

ترانزیستور BJT

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود:

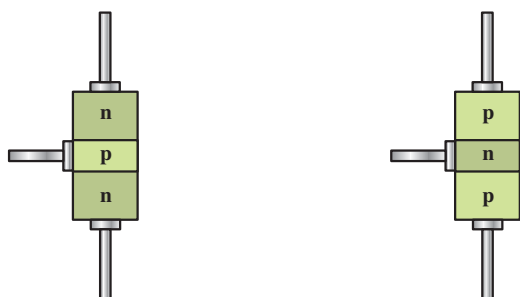
- ۱- اتصال سه گانه‌ی PNP و NPN را تعریف کند.
- ۲- بایاسینگ ترانزیستور را شرح دهد.
- ۳- وابستگی جریان کلکتور به جریان بیس را توضیح دهد.
- ۴- عمل کرد ترانزیستور به عنوان انتقال‌دهنده‌ی مقاومت را شرح دهد.
- ۵- کاربرد ترانزیستور در حالت قطع و اشباع را بیان نماید.
- ۶- مدارهای ساده ترانزیستوری را تحلیل کند.

۳-۱- ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی از سه کریستال نوع P و N تشکیل یافته است. ترتیب قرارگرفتن کریستال‌های P و N در کنارهم به صورت شکل ۳-۱ است.

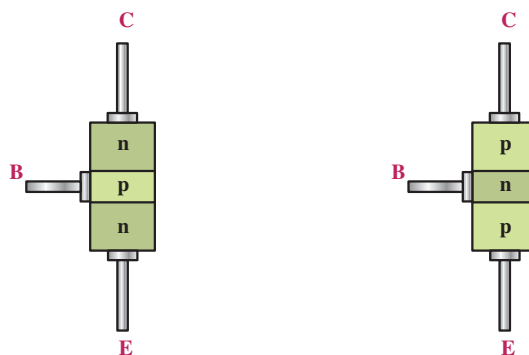
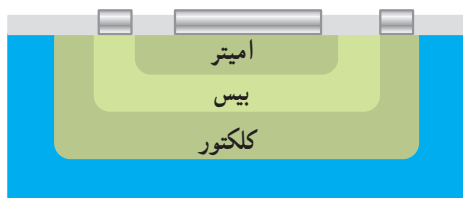
با توجه به شکل مشاهده می‌شود دو نوع ترانزیستور وجود دارد که به یکی «NPN» و دیگری «PNP» گفته می‌شود. سه پایه‌ی ترانزیستور نیز: «امیتر»^۱ یعنی منتشر کننده، «بیس»^۲ یعنی پایه و «کلکتور»^۳ یعنی جمع کننده نام گذاری شده‌اند.

شکل ۳-۲ پایه‌ها و طرز قرارگرفتن نیمه‌هادی‌ها را در



شکل ۳-۱

ساختمان ترانزیستور نشان می‌دهد.

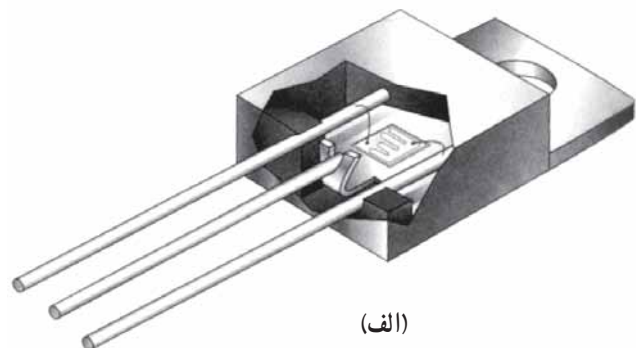
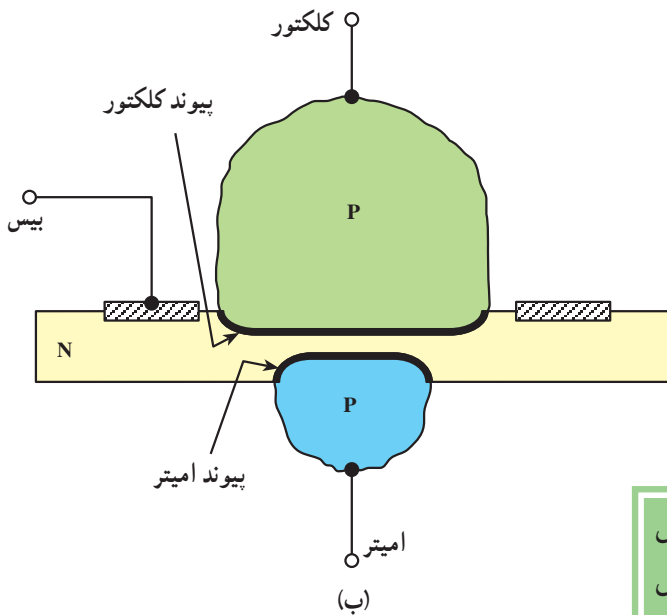


شکل ۳-۲

کریستال P یا N که به صورت «امیتر» به کار می‌رود نسبت به لایه‌ی «بیس» و «کلکتور» دارای ناخالصی بیش‌تر است. ضخامت لایه‌ی امیتر حدود ۲۰ تا ۲۰۰۰ میکرومتر است. لایه‌ی بیس نسبت به کلکتور و امیتر دارای ناخالصی و ضخامت بسیار کم‌تر است. ناخالصی لایه‌ی کلکتور از امیتر کم‌تر، اما از بیس به مراتب بیش‌تر است. ضخامت لایه‌ی کلکتور از امیتر بیش‌تر است، زیرا تمام تلفات حرارتی ترانزیستور در کلکتور ایجاد

می‌شود.

در شکل ۳-۳ نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور و نمونه‌ای از یک ترانزیستور ساخته شده نشان داده شده است. این نوع ترانزیستور به اختصار «BJT»^۱ نام دارد. کلمه‌ی «B» برگرفته از Bipolar به معنی «دوقطبی» به این منظور استفاده شده است که در ترانزیستور هر دو عامل الکترون‌ها و حفره‌ها در هدایت جریان نقش دارند.



ضخامت لایه‌ی کلکتور < ضخامت لایه‌ی امیتر < ضخامت لایه‌ی بیس
ناخالصی لایه‌ی امیتر < ناخالصی لایه‌ی کلکتور < ناخالصی لایه‌ی بیس

شکل ۳-۳

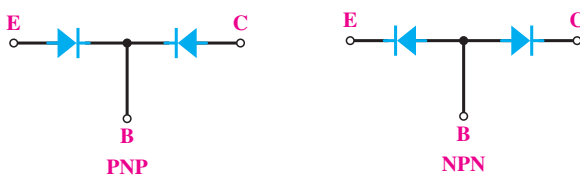
۳-۲- نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور

هر ترانزیستور دارای دو محل پیوند P-N است. در شکل

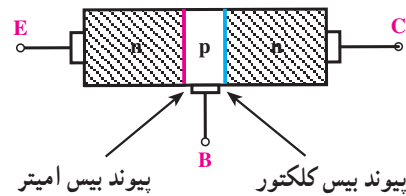
۳-۴ دو محل پیوند نشان داده شده است.

هر اتصال P-N معادل یک دیود بوده از این‌رو می‌توان

یک ترانزیستور را معادل دو دیود نشان داد. در شکل ۳-۵ معادل دیودی هر ترانزیستور نشان داده شده است.



شکل ۳-۵

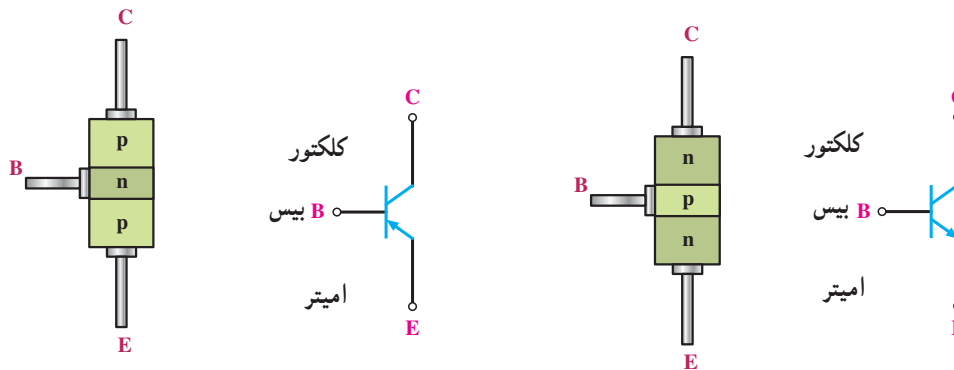


شکل ۳-۴

ترانزیستور پیوندی دوقطبی BJT = Bipolar Junction Transistor ۱-

نمای مداری ترانزیستورهای PNP و NPN در شکل ۳-۶

مشخص شده است.

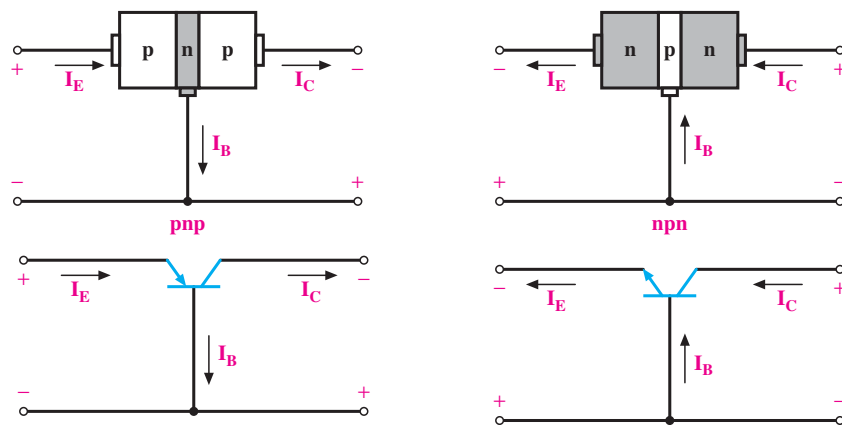


شکل ۳-۶

۳-۳- بایاس کردن ترانزیستور

برای این که بتوانیم از ترانزیستور به صورت تقویت کننده یا کلید و نظایر آن استفاده کنیم باید ابتدا ترانزیستور را با ولتاژ DC تغذیه کنیم. تغذیه نمودن پایه های ترانزیستور را بایاس کردن «ترانزیستور» گویند. برای بایاس کردن ترانزیستور به دو دیود

امیتریس و کلکتوریس ولتاژ DC اعمال می شود. چون ترانزیستور سه پایه دارد یکی از پایه ها را مشترک و دو پایه ی دیگر را یکی ورودی و دیگری خروجی در نظر می گیریم. در شکل ۳-۷ این حالت برای دو نوع ترانزیستور PNP و NPN نشان داده شده است.

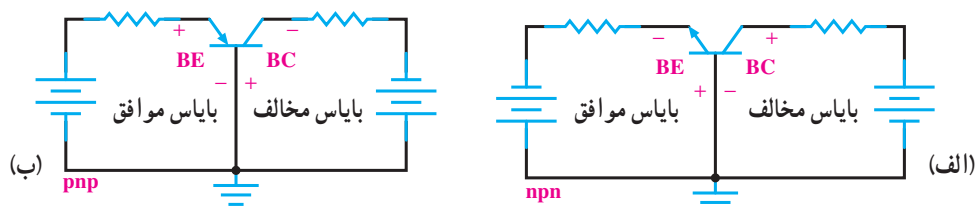


شکل ۳-۷

کلکتوریس در بایاس مخالف که در شکل ۳-۸ برای یک ترانزیستور PNP و NPN این حالت بایاس نشان داده شده است.

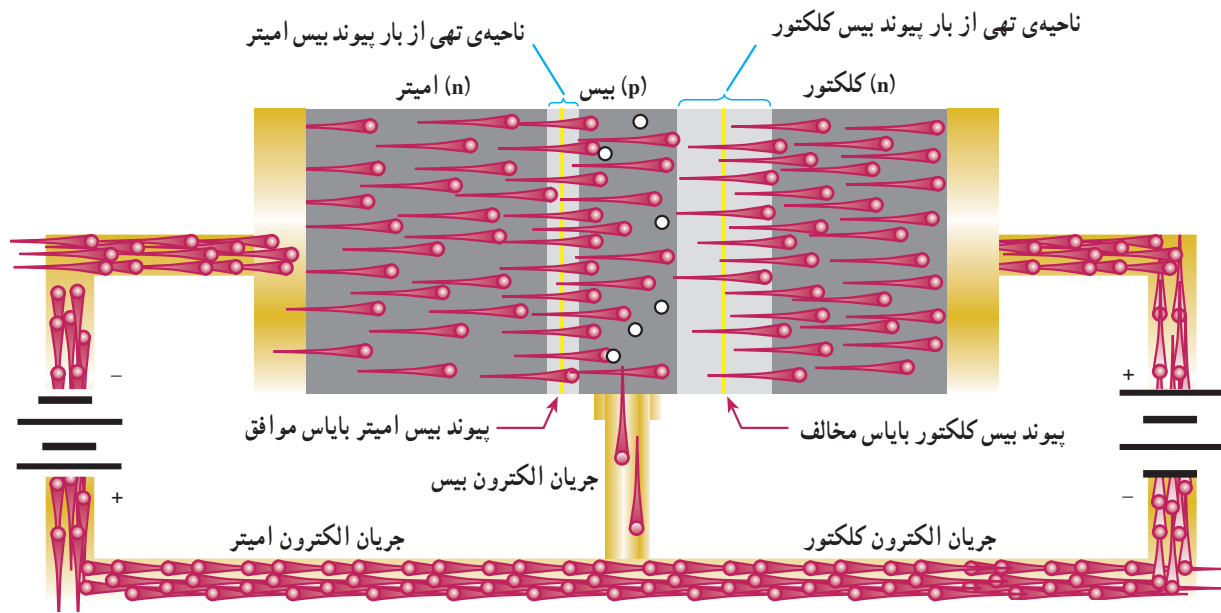
به سه حالت می توانیم به پایه های ترانزیستور ولتاژ اعمال کنیم.

حالت اول: دیود امیتریس در بایاس موافق و دیود



شکل ۳-۸

در شکل ۳-۹ نیز یک ترانزیستور NPN و این حالت بایاس روی کریستال‌های آن مشخص شده است.

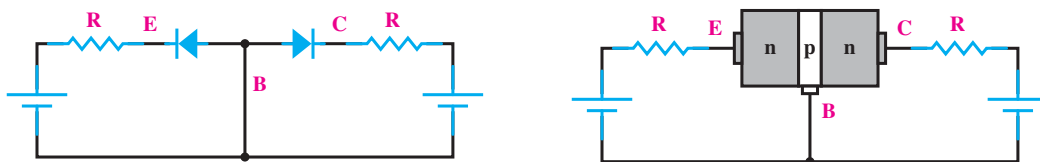


شکل ۳-۹

تحت نیروی جاذبه‌ی قطب مثبت باتری که به پایه‌ی کلکتور وصل است به کلکتور رسیده، جذب قطب مثبت باتری کلکتور می‌شوند. به‌طور خلاصه می‌توان بیان نمود: منبع ولتاژ وصل شده به بیس - امیتر، الکترون‌های امیتر را به بیس می‌راند، به‌علت باریک بودن لایه‌ی بیس و درصد ناخالصی کم آن کم‌تر از حدود ۵ درصد الکترون‌ها از بیس خارج می‌شوند و بیش از حدود ۹۵ درصد الکترون‌ها به منطقه‌ی کلکتور نفوذ کرده، جذب قطب مثبت منبع کلکتور می‌شوند و بدین ترتیب، جریان زیاد را در کلکتور ایجاد می‌کنند.

حالت دوم: اتصال بیس امیتر در بایاس مخالف و اتصال بیس کلکتور در بایاس مخالف است که در شکل ۳-۱۰ یک ترانزیستور NPN را در این حالت بایاس مشاهده می‌کنید.

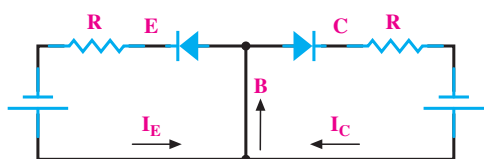
همان‌گونه که مشاهده می‌شود باتری‌ها اتصال P-N بین امیتر و بیس را در بایاس موافق و اتصال P-N بین کلکتور و بیس را در بایاس مخالف قرار می‌دهند. در اثر بایاس مخالف ناحیه‌ی تهی از بار اتصال P-N در کلکتور افزایش می‌یابد. الکترون‌های نیمه‌هادی نوع N در امیتر به وسیله‌ی قطب منفی باتری به سمت بیس رانده می‌شوند. چون لایه‌ی بیس دارای ناخالصی بسیار کم است و در ضمن ضخامت آن هم بسیار اندک است، تعداد کمی از الکترون‌ها با حفره‌ها در بیس ترکیب می‌شوند. این الکترون‌ها به گونه‌ی الکترون‌های ظرفیت، پایه‌ی بیس را ترک نموده، به قطب مثبت باتری می‌روند. به‌علت کم بودن درصد ناخالصی در بیس تعداد کمی از الکترون‌ها ممکن است با حفره‌های بیس ترکیب شوند. درصد زیادی از الکترون‌ها (تقریباً بیش از ۹۵ درصد آن‌ها)



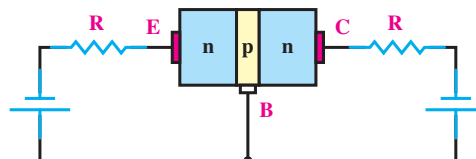
شکل ۳-۱۰

حالت سوم: اتصال بیس آمیتر در بایاس موافق و اتصال بیس کلکتور در بایاس موافق که در شکل ۳-۱۱ این حالت نشان داده شده است.

دو جریان I_E و I_C در پایه‌ی بیس با یکدیگر جمع می‌شوند و جریان زیادی را در بیس ایجاد می‌کنند (شکل ۳-۱۱).



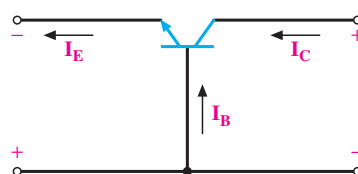
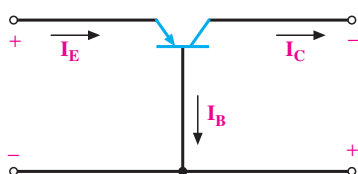
در این حالت چون هر دو محل پیوند P-N در بایاس معکوس قرار دارند و ناحیه‌ی تهی از بار دو محل پیوند زیاد است، حامل باری از آمیتر به سمت بیس و کلکتور حرکت نمی‌کند و در نتیجه، جریان آمیتر و کلکتور صفر خواهد بود (البته از عبور جریان اشباع معکوس ناشی از عبور حامل‌های اقلیت صرف‌نظر شده است).



شکل ۳-۱۱

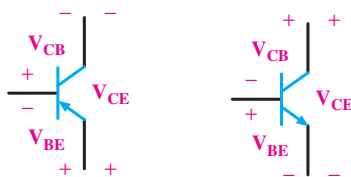
جریان بیس و جریان کلکتور است: یعنی $I_E = I_C + I_B$. در شکل ۳-۱۲ جهت جریان‌ها در ترانزیستور NPN و PNP مشخص گردیده است.

با توجه به شکل مشاهده می‌شود پیکان روی آمیتر معرف جهت قراردادی جریان است.



شکل ۳-۱۲

داده می‌شود؛ همچنین ولتاژ بین کلکتور آمیتر با V_{CE} و ولتاژ بین کلکتور - بیس با V_{CB} مشخص می‌گردد. در شکل ۳-۱۳ این افت ولتاژها برای یک ترانزیستور NPN و PNP نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۳

۳-۴- جریان‌ها در ترانزیستور

حامل‌های باری که از آمیتر حرکت می‌کنند مقدار ناچیزی از آن‌ها در بیس جریان بیس (I_B) را می‌سازند و بقیه‌ی حامل‌ها به کلکتور رسیده، جریان کلکتور (I_C) را تشکیل می‌دهند؛ از این‌رو، می‌توان بیان نمود: جریان آمیتر (I_E) برابر با مجموع

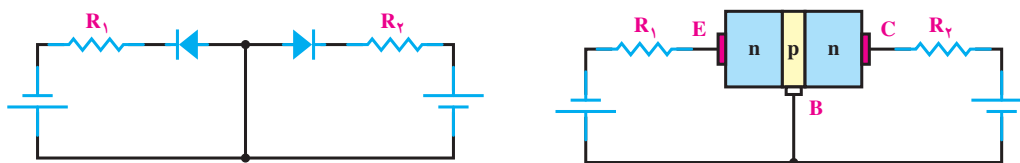
۳-۵- ولتاژها در ترانزیستور

اعمال ولتاژ DC به ترانزیستور برای بایاس نمودن آن، روی پایه‌های ترانزیستور افت ولتاژی ایجاد می‌کند. ولتاژی که بین پایه‌های بیس آمیتر ترانزیستور قرار می‌گیرد با V_{BE} نشان

۳-۶- چگونگی عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور

برای عمل تقویت در ترانزیستور ضروری است ابتدا ترانزیستور را از نظر DC بایاس کنیم؛ هم چنین لازم است دیود آمیتریس بایاس موافق و دیود کلکتور بیس بایاس مخالف شود.

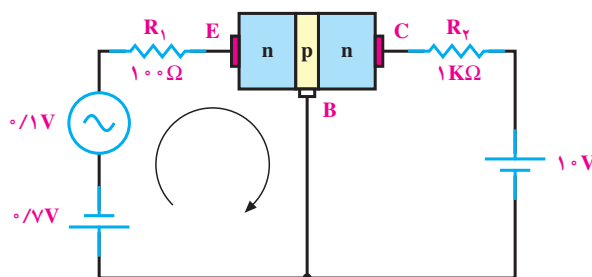
شکل ۳-۱۴ این حالت بایاس را نشان می دهد. برای کنترل جریان امیتر مقاومت R_1 با آمیتر سری شده است. مقاومت R_2 که با کلکتور سری شده است جریان کلکتور را کنترل می کند.



شکل ۳-۱۴

ورودی، امیتر و خروجی، کلکتور در نظر گرفته شده است و پایه بیس بین ورودی و خروجی مشترک است.

برای مثال، مطابق شکل ۳-۱۵ یک سیگنال سینوسی با دامنه 1 mV و ولت به ورودی ترانزیستور اعمال می کنیم. البته



شکل ۳-۱۵

$$A_V = \frac{\text{دامنه ی سیگنال خروجی}}{\text{دامنه ی سیگنال ورودی}} = \frac{0.83}{0.1} = 8.3$$

پس سیگنال ورودی متناوب 8.3 مرتبه تقویت شده است. با طراحی مدارات ترانزیستوری و با تغییر مقدار مقاومت ها می توان دامنه ی سیگنال خروجی را روی مقدار مورد نظر تنظیم نمود. همان گونه که مشاهده شده جریانی که از مقاومت R_1 می گذرد تقریباً همه ی این مقدار جریان از مقاومت R_2 هم عبور می کند. این عمل تنها به وسیله ی ترانزیستور صورت گرفته است. بدین ترتیب، می توان گفت: ترانزیستور عمل انتقال مقاومت را انجام داده است. نام ترانزیستور هم از همین عمل انتخاب شده است. Transistor از ترکیب دو کلمه ی 'Transfer of Resistor' انتخاب شده است.

اگر مقاومت دینامیکی دیود آمیتریس را به هنگام اعمال سیگنال معادل 20 ohms فرض کنیم در حلقه ی ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با:

$$I = \frac{0.1}{100 + 20} = 0.00083\text{ A} = 0.83\text{ mA}$$

همان گونه که بیان شد قسمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می بندد؛ از این رو، این جریان تقریباً از مقاومت $R_2 = 1\text{ K}\Omega$ که با کلکتور سری شده است عبور می کند و در دو سر مقاومت $1\text{ K}\Omega$ افت ولتاژ متناوبی با دامنه ی $U_R = 0.83\text{ mA} \times 1\text{ K}\Omega = 0.83\text{ V}$ ایجاد می کند. افت ولتاژ متناوب دو سر R_2 به مراتب بیش تر از ولتاژ متناوب ورودی بوده در نتیجه ولتاژ ورودی تقویت می شود. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با A_V نشان دهیم؛ رابطه و مقدار A_V برابر است با:

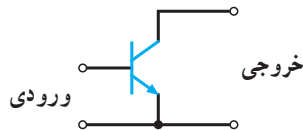
۳-۷- آرایش‌های ترانزیستور

ترانزیستورها در مدار به سه صورت «امیتر مشترک»، «بیس مشترک» و «کلکتور مشترک» به کار می‌روند.

۳-۷-۱- آرایش امیتر مشترک C-E^۱: در این آرایش

سیگنال ورودی به بیس امیتر ترانزیستور اعمال می‌شود و سیگنال

خروجی از کلکتور امیتر ترانزیستور دریافت می‌گردد. چون پایه‌ی امیتر بین ورودی و خروجی مشترک است، این آرایش «امیتر مشترک» نام دارد. در شکل ۳-۱۶ این آرایش را بدون رسم سایر قطعات آن مشاهده می‌کنید. این آرایش می‌تواند جریان و ولتاژ را تقویت کند.



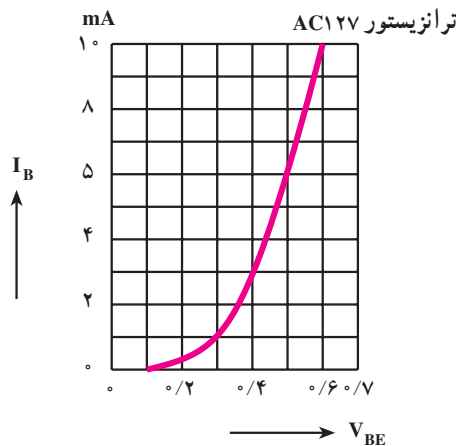
شکل ۳-۱۶

۳-۸- منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور در حالت امیتر مشترک

منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور بیانگر روابط بین جریان‌ها و ولتاژها در ترانزیستور است. این منحنی‌ها عبارت‌اند از:

۳-۸-۱- منحنی مشخصه‌ی ورودی: در آرایش

امیتر مشترک، ورودی بیس امیتر ترانزیستور است. منحنی تغییرات جریان ورودی (I_B) نسبت به تغییرات ولتاژ ورودی (V_{BE}) به ازای ثابت بودن V_{CE} «منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور» نام دارد. این منحنی، منحنی مشخصه‌ی یک دیود معمولی ژرمانیم در بایاس موافق است (شکل ۳-۱۷).



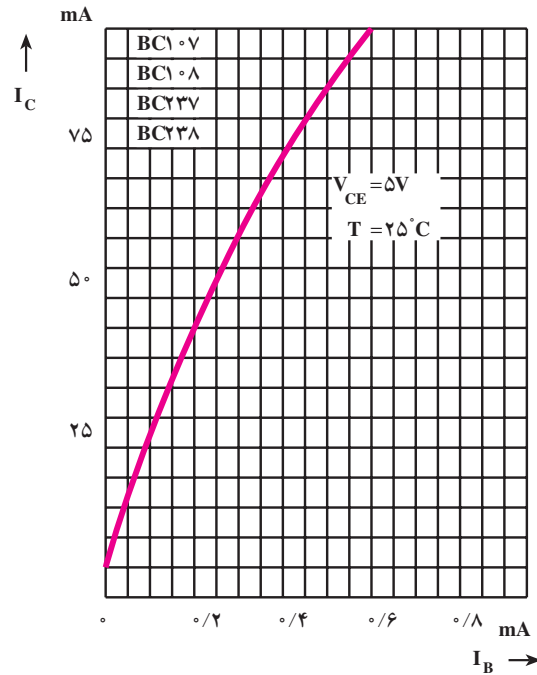
شکل ۳-۱۷

^۱ - CE = Common Emitter

۲-۸-۳- منحنی مشخصه‌ی انتقالی: منحنی

به ازای ثابت بودن V_{CE} «منحنی مشخصه‌ی انتقالی» نام دارد. در شکل ۳-۱۸ این منحنی نشان داده شده است.

مشخصه‌ی بین جریان ورودی (I_B) و جریان خروجی (I_C)



شکل ۳-۱۸

ورودی را نشان می‌دهد. در آرایش امیتر مشترک جریان خروجی، جریان کلکتور (I_C) و ولتاژ خروجی ولتاژ کلکتور امیتر (V_{CE}) است؛ از این رو، منحنی مشخصه‌ی خروجی، منحنی تغییرات I_C نسبت به V_{CE} به ازای ثابت بودن I_B است.

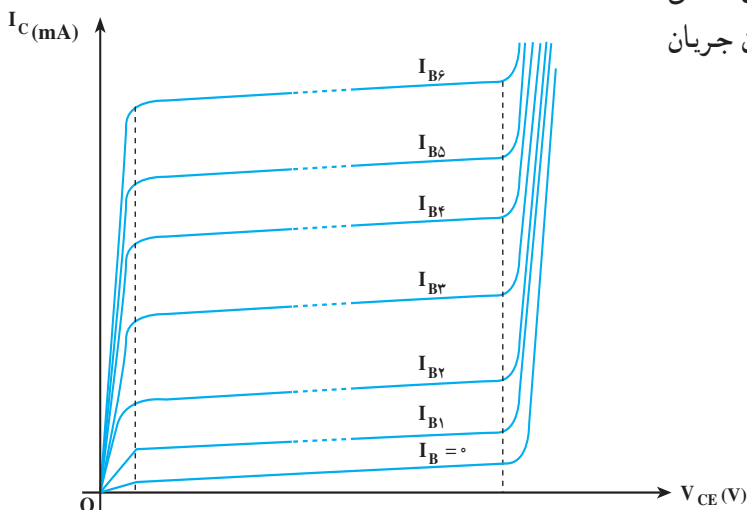
در شکل ۳-۱۹ این منحنی مشخصه به ازای I_B های مختلف نشان داده شده است.

ضریب تقویت جریان برابر نسبت جریان خروجی به جریان ورودی است، بنابراین، از روی این منحنی مشخصه می‌توان ضریب تقویت جریان را به دست آورد:

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

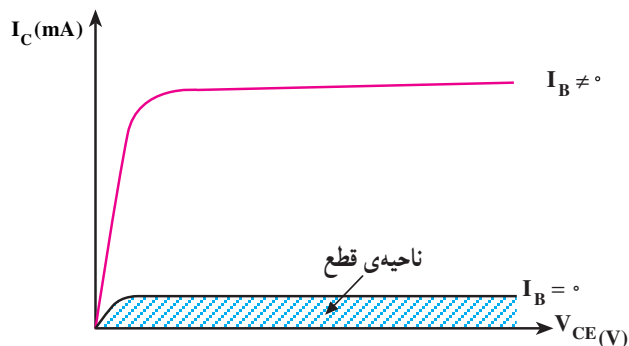
۳-۸-۳- منحنی مشخصه‌ی خروجی: این منحنی

رابطه‌ی بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای ثابت بودن جریان



شکل ۳-۱۹

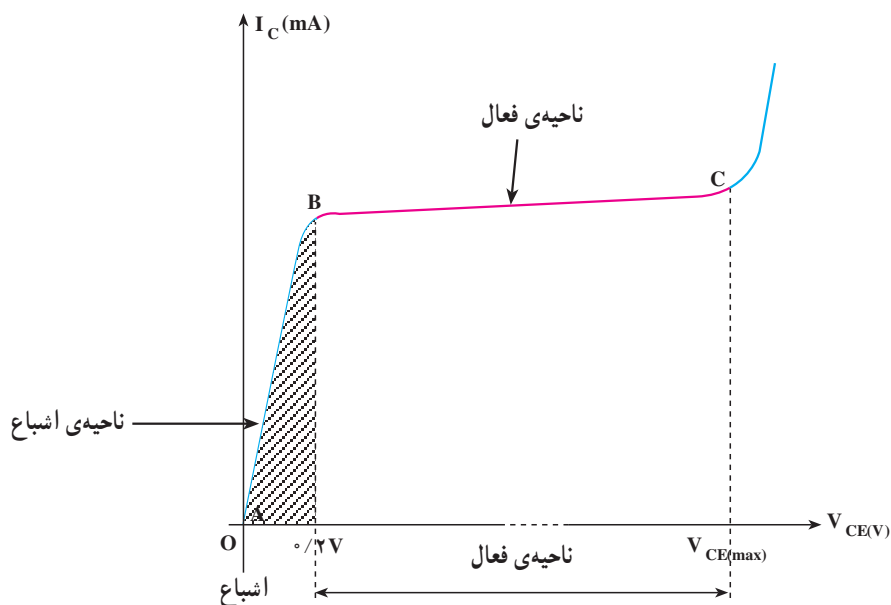
این منحنی مشخصه شامل چند ناحیه ی مختلف است :
 ناحیه ی قطع: در ناحیه ی قطع جریان بیس صفر است.
 اگر از جریان ناچیز نشتی صرف نظر کنیم جریان کلکتور هم صفر است، شکل ۳-۲۰.



شکل ۳-۲۰

ناحیه ی اشباع: در این ناحیه ترانزیستور در حال هدایت است و تغییرات جزئی در V_{CE} تغییرات بسیار زیادی را در جریان کلکتور ایجاد می کند. در این ناحیه I_C و I_B تقریباً در حداکثر مقدار خود قرار دارند و V_{CE} بسیار ناچیز و تقریباً نزدیک صفر است، شکل ۳-۲۱ ناحیه ی فعال و اشباع را روی منحنی مشخصه ی خروجی ترانزیستور نشان می دهد.

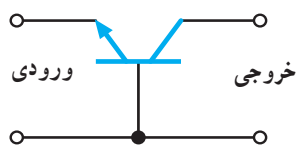
ناحیه ی فعال: ناحیه ی فعال محدوده ی کار عادی ترانزیستور است. در این ناحیه معمولاً دیود آمتریس در بایاس موافق و دیود کلکتوریس در بایاس مخالف قرار دارد؛ بنابراین، قسمت اعظم حامل های انتشار یافته از آمیتر جذب کلکتور شده اند؛ در نتیجه تغییرات ولتاژ کلکتور آمیتر تأثیر چندانی در جریان کلکتور ندارد.



شکل ۳-۲۱

۳-۹- آرایش بیس مشترک C-B^۱

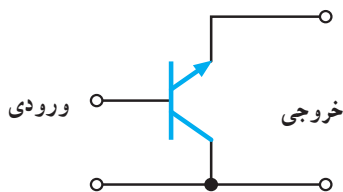
در این آرایش، پایه ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است؛ یعنی سیگنال ورودی به امپدانس بیس اعمال می شود و سیگنال خروجی از کلکتور بیس دریافت می گردد. در شکل ۳-۲۲ این آرایش به طور ساده نشان داده شده است. این آرایش جریان را تقویت نمی کند، اما ولتاژ را تقویت می کند.



شکل ۳-۲۲

۳-۱۰- آرایش کلکتور مشترک C-C^۲

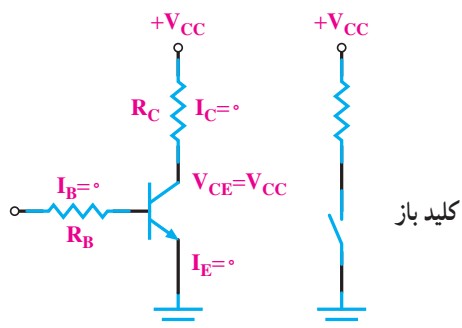
در این آرایش پایه ی کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است؛ یعنی سیگنال ورودی به بیس کلکتور اعمال می شود و سیگنال خروجی از امپدانس کلکتور دریافت می گردد. در شکل ۳-۲۳ این آرایش به طور ساده نشان داده می شود. این آرایش ولتاژ را تقویت نمی کند، اما جریان را تقویت می کند.



شکل ۳-۲۳

۳-۱۱- ترانزیستور در حالت قطع

در شکل ۳-۲۴ یک ترانزیستور در حالت قطع نشان داده شده است. در این حالت بیس بایاس نشده است؛ از این رو $I_B = 0$ بوده، در نتیجه I_C هم صفر است. در دوسر R_C هیچ ولتاژی نداریم و همه ی ولتاژ منبع یعنی V_{CC} در دوسر کلکتور-امپدانس ترانزیستور افت می کند. در این حالت ترانزیستور مانند یک کلید باز است:



شکل ۳-۲۴

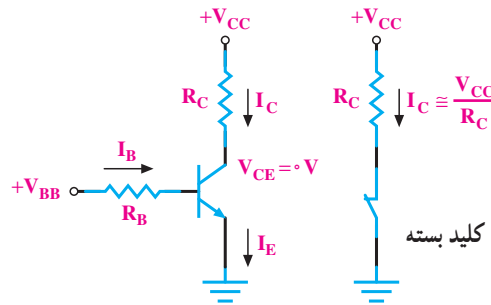
۱- CB = Common Base

۲- CC = Common Collector

۱۲-۳ ترانزیستور در حالت اشباع

کلکتور امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور در حالت اشباع به طور ایده آل مانند یک کلید بسته عمل می کند (شکل ۳-۲۵).

وقتی بیس امیتر ترانزیستور را بایاس موافق کنیم و I_B را افزایش دهیم، I_C هم افزایش می یابد، زیرا $I_C = \beta I_B$ است. هرگاه I_C به حداکثر مقدار خود برسد، $(I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C})$ ولتاژ

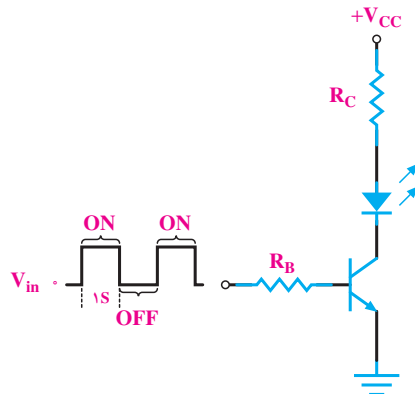


شکل ۳-۲۵

LED خاموش است. زمانی که موج مربعی دارای ولتاژ زیاد است، ترانزیستور وصل و اشباع است و جریان کلکتور از LED عبور نموده، آن را روشن می کند؛ بدین ترتیب، LED یک ثانیه روشن و یک ثانیه خاموش بوده، چشمک می زند.

۱۳-۳ کاربرد ساده‌ی ترانزیستور به عنوان کلید

در شکل ۳-۲۶ یک کاربرد ساده‌ی ترانزیستور به منزله‌ی کلید نشان داده شده است. به بیس ترانزیستور موجی مربعی با پریود ۲ ثانیه اعمال شده است. در نیم پریودی که موج ورودی صفر و ترانزیستور قطع است؛ از این رو، جریان کلکتور صفر و



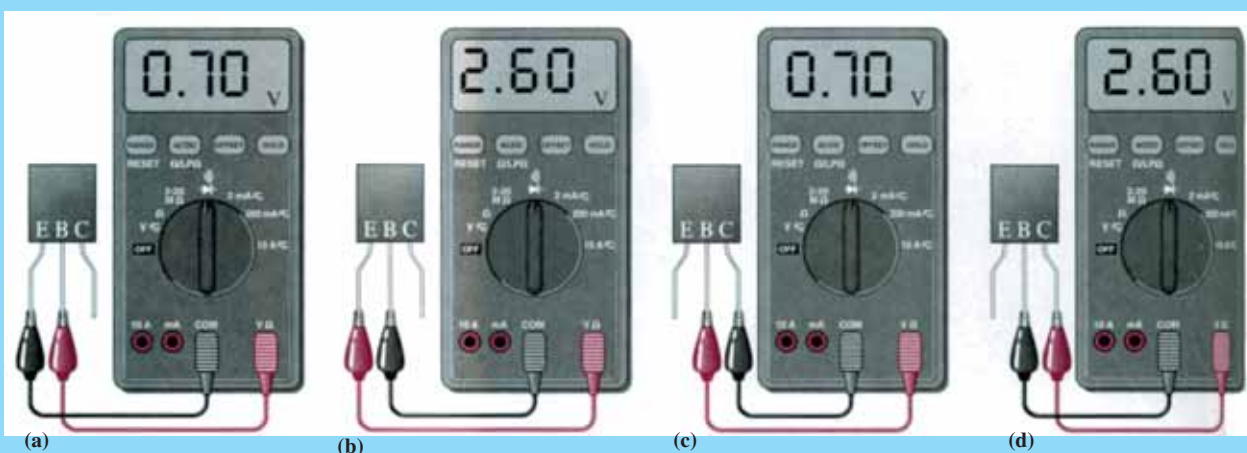
شکل ۳-۲۶

مطالعه‌ی آزاد

۳-۱۴- تعیین پایه‌ها و نوع ترانزیستور به کمک اهم‌متر

۳-۱۴-۱ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای: چون هر ترانزیستور معادل دو دیود است می‌توان با استفاده از این خاصیت برای تشخیص بیس استفاده نمود. یک پایه در ترانزیستور وجود دارد که نسبت به دو پایه‌ی دیگر مانند یک دیود عمل می‌کند؛ یعنی اهم‌متر از یک جهت اهم کم را نشان می‌دهد و با عوض کردن سیم‌های اهم‌متر، مقدار مقاومت نشان داده شده به وسیله‌ی اهم‌متر، زیاد است، این پایه بیس ترانزیستور است. با مشخص شدن بیس نوع ترانزیستور را می‌توان تعیین نمود. حالتی که اهم‌متر اهم کم را نشان می‌دهد اگر سیم منفی واقعی اهم‌متر به بیس وصل باشد نوع ترانزیستور مثبت (PNP) است. اگر در حالت اهم کم سیم مثبت واقعی اهم‌متر به بیس وصل باشد نوع ترانزیستور منفی (NPN) است. برای تعیین کلکتور و امیتر ترانزیستور می‌توان مقاومت بین بیس و دو پایه‌ی دیگر را اندازه گرفت. مقاومت بیس کلکتور کم‌تر از مقاومت بیس امیتر است.

۳-۱۴-۲ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی: از مولتی‌متر دیجیتالی در وضعیت آزمایش دیود برای آزمایش ترانزیستور استفاده می‌کنند. مانند حالت آزمایش دیود، وقتی دیود بیس امیتر یا دیود بیس کلکتور در بایاس موافق قرار گیرند ولتاژ بایاس موافق دیود روی صفحه نمایش نشان داده خواهد شد. در بایاس مخالف ولتاژ بایاس مخالف دیود روی صفحه‌ی نمایش ظاهر می‌شود. در شکل ۳-۲۷ حالت‌های گوناگون را مشاهده می‌کنید.



تست بایاس موافق پیوند BE

تست بایاس مخالف پیوند BE

تست بایاس موافق پیوند BC

تست بایاس مخالف پیوند BC



شکل ۳-۲۷

در یک ترانزیستور معیوب اگر اتصال بیس امیتر یا اتصال بیس کلکتور آن قطع باشد در این صورت مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف را نشان می‌دهد. در شکل ۳-۲۸ این حالت نشان داده شده است.

شکل ۳-۲۸

در صورت اتصال کوتاه بودن بیس آمیتر یا بیس کلکتور مولتی متر ولتاژ «صفر» را نشان خواهد داد (شکل ۳-۲۹).



شکل ۳-۲۹

۳-۱۵- مقادیر حد در ترانزیستور و استفاده از برگه‌ی داده‌ها

هر ترانزیستور نیز برای مقادیر الکتریکی مشخصی ساخته می‌شود. اگر مقادیر الکتریکی بیش از اندازه‌ای باشد که کارخانه‌ی سازنده تعیین کرده است، ترانزیستور آسیب می‌بیند. برخی از این مقادیر الکتریکی که «مقادیر حد» نام دارند، عبارت‌اند از:

- ۱- V_{CEmax} : این پارامتر حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و آمیتر ترانزیستور را مشخص می‌کند.
- ۲- V_{CBmax} : نشان‌دهنده‌ی حداکثر ولتاژ مجاز معکوس بین کلکتور و بیس ترانزیستور است.
- ۳- V_{EBmax} : ولتاژ قابل تحمل دیود بیس آمیتر ترانزیستور را در حالت معکوس بیان می‌کند.
- ۴- I_{Cmax} : نشانگر حداکثر جریان مجاز کلکتور ترانزیستور است.
- ۵- P_{max} : حداکثر توان قابل تحمل برای ترانزیستور است که به صورت حرارت تلف می‌شود.
- ۶- T_j : حداکثر درجه‌ی حرارتی است که در محل اتصال کلکتور بیس یک ترانزیستور می‌تواند تحمل کند.

۷- فرکانس حد f_g : مقدار فرکانسی است که β به‌ازای آن به‌اندازه‌ی $\frac{1}{\sqrt{2}}$ یا ۳dB کم‌تر از فرکانس صفر

هرتر می‌شود.

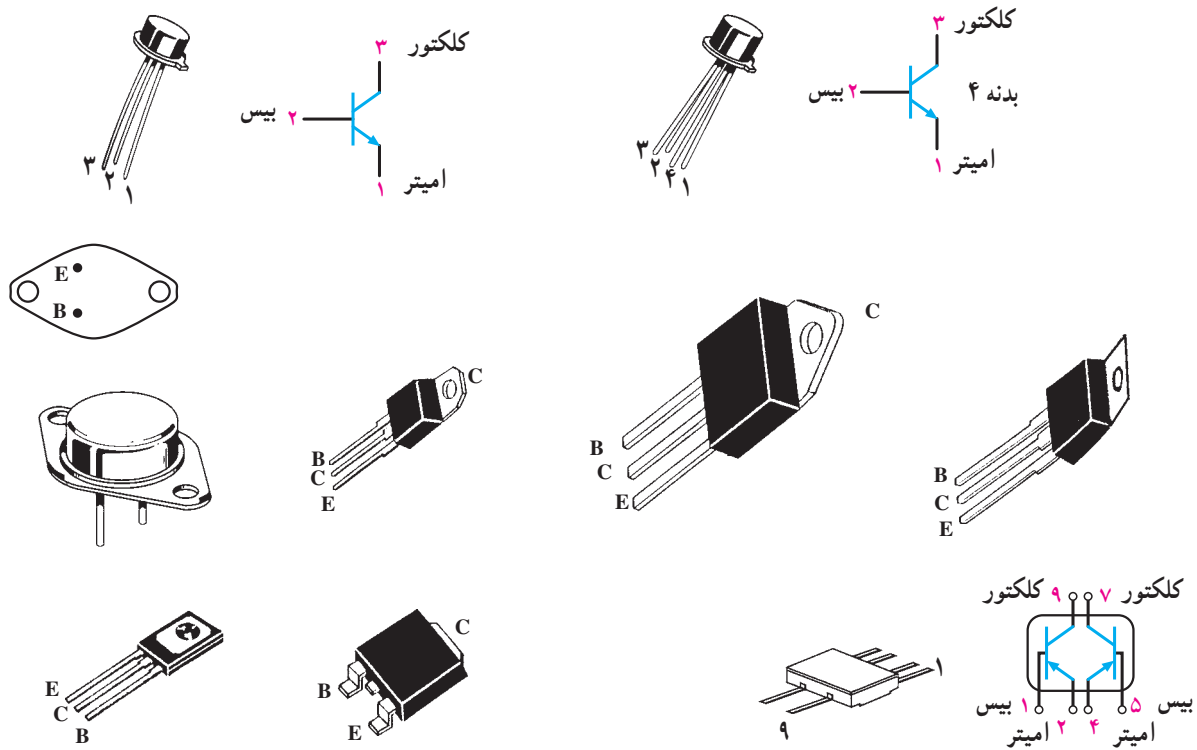
۸- فرکانس قطع f_T : مقدار فرکانسی است که به‌ازای آن $\beta = 1$ می‌شود.

در جدول ۳-۱ نمونه‌ای از جدول مشخصات حد ترانزیستورها و سایر اطلاعات آن آورده شده است. این جدول مربوط به کتاب «Tower's international Transistor selector» است.

جدول ۱-۲

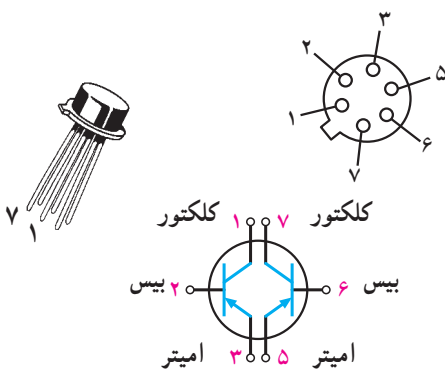
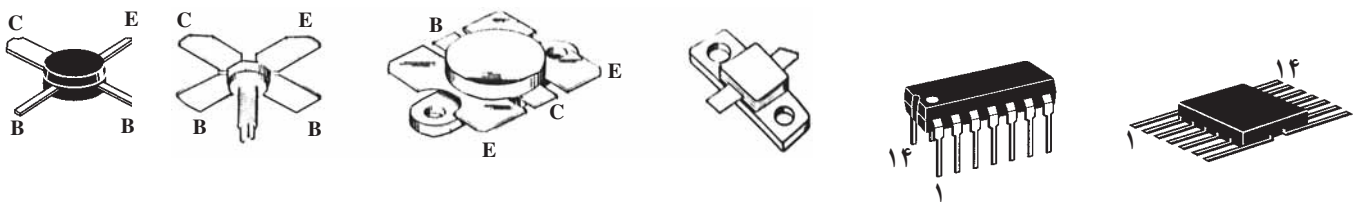
Transistor Number	PM OA LT	Package	LEAD INFO	VEB MAX	VCE MAX	VCB MAX	I _C MAX	T _J MAX	PTOT	F _T MIN	C _{OB} MAX	H _{FE}	H _{FE} BIAS	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV
BC ۱۰۷	NS	TO۱۸	L۰۱	۵۰	۴۵	۶	۱۰۰.mA	۱۷۵C	۳۰۰ mWF	۱۵۰.M	۵.P	۱۱۰ .MN	۲mA	ALG	MUB	BC ۱۰۷	۲N ۹۲۹
<div> <div> نوع و جنس ترانزیستور N = NPN P = PNP S = سیلیسیم G = ژرمانیوم </div> <div> شکل ظاهری و ابعاد مراجعه شود به ضمیمه ی C </div> <div> اطلاعات مربوط به پایه های ترانزیستور - به ضمیمه ی B مراجعه شود </div> <div> حداکثر ولتاژ کلکتور - بیس </div> <div> حداکثر ولتاژ کلکتور - امیتر </div> <div> حداکثر ولتاژ معکوس امیتر - بیس </div> <div> حداکثر جریان کلکتور </div> <div> حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند بر حسب درجه سانتی گراد </div> <div> حداکثر توان مجاز ترانزیستور C : با گرماگیر در هوای آزاد در ۲۵°C H : در هوای آزاد با گرماگیر فلزی F = در هوای آزاد در ۲۵°C MW = میلی وات W = وات </div> </div>																	
<div> معادل امریکایی </div> <div> معادل اروپایی </div> <div> نام کارخانه ی سازنده </div> <div> کاربرد </div> <div> ضریب تقویت جریان به ازای این جریان بایاس </div> <div> حداکثر ظرفیت خازن بین لایه ی بیس و کلکتور P = پیکو فاراد N = نانوفاراد </div> <div> فرکانس قطع ترانزیستور M = مگاهرتز K = کیلوهرتز G = گیگاهرتز </div>																	

۱۶-۳- شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه‌های آن



تکنولوژی نصب سطحی SMT^۱

نوع تخت دو طرفه DIP^۱



چهار ترانزیستور در یک محفظه برای نصب سطحی

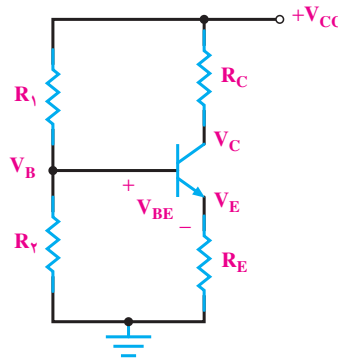
^۱ - DIP = Dual in line package

^۲ - SMT = Surface Mounted Technology

۱۷-۳ تغذیه‌ی سرخود

R_1 و R_2 مقسم ولتاژ هستند و منبع V_{CC} را تقسیم ولتاژ می‌کنند؛ هم‌چنین ولتاژ بیس ترانزیستور را تأمین می‌نمایند.

در شکل ۳-۳۰ این بایاس را مشاهده می‌کنید. مقاومت‌های



شکل ۳-۳۰

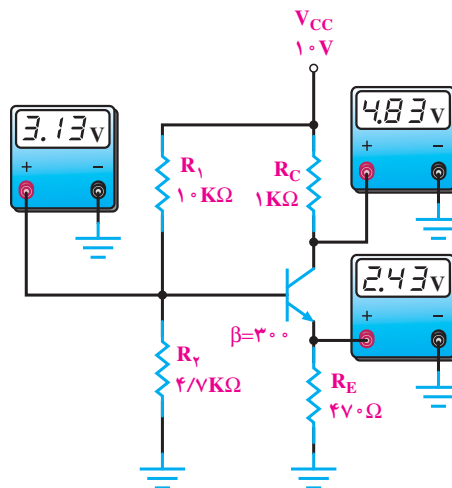
ترانزیستور از رابطه‌ی $V_C = V_{CC} - R_C I_C$ به دست می‌آید. R_C ولتاژ کلکتور ترانزیستور را تنظیم می‌کند. در این روابط V_B پتانسیل بیس ترانزیستور نسبت به زمین و V_E پتانسیل امیتر نسبت به زمین و V_C پتانسیل کلکتور نسبت به زمین هستند. در شکل ۳-۳۱ این بایاس، با مقادیر ولتاژ در نقاط مختلف آن، نشان داده شده است.

V_B تقریباً از رابطه‌ی $V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$ به دست می‌آید.

R_E ولتاژ امیتر ترانزیستور (V_E) را تأمین می‌کند. V_E از رابطه‌ی $V_E = V_B - V_{BE}$ به دست می‌آید. با معلوم بودن V_E

می‌توان I_E را از رابطه‌ی $I_E = \frac{V_E}{R_E}$ محاسبه نمود. I_E به تقریب

با I_C برابر است. ($I_C \simeq I_E$) با معلوم بودن I_C ولتاژ کلکتور

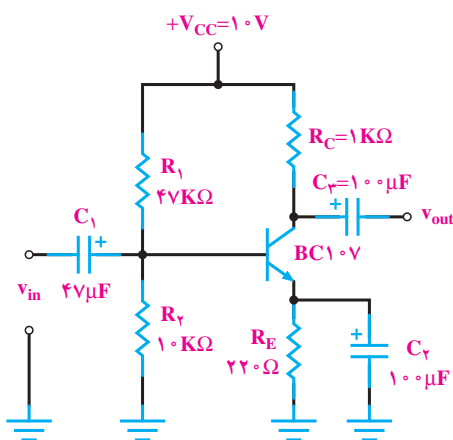


شکل ۳-۳۱

۱۸-۳ تقویت‌کننده‌ی اولیه به صورت آرایش امیتر مشترک

مدار تقویت‌کننده‌ی اولیه (Pre-Amp) در شکل ۳-۳۲

رسم شده است. این تقویت‌کننده دارای آرایش امیتر مشترک



شکل ۳-۳۲

۳-۱۹- تثبیت کننده ولتاژ همراه با تقویت جریان ترانزیستوری

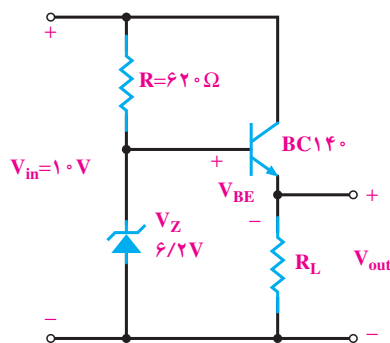
در شکل ۳-۳۳ بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه با رگولاتور (تثبیت کننده ولتاژ) رسم شده است.

بوده، تغذیه DC آن به صورت بایاس سرخود است. C_1 و C_2 «خازن کوپلاژ» نام دارند. این خازن ها از عبور سیگنال DC جلوگیری نموده، فقط سیگنال A_C را عبور می دهند. C_2 «خازن بای پاس» نام دارد و مقاومت R_E را از نظر سیگنال متناوب ورودی اتصال کوتاه می کند تا سیگنال متناوب ورودی در R_E افت نماید و بهره ولتاژ مدار زیاد شود.



شکل ۳-۳۳

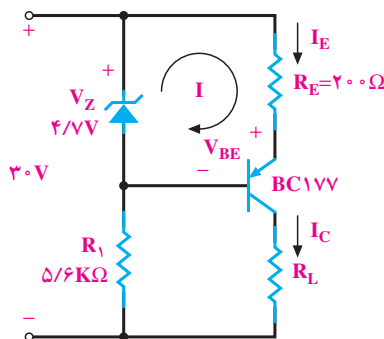
کار رگولاتور ولتاژ، ثابت نگه داشتن ولتاژ خروجی است. در رگولاتور شکل ۳-۳۳ می توان از یک مدار ساده ترانزیستوری به صورت شکل ۳-۳۴ استفاده کرد.



شکل ۳-۳۴

در شکل ۳-۳۵ مدار یک منبع جریان ترانزیستوری رسم شده است. با نوشتن معادله KVL در حلقه ی I می توان نوشت $I_E R_E + V_{BE} - V_Z = 0$ در نتیجه $I_E = \frac{V_Z - V_{BE}}{R_E}$ است چون V_Z و V_{BE} و R_E تقریباً ثابت هستند. I_E هم تقریباً ثابت است، چون $I_C \approx I_E$ است؛ از این رو I_C یعنی جریانی که از بار

آرایش ترانزیستور به صورت کلکتور مشترک است. کلکتور مشترک دارای تقویت جریان زیاد است. ولتاژ خروجی از رابطه ی $V_O = V_Z - V_{BE}$ به دست می آید. چون V_Z و V_{BE} ثابت اند لذا V_O هم ثابت است. برای مثال اگر $V_{BE} = 0.7V$ و $V_Z = 6.2V$ باشد، ولت $V_O = 6.2 - 0.7 = 5.5$ است و V_O روی 5.5 ولت ثابت می ماند. باید ولتاژ خروجی صافی بیش تر از V_Z باشد تا زener در ناحیه ی شکست خود کار کند. اگر ولتاژ خروجی صافی نوسان داشته باشد V_O روی 5.5 ولت ثابت بوده و تغییر نمی کند.

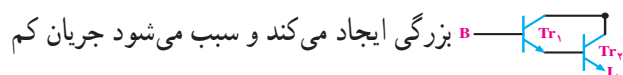


شکل ۳-۳۵

۳-۲۰- ترانزیستور به عنوان منبع جریان
منبع جریان مداری است که به بار جریان ثابت می دهد.

علامت اختصاری جریان به صورت است.

Tr_1 و Tr_2 می‌گردد و در نتیجه، لامپ L_1 روشن می‌شود. می‌توان به جای L_1 یک «رله» قرار داد تا با به کار افتادن رله مدار دیگری روشن گردد. اتصال دو ترانزیستور به صورت



در بیس ترانزیستور Tr_1 به جریان زیادی در کلکتور ترانزیستور Tr_2 تبدیل شود و به این ترتیب می‌توان لامپ‌های با توان زیاد را روشن نمود.

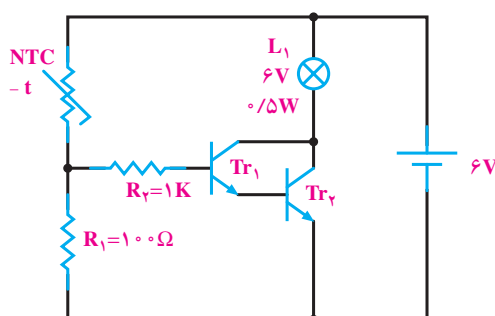
$$Tr_1 = Tr_2 = 2N3053 \text{ یا } BC140$$

می‌گذرد ثابت است. این مدار برای شارژ باتری‌های شارژپذیر که باید با جریان کم شارژ شوند مناسب است. باتری باید جای R_L در مدار قرار گیرد.

۲۱-۳- سیستم اعلام حریق

در شکل ۳-۳۶ مدار یک سیستم اعلام حریق ساده رسم شده است.

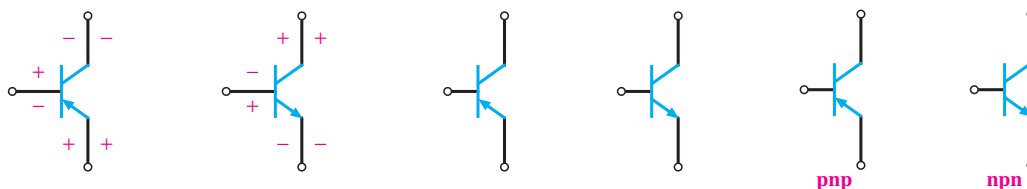
با افزایش حرارت مقاومت ترمیستور NTC کاهش می‌یابد و جریان عبوری از آن زیاد شده، سبب هدایت ترانزیستورهای



شکل ۳-۳۶

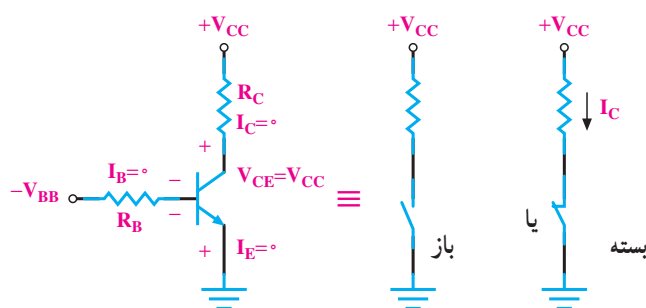
پرسش

- ۱- ساختمان ترانزیستور را شرح دهید.
- ۲- بایاسینگ ترانزیستور را شرح دهید.
- ۳- در مورد انتخاب نام ترانزیستور توضیح دهید.
- ۴- شمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور NPN و PNP را رسم کنید.
- ۵- پایه‌ها و جهت قراردادی جریان و ولتاژهای ترانزیستورهای شکل ۳-۳۷ را تعیین کنید.



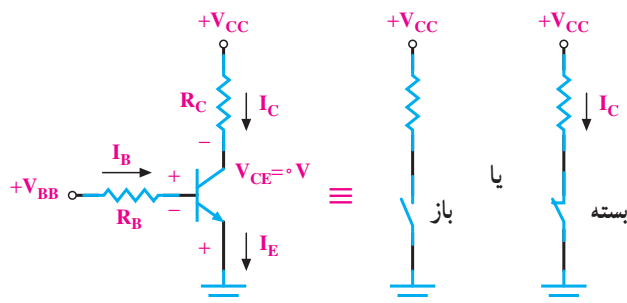
شکل ۳-۳۷

۶- ترانزیستور شکل ۳-۳۸ آیا معادل یک کلید باز است یا کلید بسته؟



شکل ۳-۳۸

۷- ترانزیستور شکل ۳-۳۹ معادل یک کلید باز است یا بسته؟



شکل ۳-۳۹

۸- مدار یک ترانزیستور NPN را با تغذیه ی سرخود رسم کنید.

۹- منبع جریان را تعریف کنید و شکل مدار منبع جریان ترانزیستوری را رسم نمایید.

۱۰- چند کاربرد ترانزیستور را نام ببرید.