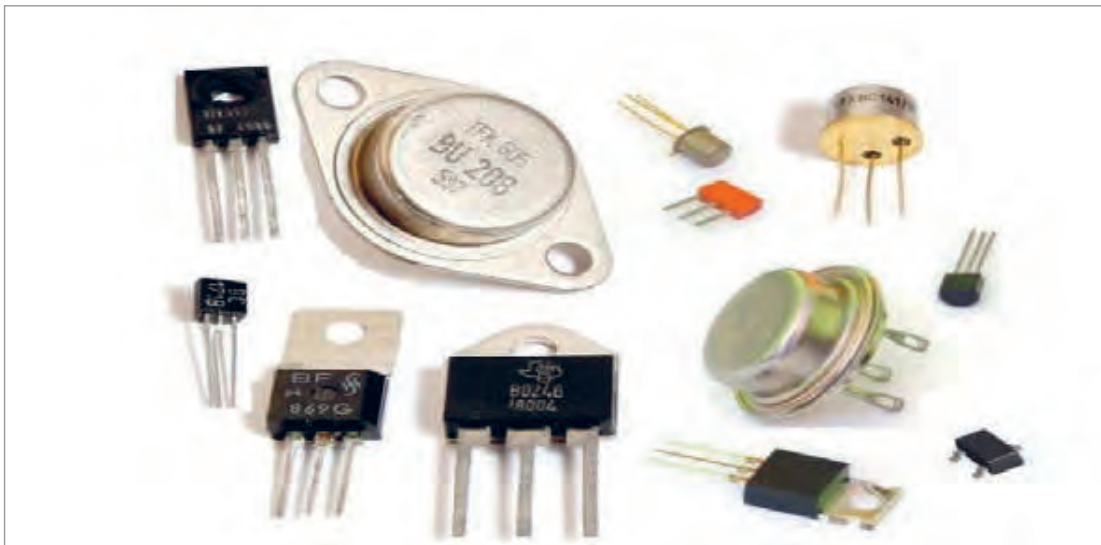
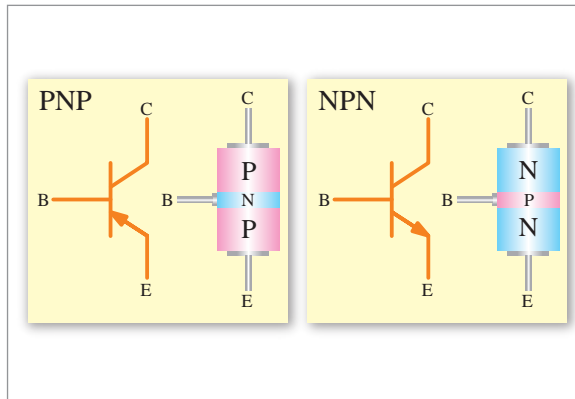
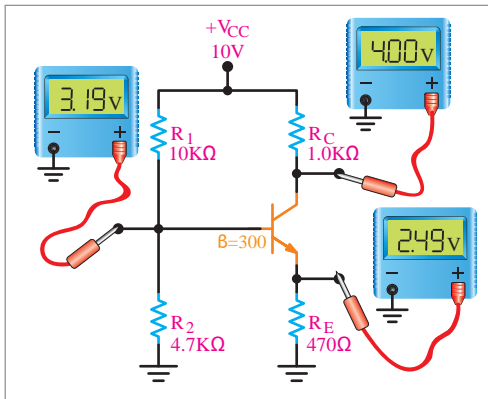


## تحلیل مدارهای ترانزیستوری



## آیا تاکنون پی برده‌اید

- 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 مشخصه ترانزیستور چگونه است؟
- مقاومت‌های بایاس با معلوم بودن مشخصات نقطه کار در بایاس مستقیم، اتوماتیک و سرخود چگونه محاسبه می‌شوند؟

## 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.

## ترانزیستور

یکی دیگر از قطعات اساس و پُر کاربرد در الکترونیک، ترانزیستور است. ترانزیستور به عنوان سویچ، تقویت‌کننده، تثبیت‌کننده ولتاژ و... در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



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

تحقیق کنید



ردیف	برتری ترانزیستور بر لامپ‌های الکترونی
۱	کوچک‌تر و سبک‌تر بودن
۲	احتیاج نداشتن به فیلامان و در نتیجه، نداشتن تلفات حرارتی ناشی از گرم کردن فیلامان
۳	احتیاج نداشتن به مدت زمان جهت گرم شدن فیلامان
۴	کارکردن در ولتاژهای بسیار کم
۵	داشتن تحمل جریان زیاد
۶	استحکام زیاد و داشتن عمر طولانی
۷	ساده بودن سیم‌کشی طرح‌های ترانزیستوری



در شکل ۱ شکل ظاهری یک نوع ترانزیستور و یک نوع لامپ مقایسه داده شده است.

شکل ۱- مقایسه شکل ظاهری ترانزیستور و لامپ

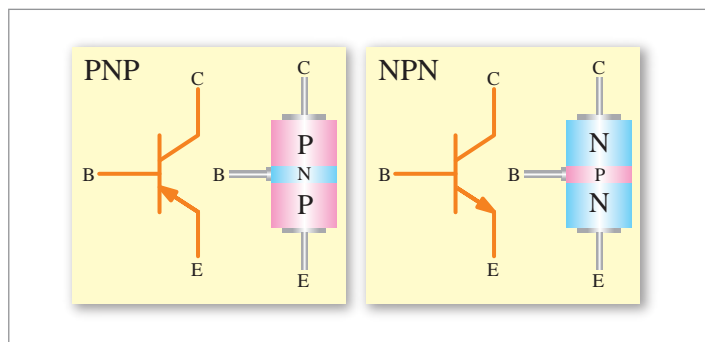
برتری‌های لامپ‌های الکترونی را بر ترانزیستور بیان کنید.

کار در کلاس



### ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی، یک المان سه پایه است که از سه کریستال نیمه‌هادی نوع N و P که در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، تشکیل شده است. در حالت «الف» ترانزیستور را NPN و در حالت «ب» ترانزیستور را PNP می‌نامند. شکل ۲ ترتیب قرار گرفتن نیمه‌هادی‌ها را در کنار هم نشان می‌دهد.



شکل ۲- ساختمان و علامت قرار دادی ترانزیستور

پایه‌های خروجی ترانزیستور به ترتیب عبارت‌اند از :

۱ امیتر منتشرکننده (Emitter)؛

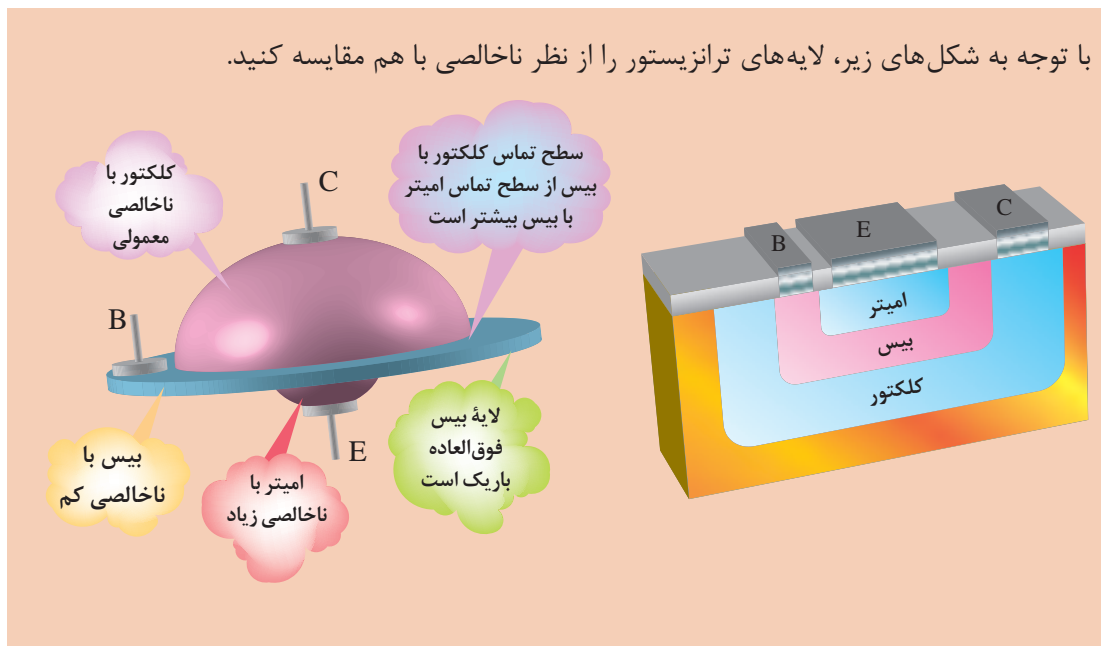
۲ پایه یا بیس (Base)

۳ کلکتور جمع‌کننده (collector).

امیتر را با حرف E، پایه (بیس) را با حرف B و کلکتور را با حرف C نشان می‌دهند. این نوع ترانزیستورها را به اختصار Bipolar Junction Transist (BJT) می‌نامند.

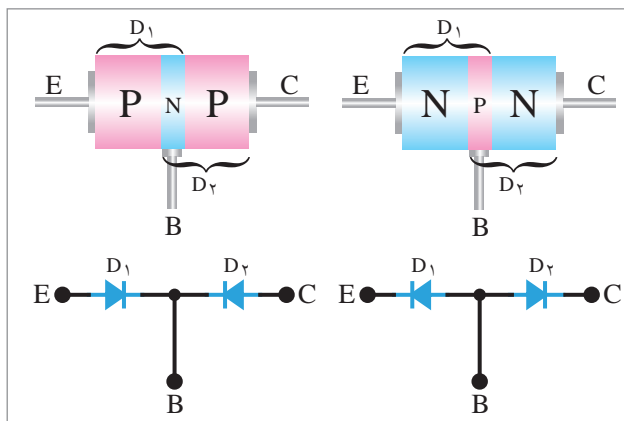


با توجه به شکل‌های زیر، لایه‌های ترانزیستور را از نظر ناخالصی با هم مقایسه کنید.



### معادل دیودی ترانزیستور

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 ۳ نشان داده می‌شود.

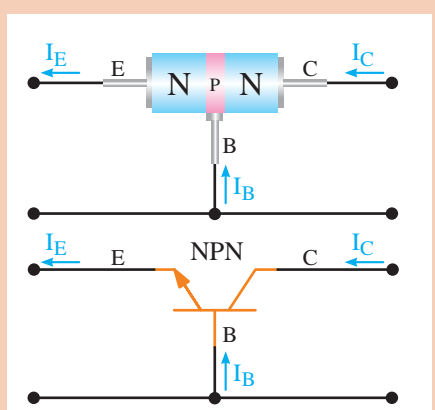
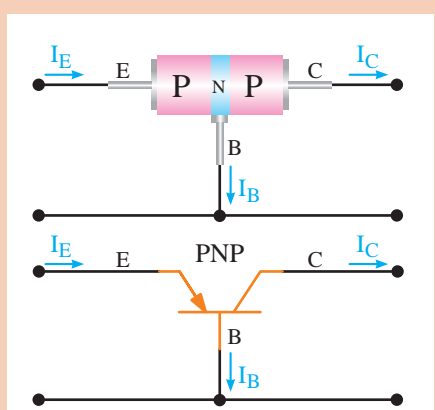


شکل ۳- معادل دیودی ترانزیستور

**بایاس ترانزیستور:** برای اینکه بتوان از ترانزیستور به‌عنوان تقویت‌کننده، سویچ و... استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ dc تغذیه کرد. عمل تغذیه ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را بایاس ترانزیستور می‌نامند. جهت جریان‌ها در ترانزیستور: جریانی که از کلکتور عبور می‌کند با حرف  $I_C$ ، جریانی که از بیس عبور می‌کند با حرف  $I_B$  و جریانی که از امیتر عبور می‌کند با حرف  $I_E$  نشان داده می‌شود. به طور کلی جریانی که از امیتر عبور می‌کند، به دو بخش 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 علاوه جریان کلکتور، یعنی:  $I_E = I_B + I_C$

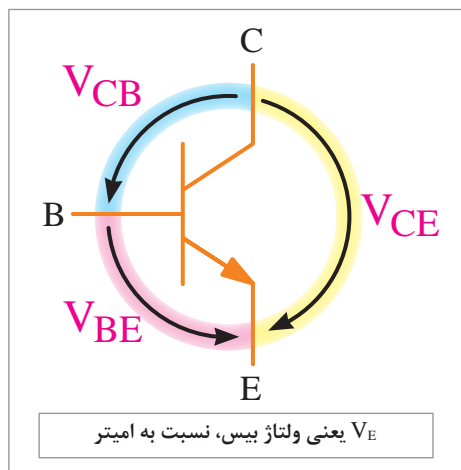


شکل‌های زیر را تجزیه و تحلیل کنید.



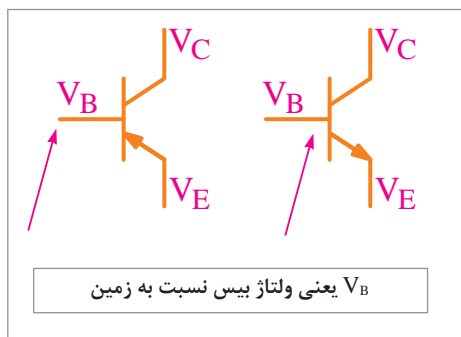
### نام‌گذاری ولتاژهای ترانزیستور

برای اینکه بتوان از ترانزیستور به‌عنوان تقویت‌کننده سیگنال‌های الکتریکی و یا دیگر کاربردهای آن استفاده نمود، آن را باید با ولتاژ dc تغذیه کرد.



شکل ۴- نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌ها

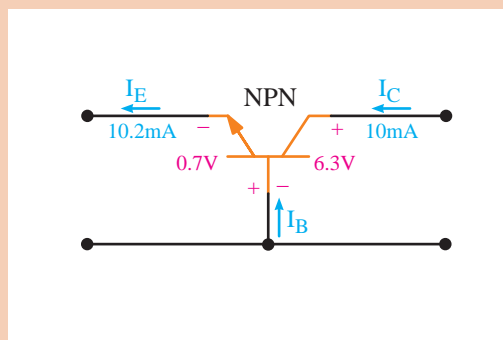
ولتاژی که بین پایه‌های بیس و امیتر قرار می‌گیرد با  $V_{BE}$ ، ولتاژی که در قسمت کلکتور و بیس قرار می‌گیرد با  $V_{CB}$ ، ولتاژی که بین کلکتور و امیتر وصل می‌شود با  $V_{CE}$ ، ولتاژ منبع تغذیه کلکتور را با  $V_{CC}$  و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می‌کند با  $V_{BB}$  نشان داده می‌شود. شکل ۴، ولتاژ قسمت‌های مختلف ترانزیستور را نشان می‌دهد. بین ولتاژهای ترانزیستور، رابطه  $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$  برقرار است.



شکل ۵- ولتاژ هر پایه ترانزیستور نسبت به زمین

شکل ۵ ولتاژ هر پایه ترانزیستور را نسبت به زمین نشان می‌دهد.

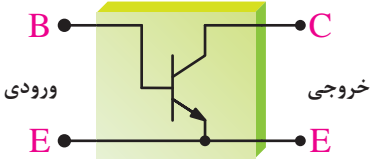
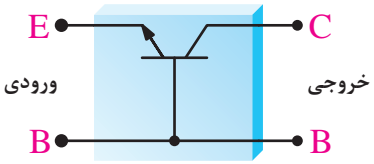
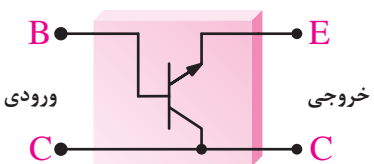
با توجه به شکل زیر،  $V_{CE}$  و  $I_B$  را محاسبه کنید.



کار در کلاس

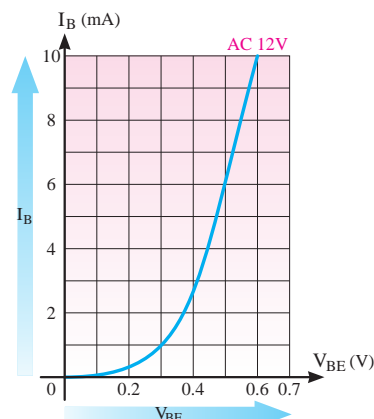


### آرایش‌های ترانزیستور

 <p>ورودی: B خروجی: C E: E</p>	<p>در این آرایش، پایه‌ی امیتر، بین ورودی و خروجی مدار، مشترک است. و نام‌گذاری این آرایش نیز به دلیل مشترک بودن پایه‌ی امیتر است.</p>	<p>امیتر مشترک</p>
 <p>ورودی: E خروجی: C B: B</p>	<p>در این آرایش چون پایه‌ی بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است، آرایش آن را نیز بیس مشترک نامیده‌اند.</p>	<p>بیس مشترک</p>
 <p>ورودی: B خروجی: E C: C</p>	<p>در این آرایش، پایه‌ی مشترک بین ورودی و خروجی، کلکتور است و به دلیل مشترک بودن پایه‌ی کلکتور، به آن کلکتور مشترک نیز می‌گویند.</p>	<p>کلکتور مشترک</p>

### منحنی مشخصه‌های ترانزیستور

روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آنها در ترانزیستور و همچنین ضریب تقویت آنها به عامل‌هایی همچون درجه‌ی حرارت، فرکانس و غیر خطی بودن المان‌ها بستگی دارد.

	<p>منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور، بیان‌کننده‌ی مقدار جریان ورودی، برحسب ولتاژ ورودی است.</p>	<p>منحنی مشخصه ورودی</p>
---	---	--------------------------

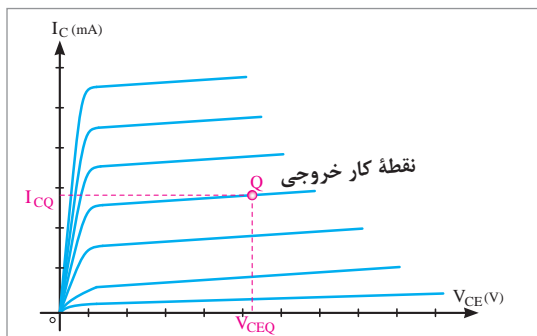
	<p>منحنی مشخصه انتقالی، رابطه بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت <math>V_{CE}</math> نشان می‌دهد.</p>	<p>منحنی مشخصه انتقالی</p>
	<p>منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، رابطه بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معین را نشان می‌دهد.</p>	<p>منحنی مشخصه خروجی</p>

منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور و نواحی آن را بررسی کنید.

تحقیق کنید



### نقطه کار ترانزیستور



شکل ۶- نقطه کار خروجی، روی منحنی مشخصه خروجی

به مقادیر dc کمیت‌های  $V_{BE}$ ،  $V_{CE}$ ،  $I_B$ ،  $I_C$  در شرایطی که هیچ منبع سیگنال AC دیگری به ورودی آنها متصل نباشد، نقطه کار DC ترانزیستوری گویند. در شکل ۶ نقطه کار، روی منحنی مشخصه خروجی نشان داده شده است. نقطه کار را با حرف Q نشان می‌دهند. کلمه Quicent Point به مفهوم نقطه کار است.

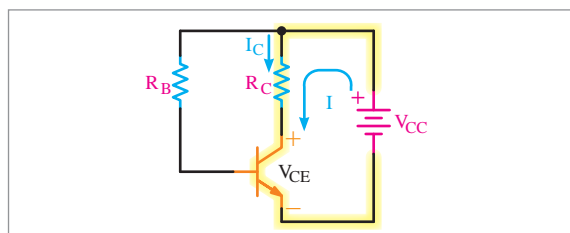




برای انتخاب نقطه کار، چه محدودیت‌هایی را در ترانزیستور باید در نظر گرفت؟

معادله خط بار و نحوه رسم آن: برای رسم خط بار، ابتدا باید معادله آن را نوشت. برای این منظور، با توجه به جهت جریان و جهت گردش در حلقه خروجی، از یک نقطه مثلاً قطب منفی منبع تغذیه در مدار شکل ۷، معادله KVL را به روش زیر می‌نویسیم.

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0 \quad \text{معادله خط بار}$$



شکل ۷- تقویت کننده ترانزیستوری

در معادله خط بار،  $V_{CC}$  و  $R_C$  ثابت، ولی  $V_{CE}$  و  $I_C$  متغیرند؛ لذا برای به دست آوردن حداقل دو نقطه از خط بار، یک دفعه  $I_C$  را برابر صفر فرض کرده و در معادله خروجی قرار می‌دهیم و آنگاه  $V_{CE}$  را به دست می‌آوریم (نقطه A) و بار دیگر  $V_{CE}$  را برابر صفر فرض کرده و در معادله خروجی قرار می‌دهیم و آنگاه  $I_C$  را به دست می‌آوریم (نقطه B) در پایان نقاط A و B را به هم وصل می‌کنیم تا خط بار به دست آید (شکل ۸).  
نقطه A

$$I_C = 0$$

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

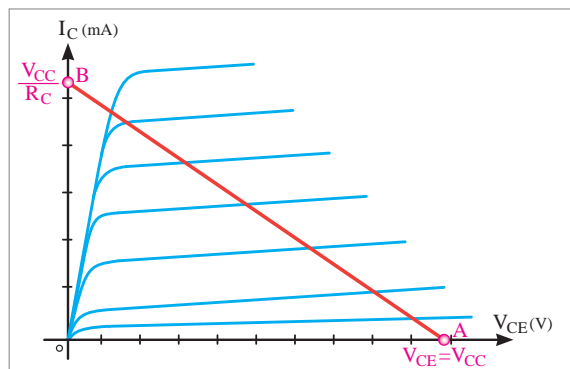
$$V_{CE} = V_{CC}$$

نقطه B

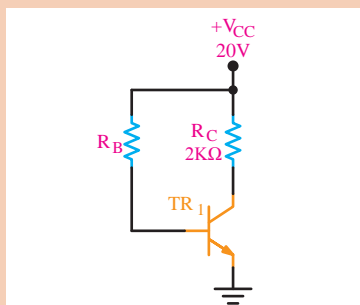
$$V_{CE} = 0$$

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

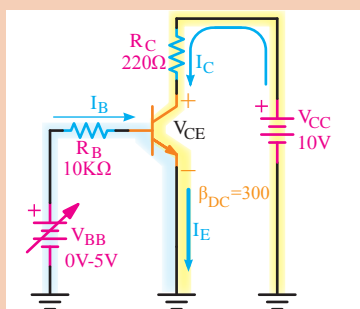
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$



شکل ۸- نحوه ترسیم خط بار

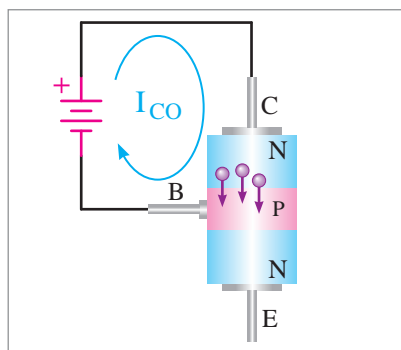


با توجه به شکل زیر، ابتدا معادله خط بار را بنویسید و سپس آن را روی منحنی مشخصه خروجی رسم کنید.



با توجه به تقویت‌کننده شکل زیر معادله خط بار را بنویسید و سپس آن را روی منحنی مشخصه خروجی شکل رسم کنید. نقطه کار را در وسط خط بار مشخص کنید و مختصات آن را بنویسید.  $V_{BE} = 0.7$  ولت است.

### تأثیر درجه حرارت در ترانزیستور

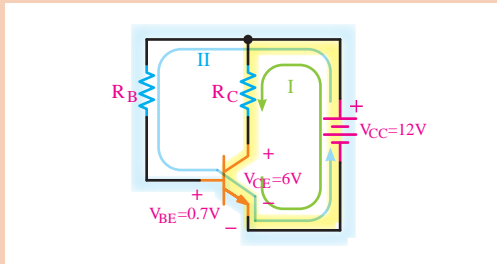


شکل ۹- نمایش جریان ICO

افزایش درجه حرارت، بر روی جریان معکوس کلکتور بیس، نسبت به جریان‌های دیگر، بیشتر اثر می‌گذارد. مطابق شکل ۹، با توجه به اینکه بیس کلکتور در بایاس مخالف قرار دارد، جریان بسیارضعیفی که عامل آن حامل‌های اقلیت (حفره‌ها) هستند، از کلکتور به طرف بیس جاری می‌شود. این جریان را جریان قطع کلکتور می‌نامند و با ICO نمایش می‌دهند.

### تأمین ولتاژها و جریان‌های مورد نیاز ترانزیستور

مقدار ولتاژی که لازم است به قسمت‌های مختلف ترانزیستور یا مدارهای ترانزیستوری اعمال شود، یک اندازه نیست. برای تأمین ولتاژهای مورد نیاز قسمت‌های مختلف یک تقویت‌کننده به کمک فقط یک منبع تغذیه، باید از تقسیم‌کننده‌های مقاومتی اهمی استفاده کرد. برای این منظور، مقاومت‌های اهمی را با قسمت‌های مختلف تقویت‌کننده سری می‌کنند و با ایجاد افت ولتاژ کافی، ولتاژ و جریان‌های DC مورد نیاز را به دست می‌آورند.



اگر بخواهیم مقدار ولتاژ  $V_{CE}$  در یک ترانزیستور، عولت و مقدار  $V_{BE}$  برابر  $0.7$  ولت و مقدار  $I_C = 1\text{mA}$  و مقدار  $I_B = 0.1\text{mA}$  باشد، مقاومت‌هایی را که باید با ترانزیستور سری شوند، به دست آورید. ولتاژ منبع تغذیه  $12$  ولت است. ( $U_{RC} = 6\text{V}$ )

حل:

$$U_{RC} = R_C I_C$$

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{6}{1\text{mA}} = 6000\Omega$$

طبق قانون ولتاژ کیرشهف (KVL) می‌توان محاسبات بالا را در حلقه I به صورت زیر نوشت:  
معادله KVL در حلقه خروجی:

$$\begin{aligned} -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} &= 0 \\ -12 + R_C \times 1\text{mA} + 6 &= 0 \end{aligned}$$

محاسبه  $R_C$ :

$$R_C = \frac{12 - 6}{1\text{mA}} = 6000\Omega$$

همچنین، طبق قانون ولتاژ کیرشهف (KVL) می‌توانیم معادله حلقه II را بنویسیم و مقدار  $R_B$  را نیز محاسبه نماییم.

معادله KVL در حلقه ورودی:

$$\begin{aligned} -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} &= 0 \\ -12 + R_B \times 0.1\text{mA} + 0.7 &= 0 \end{aligned}$$

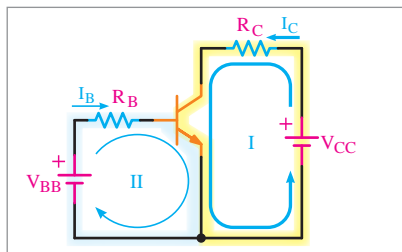
محاسبه  $R_B$ :

$$R_B = \frac{12 - 0.7}{0.1\text{mA}} = 113\text{k}\Omega$$

### تغذیه ترانزیستور

از ترانزیستور در صورتی می‌توان به صورت یک تقویت کننده استفاده کرد که ولتاژهای لازم به پایه‌های آن برسد و ترانزیستور را در حالت هدایت قرار دهد. در ادامه به بررسی انواع بایاسینگ (تغذیه) که ترانزیستور را در ناحیه هدایت قرار می‌دهد می‌پردازیم.

پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی



بایاس با دو منبع مستقل  $V_{CC}$  و  $V_{BB}$ : اگر بخواهیم ترانزیستور در نقطه  $Q$  کار کند، باید، مطابق شکل زیر یک منبع ولتاژ را بین بیس امیتر و منبع دیگری بین کلکتور و امیتر قرار دهیم. منبع  $V_{BB}$  دیود بیس امیتر در بایاس موافق منبع  $V_{CC}$  دیود کلکتور بیس را در بایاس معکوس قرار می‌دهد (شکل ۱۰).

شکل ۱۰- تغذیه ترانزیستور با دو منبع مستقل

به منظور کنترل جریان بیس، از مقاومت  $R_B$  و برای کنترل جریان کلکتور از مقاومت استفاده شده است. با نوشتن معادله KVL در حلقه I و حلقه II می‌توان مقدار مقاومت‌های بایاس را محاسبه نمود.

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

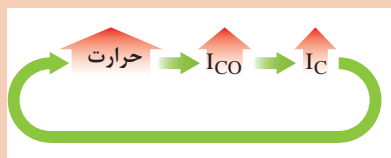
$$R_C I_C = V_{CC} - V_{CE}$$

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

با نوشتن معادله KVL در حلقه ورودی، می‌توان  $R_B$  را محاسبه کرد.

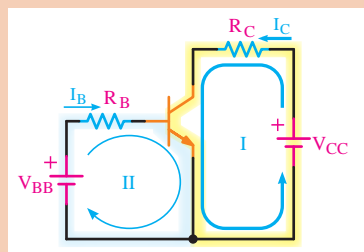
$$KVL \rightarrow -V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B I_B = V_{BB} - V_{BE} \rightarrow R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B}$$



رابطه زیر را بررسی کنید.

کار در کلاس



برای تقویت کننده شکل زیر، مقاومت‌های بایاس  $R_C$  و  $R_B$  را طوری محاسبه کنید که نقطه کار ترانزیستور، با مختصات  $Q$  برابر شود.

کار در کلاس

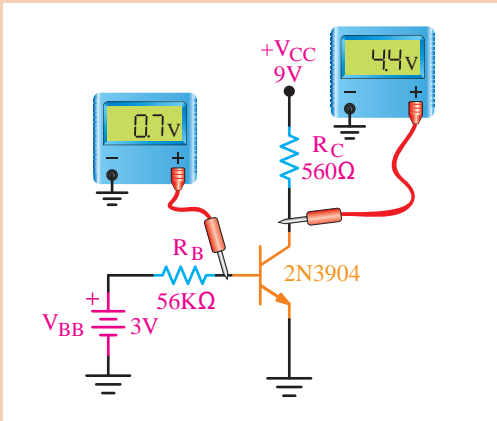


$$V_{BE} = 0.7V, V_{CE} = 6V, I_C = 5mA, I_B = 0.1mA, V_{CC} = 12V, V_{BB} = 2V$$

کار در کلاس



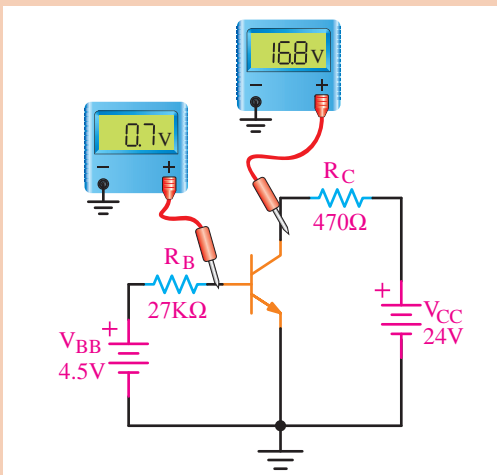
با توجه به شکل روبه‌رو  $I_C$  و  $I_B$  را ترانزیستور محاسبه کنید



کار در کلاس



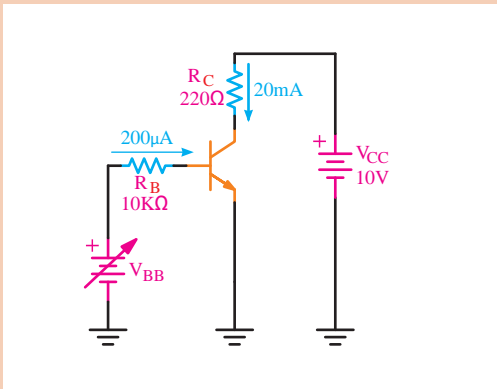
با توجه به شکل روبه‌رو  $\beta$  و  $\alpha$  را محاسبه کنید.



کار در کلاس

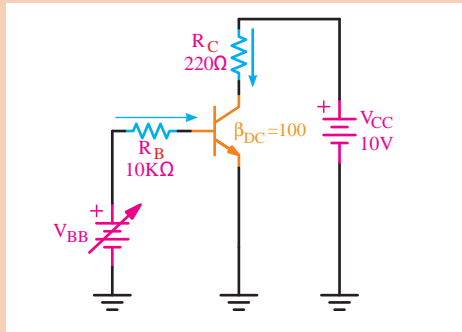


در مدار شکل روبه‌رو،  $V_{CE}$  را محاسبه کرده و بگویید مقدار منبع ولتاژ  $V_{BB}$  چه قدر است؟ ( $V_{BE} = 0.7$ )

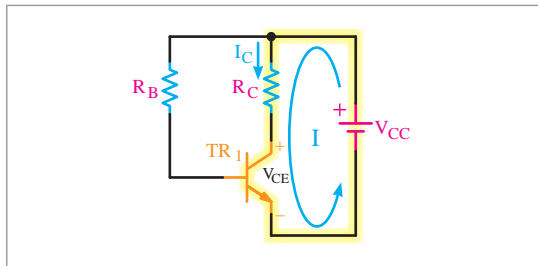


پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی

کار در کلاس



در مدار شکل روبه‌رو اگر  $V_{BE} = 0.7V$  و  $V_{BB} = 4V$  ولت باشد،  $I_B$  و  $I_C$  و  $V_{CE}$  را محاسبه کنید.



بایاس بیس با یک منبع ولتاژ (Base Bias): برای صرفه‌جویی به جای دو باتری، تنها از یک باتری  $V_{CC}$  استفاده می‌کنیم. این نوع بایاس را بایاس بیس با یک باتری می‌نامند (شکل ۱۱).

شکل ۱۱- بایاس بیس با یک باتری

برای محاسبه  $R_C$ ، معادله KVL در حلقه خروجی نوشته می‌شود.

$$KVL_{(I)} \rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = 0$$

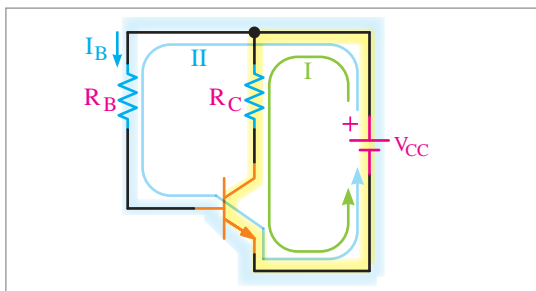
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

برای محاسبه  $R_B$ ، معادله KVL را در حلقه II می‌نویسیم (شکل ۱۲).

$$KVL_{(II)} \rightarrow -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B I_B = V_{CC} - V_{BE}$$

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



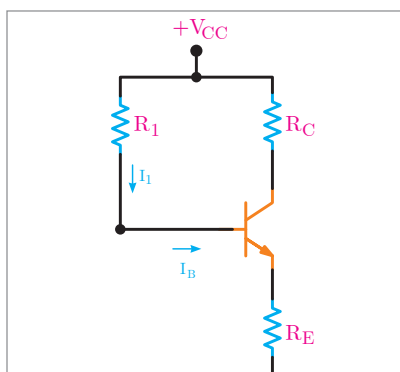
شکل ۱۲- تغذیه بیس با استفاده از یک باتری



برای نقطه کار Q با مختصات:

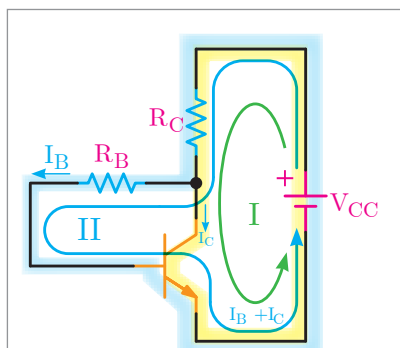
$$V_{BE} = 0.7V \quad V_{CE} = 6V \quad I_C = 5mA \quad I_B = 0.1mA$$

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



بایاس با فیدبک در امیتر **Emitter Feedback Bias**: به دلیل تأثیر حرارت در نقطه کار ترانزیستور، مقاومت  $R_E$  را در امیتر ترانزیستور قرار می‌دهند. این نوع بایاس را بایاس با فیدبک در امیتر می‌گویند (شکل ۱۳).

شکل ۱۳- بایاس با فیدبک در امیتر

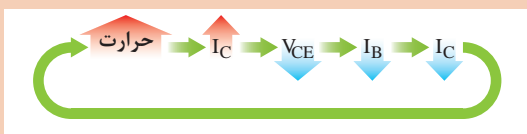


بایاس با فیدبک از کلکتور (**Collector Feedback Bias**): در صورتی که  $R_B$  را بین بیس و کلکتور قرار دهیم به این نوع تغذیه، بایاس با فیدبک ولتاژ می‌گویند. شکل ۱۴ این نوع بایاس را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴- ترانزیستور به همراه بایاس با فیدبک از کلکتور



رابطه زیر را بررسی کنید:



محاسبه مقاومت‌های بایاس  $R_B$  و  $R_C$ : برای محاسبه مقاومت بایاس  $R_C$  معادله KVL را در حلقه I می‌نویسیم:

$$KVL (I) \rightarrow -V_{CC} + (I_C + I_B) R_C + V_{CE} = 0 \rightarrow I_E = I_C + I_B$$

$$R_C I_E = V_{CC} - V_{CE}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_E}$$

پودمان ۳: تحلیل مدارهای الکترونیکی

با نوشتن معادله KVL در حلقه II،  $R_B$  محاسبه می‌شود.

$$\text{KVL (II)} \rightarrow -V_{CC} + R_C I_E + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

$$R_B I_B = V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E}{I_B}$$

می‌توان با معلوم بودن  $V_{CE}$  افت پتانسیل  $V_{CB}$  را به دست آورد، سپس  $R_B$  را ساده‌تر محاسبه نمود.

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

$$R_B I_B = V_{CB}$$

$$R_B = \frac{V_{CB}}{I_B}$$

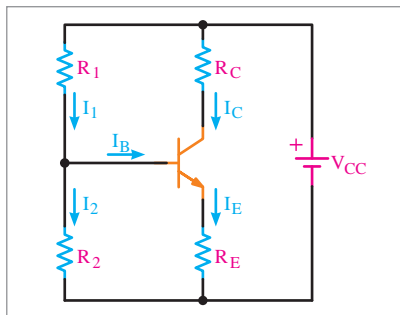
کار در کلاس



در شکل ۱۴ برای نقطه کار Q:

$$V_{BE} = 0.7V \quad V_{CE} = 5V \quad I_C = 5mA \quad I_B = 0.1mA$$

و با معلوم بودن مقدار  $V_{CC} = 12V$  ولت، مقادیر  $R_B$  و  $R_C$  را برای مدار محاسبه کنید.



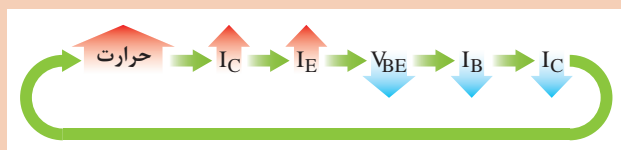
**بایاس سرخود:** روش بهتر بایاس و ثابت حرارتی، بایاس با مدار تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی است که به آن بایاس سرخود نیز می‌گویند. در این روش، مطابق شکل ۱۵ یک مقاومت  $R_E$  در مسیر امیتر قرار می‌گیرد و بیس، توسط دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  (به صورت مقسم ولتاژ) تغذیه می‌شود. مقاومت‌های  $R_C$  و  $R_2$  را با استفاده از معادله KVL و مفروضاتی که از تجربه به دست آمده است و با معلومات داده شده، محاسبه می‌نمایند.

شکل ۱۵- ترانزیستور با بایاس تقسیم‌کننده ولتاژ مقاومتی یا سرخود

کار در کلاس



رابطه زیر را بررسی کنید:





تحقیق کنید

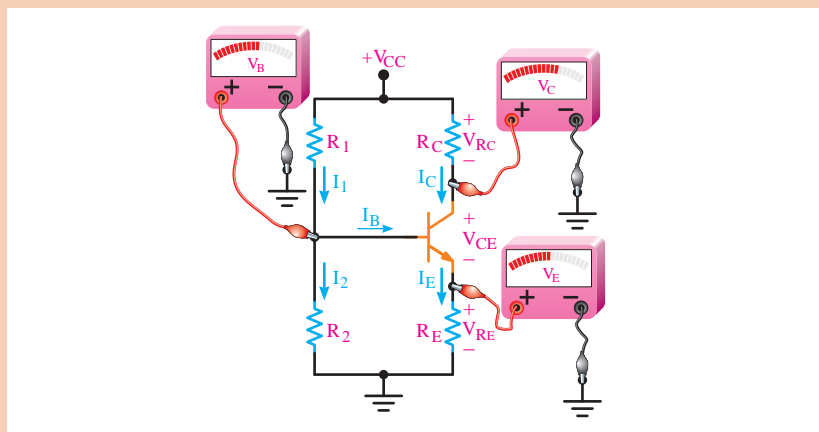


مثال



یک نمونه مدار بایاس را با نرم‌افزار، شبیه‌سازی کنید و نتیجه را با پرده نگار نمایش دهید.

در مدار شکل زیر مقادیر  $V_E$  و  $V_B$  و  $V_C$  و نیز  $I_C$  را محاسبه کنید.  $V_{BE} = 0.7V$  ولت است.



حل:

محاسبه  $V_B$ :

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

$$V_B = \frac{10 \times 5/1}{5/1 + 10} = 3.37V$$

محاسبه  $V_E$ :

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

$$V_E = 3.37 - 0.7 = 2.67V$$

محاسبه  $I_E$ :

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2.67}{510\Omega}$$

$$I_E = 5.23mA$$

$$I_C = I_E = 5.23mA$$

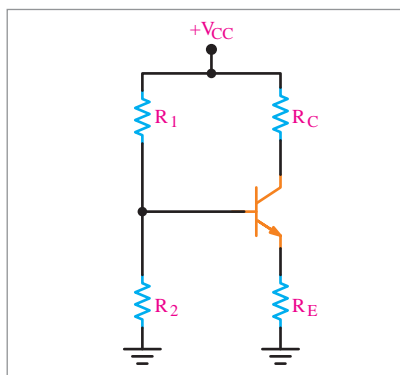
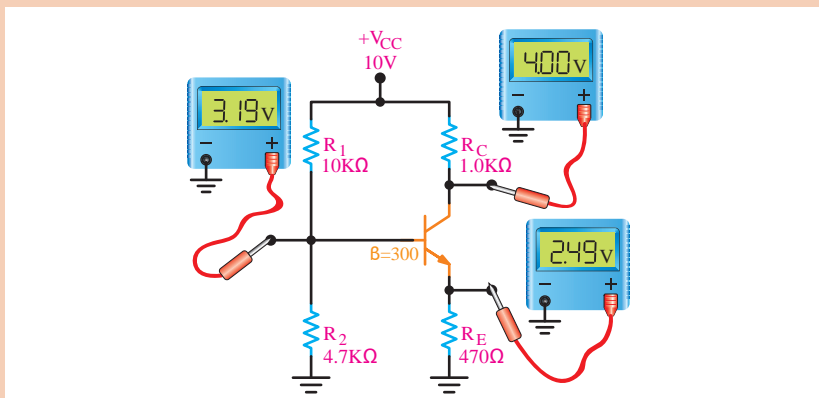
محاسبه  $V_C$ :

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

$$V_C = 10 - (5/23 \times 1) = 4.77V$$



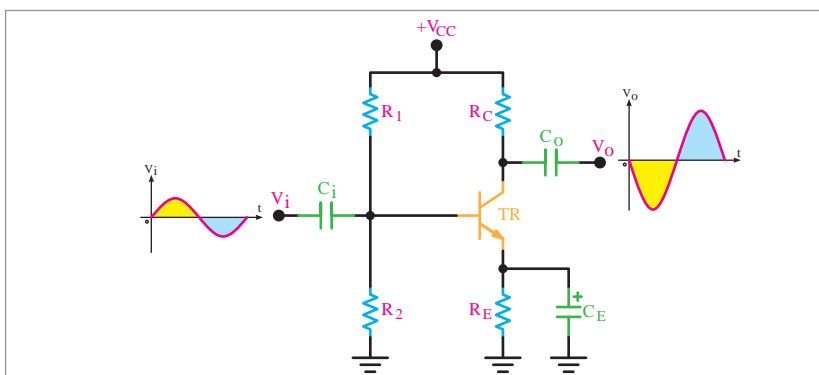
آیا مقادیری را که ولت‌مترها نشان می‌دهند، صحیح است؟ ولتاژ نقاط مشخص شده را محاسبه کنید. ( $V_{BE} = 0.7V$  ولت است.)



اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده ترانزیستوری با بایاس سرخود: برای اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده ترانزیستوری، ابتدا باید تقویت کننده را از نظر DC در منطقه فعال، بایاس کنیم. شکل ۱۶، بایاس DC ترانزیستور را به صورت سرخود نشان می‌دهد.

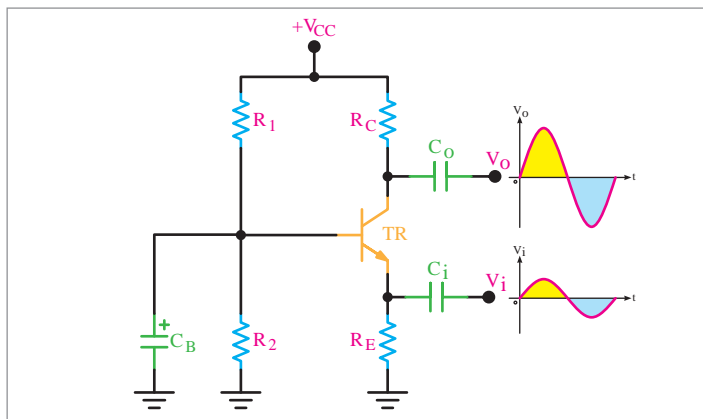
شکل ۱۶- تقویت کننده به صورت بایاس سرخود

اتصال سیگنال متناوب به این تقویت کننده به سه صورت امکان پذیر است:  
**الف) آرایش امیتر مشترک:** در این آرایش، سیگنال متناوب ورودی را به بیس ترانزیستور اتصال می‌دهند و سیگنال تقویت شده از کلکتور دریافت می‌گردد.  
 پایه بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل ۱۷ این آرایش را نشان می‌دهد.



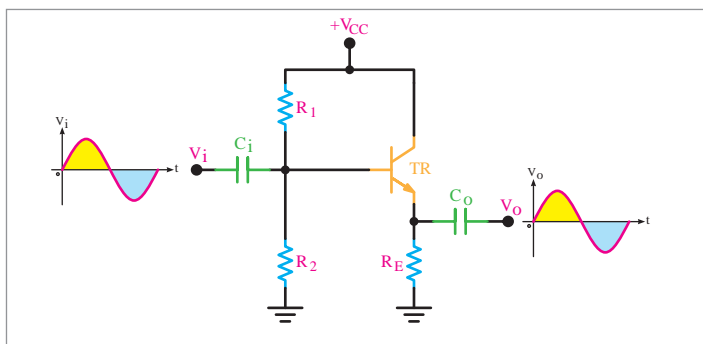
شکل ۱۷- یک نمونه تقویت کننده امیتر مشترک

خازن‌های  $C_I$  و  $C_O$ ، خازن‌های کوپلاژ نام دارند و مانع عبور سیگنال DC می‌شوند ولی سیگنال متناوب را از خود عبور می‌دهند. خازن  $C_E$ ، خازن بای پاس نام دارد. این خازن،  $R_E$  را از نظر سیگنال متناوب، اتصال کوتاه می‌کند. این آرایش، سیگنال ورودی را از نظر ولتاژ و جریان تقویت می‌نماید. (ب) آرایش بیس مشترک: در این آرایش، سیگنال متناوب ورودی به امیتر اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می‌شود. پایه بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل ۱۸ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- یک نمونه تقویت کننده بیس مشترک

پایه بیس از نظر سیگنال AC به زمین وصل و بین ورودی و خروجی مشترک است.  $C_I$  و  $C_O$  خازن‌های کوپلاژ و  $C_B$ ، خازن بای پاس است. این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر دامنه ولتاژ تقویت می‌کند. (ج) آرایش کلکتور مشترک: در این آرایش، سیگنال متناوب ورودی به بیس اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از امیتر دریافت می‌شود. چون منبع تغذیه به طور ایده‌آل مقاومت داخلی ندارد، لذا کلکتور از نظر سیگنال AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است. به این ترتیب پایه کلکتور، پایه مشترک بین ورودی و خروجی است. این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر جریان تقویت می‌کند. شکل ۱۹ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- یک نمونه تقویت کننده کلکتور مشترک



با جستجو در شبکه‌های مجازی و اینترنت، مشخصات آرایش‌های ترانزیستور را تحقیق کنید و نتیجه را به صورت پرده‌نگار نمایش دهید.

### نام‌گذاری ترانزیستورها



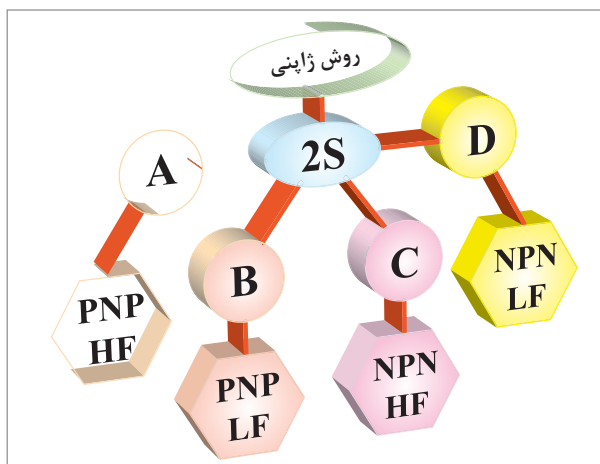
شکل ۲۰- روش‌های نام‌گذاری ترانزیستورها

برای نام‌گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. ولی تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از سیستم نام‌گذاری خاصی استفاده می‌نمایند. آن سه روش، عبارت‌اند از:  
 نام‌گذاری به روش ژاپنی؛  
 نام‌گذاری به روش اروپایی؛  
 نام‌گذاری به روش آمریکایی؛  
 شکل ۲۰، این نام‌گذاری‌ها را نشان می‌دهد.

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 ۲S، یکی از چهار حرف A, B, C, D را قرار می‌دهند که هر حرف مفهومی به شرح زیر دارد:

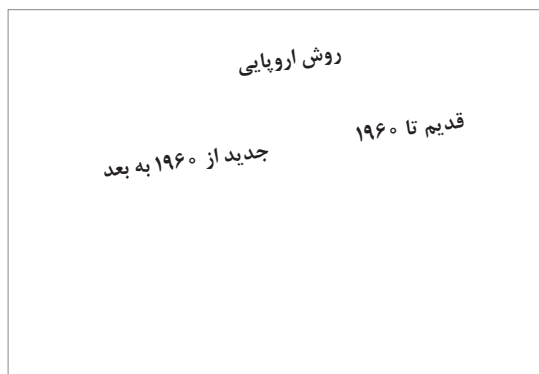
حرف A نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های بالا نیز می‌تواند کار کند. (High Frequency) = HF  
 حرف B نشان دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند. (Low Frequency) = LF  
 حرف C نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های بالا نیز می‌تواند کار کند.  
 حرف D نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.  
 بعد از این حروف، تعداد دو، سه، چهار عدد قرار می‌گیرد. در این سیستم، حروف روی ترانزیستور، مشخص‌کننده

جنس نیمه‌هادی به کار رفته ژرمانیم یا سیلیسیم و همچنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً المان سه پایه به شماره SC۸۲۹ ۲ نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN با محدوده فرکانسی بالاست. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً C۸۲۹ همان ۲S۸۲۹ است.



شکل ۲۱- نام‌گذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی

نام‌گذاری به روش اروپایی: در نام‌گذاری به روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰، ترانزیستور را با حرف OC و OD و با دو، سه یا چهار عدد به دنبال آن مشخص می‌کردند، که OC برای ترانزیستورهای کم‌قدرت و OD برای ترانزیستورهای قدرت به کار می‌رفت. OC۷۲ در این روش نام‌گذاری، نوع ترانزیستور PNP - NPN یا جنس نیمه‌هادی به کار رفته یا محدودهٔ فرکانسی آن مشخص نبود.



از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام‌گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیشتر با دو حرف و سه شماره 1 و ترانزیستورهای خاص، با سه حرف و دو شماره مشخص می‌شوند. مانند ترانزیستور شمارهٔ BUX۳۸ که این ترانزیستور در فرکانس‌های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می‌شود. در این مبحث، روش نام‌گذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد.

شکل ۲۲- نام‌گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی

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

- F:** ترانزیستور کم‌قدرت، فرکانس کار زیاد.
- C:** ترانزیستور کم‌قدرت، فرکانس کار کم.
- D:** ترانزیستور قدرت، فرکانس کار کم.
- S:** ترانزیستور کم‌قدرت که بصورت سوئیچ به کار می‌رود.
- L:** ترانزیستور قدرت، فرکانس کار زیاد (ترانزیستور کم‌قدرتی که به صورت سوئیچ به کار می‌رود).




شکل ۲۳- مشخصات ظاهری ترانزیستور BC107

**U:** ترانزیستور قدرت، به صورت سوئیچ به کار می‌رود. سه شمارهٔ بعد، نشان‌دهندهٔ 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 BC107 به این شرح است:


با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوط، مشخصات الکتریکی را به دست می‌آورند. مثلاً ترانزیستور BF۴۸، ترانزیستوری کم‌قدرت بوده و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد نیز

می‌تواند کار کند. در این سیستم نام‌گذاری، نوع ترانزیستور PNP-NPN از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست. نام‌گذاری به روش آمریکایی: در این روش، ترانزیستور و المان‌های سه قطبی را با حرف و عدد 2N مشخص

**2N 2219**



عنصر سه پایه



سری ترانزیستور

ترانزیستور قدرت (NPN) که در فرکانس های کم کار می کند.	= 2N3055
ترانزیستور تک اتصالی (UJT)	= 2N2646
تریستور	= 2N1842
تراپاک	= 2N6139

می کنند و تعدادی رقم را برای شماره سری به دنبال آن می آورند. حرف N و عدد ۲ 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 همچنین مشخصات الکتریکی آنها را باید به دست آورد. (شکل ۲۴).

شکل ۲۴- نام گذاری به روش آمریکایی

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

کار در کلاس



کدام مشخصه الکتریکی را می توان از روی یک قطعه به شماره 2N3055 استخراج کرد؟

کار در منزل



مقادیر حد در  
ترانزیستور

با جست و جو در شبکه های مجازی، اینترنت و شکل زیر، مقادیر حد در ترانزیستورها را تحقیق کنید و نتیجه را به صورت پرده نگار نمایش دهید.

تحقیق کنید



### مهندسی معکوس (دفاع مقدس)

یکی از فعالیت هایی که در زمینه صنایع مختلف از جمله صنعت الکترونیک موجب پیشرفت، خلاقیت و نوآوری می شود، اجرای مهندسی معکوس است. در مهندسی معکوس، برای ساخت یک دستگاه ساخته شده، آن را بررسی و اجزایش را باز می کنند و چگونگی عملکرد آن را استخراج می نمایند. در نهایت با استفاده از علوم ریاضی و فنی، محاسبات مورد نیاز را انجام می دهند و سپس اقدام به نمونه سازی اولیه می کنند. پس از نمونه سازی، در صورت دریافت نتیجه قابل قبول، شرایط تولید انبوه را برای آن مهیا می نمایند. یکی از فعالیت هایی که در دفاع مقدس صورت گرفت، مهندسی معکوس برای ساخت موشک بود. آیا می دانید اولین موشک ساخته شده از طریق مهندسی معکوس، موشک مجتمع نام داشت؟

کلمه «مجتمع» متشکل از حروف اول عبارت «موشک، جواب تجاوزات موشکی عراق» است که به ابتکار شهید

حسن طهرانی مقدم و تیم وی صورت گرفت و از این طریق توانستند با مهندسی معکوس، موشک‌هایی را بسازند که بتواند جواب موشک‌های عراقی را بدهد.

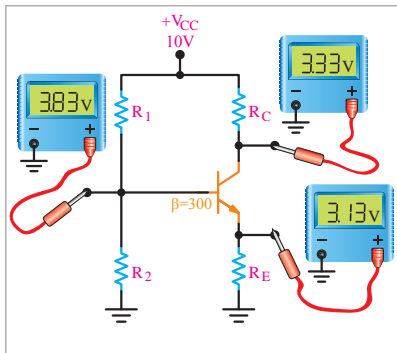


با مراجعه به رسانه‌های مختلف، بررسی کنید چرا شهید حسن طهرانی مقدم را پدر علم موشکی ایران می‌نامند؟

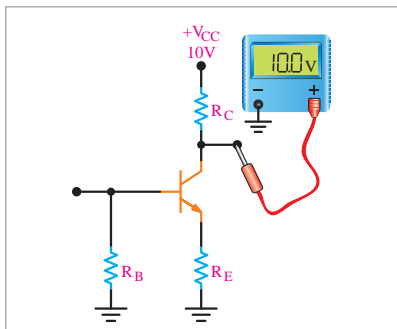
تحقیق کنید



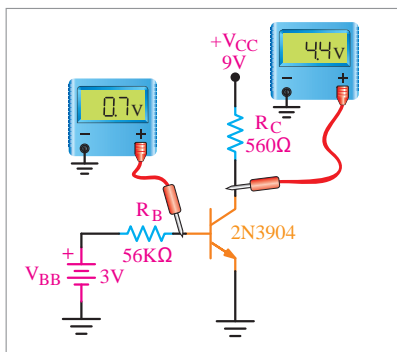
## ارزشیابی



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

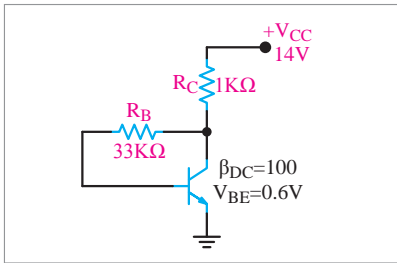


۲ با توجه به مقدار ولتاژ نشان داده شده در شکل روبه‌رو ناحیه کار ترانزیستور را مشخص کنید.

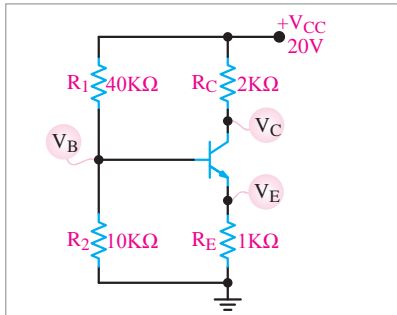


۳ با توجه به شکل روبه‌رو  $I_B$  و  $I_C$  و  $I_{DC}$  ترانزیستور را محاسبه کنید.

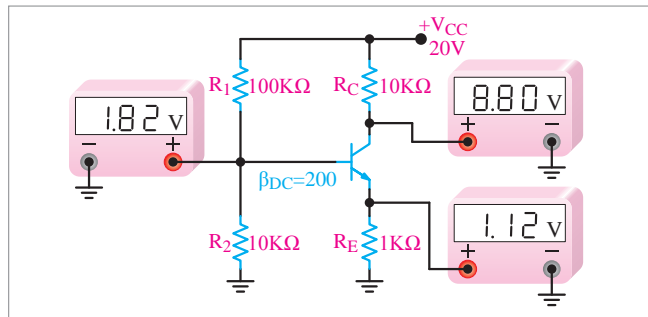
۴ با توجه به شکل روبه‌رو مقادیر داده شده در مدار،  $I_B$  و  $I_C$  و  $V_{CE}$  را محاسبه کنید.



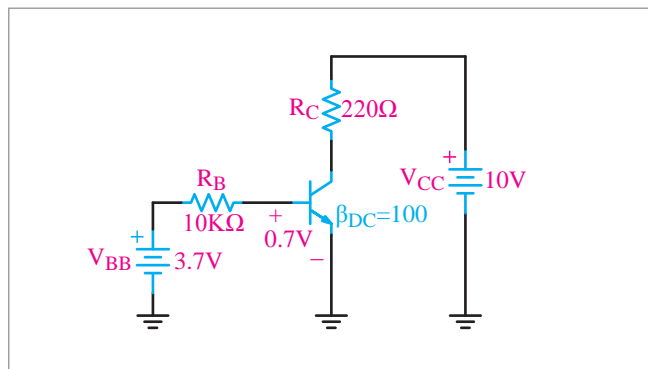
۵ در شکل روبه‌رو با فرض  $I_E = I_C$  ولتاژ پایه‌ها و جریان ترانزیستور را محاسبه کنید.  $V_{BE} = 0.7V$



۶ با استفاده از روابط مربوط به بایاس سرخود اثبات کنید که مقادیر نشان داده شده توسط ولت‌مترهای شکل زیر صحیح است.  $V_{BE} = 0.7V$



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





### ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای ترانزیستوری

نمره	استاندارد (شاخص ها، دآوری، نمره دهی)	نتایج	استاندارد عملکرد (کیفیت)	تکالیف عملکردی (شایستگی ها)	عنوان پودمان (فصل)
۳	<p>۱- چگونگی ساخت و عملکرد نزانزیستورها را بررسی کند.</p> <p>۲- ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید.</p> <p>۳- انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید و ترانزیستورها را نام گذاری کند.</p> <p>■ <b>هنرجو توانایی بررسی همه شاخص های فوق را داشته باشد.</b></p>	بالتر از حد انتظار			تحلیل مدارهای الکترونیکی
۲	<p>۱- چگونگی ساخت و عملکرد نزانزیستورها را بررسی کند.</p> <p>۲- ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید.</p> <p>۳- انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید و ترانزیستورها را نام گذاری کند.</p> <p>■ <b>هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص های فوق را داشته باشد.</b></p>	در حد انتظار	چگونگی ساخت و عملکرد و بایاس ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید.	تحلیل مدارهای ترانزیستوری	
۱	<p>۱- چگونگی ساخت و عملکرد نزانزیستورها را بررسی کند.</p> <p>۲- ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید.</p> <p>۳- انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نماید و ترانزیستورها را نام گذاری کند.</p> <p>■ <b>هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص ها را داشته باشد.</b></p>	پایین تر از انتظار			
					نمره مستمر از ۵
					نمره شایستگی پودمان از ۳
					نمره پودمان از ۲۰

## ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای ترانزیستوری

<b>۱- شرح کار:</b> ■ بررسی و تجزیه و تحلیل ساختمان دیود ■ بررسی انواع دیودها و تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی ■ بررسی و تجزیه و تحلیل ساختمان ترانزیستور ■ بررسی منحنی‌های مشخصه و ترکیب‌های ترانزیستوری ■ بررسی و تجزیه و تحلیل مدارهای ترانزیستوری			
<b>۲- استاندارد عملکرد:</b> بررسی و تجزیه و تحلیل کردن ترانزیستوری.			
<b>۳- شاخص‌ها:</b> تشریح کامل از دیود و ترانزیستور.			
<b>۴- شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:</b> شرایط: کلاس مناسب همراه با پرندگار باشد. ابزار و تجهیزات:			
<b>۵- معیار شایستگی:</b>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	چگونگی ساخت و عملکرد و چگونگی هدایت ترانزیستور BJT را بررسی کند	۲	
۲	ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی و تجزیه و تحلیل نماید.	۱	
۳	انواع بایاس‌ها و ترکیب‌ها در ترانزیستور BJT را تجزیه و تحلیل و ترانزیستورها را نام‌گذاری کند.	۱	
	<b>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی:</b> ۱- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛ ۲- دقت و تمرکز در اجرای کار؛ ۳- شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛ ۴- اخلاق حرفه‌ای.		۲
<b>میانگین نمرات</b>			*
* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.			