رفته است.



ب

شکل ۷-۵ بایاس موافق در مدار معادل دیودی

آن را در نظر نمی‌گیریم). ترانزیستور در این حالت هیچ عملی را انجام نمی‌دهد.



شکل ۵-۸ بایاس مخالف

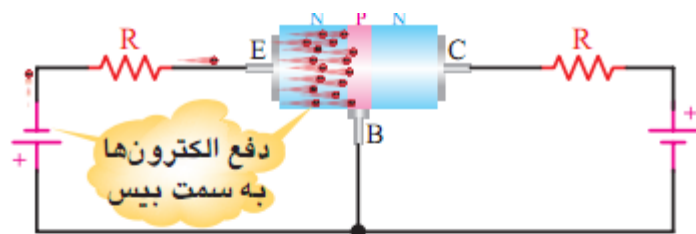
همان طوری که از شکل مدار معادل پیداست، در این حالت بایاس، دو جریان I_E (جریانی که از آمپتر عبور می‌کند) و I_C (جریانی که از کلکتور عبور می‌کند) هر کدام مسیر جداگانه‌ای در دو حلقه طی می‌کنند و فقط در پایه‌ی بیس با یکدیگر جمع می‌شوند و دوباره تقسیم می‌گردند.

ب) اتصال بیس - آمپتر در بایاس معکوس و اتصال بیس - کلکتور نیز در بایاس معکوس است. این نوع اتصال در شکل ۵-۸-الف نشان داده شده است. شکل ۵-۸-ب مدار معادل شکل ۵-۸-الف است. همان طوری که از مدار معادل پیداست، هر دو دیود در بایاس معکوس و قطع‌اند. لذا جریان I_E و I_C برابر صفر است (البته جریان بسیار ضعیفی در اثر شکستن پیوندها در دمای معمولی از مدار عبور می‌کند [جریان اشباع معکوس]، که ما فعلاً

ج: اتصال بیس - امیتر در بایاس مستقیم و اتصال

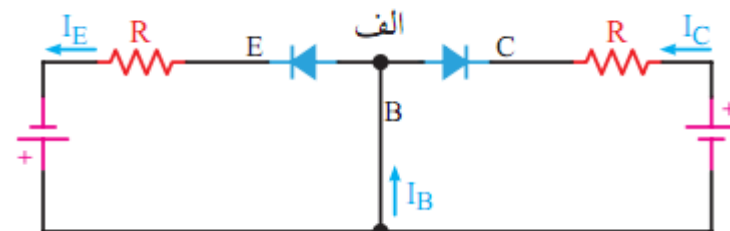
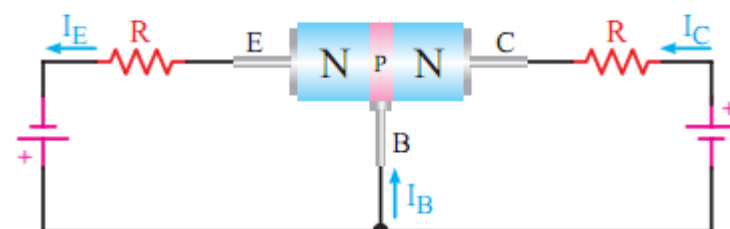
بیس - کلکتور نیز در بایاس معکوس است. شکل ۵-۹-

الف و ب این حالت بایاس را نشان می دهد.



شکل ۵-۱۰ حرکت الکترون ها

همان طوری که از شکل ۵-۱۰ پیداست، الکترون های نیمه هادی نوع N، توسط ولتاژ منفی باتری به سمت بیس رانده می شوند. از قبل دانستیم که لایه ی بیس نسبت به امیتر و کلکتور ناخالصی کم تری دارد و ضخامت آن نیز، نسبت به دو لایه ی دیگر فوق العاده کم است. در این جا سؤالی پیش می آید که آیا این جریان الکترون ها مسیر خود را از طریق امیتر - بیس می بندد یا اتفاق دیگری می افتد؟



ب

شکل ۵-۹ بایاس موافق و مخالف

همان طوری که از شکل ۵-۹ پیداست، اتصال بیس -

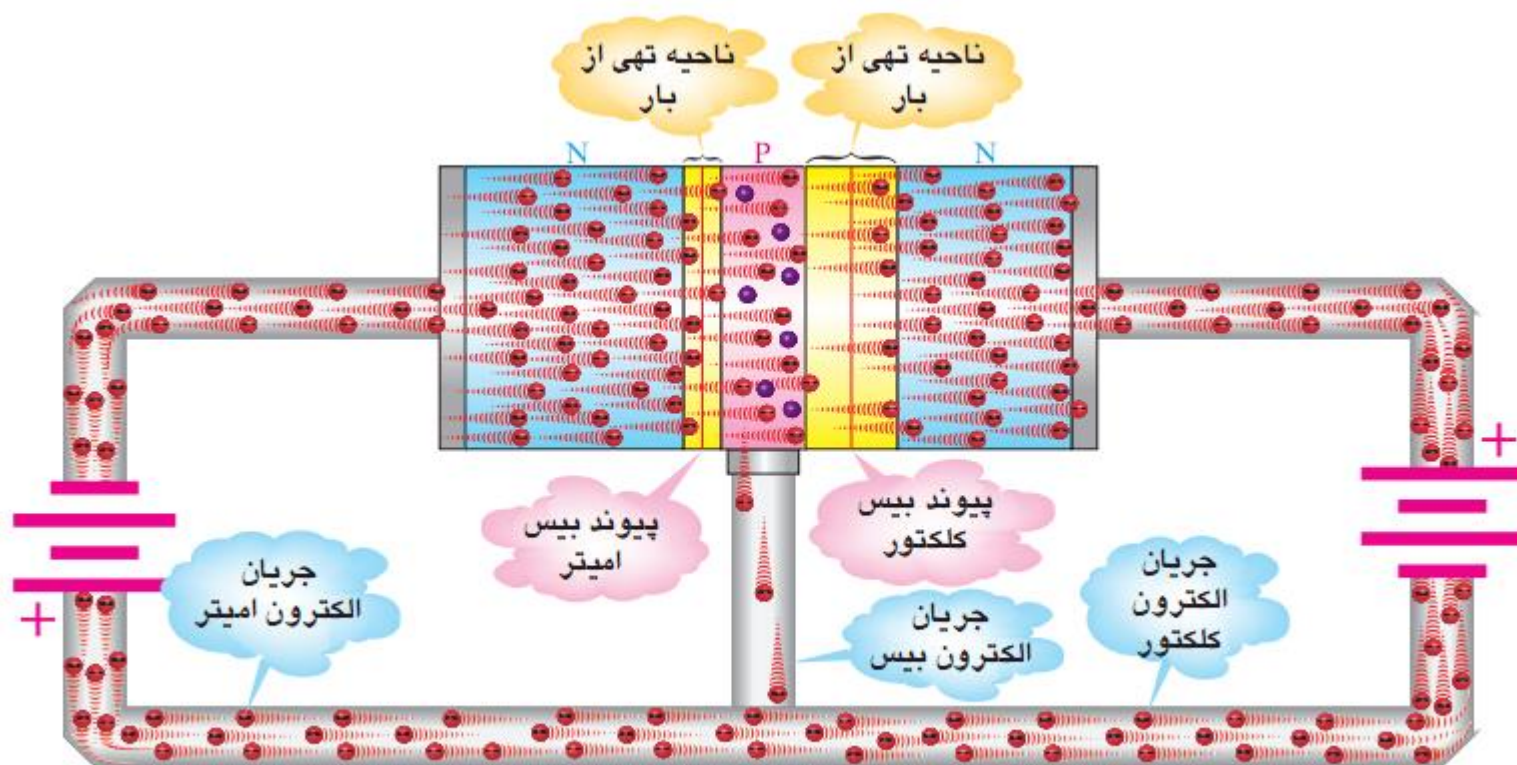
امیتر در بایاس مستقیم است. لذا باید یک جریان در مدار

بیس - امیتر داشته باشیم. (در این قسمت استثنائاً جهت

جریان را در جهت واقعی الکترون ها در نظر می گیریم).

(شکل ۵-۱۰)

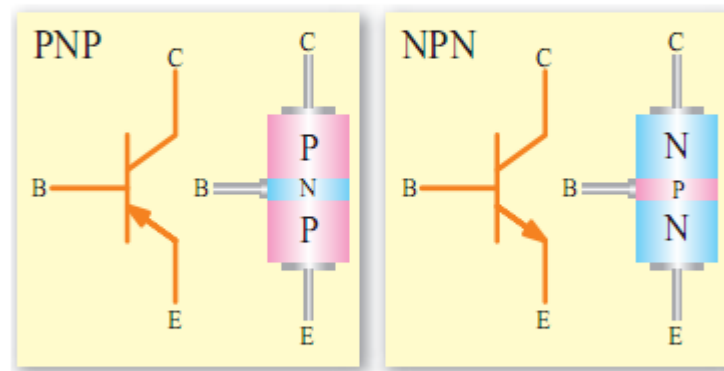
در وهله‌ای اول به نظر می‌آید که جریان الکترون‌ها مسیر خود را باید از طریق بیس-امیتر ببیندد، ولی عملاً این طور نیست و قسمت اعظم این جریان از طریق کلکتور بسته می‌شود. دلیل این عمل آن است که اولاً، به کلکتور ولتاژ مثبت وصل شده است و این ولتاژ قادر است الکترون‌ها را به طرف خود جذب کند. ثانیاً، لایه‌ی بیس بسیار نازک است و الکترون‌ها به محض وارد شدن به لایه‌ی بیس به دلیل کم بودن این فاصله با کلکتور به آن جذب می‌شوند. ثالثاً، سطح کلکتور حدود ۹ برابر بزرگ‌تر از سطح امیتر است، لذا نسبت به ورود الکترون‌ها به لایه‌ی بیس احاطه کامل دارد و تقریباً تمام آن‌ها را جذب می‌کند. رابعاً، ناخالصی بیس کم است و الکترون‌ها با حفره‌ها کم‌تر ترکیب می‌شوند. لذا تقریباً بیش از ۹۵٪ الکترون‌هایی که به لایه‌ی بیس وارد می‌شوند، مدار خود را از طریق کلکتور می‌بندند. شکل ۱۱-۵، نسبت تقسیم تقریبی الکترون‌ها بین کلکتور و بیس را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۵ الکترون‌های عبوری از بیس و کلکتور

۲-۶-۵ نماد فنی ترانزیستور: برای ساده تر نشان دادن

ترانزیستورها در نقشه ها از علامت اختصاری استفاده می شود. شکل ۱۲-۵، نماد فنی ترانزیستورهای PNP و NPN را نشان می دهد.



شکل ۱۲-۵ علامت قراردادی ترانزیستورهای PNP و NPN

جهت فلش در نماد فنی ترانزیستور، نشان دهنده ی جهت دیود امیتر - بیس است.

۳-۶-۵ جهت جریان ها در ترانزیستور: جریانی

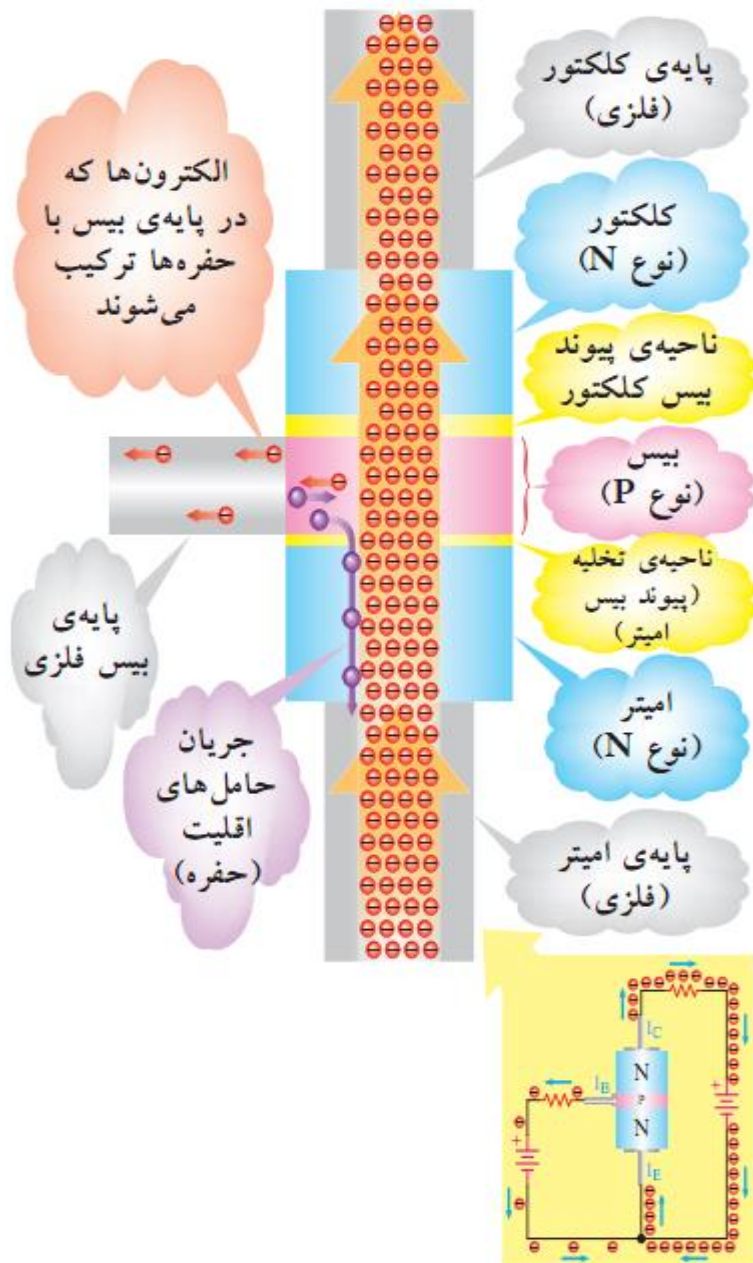
که از کلکتور عبور می کند با حرف I_C ، جریانی که از بیس عبور می کند با حرف I_B و جریانی که از امیتر عبور

می کند با حرف I_E نشان داده می شود. همان طوری که در شکل ۱۳-۵ نشان داده شده است، جریانی که از امیتر عبور می کند، به دو انشعاب تقسیم می شود. قسمت بسیار کمی از جریان از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می کند. لذا جریان امیتر برابر است با جریان بیس به علاوه ی جریان کلکتور، یعنی:

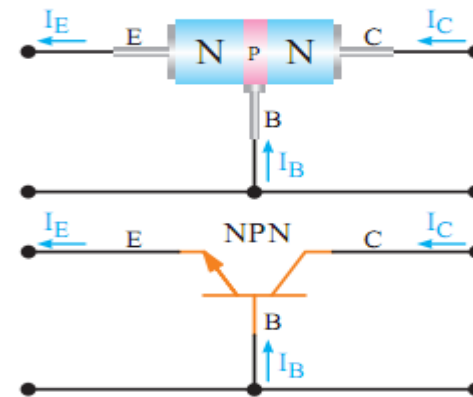
$$I_E = I_B + I_C$$

برای سادگی و درک جهت جریان، معمولاً جهت قراردادی را در نظر می گیرند. در جهت قراردادی، جریان از قطب مثبت باتری یا منبع تغذیه خارج و پس از عبور از مدار خارجی، به قطب منفی آن وارد می شود. در شکل های ۱۴-۵ و ۱۵-۵، جهت قراردادی جریان در ترانزیستورهای PNP و NPN نشان داده شده است. جهت جریان قراردادی، همیشه با جهت دیود بیس - امیتر مطابقت دارد.

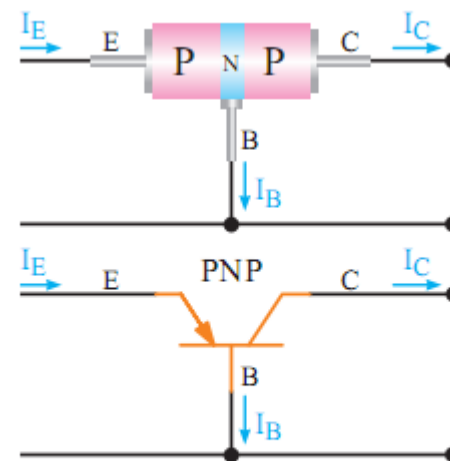
همان طوری که در شکل ها دیده می شود، رابطه ی
 $I_E = I_C + I_B$ برای هر دو نوع ترانزیستور صادق است.



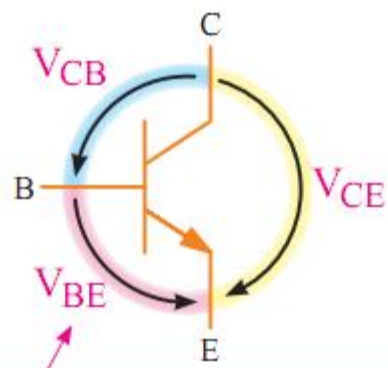
شکل ۱۳-۵ جهت جریان ها



شکل ۱۴-۵ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN



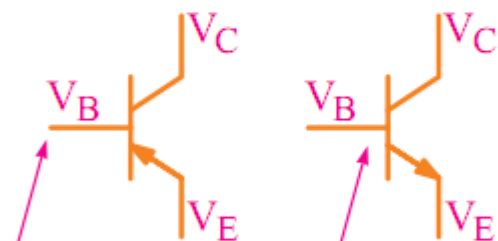
شکل ۱۵-۵ جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP



V_{BE} یعنی ولتاژ بیس، نسبت به امیتر

شکل ۵-۱۶ نام گذاری ولتاژ بین پایه‌ها

ولتاژ هر پایه، را نسبت به زمین یا نسبت به هر مرجع دیگری، با حرف V و نام پایه مورد نظر نشان می‌دهند. مثلاً V_C پتانسیل (ولتاژ) پایه‌ی کلکتور نسبت به زمین است. در شکل ۵-۱۷، ولتاژ نقاط مختلف یک ترانزیستور نسبت به زمین، نشان داده شده است.



V_B یعنی ولتاژ بیس نسبت به زمین

شکل ۵-۱۷ ولتاژ هر پایه‌ی ترانزیستور نسبت به زمین

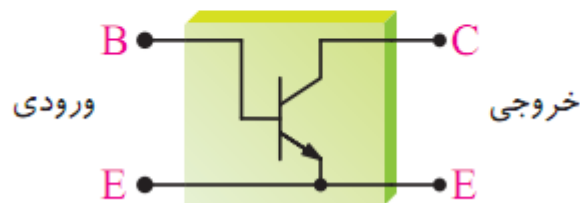
۴-۶-۵ نام گذاری ولتاژهای ترانزیستور: برای

این که بتوان از ترانزیستور به عنوان تقویت کننده‌ی سیگنال‌های الکتریکی یا ... استفاده نمود، باید ترانزیستور را با ولتاژ dc تغذیه کرد. در هر حالت، ولتاژهایی که به قسمت‌های مختلف ترانزیستور اعمال می‌شوند، با هم فرق می‌کنند در این قسمت به نام گذاری ولتاژ قسمت‌های مختلف می‌پردازیم.

ولتاژی که بین پایه‌های بیس و امیتر قرار می‌گیرد با V_{BE} ، ولتاژی که در قسمت کلکتور-بیس قرار می‌گیرد با V_{CB} ، ولتاژی که بین کلکتور-امیتر وصل می‌شود با V_{CE} ، ولتاژ منبع تغذیه‌ی کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می‌کند با V_{BB} نشان داده می‌شوند. شکل ۵-۱۶، ولتاژهای قسمت‌های مختلف ترانزیستور را نشان می‌دهد. بین ولتاژهای ترانزیستور، رابطه‌ی $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$ برقرار است.

۵-۷ آرایش‌های ترانزیستور

مدار را نسبت به آن اندازه می‌گیرند. شکل ۵-۱۸ آرایش امیتر مشترک را بدون رسم سایر المان‌های مورد نیاز، نشان می‌دهد. آرایش امیتر مشترک، در مدارات کاربرد بیش‌تری دارد.



شکل ۵-۱۸ آرایش امیتر مشترک (CE)

آرایش ترانزیستور در مدار، به سه صورت امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک است. در این جا به بررسی مختصر هر آرایش و سبب نام‌گذاری آن‌ها می‌پردازیم.

۵-۷-۱ پایه‌ی مشترک در ترانزیستور:

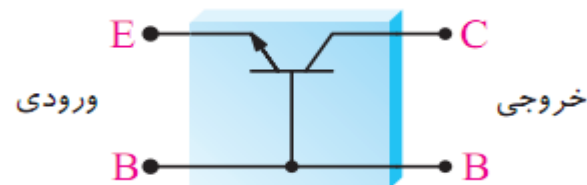
ترانزیستور، همیشه سیگنال ورودی به دو پایه از سه پایه‌ی ترانزیستور داده می‌شود و سیگنال خروجی از دو پایه‌ی آن گرفته می‌شود؛ به طوری که یکی از پایه‌ها بین ورودی و خروجی، مشترک است. لذا، با توجه به پایه‌ی مشترک، نام آرایش انتخاب می‌شود.

۵-۷-۲ آرایش امیتر مشترک (Common Emitter):

در این آرایش پایه‌ی امیتر، بین ورودی و خروجی مدار مشترک است. و سبب نام‌گذاری این آرایش نیز به دلیل مشترک بودن پایه‌ی امیتر است. در هر آرایشی پایه‌ی مشترک را مبنا قرار می‌دهند و ولتاژهای نقاط مختلف

۳-۷-۵ آرایش بیس مشترک (Common Base):

در این آرایش، چون پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. آرایش آن را نیز بیس مشترک نامیده‌اند. شکل ۱۹-۵، این آرایش را به طور ساده نشان می‌دهد.

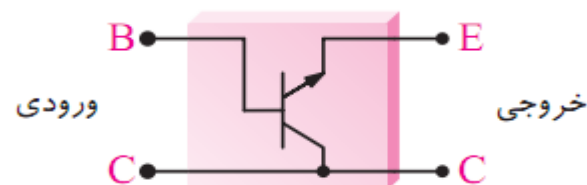


شکل ۱۹-۵ آرایش بیس مشترک (CB)

۴-۷-۵ آرایش کلکتور مشترک:

(Common Collector)

پایه‌ی مشترک بین ورودی و خروجی، در این آرایش، کلکتور است و به دلیل مشترک بودن پایه‌ی کلکتور نیز به آن کلکتور مشترک می‌گویند. شکل ۲۰-۵، آرایش کلکتور مشترک را نشان می‌دهد. این آرایش را امیتر فالور (Emitter Follower) نیز می‌گویند.



شکل ۲۰-۵ آرایش کلکتور مشترک (CC)

روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آن‌ها در ترانزیستور و هم چنین ضریب تقویت به عامل‌هایی چون درجه‌ی حرارت، فرکانس و غیر خطی بودن المان‌ها بستگی دارد (منظور از غیر خطی بودن، این است که نسبت تغییرات جریان‌ها و ولتاژها تابع یک معادله‌ی خطی ریاضی نیست). لذا، معمولاً از طریق ریاضی نمی‌توان مقادیر را به درستی تعیین کرد. برای به دست آوردن این رابطه‌ها از منحنی‌هایی، که بیان‌کننده‌ی روابط بین جریان‌ها و ولتاژها (با توجه به آرایش ترانزیستور) است استفاده می‌شود. این منحنی‌ها عبارت‌اند از:

الف) منحنی مشخصه‌ی ورودی

ب) منحنی مشخصه‌ی انتقالی

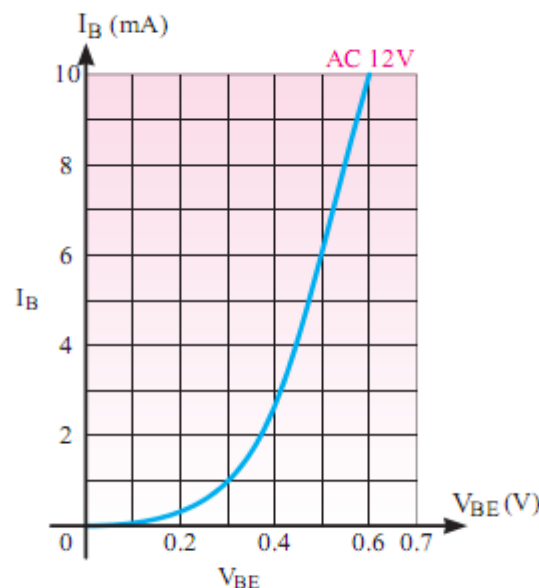
ج) منحنی مشخصه‌ی خروجی

در یک ترانزیستور، منحنی‌های مشخصه‌ی دیگری نیز وجود دارند که بعداً مورد بحث قرار می‌گیرند. در ادامه‌ی بحث، راجع به هر یک از سه منحنی ذکر شده در

آرایش امیتر مشترک توضیحاتی داده خواهد شد.

۵-۹-۱ منحنی مشخصه‌ی ورودی: منحنی

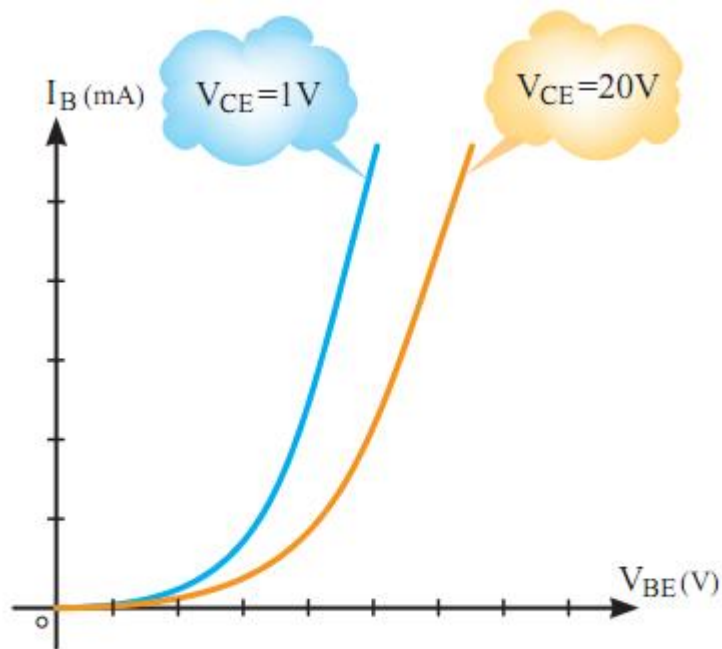
مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور، بیان‌کننده‌ی مقدار جریان ورودی، برحسب ولتاژ ورودی است. همان‌طوری که مدار ورودی شبیه یک دیود است منحنی مشخصه‌ی آن نیز شبیه منحنی مشخصه‌ی ولت-آمپر دیود معمولی است. شکل ۵-۲۳، منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور AC ۱۲۷ را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۳ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور

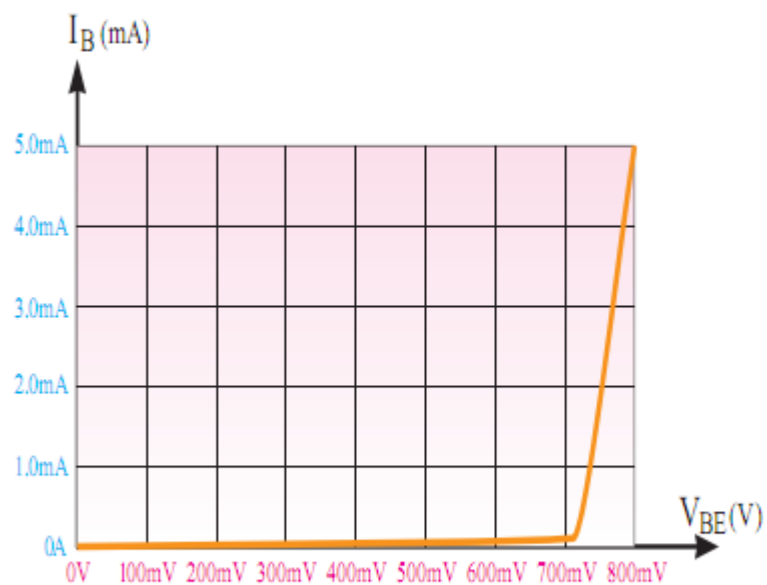
این ترانزیستور از جنس ژرمانیم است، به همین دلیل، جریان بیس آن نیز نسبتاً زیاد است.

باید توجه داشت که منحنی مشخصه‌ی ورودی به ازای یک ولتاژ معین V_{CE} رسم می‌شود. اگر V_{CE} تغییر کند، منحنی نیز کمی تغییر می‌کند. البته این تغییرات بسیار جزئی است و در اکثر موارد می‌توان از آن صرف نظر کرد. مقدار ولتاژ V_{CE} را، که به ازای آن منحنی مشخصه‌ی ورودی رسم شده است، کارخانه سازنده مشخص می‌نماید. در شکل ۵-۲۴، منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور به ازای $V_{CE} = 1V$ و $V_{CE} = 20V$ نشان داده شده است.



شکل ۵-۲۴ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور به ازای مقادیر مختلف V_{CE}

در شکل ۲۵-۵، منحنی مشخصه ورودی ترانزیستوری از جنس سیلیسیم رسم شده است.

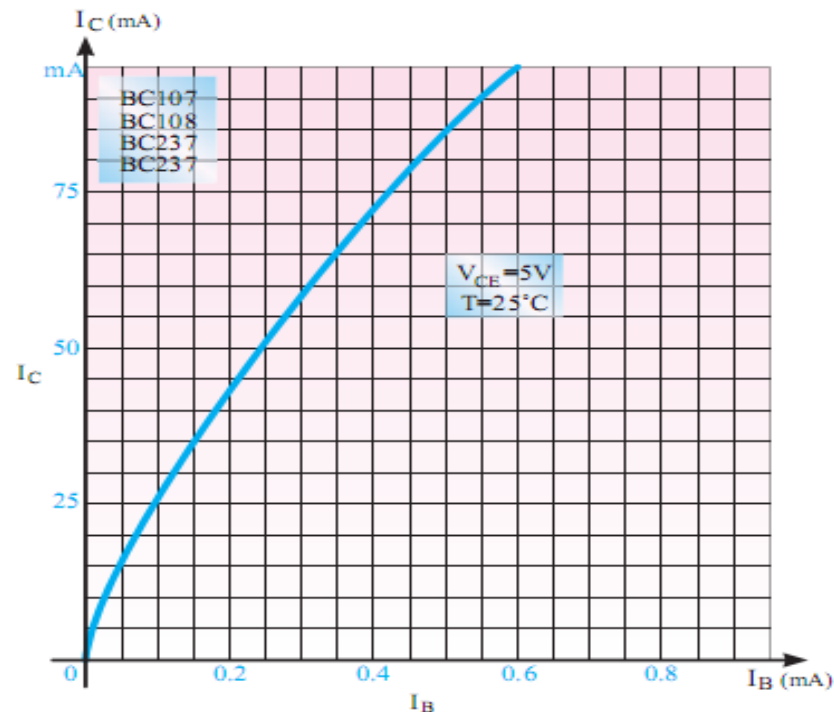


شکل ۲۵-۵ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور از جنس سیلیسیم

۲-۹-۵ منحنی مشخصه‌ی انتقالی: منحنی مشخصه‌ی

انتقالی، رابطه‌ی بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می‌دهد، شکل ۲۶-۵، منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور BC۱۰۷ را به ازای $V_{CE} = 5V$ نشان می‌دهد.

چون ضریب تقویت جریان، برابر نسبت جریان خروجی به جریان ورودی است، لذا از این منحنی می‌توان ضریب تقویت جریان را به دست آورد. ضریب تقویت جریان را با β نشان می‌دهند. مقدار β بستگی به مشخصات فیزیکی و ساخت ترانزیستور دارد.



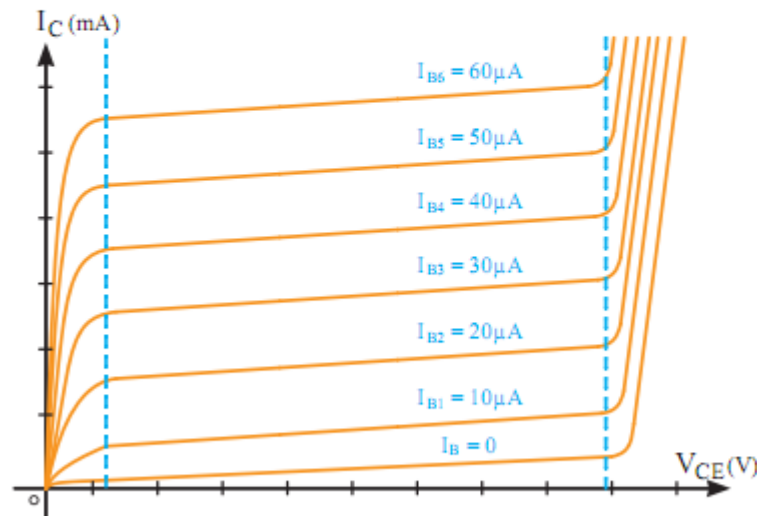
شکل ۲۶-۵ منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور

$$\beta_{DC} = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}} = \frac{I_C}{I_B} = \text{بهره جریان}$$

۳-۹-۵ منحنی مشخصه‌ی خروجی: منحنی

مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور، رابطه‌ی بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معین را نشان می‌دهد. اگر تقویت کننده امپتر مشترک باشد (تقویت کننده‌ی امپتر مشترک بعداً توضیح داده خواهد شد) جریان ورودی I_B ، جریان خروجی I_C و ولتاژ خروجی V_{CE} خواهد بود.

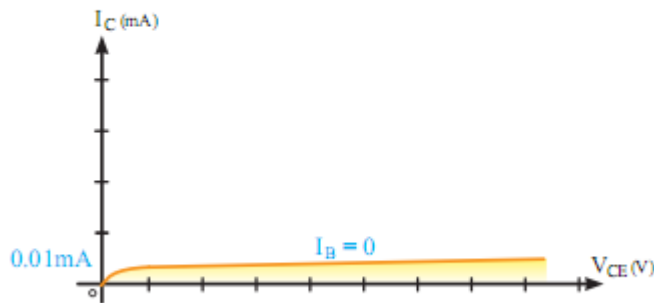
(تقریباً تمام کارخانه‌های سازنده‌ی ترانزیستور، منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور را در حالت امپتر مشترک ارائه می‌دهند.) شکل ۲۷-۵، منحنی مشخصه‌های خروجی ترانزیستور را به ازای جریان‌های I_B ثابت، نشان می‌دهد.



شکل ۲۷-۵ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

مقدار جریان خروجی I_C 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 می‌شود. این مطلب در مورد V_{CE} نیز صادق است، لیکن تأثیر تغییرات V_{CE} بر I_C ناچیز و در مواردی غیر قابل توجه است. از طرفی جریان I_B هم به V_{BE} بستگی دارد. منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور، شامل سه ناحیه‌ی قطع، فعال و اشباع است.

شکل ۲۸-۵ ناحیه‌ی قطع را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی نشان می‌دهد.



شکل ۲۸-۵ ناحیه‌ی قطع ترانزیستور

الف) ناحیه‌ی قطع (Cut off): ناحیه‌ای است که جریان بیس، صفر و ترانزیستور هنوز به آستانه‌ی هدایت نرسیده است. لذا دارای مشخصات زیر است:

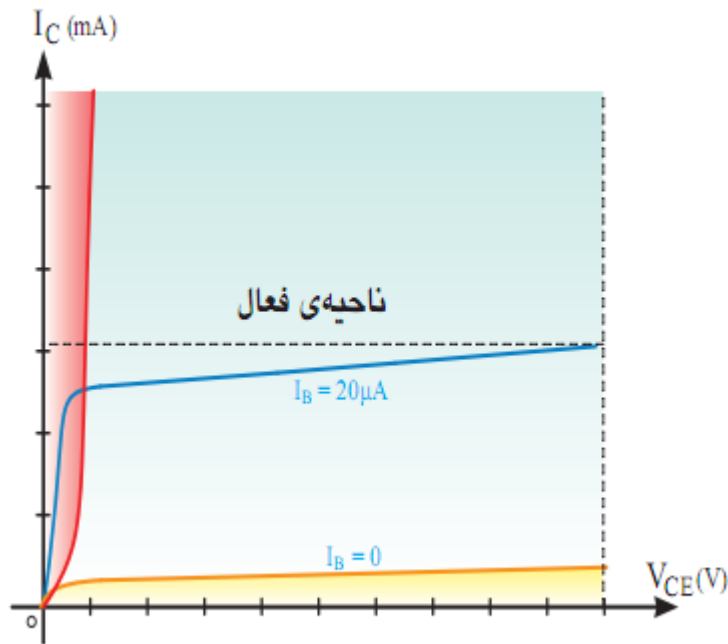
ناحیه‌ی قطع	$I_B = 0$
	$I_C = 0$
	$V_{CE} \approx V_{CC}$

ب) ناحیه‌ی فعال (Active): در این ناحیه،

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

ناحیه‌ی فعال	$I_B \neq 0$
	$I_C \neq 0$
	$V_{CE} \neq 0$

شکل ۵-۲۹، ناحیه‌ی فعال را در روی منحنی مشخصه نشان می‌دهد.



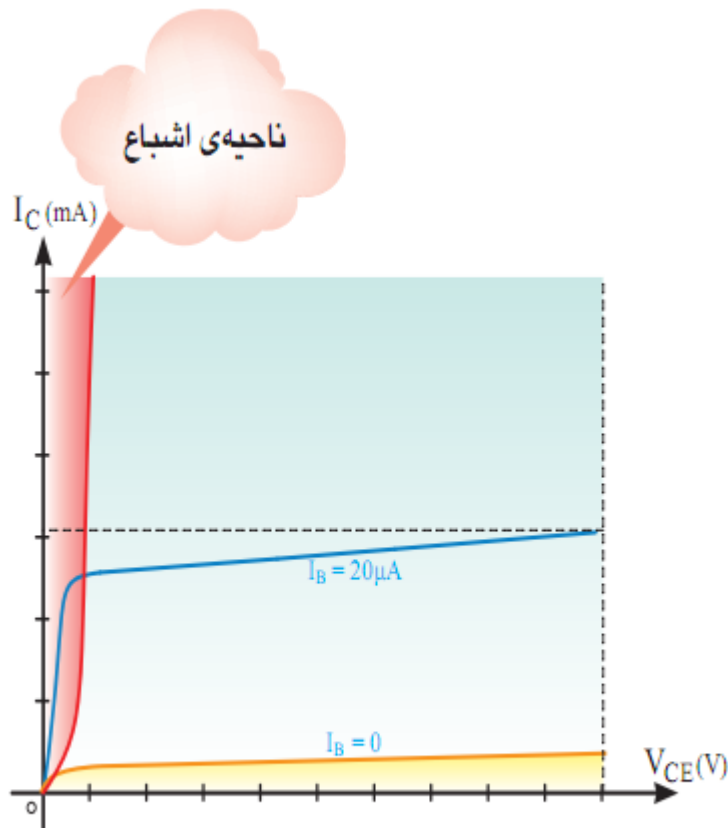
شکل ۵-۲۹ ناحیه‌ی فعال روی منحنی مشخصه خروجی

ج) ناحیه‌ی اشباع (Saturation): ناحیه‌ای

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

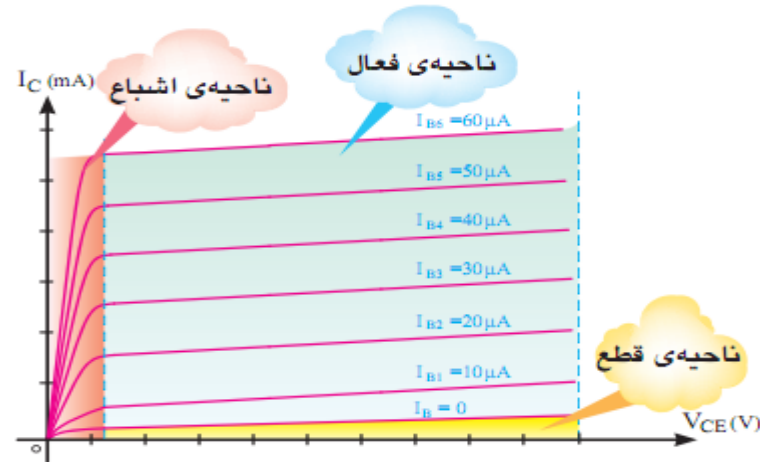
ناحیه‌ی اشباع	$I_B \neq 0$	تقریباً حداکثر
	$I_C \neq 0$	تقریباً حداکثر
	$V_{CE} \neq 0$	تقریباً حداقل
	$V_{CE} \cong 0/2V$	

در شکل ۳۰-۵ ناحیه‌ی اشباع روی منحنی مشخصه، خروجی نشان داده شده است.



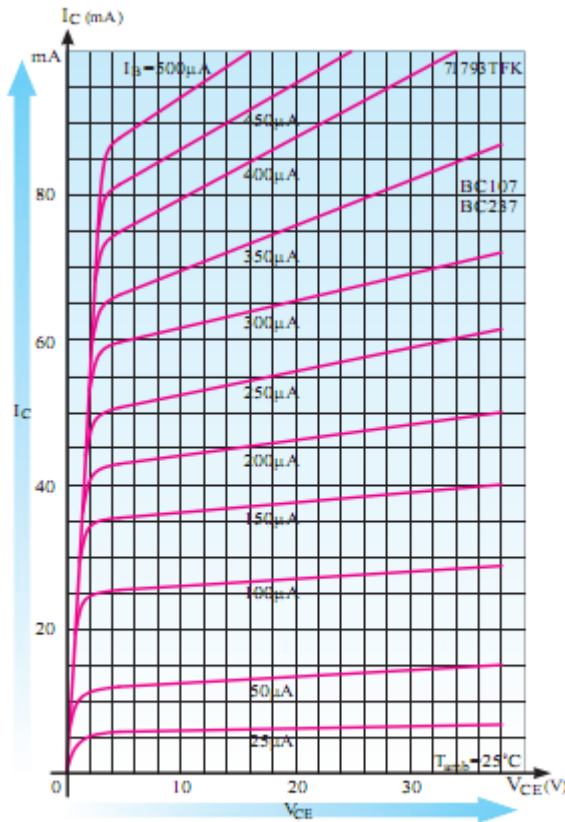
شکل ۳۰-۵ ناحیه‌ی اشباع در منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

در شکل (۵-۳۱) منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور را، که سه ناحیه‌ی کار ترانزیستور روی آن مشخص شده است مشاهده می‌کنید.



شکل ۵-۳۱ منحنی مشخصه‌ی خروجی و سه ناحیه‌ی کار

کارخانه‌های سازنده قطعات الکترونیکی، معمولاً منحنی مشخصه‌ی خروجی را به ازای چندین مقدار I_B در اختیار مصرف کنندگان قرار می‌دهند. شکل ۵-۳۲ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور BC ۱۰۷ را به ازای چندین I_B مختلف نشان می‌دهد. ترانزیستور BC ۱۰۷ یک ترانزیستور معمولی و برای کاربرد عمومی است که به سادگی می‌توان سایر ترانزیستورها را جایگزین آن کرد.



شکل ۵-۳۲ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور BC ۱۰۷

✓ مولفه های جریان *Bjt* در بایاس *Active*

ابتدا به معرفی مولفه جریان ها پرداخته و سپس شکل مربوطه را ترسیم می کنیم .

جریان ناشی از حفره های امیتر I_{PE}

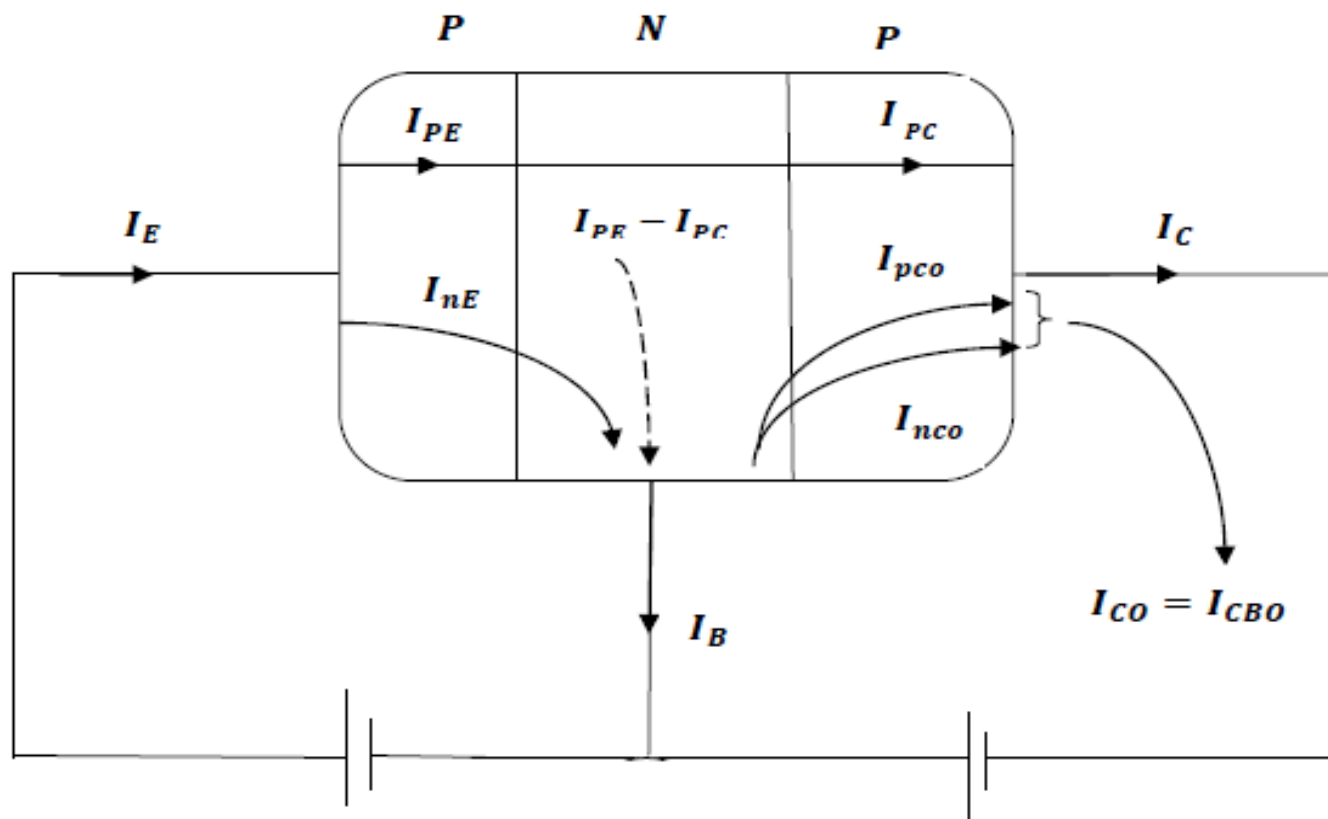
جریان ناشی از حفره های تزریق شده امیتر که از *Base* گذشته و به *Collector* رسیده I_{PC}

جریان ناشی از حرکت الکترون های *Base* به سمت *Emitter* I_{nE}

جریان ناشی از حرکت حفره های *Base* I_{PCO}

جریان ناشی از حرکت الکترون های *collector* I_{nco}

به شکل زیر توجه کنید :



$$I_E = I_{nE} + I_{PE} \Rightarrow I_E \cong I_{PE}$$

با توجه به اینکه چگالی حفره ها در امیتر بیش تر از چگالی الکترونهای آن در بیس می باشد پس در نتیجه از I_{nE} در مقابل I_{pE} می توان چشم پوشی کرد .

$$I_C = I_{PC} + I_{CO} = \alpha I_E + I_{CO}$$

$$\alpha^* = \frac{I_{PC}}{I_{PE}} \cong 1 \text{ \& } < 1 \quad \text{Base} : \text{ ضریب انتقال } PC \text{ که دارد } PE$$

$$\gamma = \frac{I_{PE}}{I_E} \quad \text{بازده تزریق}$$

$$\alpha = \frac{I_{PC}}{I_E} = (\alpha^*) \times \gamma = \frac{I_{PC}}{I_{PE}} \times \frac{I_{PE}}{I_E} \cong 1 \text{ \& } < 1 \quad \text{نسبتی از جریان امیتر که به کلکتور رسیده است}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_C = \alpha I_E + I_{CO} \\ I_E = I_B + I_C \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_C = \alpha I_B + \alpha I_C + I_{CO} \\ I_C - \alpha I_C = \alpha I_B + I_{CO} \end{array} \right. \Rightarrow$$

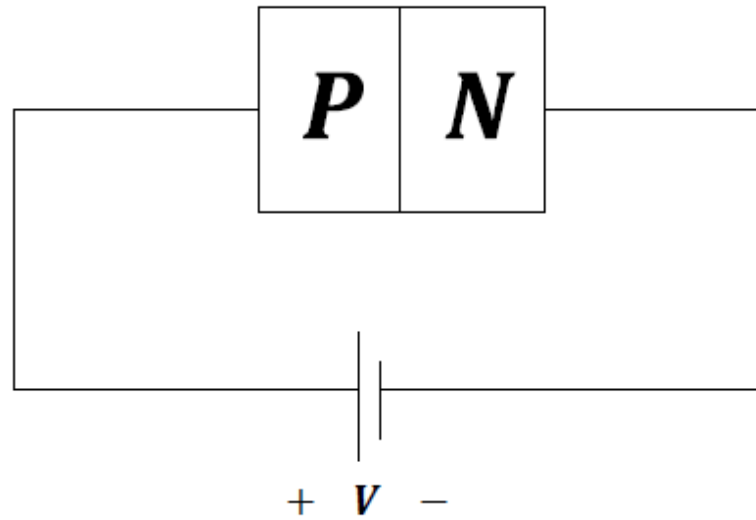
$$\Rightarrow \begin{cases} I_C = \frac{\alpha I_B + I_{CO}}{1-\alpha} \\ I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CO} \end{cases} \Rightarrow \text{بهره جریان} = \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \& \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CO} \quad \text{در ناحیه فعال داریم}$$

به کمک تقریب خواهیم داشت :

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

✓ روابط عمومی برای جریان کلکتور :



$$\left\{ \begin{array}{l} I = I_S \left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right) = I_{CO} \left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right) \\ \\ V > 0 \Rightarrow I = I_S \left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} \right) \\ \\ V < 0 \Rightarrow I = -I_S \end{array} \right.$$

$$I_C = \alpha I_E - I_{CO} \left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

$$V_C : \Rightarrow \begin{cases} (forward) : NPN \Rightarrow V_C = V_{CB} \\ (Reverse) : PNP \Rightarrow V_C = -V_{CB} \end{cases}$$

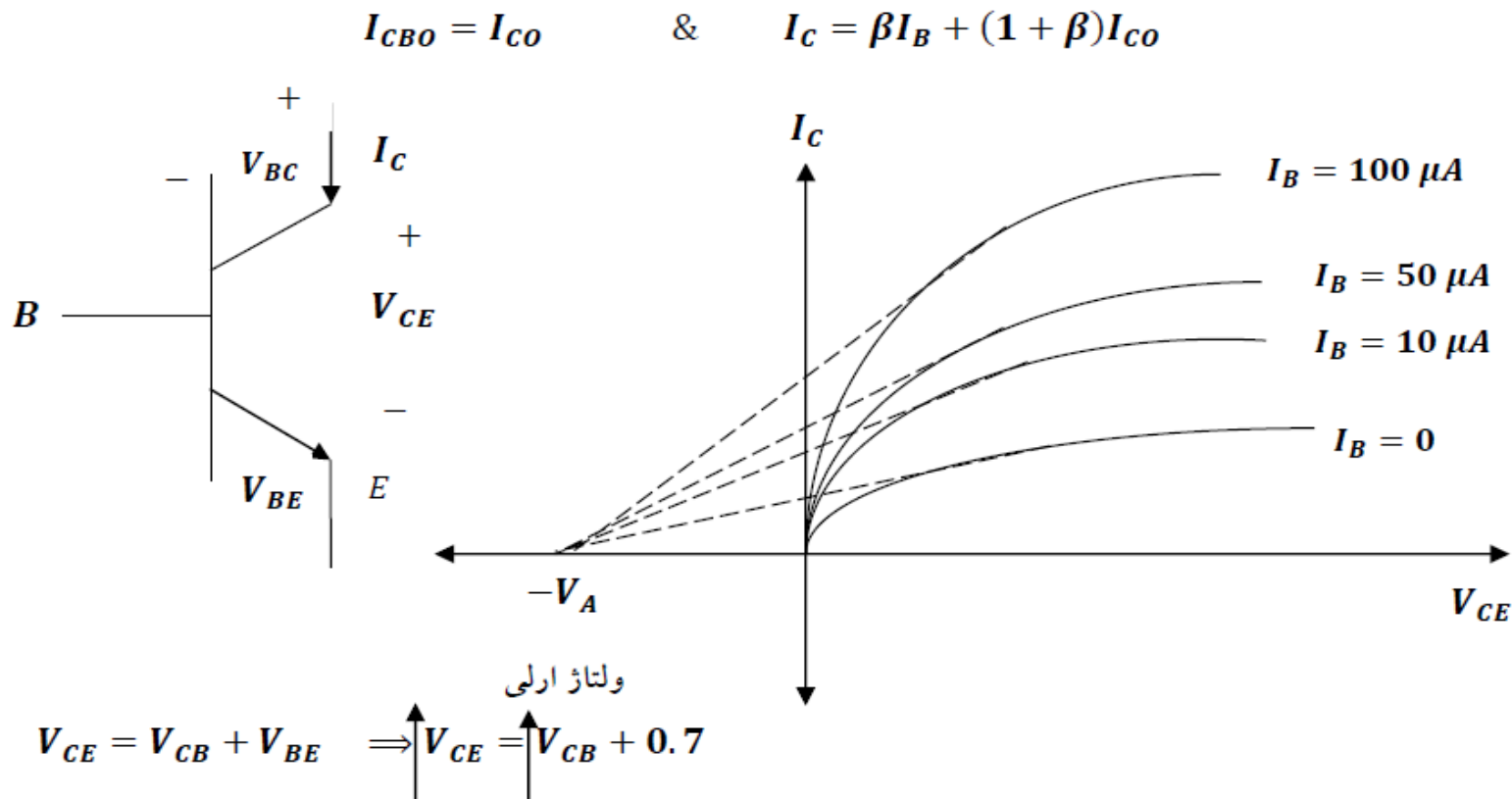
$$V_C > 0 \Rightarrow Forward \Rightarrow I_C = \alpha I_E = -I_{CO} e^{\frac{V_C}{\eta V_T}} \Rightarrow \text{ناحيه اشباع}$$

$$V_C < 0 \Rightarrow Reverse \Rightarrow I_C = \alpha I_E + I_{CO} \Rightarrow \text{ناحيه فعال}$$

$$**** I_C(Sat) < I_C(Active) ****$$

$$\text{ناحيه فعال} \Rightarrow I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CO} \Rightarrow \begin{cases} I_C \cong \beta I_B \Rightarrow I_C(sat) < \beta I_B \\ \beta' = \frac{I_C(Sat)}{I_B} \Rightarrow \beta' < \beta \end{cases}$$

✓ اثر ارلی (Early Effect)



اثر ارلی (Early effect) که توسط یک مهندس آمریکایی به نام James M. Early کشف شد، بیان می‌کند که **عرض لایه بیس** در یک ترانزیستور دو قطبی، متناسب با تغییرات **ولتاژ معکوس بیس-کلکتور** تغییر می‌کند. هر چقدر که ولتاژ معکوس بیس-کلکتور زیاد باشد، عرض لایه سد مابین بیس و کلکتور بیشتر شده و در نتیجه عرض لایه بیس کمتر می‌شود. به این پدیده مدولاسیون پهنای بیس نیز گفته می‌شود. درواقع عرض مؤثر بیس کم می‌شود نه عرض واقعی آن، بر این مبنا، این وضعیت مدولاسیون پهنای بیس نام دارد، یعنی اینکه حامل‌های جریان، عرض واقعی بیس را مدوله کرده و به کلکتور می‌رسند.

به جدول زیر توجه کنید :

ماده مورد نظر (عنصر)	مرز قطع و فعال V_{BE}	<i>Active</i> $V_{BE}(on)$	مرز فعال و اشباع $V_{BE}(sat)$	مرز فعال و اشباع $V_{CE}(Sat)$
<i>Si</i>	0.5	0.7	0.8	0.2
<i>Ge</i>	0.1	0.2	0.3	0.1

۲۴-۵ نام گذاری ترانزیستورها

برای نام گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. گرچه تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از سیستم نام گذاری خاصی استفاده می نمایند. آن سه روش، عبارتند از:

- نام گذاری به روش ژاپنی
- نام گذاری به روش اروپایی
- نام گذاری به روش آمریکایی

شکل ۵-۸۵ نموداری از نام گذاری ها را نشان می دهد.



شکل ۵-۸۵ روش های نام گذاری ترانزیستورها

اینک نام گذاری هر یک از سه روش فوق توضیح

داده خواهد شد.

۱-۲۴-۵ نام‌گذاری به روش ژاپنی: در این سیستم،

نام‌گذاری ترانزیستور را با عدد ۲ شروع می‌کنند و به دنبال آن حرف S را می‌آورند. بعد از حرف و عدد S ۲، یکی از چهار حرف A، B، C و D را قرار می‌دهند که هر یک مفاهیمی به شرح زیر دارند:

۱- حرف A نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.
(High Frequency = HF)

۲- حرف B نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع PNP است در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.
(Low Frequency = LF)

۳- حرف C نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع NPN است. در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.

۴- حرف D نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع NPN

است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.

بعد از این حروف تعداد ۲ یا ۳ یا ۴ رقم عدد قرار می‌گیرد که با مراجعه‌ی به جدول، می‌توان مقادیر مشخصه‌های الکتریکی آن را به دست آورد. در این سیستم، حروف روی ترانزیستور، مشخص‌کننده‌ی جنس نیمه هادی به کار رفته (ژرمانیم یا سیلیسیم) و هم‌چنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً المان سه پایه به شماری ۲SC۸۲۹ نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع NPN با محدوده‌ی فرکانسی بالاست. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً C۸۲۹ همان ۲SC۸۲۹ است. (شکل ۸۶-۵)



شکل ۸۶-۵ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی

۲-۲۴-۵ نام گذاری به روش اروپایی: در نام گذاری

روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰، ترانزیستور را با حرف OC و OD و با دو، سه یا چهار عدد به دنبال آن مشخص می کردند، که OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای قدرت به کار می رفت. (مانند OC۷۲)، در این روش نام گذاری، نوع ترانزیستور (PNP - NPN) یا جنس نیمه هادی به کار رفته یا محدوده‌ی فرکانسی آن مشخص نبود.

از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیش تر با دو حرف و سه شماره، و ترانزیستورهای خاص، با سه حرف و دو شماره مشخص می شوند. مانند ترانزیستور شماره‌ی BUX۳۸، که این ترانزیستور در فرکانس‌های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می شود. در این مبحث روش نام گذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد. (شکل ۸۷-۵)

کار می‌رود.

U: ترانزیستور قدرت، به صورت سویچ به کار

می‌رود.

سه شماره بعد، نشان دهنده‌ی سری ترانزیستور است، که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات، می‌توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را به دست آورد. برای مثال مشخصات ظاهری ترانزیستور BC۱۰۷ به این شرح است:



مشخصات الکتریکی را، با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوط، به دست می‌آورند. مثلاً مشخصات ظاهری ترانزیستور BF۴۸۰، ترانزیستور کم قدرت بوده، و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد (1 GHz) نیز می‌تواند کار کند. در این سیستم نام گذاری نوع ترانزیستور (NPN-PNP) از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست.



شکل ۸۷-۵ نام گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی

حرف اول در این روش، نشان دهنده‌ی جنس نیمه هادی است که اگر از ژرمانیم باشد آن را با حرف A و اگر سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند. حروف دوم را از حروف C، D، F، L، S یا U استفاده می‌نمایند که معانی هر یک از این حروف به شرح زیر است.

C: ترانزیستور کم قدرت - فرکانس کار کم.

D: ترانزیستور قدرت - فرکانس کار کم.

F: ترانزیستور کم قدرت - فرکانس کار زیاد.

L: ترانزیستور قدرت - فرکانس کار زیاد.

S: ترانزیستور کم قدرت که به صورت سویچ به

۳-۲۴-۵ نام گذاری به روش آمریکایی: در این

روش نام گذاری، ترانزیستور و المان های سه قطبی را با حرف و عدد $2N$ مشخص می کنند و تعدادی رقم را برای شماره ی سری به دنبال آن می آورند. حرف N و عدد 2 فقط المان های سه قطبی را از المان های دو قطبی (مانند دیود) مشخص می سازد. با توجه به شماره های بعدی که

به دنبال آن می آورند و با توجه به جدول مشخصات المان ها، نوع المان و هم چنین مشخصات الکتریکی آن ها را باید به دست آورد. برای مثال:



$2N3055 =$ ترانزیستور قدرت (NPN)

که در فرکانس های کم کار می کند.

$2N2646 =$ ترانزیستور تک اتصال (UJT)

$2N1842 =$ تریستور

$2N6139 =$ تریاک

۲۵-۵ مقادیر حد در ترانزیستورها

هر المان نیمه هادی، از جمله ترانزیستور برای مقادیر الکتریکی مشخصی ساخته می‌شود. مثلاً هر ترانزیستور را برای تحمل توان مشخصی می‌سازند. اگر مقادیر الکتریکی را بیش از آن چه که کارخانه‌ی سازنده مشخص کرده است، به ترانزیستور اعمال کنیم، ترانزیستور معیوب می‌شود. این مقادیر الکتریکی به مقادیر حد معروف‌اند. کارخانجات سازنده، مقدار حداکثر مجاز مقادیر الکتریکی را مشخص می‌کنند. این مقادیر عبارت‌اند از:

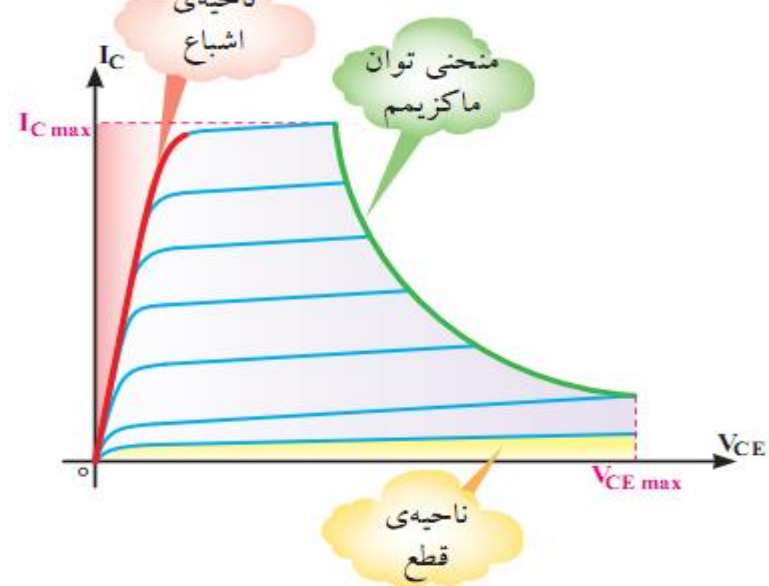
۱-۲۵-۵ حداکثر ولتاژ کلکتور - امیتر (V_{CEmax})،
این پارامتر، حداکثر ولتاژ مجاز بین پایه‌های کلکتور و امیتر را مشخص می‌کند.

۲-۲۵-۵ حداکثر جریان کلکتور (I_{Cmax})، حداکثر جریانی است که ترانزیستور می‌تواند در دمای مشخص شده از طرف کارخانه‌ی سازنده، تحمل کند.

۳-۲۵-۵ حداکثر توان (P_{max})، مقدار توانی است که در ترانزیستور به صورت حرارت تلف می‌شود.

۴-۲۵-۵ حداکثر درجه حرارت در محل پیوند (T_j)، حداکثر درجه‌ی حرارتی است که در محل اتصال کلکتور - بیس، ترانزیستور می‌تواند تحمل کند.

۵-۲۵-۵ فرکانس حد و فرکانس قطع - فرکانس حد (f_g)، مقدار فرکانسی است که β به ازای آن به اندازه $\frac{1}{\sqrt{2}}$ یا ۳dB از فرکانس ($^\circ$) هرتز کم‌تر می‌شود و فرکانس قطع (f_T) مقدار فرکانسی است که به ازای آن $\beta = 1$ می‌شود. در شکل ۵-۸۸ برای منحنی مشخصه‌ی خروجی مقادیر حد توان، جریان کلکتور و ولتاژ کلکتور - امیتر مشخص شده است.



شکل ۵-۸۸ مقادیر حد برای منحنی مشخصه خروجی
در شکل ۵-۸۹ مقادیر حد ترانزیستور را مشاهده
می کنید.



شکل ۵-۸۹ مقادیر حد در ترانزیستور

پایان جلسه نهم