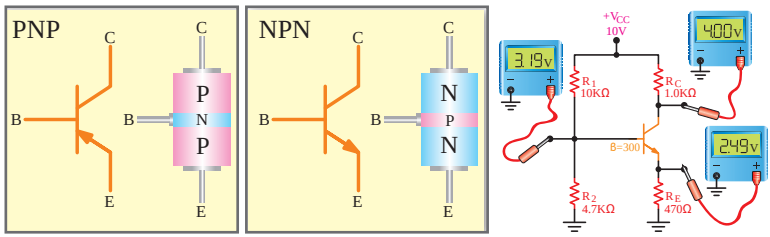
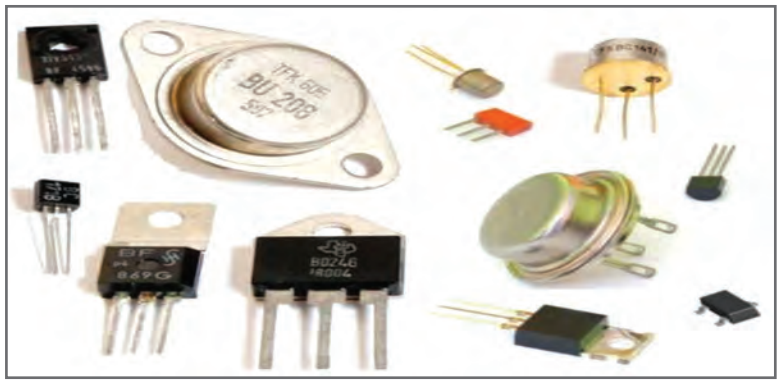
واحد یادگیری ۴

تحلیل مدارهای ترانزیستوری





سؤالات پیشنهادی

- ترانزیستور چه برتری‌هایی بر لامپ‌های الکترونیکی دارد؟
- ترانزیستور از نظر نوع ساختمان به چند دسته تقسیم می‌شود؟
- جریان و ولتاژ در ترانزیستورها چگونه تجزیه و تحلیل می‌شود؟
- نواحی کار ترانزیستور و منحنی مشخصهٔ ترانزیستور چگونه است؟
- مقاومت‌های بایاس با معلوم بودن مشخصات نقطهٔ کار در بایاس مستقیم، اتوماتیک و سرخود چگونه محاسبه می‌شوند؟
- انواع ترانزیستور را از نظر ساختمان کریستالی نام ببرید.
- برتری‌های استفاده از ترانزیستور به‌جای لامپ را نام ببرید.
- ساختمان ترانزیستور را توضیح دهید.
- بایاس ترانزیستور را شرح دهید.
- روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها در ترانزیستور به چه عواملی بستگی دارد. نام ببرید.

- نقطه کار DC را تعریف کنید.
- محل مناسب نقطه کار در روی منحنی مشخصه کجاست. شرح دهید.
- خط بار DC را تعریف کنید.
- معادله خط بار را بنویسید.
- عیب بایاس با دو منبع مستقل را توضیح دهید.
- چگونگی جریان کلکتور در بایاس با تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی به‌طور خودکار کنترل می‌شود توضیح دهید.
- تاریخچه اختراع ترانزیستور را شرح دهید.
- ترانزیستور را تعریف کنید.
- برتری‌های ترانزیستور بر لامپ الکترونی را نام ببرید.
- ساختمان ترانزیستور را شرح دهید.
- معادل دیودی ترانزیستور را شرح دهید.
- جهت جریان در ترانزیستور را توضیح دهید.
- ولتاژ روی پایه‌های ترانزیستور را نام‌گذاری کنید.
- نواحی کار ترانزیستور را شرح دهید.
- نواحی کار ترانزیستور را روی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور نشان دهید.
- کلاس‌های مختلف تقویت‌کنندگی را توضیح دهید.
- مقادیر حد در ترانزیستور را شرح دهید.

استاندارد عملکرد

در پایان این واحد یادگیری، هنرجو می‌تواند چگونگی ساخت ترانزیستور مدارهای ترانزیستوری را تجزیه و تحلیل نماید؛ سپس آنها را نام‌گذاری کرده و محاسبات آنها را انجام دهد.

تحقیق کنید:

با توجه به شکل روبه‌رو تاریخچهٔ اختراع ترانزیستور را بررسی کنید.

پاسخ:

در سال ۱۹۰۴ تا ۱۹۴۷ لامپ‌ها تنها وسایل الکترونیکی‌ای بودند که برای تقویت مورد استفاده قرار می‌گرفتند. در سال ۱۹۰۶، لامپ سه قطبی توسط لی دی فورست ساخته شد و در سال ۱۹۳۰ لامپ‌های چهار قطبی و پنج قطبی نیز ساخته شدند. در سال‌های بعد، صنعت الکترونیک به منزلهٔ یک صنعت اصلی و

مهم با قابلیت توسعهٔ بسیار، مورد توجه قرار گرفت. در ۲۳ دسامبر ۱۹۴۷ صنعت الکترونیک به موفقیت جدیدی دست یافت. در بعدازظهر این روز والتربرتین و جان باردین عمل تقویت سیگنال را توسط اولین ترانزیستوری، که در لابراتوار کمپانی بل، طراحی و ساخته شده بود، انجام دادند. این ترانزیستور در شکل صفحه قبل نشان داده شده است.

کار در کلاس:

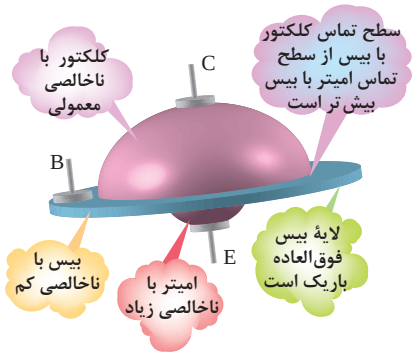
برتری‌های لامپ‌های الکترونی را بر ترانزیستور بیان کنید.

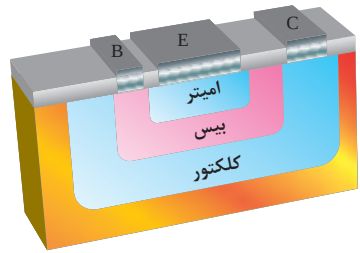
پاسخ:

باید توجه داشت که لامپ‌ها نیز نسبت به ترانزیستورها از برتری‌هایی برخوردارند، از جمله قدرت بسیار بالا، تغییر نکردن نقطه کار بر اثر گرما و... ولی ترانزیستور با داشتن برتری‌های فوق در قدرت کم و متوسط جانشین لامپ‌ها شده است.

کار در کلاس:

با توجه به شکل‌های زیر، لایه‌های ترانزیستور را از نظر ناخالصی با هم مقایسه کنید.



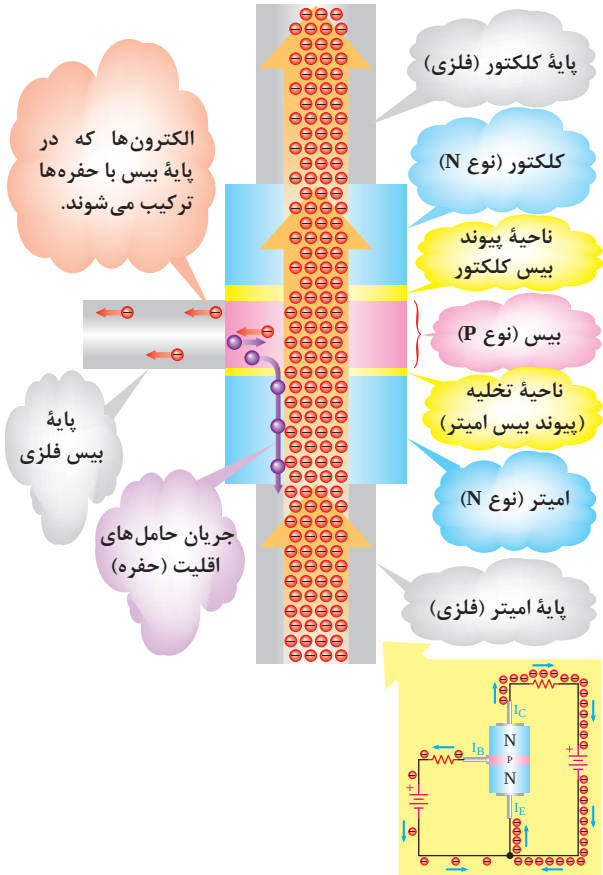


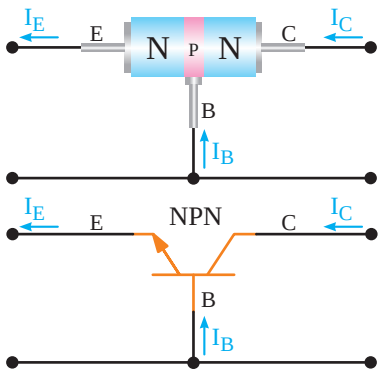
پاسخ:

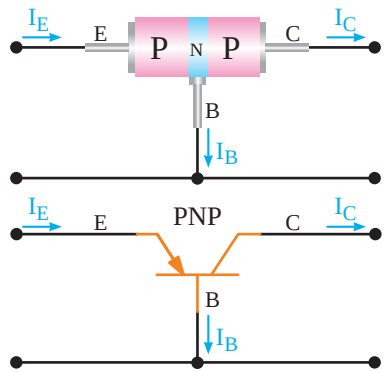
نیمه‌هادی نوع P و N که به‌عنوان امیتر به‌کار می‌رود، نسبت به لایهٔ بیس و کلکتور، ناخالصی بیشتری دارد ضخامت این لایه حدود چند ده میکرون است (عملاً حدود ۲۰ـ۲۰۰۰ um) و سطح تماس آن نیز به میزان فرکانس و قدرت ترانزیستور بستگی دارد. لایهٔ بیس، نسبت به کلکتور و امیتر، ناخالصی کمتری دارد و ضخامت آن نیز به مراتب از امیتر و کلکتور کمتر است و عملاً از چند میکرون تجاوز نمی‌کند. ناخالصی لایهٔ 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.

کار در کلاس:

شکل‌های روبه‌رو را تجزیه و تحلیل کنید.







پاسخ:

همان‌طور که در شکل صفحه قبل نشان داده شده است، جریانی که از امیتر عبور می‌کند، به دو انشعاب تقسیم می‌شود. قسمت بسیار کمی از جریان از بیس و قسمت اعظم آن از کلکتور عبور می‌کند. لذا جریان امیتر برابر است با جریان بیس به علاوهٔ جریان کلکتور، یعنی: $I_E=I_B+I_C$

برای سادگی و درک جهت جریان، معمولاً جهت قراردادی را در نظر می‌گیرند. در جهت قراردادی، جریان از قطب مثبت باتری یا منبع تغذیه خارج و پس از عبور از مدار خارجی، به قطب منفی آن وارد می‌شود. در شکل‌های بالا جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN و PNP نشان داده شده است. جهت جریان قراردادی، همیشه با جهت دیود بیس ـ امیتر مطابقت دارد. همان‌طوری که در شکل‌ها دیده می‌شود، رابطهٔ $I_E=I_B+I_C$ برای هر دو نوع ترانزیستور صادق است.

کار در کلاس:

با توجه به شکل زیر I_B و V_{CE} را محاسبه کنید.

$V_{BE} = ۰/۷\ V$

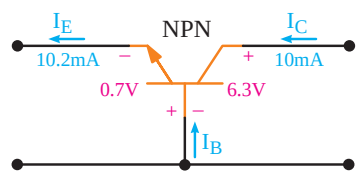
$I_E = I_C + I_B$

$I_B = I_E - I_C = ۱۰/۲\ mA - ۱۰\ mA = ۰/۲\ mA$

$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$

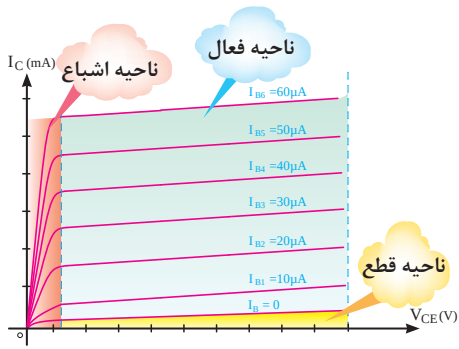
$V_{CE} = ۶/۳ + ۰/۷$

$V_{CE} = ۷\ V$



تحقیق کنید:

منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور و نواحی آن را بررسی کنید.



پاسخ:

منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور، رابطهٔ بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معیّن را نشان می‌دهد.

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

$V_{CE} \neq ۰$ $I_C \neq ۰$ $I_B \neq ۰$

ناحیه قطع:

ناحیه‌ای است که جریان بیس، صفر و ترانزیستور هنوز به آستانه هدایت نرسیده است لذا دارای مشخصات زیر است.

$V_{CE} \approx V_{CC}$ $I_C = ۰$ $I_B = ۰$

ناحیه اشباع:

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.

$V_{CE} \cong ۰/۲۷$ $V_{CE} \neq ۰$ $I_C \neq ۰$ $I_B \neq ۰$

تحقیق کنید:

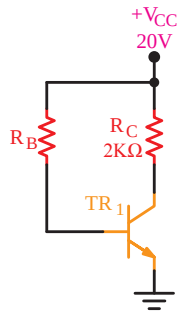
برای انتخاب نقطهٔ کار چه محدودیت‌هایی را در ترانزیستور باید در نظر گرفت؟

پاسخ:

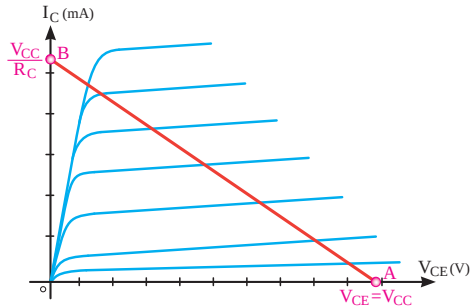
برای انتخاب نقطهٔ کار، ابتدا باید محدودیت‌های ترانزیستور را در نظر گرفت. از جمله محدودیت‌ها، تحمّل توان تلف شده در ترانزیستور، حداکثر جریان کلکتور و حداکثر ولتاژ بین کلکتور و امیتر است.

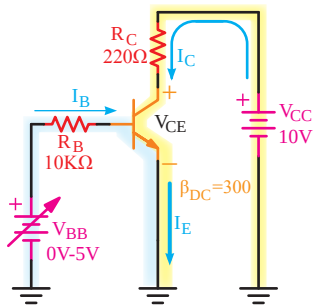
کار در کلاس:

با توجه به شکل روبه‌رو، معادلهٔ خط بار را بنویسید و سپس آن را روی منحنی مشخصهٔ خروجی رسم کنید.



پاسخ: معادله خط بار $-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$





کار در کلاس:

با توجه به تقویت‌کنندهٔ شکل روبه‌رو معادلهٔ خط بار را بنویسید و سپس آن را روی منحنی مشخصهٔ خروجی شکل رسم کنید. نقطهٔ کار را در وسط خط بار مشخص کنید و مختصات آن را بنویسید. V_{BE} = ۰/۷ ولت است.

پاسخ:

نقطهٔ A:

$I_C = ۰$

$-V_{CC} + I_C \times R_C + V_{CE} = ۰$

$-۱۰ + ۰ \times ۲۲۰ + V_{CE} = ۰$

$V_{CC} = V_{CE} = ۱۰$

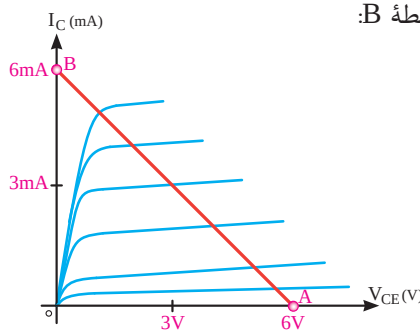
نقطهٔ B:

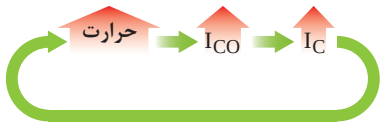
$-V_{CC} + I_C \times R_C + V_{CE} = ۰$

$V_{CE} = ۰$

$-۱۰ + ۲۲۰ \times I_C + ۰ = ۰$

$I_C = ۴۵$ mA





کار در کلاس:

رابطهٔ روبه‌رو را بررسی کنید.

پاسخ:

با استفاده از یک باتری، مقدار R_C=۱/۲ KΩ و R_B=۱۱۳ KΩ به‌دست آمد که ظاهراً خواستهٔ ما را از لحاظ بایاس تأمین می‌کند، ولی باید توجه داشت که در این مدار در اثر حرارت، جریان ناخواستهٔ I_{CO} (جریان نشتی) در ترانزیستور به‌وجود می‌آید. جریان نشتی در حرارت‌های کم ناچیز است و از آن صرف نظر می‌شود، ولی در حرارت‌های بالا I_{CO} به شدت افزایش می‌یابد و به ناچار از بیس ترانزیستور عبور می‌کند. از طرفی، می‌دانیم که هر جریانی که وارد بیس β شود برابر آن از کلکتور می‌گذرد، لذا جریان نشتی که از کلکتور عبور می‌کند با جریان نشتی اولیه به علاوهٔ جریان نشتی تقویت شده، برابر است یعنی:

$$I_{CO} + \beta I_{CO} = (1+\beta)I_{CO}$$

در نتیجه، اگر جریان I_C واقعی را بخواهیم، باید جریان نشتی را نیز به آن بیفزاییم.

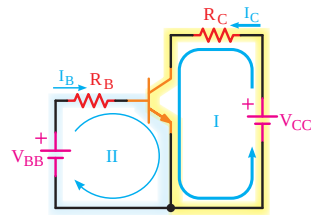
$$I_C = \beta I_\beta + (1+\beta)I_{CO}$$

چنانچه برای پیشگیری از افزایش I_{CO}، اقدامی نشود، ترانزیستور از نقطهٔ کار Q خارج می‌گردد و ثبات حرارتی نخواهد داشت، زیرا با افزایش درجهٔ حرارت I_{CO} زیاد می‌شود. زیاد شدن I_{CO} نیز حرارت اولیه را زیادتر می‌کند. حرارت بیشتر، مجدداً I_{CO} را افزایش می‌دهد و همین‌طور این سیکل I_{CO} افزایش و افزایش حرارت، ادامه پیدا می‌کند تا اینکه ترانزیستور کاملاً از نقطه کار خارج شده یا می‌سوزد. بنابراین، از این نوع بایاس باید در جاهایی که حرارت پایین و ثابت است، استفاده کرد که چون کاملاً امکان‌پذیر نیست باید چاره‌ای دیگری اندیشید.

کار در کلاس:

برای تقویت‌کنندهٔ شکل زیر، مقاومت‌های بایاس R_B و R_C را طوری محاسبه کنید که نقطهٔ کار ترانزیستور، با مختصات Q برابر شود.

V_{CB} = ۰/۷ V
V_{CE} = ۶ V
I_C = ۵ mA
I_B = ۰/۱ mA
V_{CC} = ۱۲ V
V_{BB} = ۲ V



پاسخ:

$I_E = I_C + I_B = ۵ + ۰/۱ = ۵/۱$

$-V_{CC} + R_C I_E + V_{CE} = ۰$

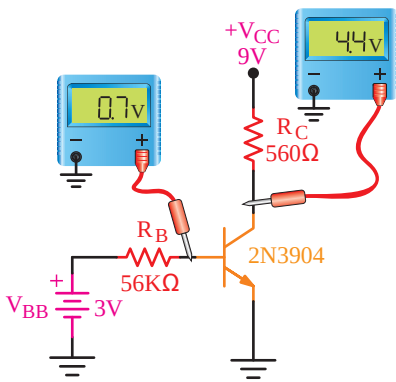
$R_C (۵/۱) = ۱۲ - ۶$

$$R_C = \frac{۶}{۵/۱} = ۱/۱۷۶\ K\Omega$$

$$R_B = \frac{۰/۷}{۰/۱} = ۷\ K\Omega$$

کار در کلاس:

با توجه به شکل زیر I_B و I_C ترانزیستور را محاسبه کنید.



پاسخ:

$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$

$-۹ + ۵۶۰ \times I_C + ۴/۴ = ۰$

$I_C = ۰/۰۰۸\ A$

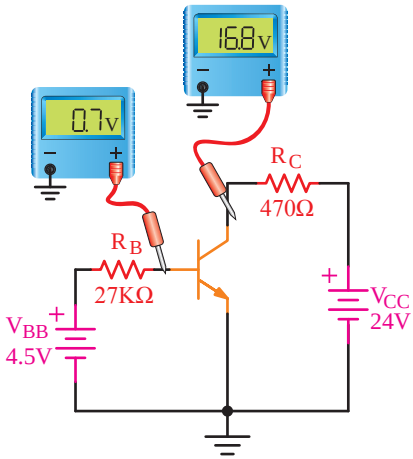
$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$

$-۳ + ۵۶\ K\Omega \times I_B + ۰/۷ = ۰$

$I_B = ۰/۰۴۱$

کار در کلاس:

با توجه به شکل روبه‌رو β و γ و α را محاسبه کنید.



پاسخ:

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۲۴ + ۴۷۰ \times I_C + ۱۶/۸ = ۰$$

$$I_C = ۰/۰۱$$

$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-۴/۵ + ۲۷\ K \times I_B + ۰/۷ = ۰$$

$$I_B = ۰/۱۴\ mA$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{۰/۰۱}{۰/۱۴ \times ۱۰^{-۳}} = ۷۱/۴۲$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + ۱} = \frac{۷۱/۴۲}{۷۱/۴۲ + ۱} = ۰/۹۸$$

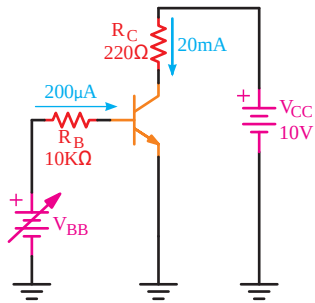
$$\gamma = \beta + ۱$$

$$\gamma = ۷۱/۴۲ + ۱$$

$$\gamma = ۷۲/۴۲$$

کار در کلاس:

در مدار شکل روبه‌رو، V_{CE} را محاسبه کرده و بگویید مقدار منبع ولتاژ V_{BB} چقدر است؟ (V_{BE}=۰/۷)



پاسخ:

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۱۰ + ۲۲۰ \times ۲۰\ mA + V_{CE} = ۰$$

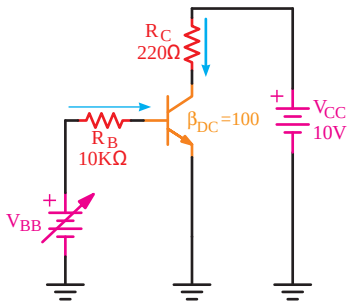
$$V_{CE} = ۵/۶$$

$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-V_{BB} + ۲۰۰\ \mu A \times ۱۰ \times ۱۰^{۳} + ۰/۷ = ۰$$

$$V_{BB} = ۲/۷$$

کار در کلاس:



در مدار شکل روبه‌رو اگر V_{BB} = ۴/۷ و V_{BE}=۰/۷ ولت باشد، I_B، I_C و V_{CE} را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-۴/۷ + ۱۰ \times ۱۰^{۳} I_B + ۰/۷ = ۰$$

$$I_B = ۰/۴ \text{ mA}$$

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

$$I_C = \beta \times I_B = ۱۰۰ \times ۰/۴ \times ۱۰^{-۳} = ۰/۰۴ \text{ A}$$

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۱۰ + ۲۲۰ \times ۰/۰۴ + V_{CE} = ۰$$

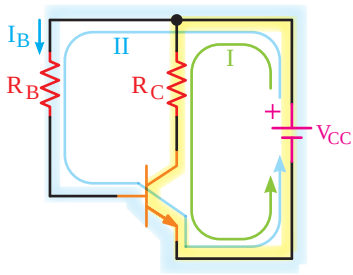
$$V_{CE} = ۱/۲ \text{ V}$$

کار در کلاس:

برای نقطهٔ کار Q با مختصات:

V_{BE} =۰/۷ V V_{CE} = ۶ V

I_C = ۵ mA I_B = ۰/۱ mA



و با معلوم بودن مقدار V_{CC} برابر ۱۲ولت، مقاومت‌های بایاس، R_C و R_B را در تقویت‌کنندهٔ شکل روبه‌رو محاسبه کنید.

پاسخ:

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۱۲ + R_C \times ۵ \times ۱۰^{-۳} + ۶ = ۰$$

$$R_C = ۱۲۰۰ \ \Omega = ۱/۲ \ \text{K}\Omega$$

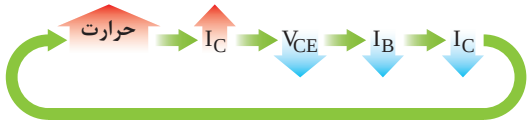
$$-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-۱۲ + R_B \times ۰/۱ \times ۱۰^{-۳} + ۰/۷ = ۰$$

$$R_B = ۱۱۳ \ \text{K}\Omega$$

کار در کلاس:

رابطهٔ زیر را بررسی کنید.



پاسخ:

این مدار، جریان کلکتور را به‌طور اتوماتیک کنترل می‌کند و از افزایش I_{CO} جلوگیری می‌کند. زیرا همان‌گونه که از رابطهٔ $-V_{CC} + I_E R_C + V_{CE} = ۰$ پیداست چون V_{CC} و R_C ثابت هستند، لذا اگر در اثر حرارت I_C افزایش یابد، به ناچار V_{CE} کاهش می‌یابد. با کاهش V_{CE} طبق رابطهٔ $-V_{CE} + I_B R_B + V_{BE} = ۰$ چون V_{BE} و R_B ثابت هستند I_B کاهش می‌یابد. بدیهی است که کاهش I_B کاهش I_C را نیز به دنبال دارد. بنابراین مدار به‌طور اتوماتیک، جریان I_C را در مقابل حرارت ثابت نگه می‌دارد. مطالب فوق را می‌توان به‌صورت شکل بالا خلاصه نمود.

کار در کلاس:

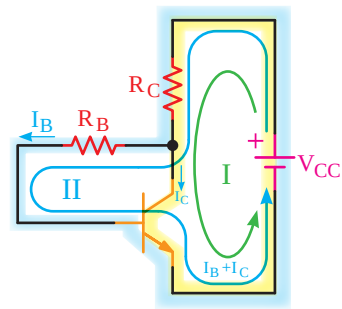
در شکل زیر برای نقطهٔ کار Q:

$V_{BE} = ۰/۷$

$V_{CE} = ۵\ V$

$I_C = ۵\ mA$

$I_B = ۰/۱\ mA$



و با معلوم بودن مقدار $V_{CC} = ۱۲$ ولت مقادیر R_C و R_B را برای مدار محاسبه کنید.

پاسخ:

$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$

$-۱۲ + R_C \times ۵ \times ۱۰^{-۳} + ۵ = ۰$

$R_C = ۱۴۰۰\ \Omega = ۱/۴\ K\Omega$

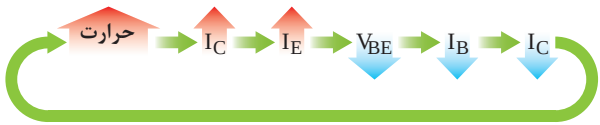
$-V_{CC} + R_C I_C + R_B I_B + V_{BE} = ۰$

$-۱۲ + ۱۴۰۰ \times ۵ \times ۱۰^{-۳} + R_B \times ۰/۱ \times ۱۰^{-۳} + ۰/۷ = ۰$

$R_B = ۴۳\ K\Omega$

کار در کلاس:

رابطهٔ زیر را بررسی کنید.



پاسخ:

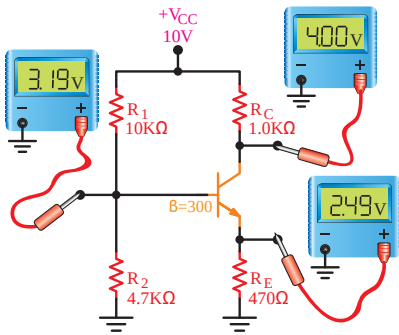
چون R_E و V_{R_2} مقادیر ثابتی هستند با افزایش I_E، ($I_B + I_C$)، به ناچار V_{BE} کاهش می‌یابد. کاهش V_{BE}، کاهش I_B را به دنبال دارد، در نتیجه با کاهش I_B جریان کلکتور (I_C) کاسته می‌شود. سیکل خلاصه شده به‌صورت شکل بالا می‌باشد.

تحقیق کنید:

یک نمونه مدار بایاس را با نرم‌افزار شبیه‌سازی کنید و نتیجه با پرده‌نگار نمایش دهید.

کار در کلاس:

آیا مقادیری را که ولت‌مترها نشان می‌دهند، صحیح است؟ ولتاژ نقاط مشخص شده را محاسبه کنید (V_{BE}=۰/۷ ولت است).



پاسخ:

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

$$V_B = \frac{۱۰ \times ۴/۷}{۱۰ + ۴/۷} = ۳/۱۹\ V$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_E = ۳/۱۹ - ۰/۷ = ۲/۴۹$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{۲/۴۹}{۴۷۰} = ۵/۲۹\ mA$$

$$I_C = I_E = ۵/۲۹\ mA$$

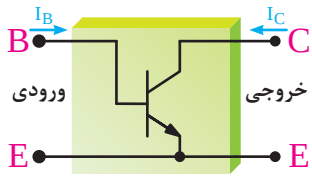
$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_C = ۱۰ - ۱ \times ۵/۲۹ = ۴/۷۱$$

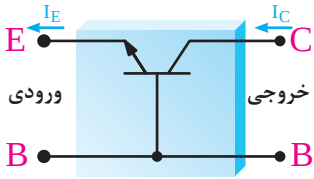
تحقیق کنید:

با جست‌وجو در شبکه‌های مجازی و اینترنت، مشخصات آرایش‌های ترانزیستور را تحقیق کنید و نتیجه را به‌صورت پرده‌نگار نمایش دهید.

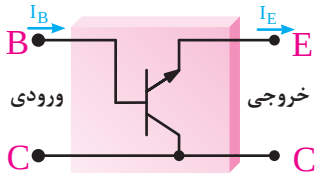
پاسخ:



امیتر مشترک: در این آرایش پایهٔ امیتر، بین ورودی و خروجی مدار مشترک است. و سبب نام‌گذاری این آرایش نیز به دلیل مشترک بودن پایهٔ امیتر است.



بیس مشترک: در این آرایش، چون پایهٔ بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. آرایش آن را نیز بیس مشترک نامیده‌اند.



کلکتور مشترک: پایهٔ مشترک بین ورودی و خروجی، در این آرایش، کلکتور است و به دلیل مشترک بودن پایهٔ کلکتور نیز به آن کلکتور مشترک می‌گویند.

دانش‌افزایی

روابط α و β و γ

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \qquad \alpha = \frac{\beta}{\beta+1} = \frac{\beta}{\gamma}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \qquad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} \qquad \gamma = \beta+1$$

کار درکلاس:

در یک ترانزیستور $\alpha = 0/99$ است. مقدار β و γ را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0/99}{1-0/99} = 9/9$$

$$\gamma = \beta + 1 = 9/9 + 1 = 10/9$$

کار در کلاس:

با توجه به حروف و اعداد نام‌گذاری شده برای ترانزیستورهای BF۱۳۹، BU۱۱۲، BC۱۰۹، AF۱۳۹، BD۱۳۶ و AC۱۷۸ چه مشخصاتی را می‌توانید استخراج کنید؟ شرح دهید.

پاسخ:

BF۱۳۹: ترانزیستور کم قدرت سیلیسیمی با فرکانس کار زیاد
BU۱۱۲: ترانزیستور قدرت سیلیسیمی
BC۱۰۹: ترانزیستور کم قدرت سیلیسیمی با فرکانس کار کم
AF۱۳۹: ترانزیستور کم قدرت ژرمانیم با فرکانس کار زیاد
BD۱۳۶: ترانزیستور قدرت سیلیسیمی با فرکانس کار کم
AC۱۷۸: ترانزیستور کم قدرت ژرمانیم با فرکانس کار کم

کار در منزل

کدام مشخصهٔ الکتریکی را می‌توان از روی یک قطعه به شمارهٔ ۲N۳۰۵۵ استخراج کرد؟
پاسخ: ترانزیستور قدرت (NPN) که در فرکانس‌های کم کار می‌کند.

دانش‌افزایی

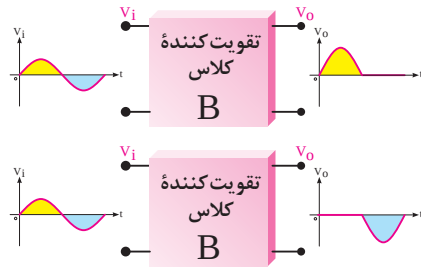
کلاس‌های تقویت‌کننده ترانزیستور:

تقویت‌کنندهٔ کلاس A: در تقویت‌کننده کلاس A، دامنهٔ سیگنال در تمام سیکل به یک اندازه تقویت می‌شود و هیچ قسمتی از یک سیکل کامل حذف نمی‌شود. بلوک دیاگرام تقویت‌کنندهٔ کلاس A در شکل ۱ نشان داده شده است.

تقویت‌کنندهٔ کلاس A

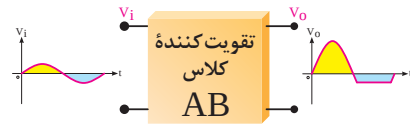
در این گونه تقویت‌کننده‌ها معمولاً $V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$ انتخاب می‌شود.
در این کلاس تقویت‌کنندگی اعوجاج سیگنال تقویت شده خروجی بسیار کم است.
اکثر طبقات تقویت‌کننده‌های صوتی (به‌جز طبقهٔ آخر) در کلاس A کار می‌کنند.

تقویت‌کنندهٔ کلاس B: در این کلاس کمی کمتر از نیم سیکل از سیگنال متناوب ورودی تقویت می‌شود. زیرا دیود بیس امیتر را بایاس نمی‌کنند، یعنی $I_B = 0$ و $I_C = 0$ است. به علت بایاس نشدن دیود بیس امیتر قسمت کمی از سیگنال تقویت نخواهد شد. در این کلاس اعوجاج سیگنال تقویت شده خروجی زیاد است.



تقویت‌کننده کلاس B

تقویت‌کننده کلاس AB: این تقویت‌کننده از نظر DC، طوری بایاس می‌شود که شکل موج ورودی را بیشتر از ۱۸۰ درجه و کمتر از ۳۶۰ درجه تقویت می‌کند. بایاسینگ این تقویت‌کننده مشابه کلاس A است با این تفاوت که مقادیر آن فرق می‌کند.



تقویت‌کننده کلاس AB

تقویت‌کننده کلاس C: در این نوع تقویت‌کننده، فقط قسمت کمی از نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی تقویت می‌شود.

تقویت کننده کلاس C

تحقیق کنید:

با جست‌وجو در شبکه‌های مجازی و اینترنت مقادیر حد در ترانزیستورها را تحقیق کنید و نتیجه را به‌صورت پرده‌نگار نمایش دهید.

پاسخ:

هر المان نیمه‌هادی، از جمله ترانزیستور، برای مقادیر الکتریکی مشخصی ساخته می‌شود. مثلاً هر ترانزیستوری را برای تحمل توان مشخصی می‌سازند. اگر مقادیر الکتریکی اعمال شده به ترانزیستور بیشتر از آنچه کارخانه سازنده مشخص کرده است باشد، ترانزیستور معیوب می‌شود. این مقادیر الکتریکی به مقادیر حد معروف‌اند. کارخانجات سازنده، حداکثر مقدار مجاز مقادیر الکتریکی را مشخص می‌کنند.

مهم‌ترین این مقادیر عبارت‌اند از:

۱ **حداکثر ولتاژ کلکتور ـ امیتر:** این پارامتر، حداکثر ولتاژ مجاز بین پایه‌های کلکتور و امیتر را مشخص می‌کند و آن را با VCEmax نمایش می‌دهند.

۲ **حداکثر جریان کلکتور:** حداکثر جریانی است که ترانزیستور می‌تواند در دمای مشخص شده از طرف کارخانه سازنده، تحمل کند و آن را با ICmax نمایش می‌دهند.

۳ **حداکثر توان:** حداکثر توانی است که می‌تواند در یک ترانزیستور به‌صورت حرارت تلف شود و آن را با Pmax نمایش می‌دهند.

۴ **حداکثر درجه حرارت محل پیوند:** حداکثر درجه حرارتی است که در محل اتصال کلکتور ـ بیس، ترانزیستور می‌تواند تحمل کند و آن را با Tj نمایش می‌دهند.

تحقیق کنید:

با مراجعه به رسانه‌های مختلف، بررسی کنید چرا شهید حسن تهرانی‌مقدم را پدر علم موشکی ایران می‌نامند؟

پاسخ:

سردار سرلشکر پاسدار شهید حسن تهرانی‌مقدم

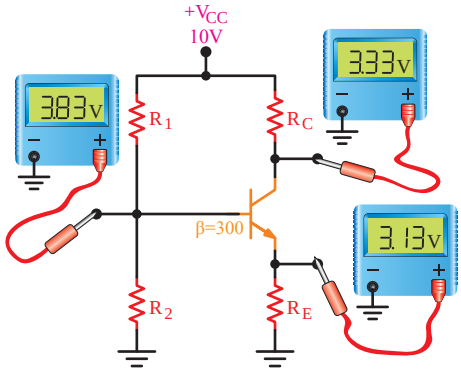
سردار سرلشکر پاسدار شهید حسن تهرانی‌مقدم از بنیانگذاران اصلی صنایع موشکی جمهوری اسلامی ایران و بنیانگذار توپخانه و موشکی سپاه در دوران پر افتخار هشت سال دفاع مقدس و مسئول سازمان خودکفایی و تحقیقات صنعتی سپاه پاسداران، بود. این شهید گرانقدر تقریباً ۲۵ سال از عمر خود را در ایجاد و توسعه این بخش از توان دفاعی قرار داده بود و به‌عنوان پدر موشکی ایران لقب گرفت.

تولد؛ ۱۳۳۸: حسن تهرانی‌مقدم در ۶ آبان ماه ۱۳۳۸ در محله سرچشمه تهران متولد شد.

همراهی در مبارزات انقلابی؛ ۱۳۵۷: هم‌زمان با اوج‌گیری فعالیت انقلابی، تحت‌تأثیر برادرش (محمد) به صف انقلابیون پیوست.

عضویت در سپاه پاسداران؛ تیرماه ۱۳۵۹: تهرانی‌مقدم در ۲۱ سالگی و در ابتدای شکل‌گیری رسمی سپاه پاسداران، به‌عنوان مسئول اطلاعات منطقهٔ ۳ سپاه شمال، مشغول به فعالیت شد و تا ۵۹/۷/۳۱ در این سمت باقی ماند. در زمان بروز ناآرامی‌ها در نقاط مرزی که مهم‌ترین آنها حوادث تجزیه‌طلبانه در کردستان بود، سپاه را در ۱۵ ماه اول عمر خود متوجه ضرورت تقویت صبغه نظامی کرد. با این رویکرد تا شهریور ۱۳۵۹ که کشور در آستانه هجوم رژیم بعث عراق قرار گرفت، حداکثر توان رزمی سپاه، تعداد معدودی گردان‌های رزمی بود که با روش‌های چریکی و غیرکلاسیک، درگیر مبارزه با اشرار و ضد انقلابیون مسلح در کردستان شدند. سنگین‌ترین سلاحی که در آن دوران در اختیار سپاه بود، تعدادی خمپاره‌انداز و آرپی‌جی و تیربار بود، درحالی‌که در همین وضعیت، ضد انقلابیون در کردستان، حتی به توپخانه نیز مجهز بودند. شاید آمار کل سلاح‌های سپاه در آن مقطع از چند هزار تفنگ G۳، کلت، آرپی‌جی و ده‌ها قبضه خمپاره‌انداز تجاوز نمی‌کرد.

۱ با توجه به مقادیر نشان داده شده در شکل روبه‌رو V_{CE} و V_{BE} و V_{CB} را محاسبه کنید. ناحیهٔ کار ترانزیستور را مشخص کنید.



پاسخ:

ناحیه قطع کار می‌کند.

$V_{CE}=V_C-V_E$

$V_{CE}=$ ۳/۳۳ − ۳/۱۳ = ۰/۲ V

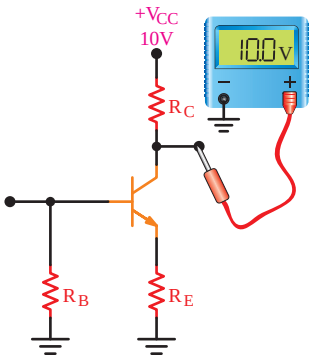
$V_{BE}=V_B-V_E$

$V_{BE}=$ ۳/۸۳ − ۳/۱۳ = ۰/۷

$V_{CB}=V_{CE}-V_{BE}$

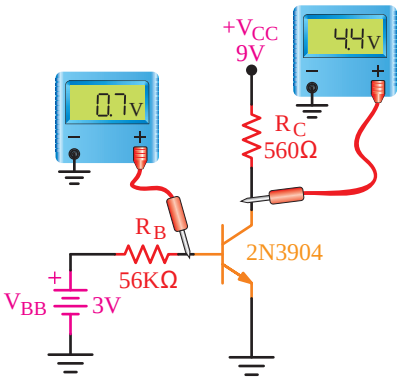
$V_{CB}=$ ۰/۲ − ۰/۷ = −۰/۵

۲ با توجه به مقدار ولتاژ نشان داده شده در شکل زیر ناحیهٔ کار ترانزیستور را مشخص کنید.



پاسخ:

ناحیه فعال کار می‌کند.



۳ با توجه به شکل روبه‌رو I_B و I_C و β_{DC} ترانزیستور را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۹ + ۵۶۰ \times I_C + ۴/۴ = ۰$$

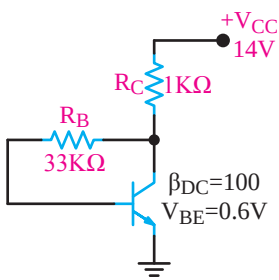
$$I_C = ۸/۲۱ \text{ mA}$$

$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-۳ + ۵۶ \times ۱۰^{۳} \times I_B + ۰/۷ = ۰$$

$$I_B = ۰/۰۴ \text{ mA}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{۸/۲۱ \text{ mA}}{۰/۰۴ \text{ mA}} = ۲۰۵/۲۵$$



۴ با توجه به شکل روبه‌رو مقادیر داده شده در مدار، I_B، I_C، V_{CE} را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$I_C = \beta I_B = ۴/۳۸ \times ۱۰^{-۷} \times ۱۰۰ = ۴/۳۸ \times ۱۰^{-۵}$$

$$-V_{CC} + R_C I_C + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-V_{CC} + R_C \beta I_B + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

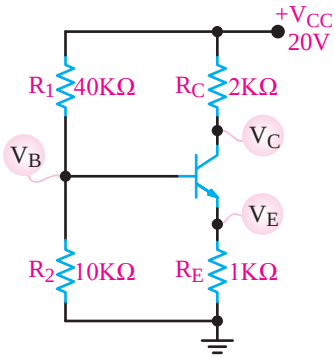
$$-۱۴ + ۱ \times ۱۰^{۳} \times ۱۰۰ I_B + ۳۳ \times ۱۰^{۳} \times I_B + ۰/۶ = ۰$$

$$I_B = -۴/۳۸ \times ۱۰^{-۷}$$

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۱۴ + ۱ \times ۱۰^{۳} \times ۴/۳۸ \times ۱۰^{-۵} + V_{CE} = ۰$$

$$V_{CE} = ۱۳/۹۵$$



۵ در شکل روبه‌رو با فرض $I_E=I_C$ ولتاژ پایه‌ها و جریان ترانزیستور را محاسبه کنید. $V_{BE}=۰/۷$

پاسخ:

$$V_B=\frac{V_{CC}R_۲}{R_۱+R_۲}$$

$$V_B=\frac{۲۰\times ۱۰}{۱۰+۴۰}=۴\ V$$

$$V_E=V_B-V_{BE}$$

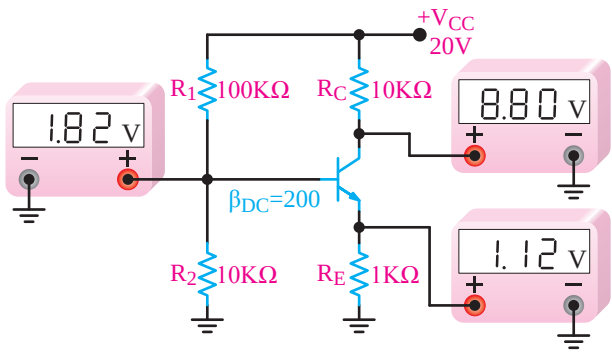
$$V_E=۴-۰/۷=۳/۳\ V$$

$$I_E=\frac{V_E}{R_E}=\frac{۴}{۱K}=۴\ mA$$

$$V_C=V_{CC}-R_CI_C$$

$$V_C=۲۰-۲\times ۱۰^{۳}\times ۴\times ۱۰^{-۳}=۱۲\ V$$

۶ با استفاده از روابط مربوط به بایاس سرخود اثبات کنید که مقادیر نشان داده‌شده توسط ولت‌مترهای شکل زیر صحیح است. $V_{BE}=۰/۷$



پاسخ:

$$V_B = \frac{V_{CC} R_۲}{R_۱ + R_۲}$$

$$V_B = \frac{۲۰ \times ۱۰}{۱۰ + ۱۰۰} = ۱/۸۱$$

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$V_E = ۱/۸۱ - ۰/۷ = ۱/۱۱$$

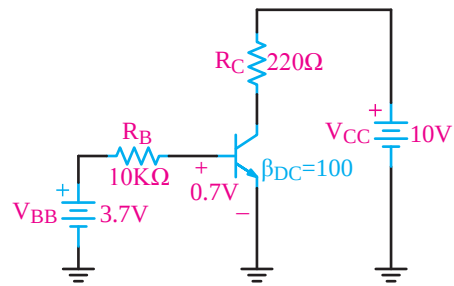
$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{۱/۱۱}{۱K} = ۱/۱۱ mA$$

$$I_E = I_C$$

$$V_C = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_C = ۲۰ - ۱۰ \times ۱۰^{۳} \times ۱/۱۱ \times ۱۰^{-۳} = ۸/۹ V$$

۷ـ با توجه به شکل زیر و مقادیر داده شده در مدار I_B، I_C، V_{CE} را محاسبه کنید.



پاسخ:

$$-V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

$$-۳/۷ + ۱۰ \times ۱۰^{۳} \times I_B + ۰/۷ = ۰$$

$$I_B = ۰/۳ mA$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_C = \beta \times I_B = ۱۰۰ \times ۰/۳ mA = ۳۰ mA$$

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

$$-۱۰ + ۲۲۰ \times ۳۰ \times ۱۰^{-۳} + V_{CE} = ۰$$

$$V_{CE} = ۳/۴$$