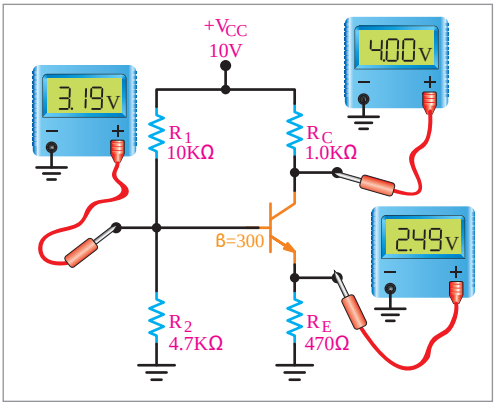
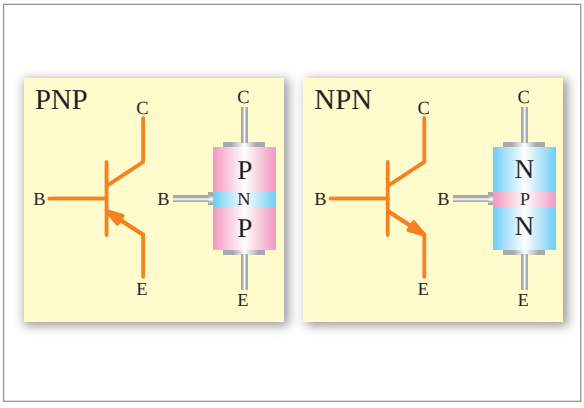
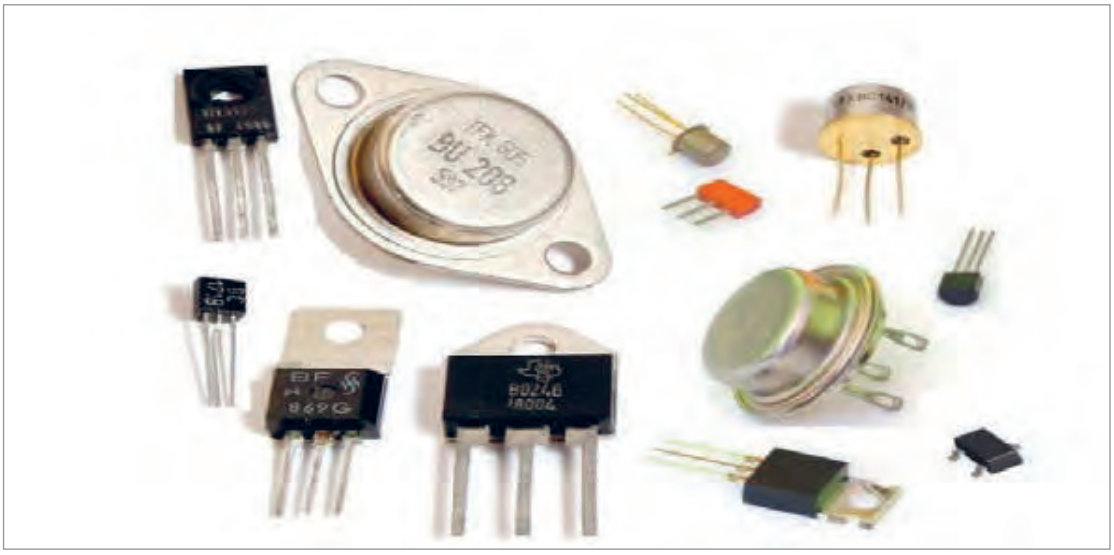
واحد یادگیری ۴

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

استانداردعملکرد

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 پُرکاربرد در الکترونیک، ترانزیستور است. ترانزیستور به عنوان سوییچ، تقویت‌کننده، تثبیت کنندهٔ ولتاژ و... در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تحقیق کنید

با توجه به شکل روبه‌رو تاریخچهٔ اختراع ترانزیستور را بررسی 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 گرم‌کردن فیلامان
۳	احتیاج نداشتن به مدت زمان جهت گرم‌شدن 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.

شکل۱ـ مقایسهٔ شکل ظاهری ترانزیستور و لامپ

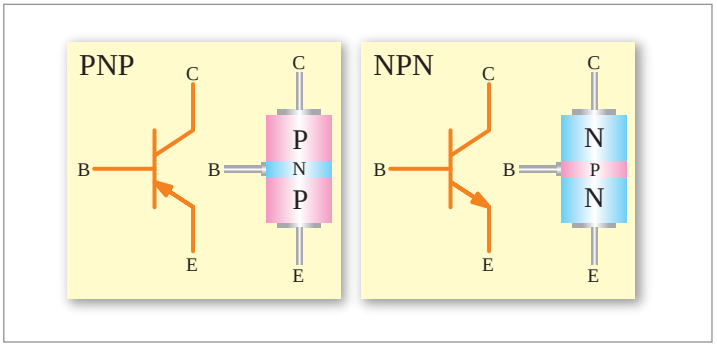
کار درکلاس

برتری‌های لامپ‌های الکترونی را بر ترانزیستور بیان کنید.

ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور معمولی، یک اِلمان 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.



شکل۲ـ ساختمان و علامت قرار دادی ترانزیستور

پایه‌های خروجی ترانزیستور به ترتیب عبارت‌اند از :

۱ اِمیتر منتشرکننده (Emitter)؛

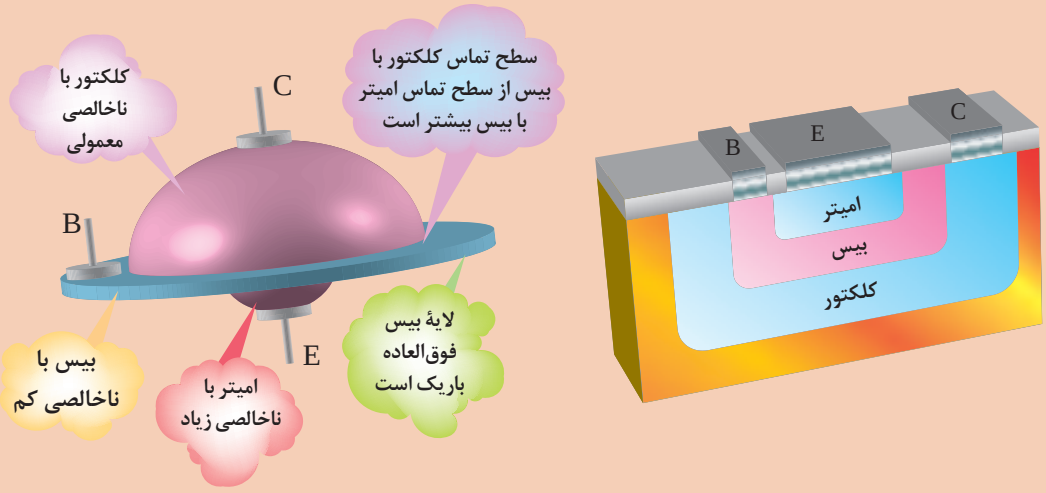
۲ پایه یا بیس (Base)

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.

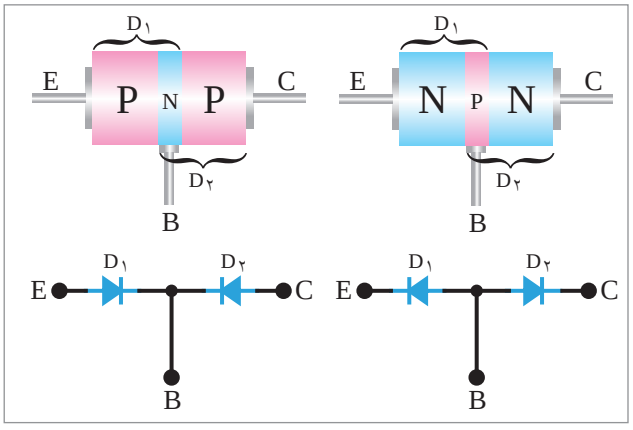
کار در کلاس

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. هرپیوند را می‌توان به صورت یک دیود نشان داد. در نتیجه، معادل دیودی یک ترانزیستور به صورت دو دیود، مطابق شکل۳ نشان داده می‌شود.



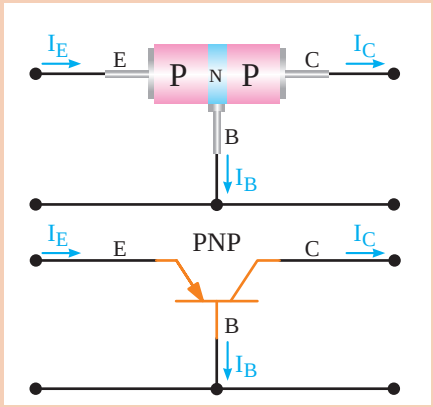
شکل۳ـ معادل دیودی ترانزیستور

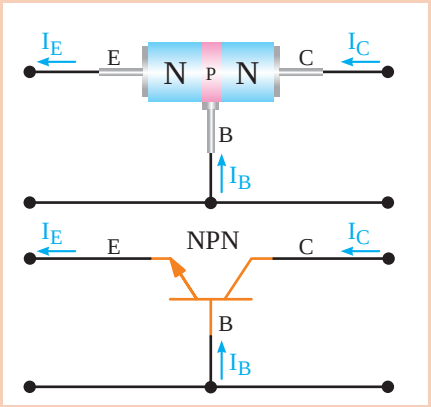
بایاس ترانزیستور: برای اینکه بتوان از ترانزیستور به‌عنوان تقویت کننده، سوییچ و... استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ dc تغذیه کرد. عمل تغذیهٔ ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را بایاس ترانزیستور می‌نامند.

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 بسیارکمی 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: $I_E = I_B + I_C$

کار در کلاس

شکل‌های زیر را تجزیه و تحلیل کنید.

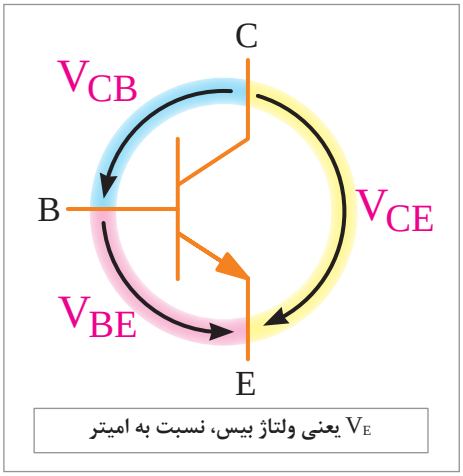




نام‌گذاری ولتاژهای ترانزیستور

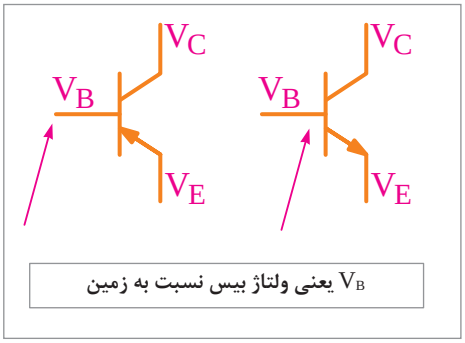
برای اینکه بتوان از ترانزیستور به‌عنوان تقویت کنندهٔ سیگنال‌های الکتریکی و یا دیگر کاربردهای آن استفاده نمود، آن را باید با ولتاژ dc تغذیه کرد.

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 تغذیهٔ 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، رابطهٔ $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$ برقرار است.



شکل ۴ــ نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌ها

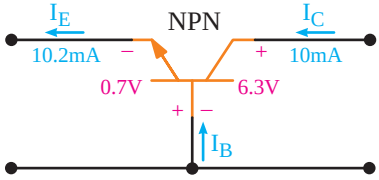
شکل ۵ ولتاژ هر پایهٔ ترانزیستور را نسبت به زمین نشان می‌دهد.



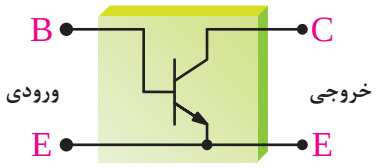
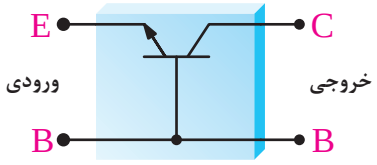
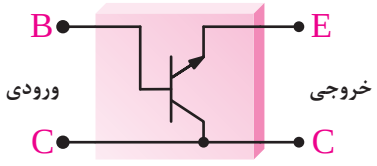
شکل۵ــ ولتاژ هر پایهٔ ترانزیستور نسبت به زمین

کار در کلاس

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

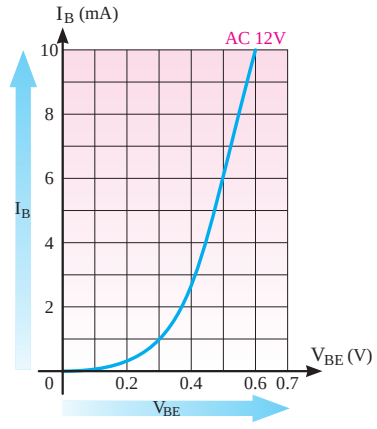


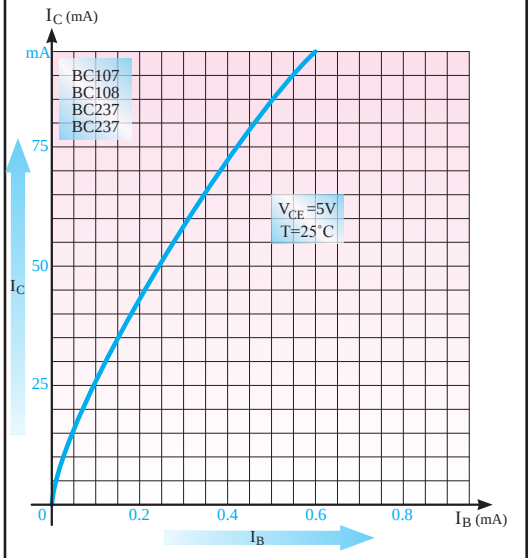
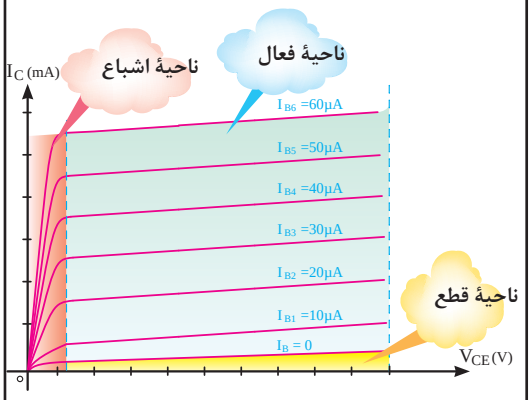
آرایش‌های ترانزیستور

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

منحنی مشخصه‌های ترانزیستور

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

منحنی مشخصهٔ ورودی	منحنی مشخصهٔ ورودی ترانزیستور، بیان‌کنندهٔ مقدار جریان ورودی، برحسب ولتاژ ورودی است.	

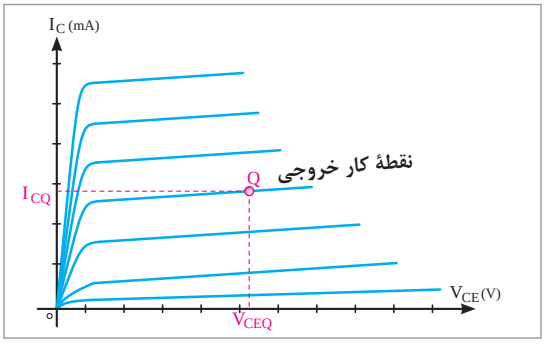
منحنی مشخصهٔ انتقالی	منحنی مشخصهٔ انتقالی، رابطهٔ بین جریان ورودی و خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می‌دهد.	
منحنی مشخصهٔ خروجی	منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور، رابطهٔ بین جریان و ولتاژ خروجی به ازای جریان ورودی معیّن را نشان می‌دهد.	

تحقیق کنید

منحنی مشخصهٔ خروجی ترانزیستور و نواحی آن را بررسی کنید.

نقطهٔ کار ترانزیستور

به مقادیر dc ی کمیت‌های I_C، I_B، V_{CE} و V_{BE} در شرایطی که هیچ منبع سیگنال AC ی دیگری به ورودی آنها متصل نباشد، نقطهٔ کار DC ی ترانزیستوری گویند. در شکل۶ نقطهٔ کار، روی منحنی مشخصهٔ خروجی نشان داده شده است. نقطهٔ کار را با حرف Q نشان می‌دهند. Q حرف اول کلمهٔ Quicent Point به مفهوم نقطهٔ کار است.



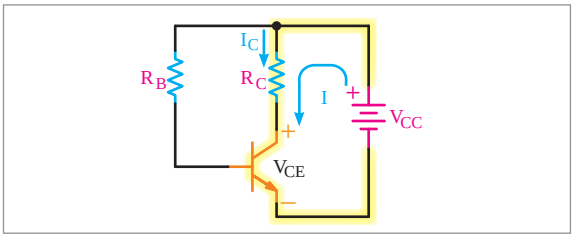
شکل ۶ــ نقطهٔ کار خروجی، روی منحنی مشخصهٔ خروجی

تحقیق کنید

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

معادلهٔ خط بار و نحوهٔ رسم آن: برای رسم خط بار، ابتدا باید معادلهٔ آن را نوشت. برای این منظور، با توجه به‌جهت جریان و جهت گردش در حلقهٔ خروجی، از یک نقطه مثلاً قطب منفی منبع تغذیه در مدار شکل۷، معادلهٔ KVL را به‌روش زیر می‌نویسیم.

معادلهٔ خط بار $-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$



شکل ۷ــ تقویت کنندهٔ ترانزیستوری

در معادلهٔ خط بار، R_C و V_{CC} ثابت، ولی I_C و V_{CE} متغیرند؛ لذا برای به دست آوردن حداقل دو نقطه از خط بار، یک دفعه I_C را برابر صفر فرض کرده و در معادلهٔ خروجی قرار می‌دهیم و آنگاه V_{CE} را به دست می‌آوریم (نقطهٔ A) و بار دیگر V_{CE}را برابر صفر فرض کرده و در معادلهٔ خروجی قرار می‌دهیم و آنگاه I_C را به دست می‌آوریم (نقطهٔ B) در پایان نقاط A و B را به هم وصل می‌کنیم تا خط بار به دست آید (شکل۸).

نقطهٔ A

$I_C = ۰$

$-V_{CC} + ۰ \times R_C + V_{CE} = ۰$

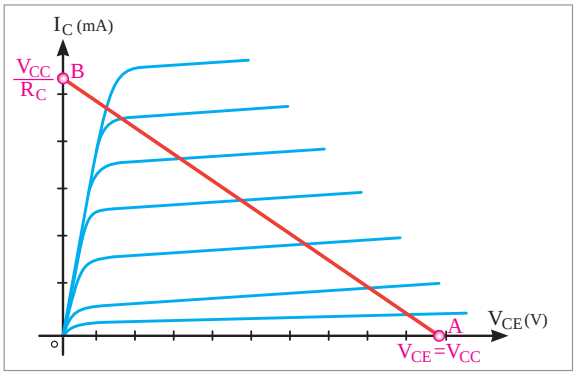
$V_{CE} = V_{CC}$

نقطهٔ B

$V_{CE} = ۰$

$-V_{CC} + I_C R_C + ۰ = ۰$

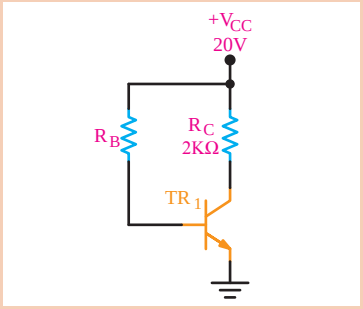
$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$



شکل ۸ــ نحوهٔ ترسیم خط بار

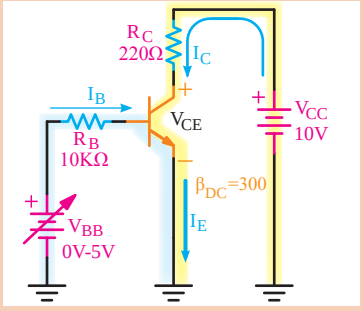
کار در کلاس

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



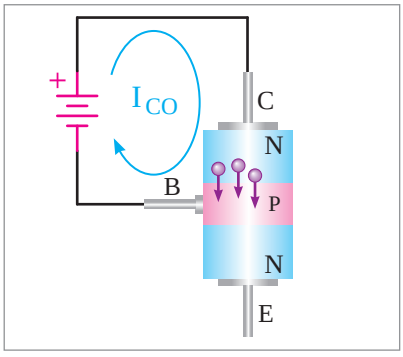
کار در کلاس

با توجه به تقویت‌کنندهٔ شکل زیر 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.



تأثیر درجهٔ حرارت در ترانزیستور

افزایش درجهٔ 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.



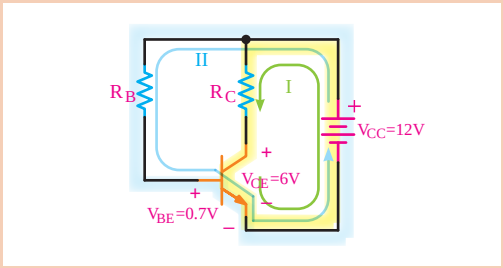
شکل ۹ـ نمایش جریان ICO

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.

مثال

اگر بخواهیم مقدار ولتاژ V_{CE} در یک ترانزیستور، ۶ولت و مقدار V_{BE} برابر ۰/۷ ولت و مقدار I_C = ۱۰mA و مقدار I_B = ۰/۱mA باشد، مقدار مقاومت‌هایی را که باید با ترانزیستور سری شوند، به‌دست آورید. ولتاژ منبع تغذیه ۱۲ولت است. (U_{RC} = ۶V)



حل:

$$U_{RC} = R_C I_C$$

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{۶}{۱۰mA} = ۶۰۰\Omega$$

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

معادلهٔ KVL در حلقهٔ خروجی:

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$
$$-۱۲ + R_C \times ۱۰mA + ۶ = ۰$$

محاسبهٔ R_C:

$$R_C = \frac{۱۲-۶}{۱۰mA} = ۶۰۰\Omega$$

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

معادلهٔ KVL در حلقهٔ ورودی:

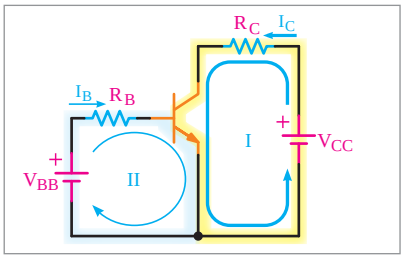
$$-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$
$$-۱۲ + R_B \times ۰/۱mA + ۰/۷ = ۰$$

محاسبهٔ R_B:

$$R_B = \frac{۱۲-۰/۷}{۰/۱mA} = ۱۱۳k\Omega$$

تغذیهٔ ترانزیستور

از ترانزیستور درصورتی می‌توان به‌صورت یک تقویت‌کننده استفاده کرد که ولتاژهای لازم به پایه‌های آن برسد و ترانزیستور را درحالت هدایت قرار دهد. در ادامه به بررسی انواع بایاسینگی (تغذیه) که ترانزیستور را در ناحیهٔ هدایت قرار می‌دهد می‌پردازیم.



شکل ۱۰ــ تغذیهٔ ترانزیستور با دو منبع مستقل

بایاس با دو منبع مستقل V_{CC} و V_{BB}: اگر بخواهیم ترانزیستور در نقطهٔ 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).

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

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

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

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

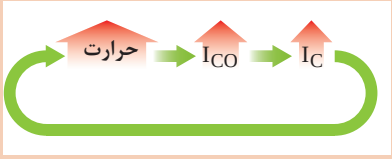
با نوشتن معادلهٔ KVL در حلقهٔ ورودی، می‌توان R_B را محاسبه کرد.

$$KVL \rightarrow -V_{BB} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$

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

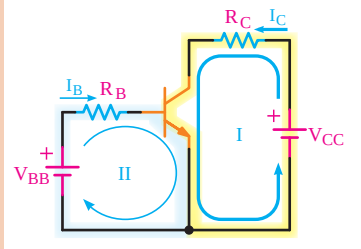
کار در کلاس

رابطهٔ زیر را بررسی کنید.



کار در کلاس

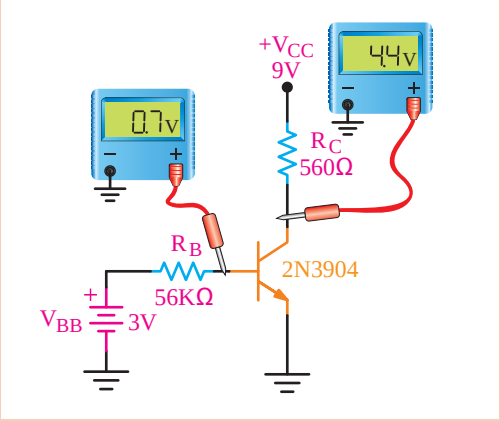
برای تقویت کنندهٔ شکل زیر، مقاومت‌های بایاس R_B و R_C را طوری محاسبه کنید که نقطهٔ کار ترانزیستور، با مختصات Q برابر شود.



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

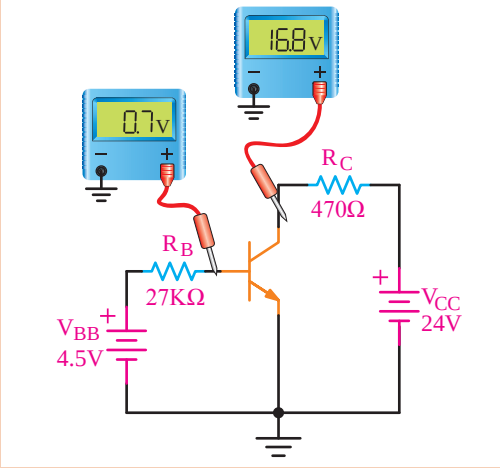
کار در کلاس

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



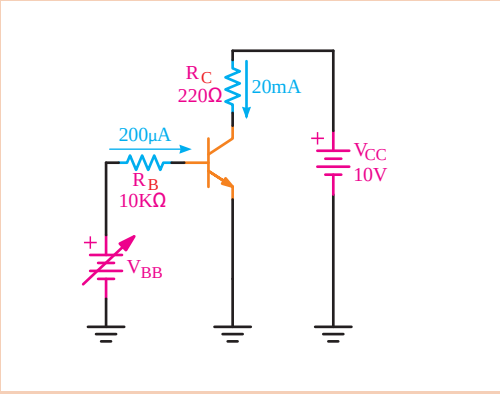
کار در کلاس

با توجه به شکل روبه‌رو β وγو α را محاسبه کنید.



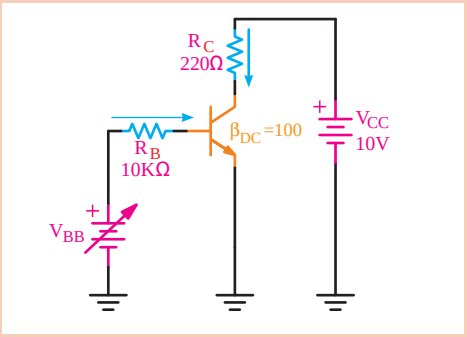
کار در کلاس

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

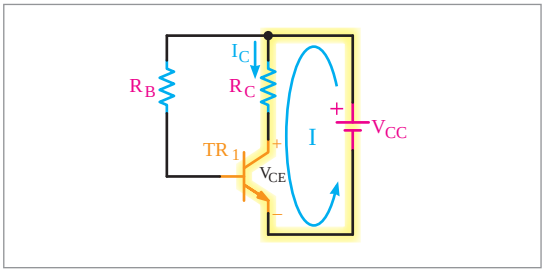


کار در کلاس

در مدار شکل روبه‌رو اگر V_{BB} = ۴/۷V و V_{BE} = ۰/۷V 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 ۱۱ــ بایاس بیس با یک باتری

برای محاسبهٔ R_C، معادلهٔ KVL در حلقهٔ خروجی نوشته می‌شود.

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

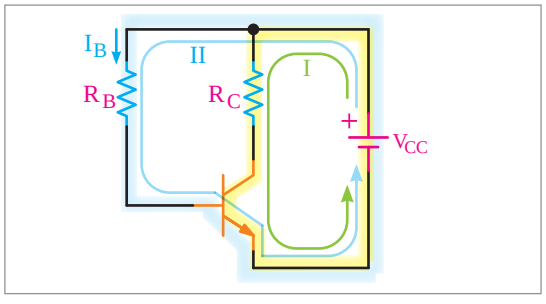
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

برای محاسبهٔ R_B، معادلهٔ KVL را در حلقهٔ II می‌نویسیم (شکل ۱۲).

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

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

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



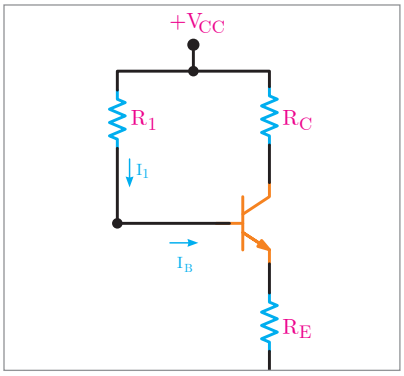
شکل ۱۲ــ تغذیهٔ بیس با استفاده از یک باتری

کار در کلاس

برای نقطهٔ کار Q با مختصات:

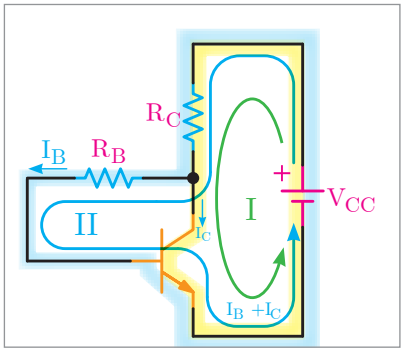
$V_{BE} = ۰/۷V \quad V_{CE} = ۶V \quad I_C = ۵mA \quad I_B = ۰/۱mA$

و با معلوم بودن V_{CC} مقدار برابر ۱۲ولت، مقاومت‌های بایاس R_C و R_B را در تقویت‌کنندهٔ شکل۱۲ محاسبه کنید.



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

شکل ۱۳ــ بایاس با فیدبک در امیتر

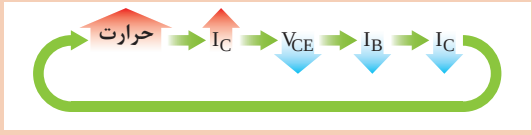


بایاس با فیدبک از کلکتور (Collector Feedback Bias): درصورتی که R_B را بین بیس وکلکتور قرار دهیم به این نوع تغذیه، بایاس با فیدبک ولتاژ می‌گویند. شکل ۱۴ این نوع بایاس را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴ــ ترانزیستور به همراه بایاس با فیدبک از کلکتور

کار در کلاس

رابطهٔ زیر را بررسی کنید:



محاسبهٔ مقاومت‌های بایاس R_B و R_C: برای محاسبهٔ مقاومت بایاس R_C معادلهٔ KVL را درحلقهٔ I می‌نویسیم:

$$KVL\ (I) \longrightarrow -V_{CC} + (I_C + I_B)\, R_C + V_{CE} = ۰ \longrightarrow I_E = I_C + I_B$$

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

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

با نوشتن معادلهٔ KVL در حلقهٔ II، R_B محاسبه می‌شود.

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

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

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

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

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

$$R_B I_B = V_{CB}$$

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

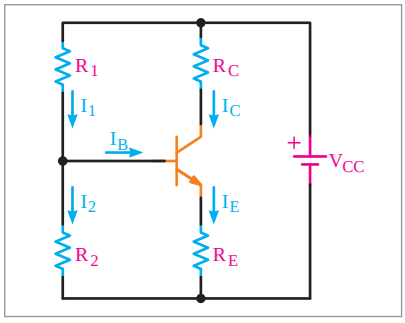
کار در کلاس

در شکل ۱۴ برای نقطهٔ 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.

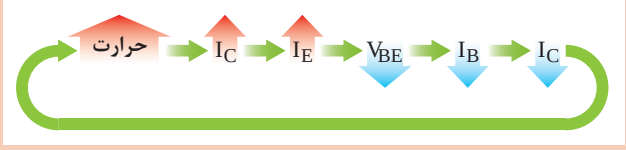
بایاس سرخود: روش بهتر بایاس و ثبات حرارتی، بایاس با مدار تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ مقاومتی است که به آن بایاس سرخود نیز می‌گویند. در این روش، مطابق شکل ۱۵ یک مقاومت R_E در مسیر امیتر قرار می‌گیرد و بیس، توسط دو مقاومت R_1 و R_2 (به‌صورت مقسم ولتاژ) تغذیه می‌شود. مقاومت‌های، R_C و R_2 را با استفاده از معادلهٔ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



شکل ۱۵ــ ترانزیستور با بایاس تقسیم کنندهٔ ولتاژ مقاومتی یا سرخود

کار در کلاس

رابطهٔ زیر را بررسی کنید:

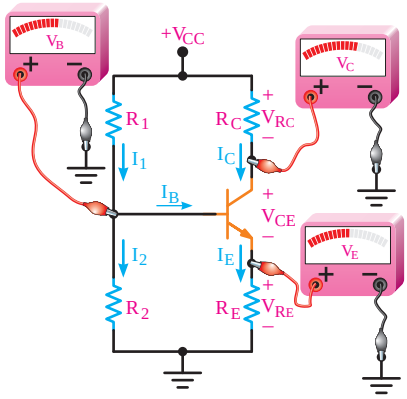


تحقیق کنید

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

مثال

در مدار شکل زیر مقادیر V_E و V_B و V_C و نیز I_C را محاسبه کنید. $V_{BE} = ۰/۷V$ ولت است.



حل:

محاسبهٔ V_B:

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

$$V_B = \frac{۱۰ \times ۵/۱}{۵/۱ + ۱۰} = ۳/۳۷V$$

محاسبهٔ V_E:

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

$$V_E = ۳/۳۷ - ۰/۷ = ۲/۶۷V$$

محاسبهٔ I_E:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{۲/۶۷}{۵۱۰\Omega}$$

$$I_E = ۵/۲۳mA$$

$$I_C = I_E = ۵/۲۳mA$$

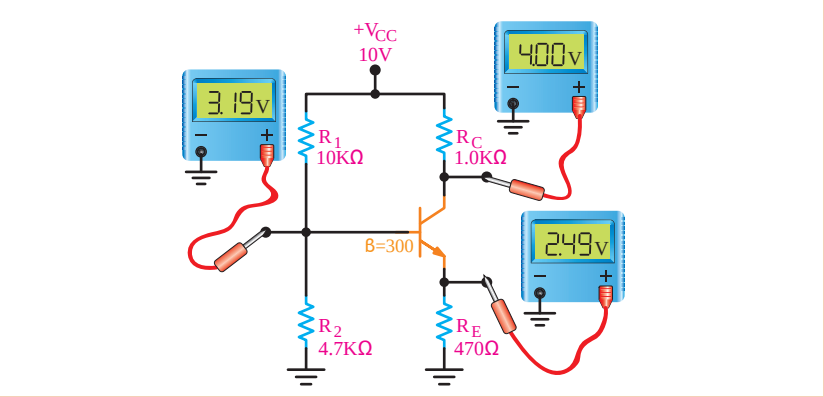
محاسبهٔ V_C:

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

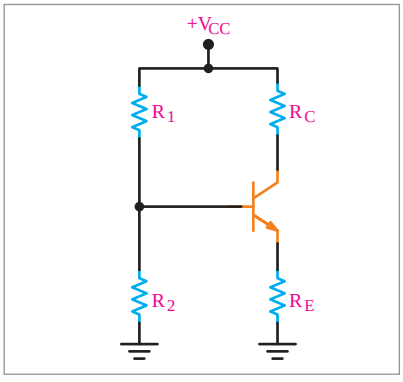
$$V_C = ۱۰ - (۵/۲۳ \times ۱) = ۴/۷۷V$$

کار در کلاس

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



اتصال سیگنال متناوب به تقویت کنندهٔ ترانزیستوری با بایاس سرخود: برای اتصال سیگنال متناوب به تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری، ابتدا باید تقویت کننده را ازنظر DC در منطقهٔ فعال، بایاس کنیم. شکل۱۶، بایاس DC ترانزیستور را به صورت سرخود نشان می‌دهد.

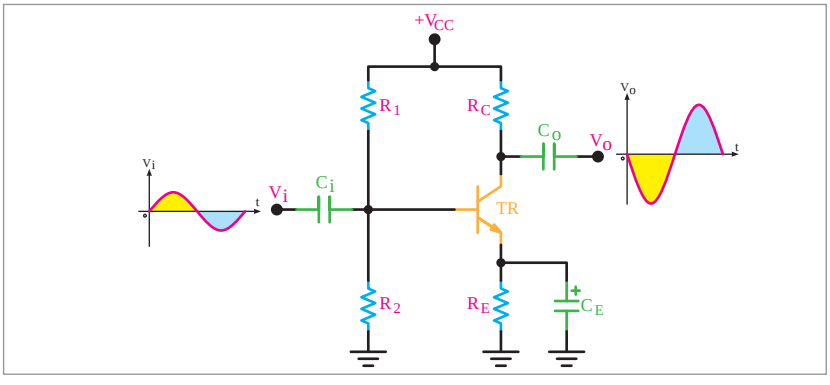


شکل۱۶ــ تقویت کننده به صورت بایاس سر خود

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.

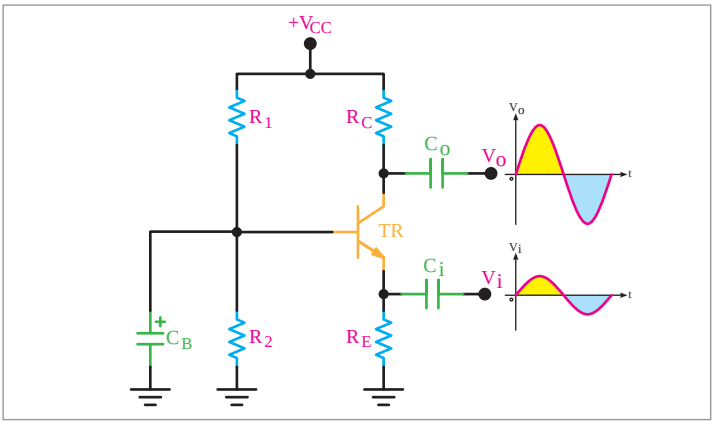
پایهٔ بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل۱۷ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل۱۷ــ یک نمونه تقویت کنندهٔ 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، خازنِ 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.

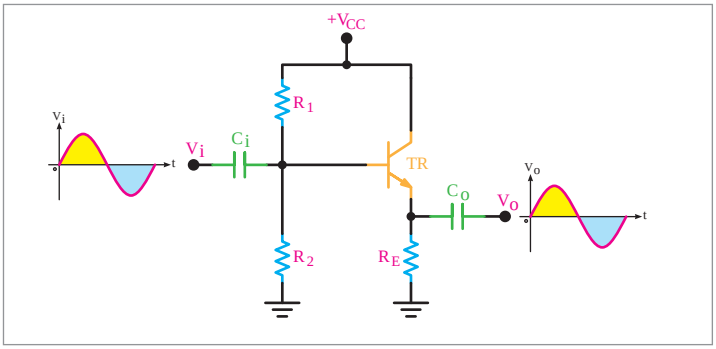
ب) آرایش بیس مشترک: در این آرایش، سیگنال متناوب ورودی به امیتر اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می‌شود. پایهٔ بیس، بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل۱۸ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل۱۸ــ یک نمونه تقویت کنندهٔ بیس مشترک

پایهٔ 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 بای‌پاس است. این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر دامنهٔ 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 پایهٔ کلکتور، پایهٔ مشترک بین ورودی و خروجی است. این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر جریان تقویت می‌کند. شکل۱۹ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل۱۹ــ یک نمونه تقویت کنندهٔ کلکتور مشترک

تحقیق کنید

با جست جو در شبکه‌های مجازی و اینترنت، مشخصات آرایش‌های ترانزیستور را تحقیق کنید و نتیجه را به‌صورت پرده نگار نمایش دهید.

نام‌گذاری ترانزیستورها

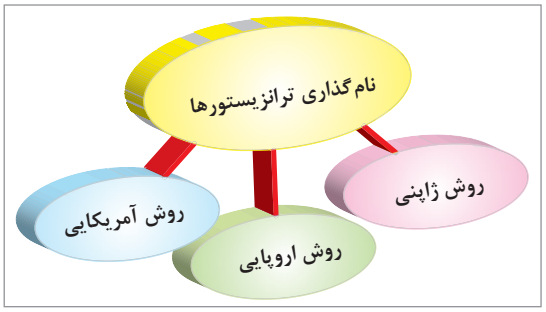
برای نام‌گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. ولی تعدادی از کارخانجات در گوشه و کنار دنیا از سیستم نام‌گذاری خاصی استفاده می‌نمایند. آن سه روش، عبارت‌اند از:

نام‌گذاری به روش ژاپنی؛

نام‌گذاری به روش اروپایی؛

نام‌گذاری به روش آمریکایی؛

شکل ۲۰، این نام‌گذاری‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰ـ روش‌های نام‌گذاری ترانزیستورها

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 2S، یکی از چهار حرف A، B، C، D را قرار می‌دهند که هر حرف مفهومی به شرح زیر دارد:

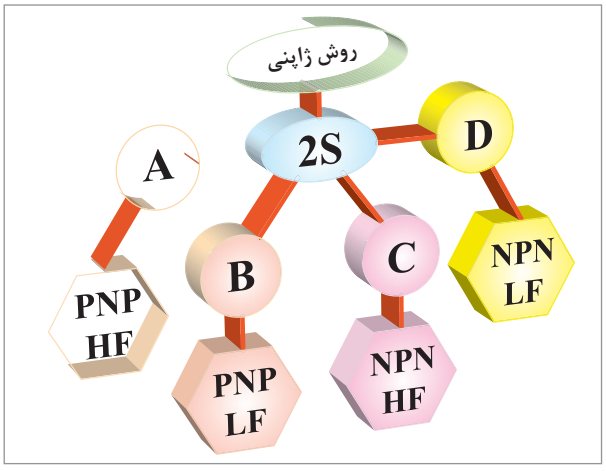
حرف A نشان دهندهٔ ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های بالا نیز می‌تواند کار کند. HF = (High Frequency)

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

حرف C نشان دهندهٔ ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های بالا نیز می‌تواند کار کند.

حرف D نشان دهندهٔ ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.

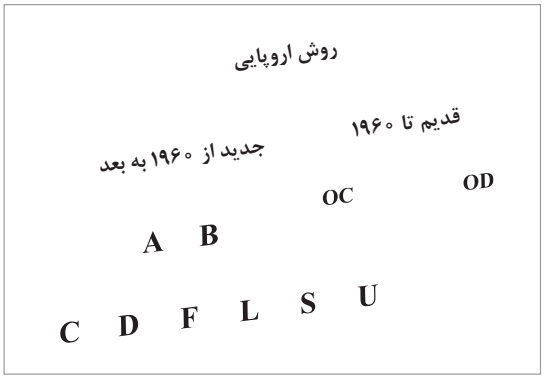
بعد از این حروف، تعداد دو، سه، چهار عدد قرار می‌گیرد. در این سیستم، حروفِ روی ترانزیستور، مشخص کنندهٔ جنس نیمه‌هادی به کار رفتهٔ ژرمانیم یا سیلیسیم و همچنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً المان سه پایه به شمارهٔ SC۸۲۹ ۲ نشان دهندهٔ ترانزیستور از نوع NPN با محدودهٔ فرکانسی بالاست. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً C۸۲۹ همان $2S_C829$ است.



شکل ۲۱ـ 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 کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای قدرت به‌کار می‌رفت. OC۷۲ در این روش نام گذاری، نوع ترانزیستور NPN - PNP یا جنس نیمه‌هادی به‌کار رفته یا محدودهٔ فرکانسی آن مشخص نبود.

از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام‌گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به‌کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیشتر با دو حرف و سه شمارi 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 به‌کار برده می‌شود. در این مبحث، روش نام‌گذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد.



شکل۲۲ـ 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 کم قدرت، فرکانس کار زیاد.

C: ترانزیستور کم قدرت، فرکانس کارکم.

D: ترانزیستور قدرت، فرکانس کار کم.

S: ترانزیستور کم قدرت که بصورت سوئیچ به‌کار می‌رود.

L: ترانزیستور قدرت، فرکانس کار زیاد (ترانزیستور کم قدرتی که به صورت سوئیچ به‌کار می‌رود).

U: ترانزیستور قدرت، به صورت سوئیچ به کار می‌رود.

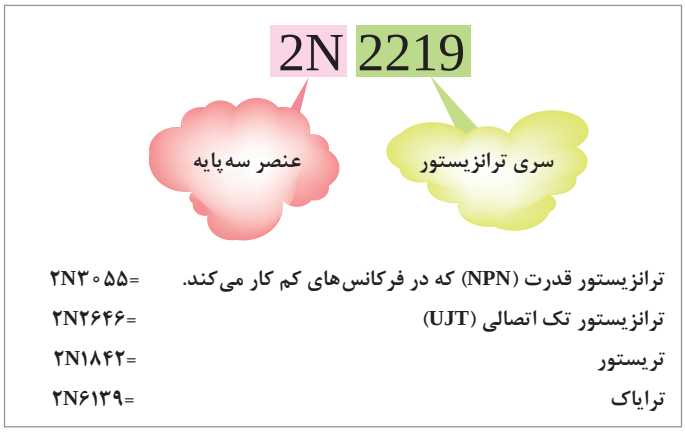
سه شمارهٔ بعد، نشان دهندهٔ سری ترانزیستور است که با استفاده از این سه شماره و جدول مشخصات، می‌توان مشخصات الکتریکی ترانزیستور را به‌دست آورد. برای مثال مشخصات ظاهری ترانزیستور BC۱۰۷ به این شرح است:

شکل۲۳ـ مشخصات ظاهری ترانزیستور BC۱۰۷

با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوط، مشخصات الکتریکی را به دست می‌آورند. مثلاً ترانزیستور BF۴۸۰، ترانزیستوری کم قدرت بوده و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد نیز می‌تواند کار کند. در این سیستم نام‌گذاری، نوع ترانزیستور NPN_PNP از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست.

نام‌گذاری به روش آمریکایی: در این روش، ترانزیستور و المان‌های سه قطبی را با حرف و عدد ۲N مشخص

می‌کنند و تعدادی رقم را برای شمارهٔ سری به‌دنبال آن می‌آورند. حرف N و عدد ۲ فقط المان‌های سه قطبی را از المان‌های دو قطبی، مانند دیود مشخص می‌سازد. با توجه به شماره‌های بعدی که به دنبال آن می‌آورند و با توجه به جدول مشخصات المان‌ها، نوع المان و همچنین مشخصات الکتریکی آنها را باید به دست آورد. (شکل ۲۴).



شکل ۲۴ــ نام‌گذاری به روش آمریکایی

کار در کلاس

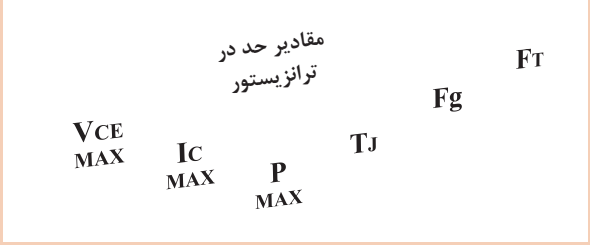
با توجه به حروف و اعداد نام گذاری شده برای ترانزیستورهای BF۱۳۹، BU۱۱۲، BC۱۰۹، AF۱۳۹، BD۱۳۶ و AC۱۷۸ چه مشخصاتی را می‌توانید استخراج کنید؟ شرح دهید.

کار در منزل

کدام مشخصهٔ الکتریکی را می‌توان از روی یک قطعه به شمارهٔ ۲N۳۰۵۵ استخراج کرد؟

تحقیق کنید

با جست‌وجو در شبکه‌های مجازی، اینترنت و شکل زیر، مقادیر حد در ترانزیستورها را تحقیق کنید و نتیجه را به‌صورت پرده نگار نمایش دهید.



مهندسی معکوس (دفاع مقدس)

یکی از فعالیت‌هایی که در زمینهٔ صنایع مختلف از جمله صنعت الکترونیک موجب پیشرفت، خلاقیت و نوآوری می‌شود، اجرای مهندسی معکوس است. در مهندسی معکوس، برای ساخت یک دستگاه ساخته شده، آن را بررسی و اجزایش را باز می‌کنند و چگونگی عملکرد آن را استخراج می‌نمایند. در نهایت با استفاده از علوم ریاضی و فنی، محاسبات مورد نیاز را انجام می‌دهند و سپس اقدام به نمونه‌سازی اولیه می‌کنند.پس از نمونه‌سازی، درصورت دریافت نتیجهٔ قابل قبول، شرایط تولید انبوه را برای آن مهیا می‌نمایند. یکی از فعالیت‌هایی که در دفاع مقدس صورت گرفت، مهندسی معکوس برای ساخت موشک بود. آیا می‌دانید اولین موشک ساخته شده از طریق مهندسی معکوس، موشک مجتمع نام داشت؟

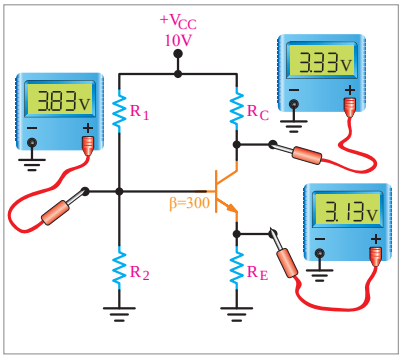
کلمهٔ «**مجتمع**» متشکل از حروف اول عبارت «**موشک، جواب تجاوزات موشکی عراق**» است که به ابتکار شهید

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.

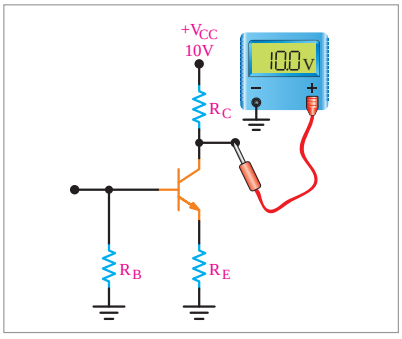
تحقیق کنید

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

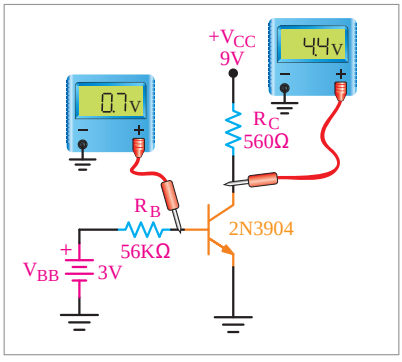
ارزشیابی



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.

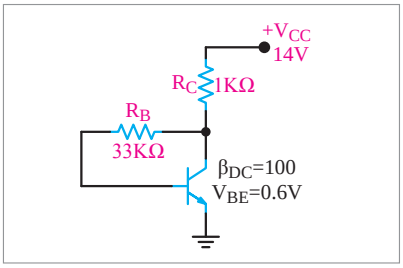


۲ با توجه به مقدار ولتاژ نشان داده شده درشکل روبه‌رو ناحیهٔ کار ترانزیستور را مشخص کنید.

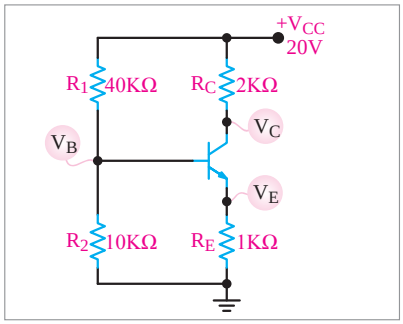


۳ با توجه به شکل روبه‌رو I_B و I_C و B_{DC} ترانزیستور را محاسبه کنید.

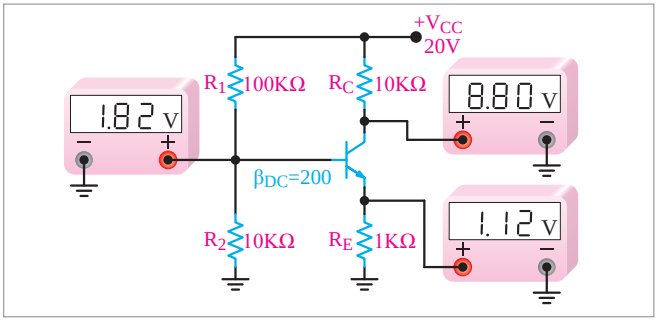
۴ با توجه به شکل روبه‌رو مقادیر داده شده در مدار، I_B و I_C و V_{CE} را محاسبه کنید.



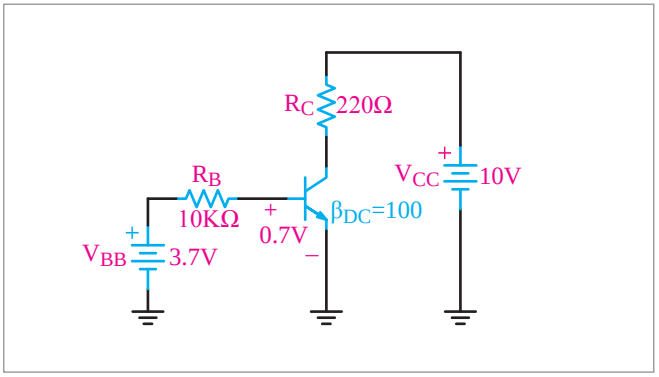
۵ در شکل روبه‌رو با فرض $I_E = I_C$ ولتاژ پایه‌ها و جریان ترانزیستور را محاسبه کنید. $V_{BE} = ۰/۷$



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



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

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
تحلیل مدارهای الکترونیکی	تحلیل مدارهای ترانزیستوری	چگونگی ساخت وعملکرد وبایاس ترانزیستورها را تجزیه وتحلیل نماید.	بالاتر از حد انتظار	۱ـ چگونگی ساخت و عملکرد نزانزیستورها را بررسی کند. ۲ـ ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی وتجزیه وتحلیل نماید. ۳ـ انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه وتحلیل نماید وترانزیستورها را نام‌گذاری کند. ■ **هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌های فوق را داشته باشد.**	۳
			در حد انتظار	۱ـ چگونگی ساخت و عملکرد نزانزیستورها را بررسی کند. ۲ـ ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی وتجزیه و تحلیل نماید. ۳ـ انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نمایدو ترانزیستورها را نام‌گذاری کند. ■ **هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌های فوق را داشته باشد.**	۲
			پایین‌تر از انتظار	۱ـ چگونگی ساخت و عملکرد نزانزیستورها را بررسی کند. ۲ـ ضرایب در ترانزیستورها و پارامترهای آنها را بررسی وتجزیه وتحلیل نماید. ۳ـ انواع بایاس در ترانزیستورها را تجزیه و تحلیل نمایدو ترانزیستورها را نام‌گذاری کند. ■ **هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.**	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی تحلیل مدارهای ترانزیستوری

۱ـ شرح کار:

- 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

۲ـ استاندارد عملکرد:

بررسی و تجزیه و تحلیل کردن ترانزیستوری.

۳ـ شاخص‌ها:

تشریح کامل از دیود و ترانزیستور.

۴ـ شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس مناسب همراه با پردنگار باشد.

ابزار و تجهیزات:

۵ـ معیار شایستگی:

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	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی: ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛ ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار؛ ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر ؛ ۴ـ اخلاق حرفه‌ای.		۲	
میانگین نمرات			*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.