هوالعلیم

# دفترچه پیش‌آزمون و سوالات
## آزمون مرحله‌ی نیمه‌نهایی (اردیبهشت ۱۳۹۵)
# پایه‌های دوم و سوم دبیرستان
# رشته‌ی فیزیک

| عنوان | صفحه | مدت زمان پاسخ‌گویی |
|---|---|---|
| پیش‌آزمون‌ها | ۲ -۱۴ | ۱۵ دقیقه |
| سوالات ۱ تا ۱۵ عمومی، سوالات ۱۶ تا ۲۵ اختصاصی براساس پیش‌آزمون | ۱۵ -۲۰ | ۶۰ دقیقه |
| پاسخ‌گویی به کلیه‌ی سوالات به‌صورت گروهی است. بنابراین توصیه می‌شود پس از جمع‌بندی نهایی یکی از اعضای گروه مسؤلیت وارد کردن پاسخ‌ها در پاسخ‌برگ را داشته باشد. | | |
| به ازای هر ۴ پاسخ اشتباه، امتیاز یک پاسخ صحیح از بین می‌رود. | | |

لیگ علمی پایا مقطع دبیرستان در قالب گروه‌های ۵ نفره در رشته **فیزیک** برگزار می‌گردد.
این مرحله از لیگ علمی پایا شامل پیش‌آزمون، سوالات عمومی و سوالات پیش‌آزمون است.

۱) در قسمت اول آزمون هر کدام از اعضای گروه باید برگ پیش‌آزمون مربوط به خود را از دفترچه جدا نموده و به صورت انفرادی مطلب آموزشی (پیش‌آزمون) خود را در مدت زمان ۱۵ دقیقه مطالعه نمایند و به خاطر بسپارند.
۲) قسمت دوم آزمون، شامل ۱۵ سوال تستی ۵ گزینه‌ای از مطالب کتاب‌های درسی و منابع معرفی شده است که دانش‌آموزان به صورت گروهی به آن‌ها پاسخ می‌دهند.
۳) بخش سوم آزمون، شامل پاسخ‌گویی به ۱۰سوال تستی ۵ گزینه‌ای است که همه اعضای گروه به کمک هم و با استناد به مطالب آموزشی که در بخش قبل مطالعه کرده‌اند به آن‌ها پاسخ می‌دهند.

تذکر ۱. هر یک از اعضای گروه ملزم به مطالعه یکی از پیش‌آزمون‌ها می‌باشند و در غیر این صورت تخلف در آزمون محسوب می‌شود.
تذکر ۲. چنان‌چه گروهی ۴ نفره باشد یکی از اعضای گروه علاوه بر مطالعه پیش‌آزمون مربوط به خود مسؤلیت پیش‌آزمون ۵ را نیز بر عهده دارد.
تذکر ۳. چنان‌چه گروهی ۳ نفره باشد یکی از اعضای گروه می‌تواند مسؤلیت مطالعه پیش‌آزمون ۴ را برعهده بگیرد و گروه مجاز به مطالعه پیش‌آزمون ۵ نمی‌باشد.
تذکر ۴. هنگام پاسخ‌گویی به سؤالات نیاز به جمع‌آوری پیش‌آزمون‌ها از دانش‌آموزان نمی‌باشد.
**تذکر ۵: استفاده از ماشین‌حساب مجاز است.**

## پیش‌آزمون ۱

### ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور از اتصال سه لایه بلور نیمه‌هادی تشکیل می‌شود. لایه وسطی بیس (B) و دو لایه جانبی، یکی امیتر (E) و دیگری کلکتور (C) نام دارند. نوع بلور بیس با نوع بلورهای امیتر و کلکتور متفاوت است. در ترانزیستورهای PNP، بیس از بلور نوع N و امیتر و کلکتور از نوع P هستند و در ترانزیستورهای NPN، بیس از بلور نوع P و دو لایه دیگر از نوع N ساخته می‌شوند. در شکل ۱ ساختمان تراتزیستورهای PNP و NPN به‌طور نمادین نشان داده شده است.

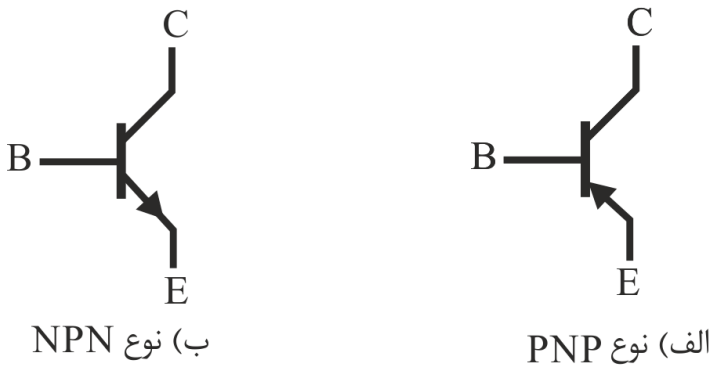
الف) ترانزیستور PNP ب) ترانزیستور NPN

شکل ۱: نمایش نمادین ساختمان ترانزیستور

معمولاً میزان ناخالصی در لایه امیتر بیش از دو لایه دیگر و همچنین عرض لایه بیس کمتر و عرض لایه کلکتور بیشتر از لایه‌های دیگر است.

در ساختار مبتنی بر فن‌آوری صفحه‌ای، یک لایه نازک نوع N بر روی یک پایه با غلظت ناخالصی زیاد ($N^+$) به روش رشد رونشستی به‌وجود می‌آید. پس از پوشاندن سطح توسط یک لایه اکسید، به‌وسیله خورش شیمیایی یک پنجره ایجاد شده و از درون آن ناخالصی نوع P به داخل بلور نفوذ داده می‌شود تا یک پیوند $P-N$ حاصل شود. سطح بلور مجدداً اکسید شده و یک پنجره کوچک‌تر جهت نفوذ دادن ناحیه امیتر (N) باز می‌شود. معمولاً ناحیه امیتر از چگالی ناخالصی بالاتری نسبت به بیس برخوردار است. در نهایت با قرار دادن اتصالات فلزی لازم، ساختمان ترانزیستور تکمیل می‌شود.

در مدارهای الکترونیکی ترانزیستورهای NPN و PNP را با علائم شکل ۲ نمایش می‌دهند.




شکل۲: علامت مداری ترانزیستور

با توجه به علائم مداری ترانزیستورهای NPN و PNP ملاحظه می‌کنیم که جهت پیکان، در واقع جهت جریان مستقیم پیوند بیس ـ امیتر را نشان می‌دهد. مثلاً در ترانزیستورهای NPN که بیس از نوع P و امیتر از نوع N است، جهت جریان مستقیم این پیوند از P به N یعنی از بیس به سمت امیتر می‌باشد، که این همان جهت پیکان به کار رفته در علامت مداری این ترانزیستور است.

با توجه به وجود دو پیوند $P-N$ در هر ترانزیستور و از آن‌جا که هر پیوند $P-N$ از نظر نوع بایاس دارای دو حالت مستقیم و معکوس است، می‌توان در حالت کلی چهار حالت مختلف بایاس را برای ترانزیستور در نظر گرفت و به آن‌ها نام مناسبی اختصاص داد. در جدول ۱ چگونگی نامگذاری رایج برای حالت‌های مختلف بایاس ترانزیستور دیده می‌شود.

جدول۱: حالت‌های مختلف بایاس ترانزیستور

| حالت بایاس | پیوند بیس و امیتر | پیوند بیس و کلکتور |
|---|---|---|
| فعال | مستقیم | معکوس |
| قطع | معکوس | معکوس |
| اشباع | مستقیم | مستقیم |
| فعال معکوس | معکوس | مستقیم |

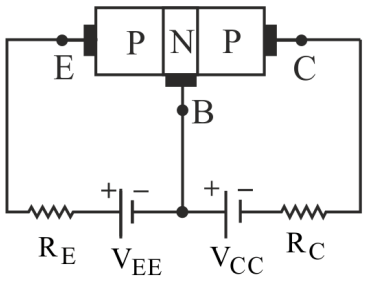
در کاربردهای خطی و به ویژه تقویت‌کننده‌ها معمولاً ترانزیستورها در ناحیه فعال بایاس می‌شوند؛ در حالی‌که در کاربردهایی از قبیل مدارهای منطقی و کلیدهای دیجیتال معمولاً از ترانزیستورها در دو ناحیه قطع و اشباع استفاده می‌شود. بایاس ترانزیستور در حالت فعال معکوس، در عمل کاربرد چندانی ندارد.

## پیش‌آزمون ۲

### اساس کار ترانزیستور در ناحیه فعال

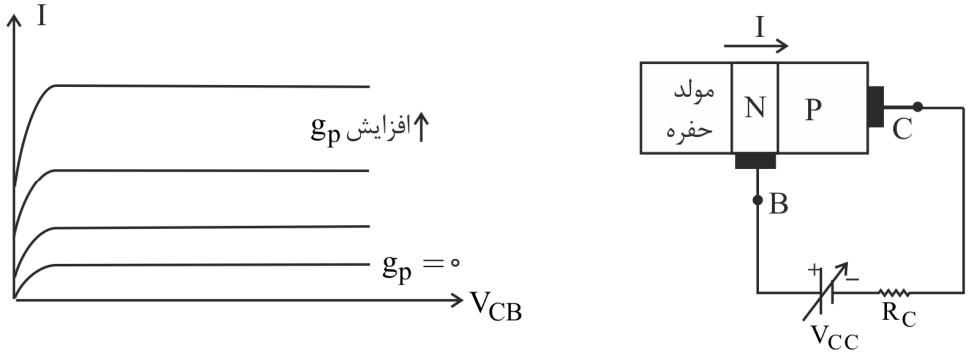
ترانزیستور را می‌توان به صورت یک منبع جریان کنترل شده با جریان در نظر گرفت. برای درک این مطلب، بهتر است ترانزیستور بایاس شده توسط منابع DC به‌صورت شکل ۱ را مورد مطالعه قرار دهیم. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، این ترانزیستور توسط منابع $V_{EE}$ و $V_{CC}$ در ناحیه فعال بایاس شده است. در این‌جا بحث خود را به ترانزیستور PNP اختصاص می‌دهیم. توصیف عملکرد ترانزیستورهای NPN نیز چندان تفاوتی ندارد. زیرا در ترانزیستور NPN الکترون‌های آزاد نقشی را که حفره‌ها در نوع PNP ایفا می‌کنند، به عهده خواهند داشت.

در ناحیه فعال همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، پیوند کلکتور ـ بیس (CB) به‌صورت معکوس و پیوند امیتر ـ بیس (EB) به‌صورت مستقیم بایاس می‌شود. ابتدا بایاس معکوس پیوند کلکتور ـ بیس را در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم پیوند امیتر ـ بیس مدار باز باشد. جریان معکوس یک پیوند $P-N$ تقریباً ثابت و مستقل از ولتاژ خارجی دو سر پیوند است. اگر بخواهیم جریان معکوس پیوند را افزایش دهیم باید به نحوی میزان حامل‌های اقلیت را بالا ببریم. مثلاً در دیود نوری با تابش فوتون‌های نورانی و تحریک الکترون‌های ظرفیت میزان حامل‌های اقلیت را افزایش می‌دهیم. در واقع ازدیاد حامل‌های اقلیت به هر شکل دیگری نیز که صورت پذیرد باعث افزایش جریان معکوس پیوند می‌شود.




شکل۱: نحوه بایاس ترانزیستور PNP در ناحیه‌ی فعال

در شکل ۲ به جای امیتر یک مولد حفره فرضی در مجاورت بیس قرار داده شده است. این مولد فرضی در هر ثانیه $g_p$ حامل اقلیت به لایه‌ی N تزریق می‌کند. با افزایش $g_p$ جریان معکوس پیوند کلکتور ـ بیس افزایش می‌یابد در حالی که مستقل از ولتاژ معکوس پیوند باقی می‌ماند.

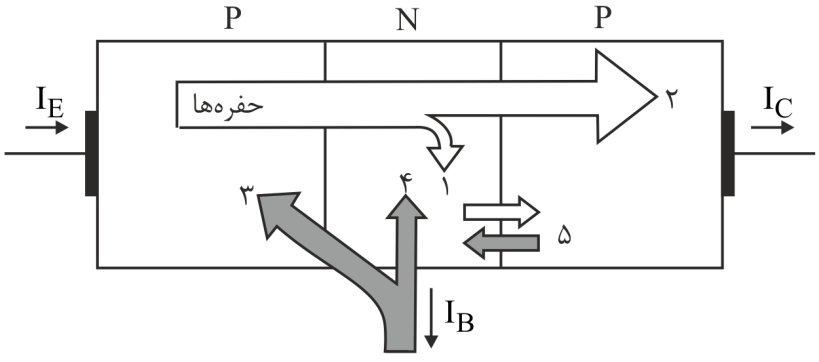



شکل۲: نمایش افزایش جریان معکوس کلکتور با افزایش میزان حفره‌های تزریق شده به بیس توسط مولد حفره فرضی

یک وسیله مناسب برای تزریق حفره، یک پیوند $P-N$ در حالت بایاس مستقیم است. در چنین پیوندی، چنان‌چه چگالی ناخالصی‌های طرف $P$ خیلی بزرگ‌تر از چگالی ناخالصی‌ها در طرف $N$ باشد $(N_A \gg N_D)$، می‌توان گفت جریان عمدتاً ناشی از تزریق حفره‌ها از طرف $P$ به $N$ است.

بدیهی است با توجه به این‌که در ساختمان ترانزیستور، لایه امیتر از میزان ناخالصی بالاتری نسبت به بیس برخوردار است و همچنین پیوند امیتر ـ بیس به‌صورت مستقیم بایاس می‌شود (ناحیه فعال)، می‌توان امیتر را به عنوان عامل تزریق کننده حامل‌های اقلیت اضافی (حفره) به بیس در نظر گرفت. در حقیقت نام امیتر که به معنای پخش‌کننده و تزریق‌کننده است با توجه به این تعبیر انتخاب شده است. اکنون ممکن است این سوال مطرح شود که چرا حفره‌های تزریق شده به بیس با الکترون‌های آزاد این لایه ترکیب و خنثی نمی‌شوند؟ پاسخ به این سوال را باید در نازک بودن لایه بیس و درصد ناخالصی کمتر آن جستجو نمود. با توجه به این دو عامل می‌توان گفت که حفره‌ها تحت تأثیر ولتاژ منفی کلکتور، به سرعت از بیس عبور نموده و فقط درصد اندکی از آن‌ها در بیس با الکترون‌های آزاد ترکیب مجدد می‌شوند. معمولاً بین ۹۰ تا ۹۹/۵ درصد از حفره‌های تزریقی امیتر از بیس عبور کرده و جذب کلکتور می‌شوند. نام کلکتور (جمع‌کننده) نیز به مناسبت همین عمل جمع‌کنندگی حامل‌های تزریق شده به بیس به این لایه اختصاص یافته است. آن دسته از الکترون‌های آزاد ناحیه بیس که در ترکیب مجدد با حفره‌های تزریقی از بین می‌روند، توسط منبع $V_{EE}$ جایگزین می‌شوند.

در شکل ۳ نحوه جابه‌جایی حامل‌های بارالکتریکی در ترانزیستور نشان داده شده است. مدار بایاس ترانزیستور مورد نظر، همان مدار شکل ۱ (بایاس در ناحیه فعال) است. در شکل، پیکان‌های خاکستری به منظور نمایش حرکت الکترون‌های آزاد و پیکان‌های سفید جهت نشان دادن جابه‌جایی حفره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.




شکل ۳: نحوه جابه‌جایی حفره‌ها و الکترون‌های آزاد در ترانزیستور بایاس شده در ناحیه فعال

**توضیح بخش‌های شماره‌گذاری شده شکل به شرح زیر است:**

۱- حفره‌های تزریقی از امیتر که در بیس با الکترون‌های آزاد بیس ترکیب می‌شوند.

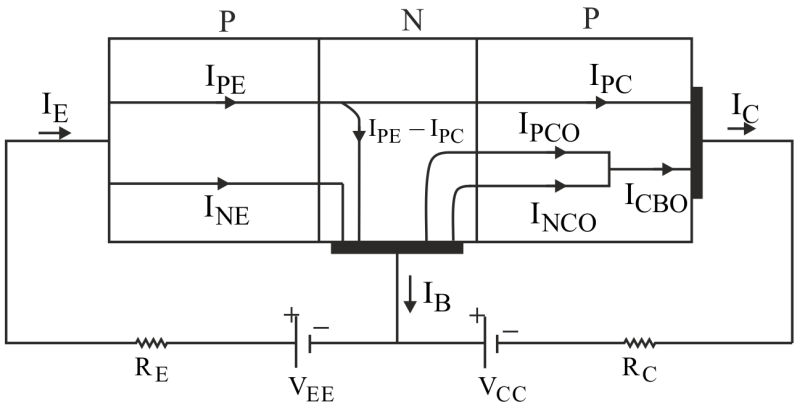
۲- حفره‌های تزریقی از امیتر که نهایتاً به کلکتور می‌رسند.

۳- الکترون‌های آزاد تزریقی از بیس به امیتر در محل پیوند، در حالت هدایت پیوند امیتر ـ بیس.

۴- الکترون‌های آزاد که توسط بیس جهت ترکیب با حفره‌های تزریقی از امیتر تأمین می‌شوند.

۵- حامل‌های اقلیت که جریان اشباع معکوس پیوند کلکتور ـ بیس را تشکیل می‌دهند.

در ارتباط با هر یک از جابه‌جایی‌های فوق یک مؤلفه جریان الکتریکی مطرح می‌شود. در شکل ۴ مؤلفه‌های مختلف جریان الکتریکی نشان داده شده است. با مقایسه دو شکل ۳ و ۴ می‌توان حامل‌های به وجود آورنده هر مؤلفه جریان را شناسایی نمود.




شکل ۴ : مؤلفه‌های مختلف جریان در ترانزیستور بایاس شده در ناحیه فعال

می‌توان جریان کلکتور $(I_C)$ را به صورت زیر بیان نمود:

$$I_C = I_{PC} + I_{CBO} \qquad (۱)$$

که در آن $I_{PC}$ مؤلفه جریان حاصل از آن دسته از حفره‌های تزریقی است که به کلکتور رسیده‌اند و $I_{CBO}$ جریان اشباع معکوس پیوند کلکتور ـ بیس است. همچنین برای جریان امیتر $(I_E)$ داریم:

$$I_E = I_{PE} + I_{NE} \qquad (۲)$$

چون چگالی حفره‌ها در امیتر بسیار بزرگ‌تر از چگالی الکترون‌های آزاد در بیس است، معمولاً $I_{PE}$ خیلی بزرگ‌تر از $I_{NE}$ است. نسبت $\frac{I_{PE}}{I_E}$ را بازده تزریق امیتر نامیده و با $\gamma$ نمایش می‌دهند.

$$\gamma = \frac{I_{PE}}{I_E} \qquad (۳)$$

مؤلفه $I_{PC}$ جریان کلکتور متناسب با $I_{PE}$ است. ضمناً هر چه میزان حفره‌های ترکیب شده در بیس کمتر باشد، بخش بیشتری از $I_{PE}$ به کلکتور می‌رسد. بنابراین نسبت $I_{PC}$ به $I_{PE}$ مبین توانایی بیس، در انتقال حفره‌های تزریق شده به کلکتور است. این نسبت را با $\alpha^*$ نمایش داده و به آن B می‌گویند.

$$\alpha^* = \frac{I_{PC}}{I_{PE}} \qquad (۴)$$

ضریب انتقال بیس ($\alpha^*$)، به عرض مؤثر بیس بستگی دارد. هر قدر این عرض مؤثر کوچک‌تر باشد $\alpha^*$ به یک نزدیک‌تر است. منظور از عرض مؤثر بیس، عرض ناحیه خنثی در این ناحیه است که نواحی تهی را شامل نمی‌شود.

## پیش‌آزمون ۳

### تقویت جریان در ترانزیستور

مؤلفه‌ی $I_{PC}$ جریان کلکتور با جریان امیتر $(I_E)$ متناسب است. ضریب این تناسب را با $\alpha$ نشان می‌دهند.

$$\alpha = \frac{I_{PC}}{I_E} = \frac{I_{PC}}{I_{PE}} \frac{I_{PE}}{I_E} = \alpha^* \gamma \qquad (۱)$$

با استفاده از تعریف $\alpha$ می‌توان رابطه جریان کلکتور $(I_C)$ و جریان امیتر $(I_E)$ ترانزیستور در ناحیه فعال را به‌صورت زیر بیان نمود.

$$I_C = I_{PC} + I_{CBO} = \alpha I_E + I_{CBO} \cong \alpha I_E \qquad (۲)$$

معمولاً در ناحیه فعال $I_{CBO}$ در مقابل $\alpha I_E$ قابل صرف‌نظر است. بنابراین ضریب $\alpha$ در واقع نسبت جریان کلکتور به جریان امیتر ترانزیستور در ناحیه فعال است. به همین دلیل $\alpha$ را بهره جریان سیگنال بزرگ ترکیب بیس مشترک می‌نامند. مقدار $\alpha$ برای ترانزیستورهای مختلف بین ۰/۹ تا ۰/۹۹۵ تغییر می‌کند. بنابراین هیچ‌گونه تقویت جریان واقعی بین کلکتور و امیتر صورت نمی‌گیرد. می‌توان نشان داد که در حقیقت، تقویت جریان در ترانزیستور، بین جریان کلکتور و جریان بیس وجود دارد. برای این منظور معادله‌ی KCL را برای جریان سرهای ترانزیستور می‌نویسیم. با توجه به جهت جریان‌های مشخص شده در شکل ۴ داریم:

$$I_E = I_B + I_C \qquad (۳)$$

با ترکیب روابط ۲ و ۳ می‌توان نوشت:

$$I_C = \alpha(I_B + I_C) + I_{CBO}$$

و در نتیجه:

$$I_C = \frac{\alpha}{۱ - \alpha} I_B + \frac{۱}{۱ - \alpha} I_{CBO} \qquad (۴)$$

با توجه به این‌که $\alpha$ نزدیک به واحد است، نسبت $\frac{\alpha}{۱ - \alpha}$ می‌تواند عدد بزرگی باشد. این نسبت را با $\beta$ نمایش می‌دهند. بنابراین خواهیم داشت:

$$I_C = \beta I_B + (۱ + \beta) I_{CBO} \cong \beta I_B \qquad (۵)$$

$\beta$ را بهره جریان ترکیب امیتر مشترک می‌نامند. هرچه $\alpha$ به یک نزدیک‌تر باشد $\beta$ بزرگ‌تر خواهد بود. همچنین حساسیت $\beta$ نسبت به تغییرات $\alpha$ بسیار زیاد است. به طور مثال اگر $\alpha$ از ۰/۹۹ به ۰/۹۹۸ تغییر یابد، $\beta$ از ۹۹ به ۴۹۹ تغییر خواهد کرد. از آن‌جا که ساخت ترانزیستورها با مشخصات کاملاً یکسان، از جمله عرض بیس دقیقاً برابر هم، ممکن نیست پارامتر $\alpha$ حتی برای ترانزیستورهای از یک نوع کمی متفاوت خواهد بود. در نتیجه پارامتر $\beta$ برای این ترانزیستورها نه تنها یکسان نیست بلکه دارای دامنه تغییرات قابل توجهی است.

**معادله کلی جریان کلکتور**

در بررسی مؤلفه‌های جریان در ترانزیستور، فرض بر این بود که ترانزیستور در ناحیه‌ی فعال بایاس شده است. در ناحیه فعال، پیوند امیتر ـ بیس به صورت مستقیم و پیوند کلکتور ـ بیس به‌صورت معکوس بایاس می‌شود. معادله جریان کلکتور را می‌توان به شکل کلی‌تری نوشت، به‌طوری که حالت هدایت پیوند کلکتور ـ بیس را با رابطه کلی جریان مستقیم یک پیوند $P-N$ جایگزین نماییم. در نتیجه معادله کلی جریان کلکتور به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$I_C = \alpha I_E - I_{CBO}(e^{V_C/V_T} - ۱) \qquad (۶)$$
$$= \beta I_B - (۱+\beta) I_{CBO}(e^{V_C/V_T} - ۱)$$

منظور از $V_C$ ولتاژ مستقیم وصل شده به دو سر کلکتور و بیس است. در ترانزیستور PNP، $V_C = V_{CB}$ و در ترانزیستور NPN، $V_C = V_{BC}$ است. برای مقادیر $V_C$ منفی و خیلی بزرگ‌تر از $V_T$، معادله فوق به‌صورت رابطه ۲ در می‌آید. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که گرچه تاکنون بحث خود را بر روی ترانزیستور PNP متمرکز کرده بودیم، اما روابطی که بین جریان پایه‌های مختلف ترانزیستور به‌دست آوردیم برای ترانزیستور NPN نیز صحیح هستند. همچنین برای ترانزیستور NPN جهت جریان هر سه سر امیتر، کلکتور و بیس نسبت به ترانزیستور PNP تغییر می‌کند.

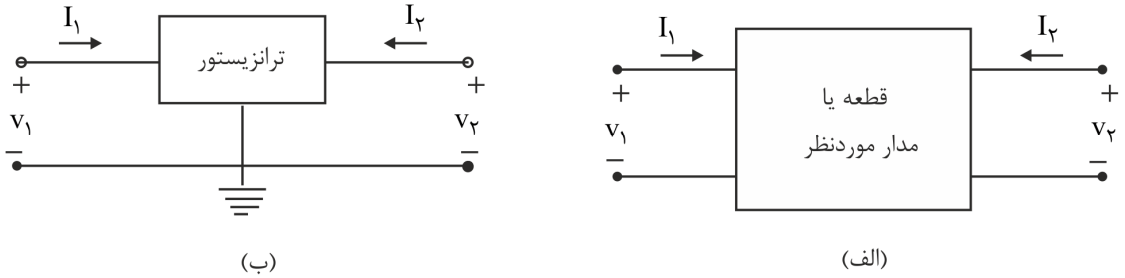
## پیش‌آزمون ۴

### مشخصه‌های ترانزیستور

ترانزیستور مانند سایر عناصری که در مدار و الکترونیک معرفی می‌شوند با منحنی‌های مشخصه آن‌که به نحو خاصی ارتباط بین تغییرات ولتاژ و جریان در سرهای ترانزیستور را توصیف می‌کنند شناخته می‌شود. از آن‌جا که طرز قرار گرفتن ترانزیستور در مدارهای مختلف و نحوه اعمال سیگنال ورودی و گرفتن سیگنال خروجی از آن، به شکل‌های متنوعی صورت می‌گیرد و همچنین کمیت‌های ولتاژ و جریان ترانزیستور را به شکل‌های مختلفی می‌توان به عنوان متغیر مستقل و متغیر تابع تعریف نمود، لذا برای ترانزیستور می‌توان مشخصه‌های ولتاژ و جریان متعددی را تعریف کرد.

در عمل براساس استفاده‌ای که از مشخصه ترانزیستور در طراحی و تحلیل مدارها صورت می‌گیرد، مشخصه‌های خاصی از آن مورد توجه قرار گرفته و به نام مشخصه‌های خروجی و ورودی ترانزیستور تعریف می‌شوند.

در نظریه مدار با استفاده از یک شبکه دوقطبی می‌توان ارتباط بین سیگنال‌های ورودی و خروجی یک قطعه یا یک مدار معین را در قالب‌های مشخصی بیان نمود. این کار امکان تعریف مشخصه‌های ولتاژ و جریان مناسب و یا ارائه یک مدل مناسب برای آن قطعه یا مدار را فراهم می‌سازد. در شکل ۱- الف یک شبکه دو قطبی و در شکل ۱- ب ترانزیستور به عنوان شبکه دو قطبی نشان داده شده است.



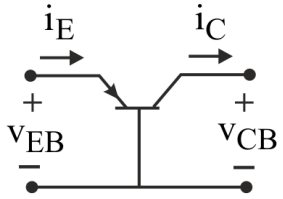
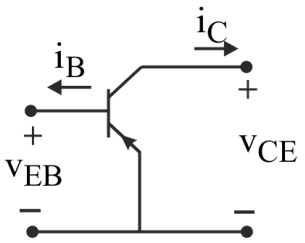
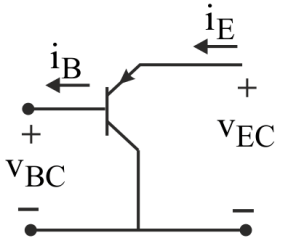

شکل۱: دو قطبی و مدل معادل آن برای ترانزیستور

$v_1$ و $i_1$ ولتاژ و جریان قطب ورودی و $v_2$ و $i_2$ ولتاژ و جریان قطب خروجی نامیده می‌شوند. طبق تعریف، منظور از مشخصه خروجی تابع دو متغیره $i_2 = f(i_1, v_2)$ است که می‌توان آن را به‌صورت دسته منحنی‌هایی که نشانگر تغییرات $i_2$ برحسب $v_2$ به ازای مقادیر ثابت مختلفی از $i_1$ هستند رسم نمود. همچنین طبق تعریف، مشخصه ورودی تابع دو متغیره $i_1 = g(v_2, v_1)$ است که به‌صورت دسته منحنی‌هایی شامل تغییرات $i_1$ برحسب $v_1$ به ازای مقادیر ثابت مختلفی از $v_2$ رسم می‌شود.

با توجه به شکل۱ می‌توان سه ترکیب مختلف از نظر نحوه قرار گرفتن ترانزیستور در یک مدل دو قطبی تصویر نمود. در هر یک از این سه ترکیب، یکی از سرهای ترانزیستور در قطب یا حلقه ورودی، یک سر دیگر در قطب یا حلقه خروجی و سر سوم به‌صورت مشترک بین دو قطب قرار می‌گیرد. نامگذاری این سه ترکیب مختلف براساس نام سر مشترک بین قطب‌های ورودی و خروجی صورت می‌گیرد و لذا از این پس به عنوان ترکیب‌های بیس مشترک (CB)، امیتر

مشترک (CE) و کلکتور مشترک (CC) شناخته می‌شوند.

جدول۱: تعریف مشخصه‌های ترانزیستور در ترکیب‌های مختلف مداری آن

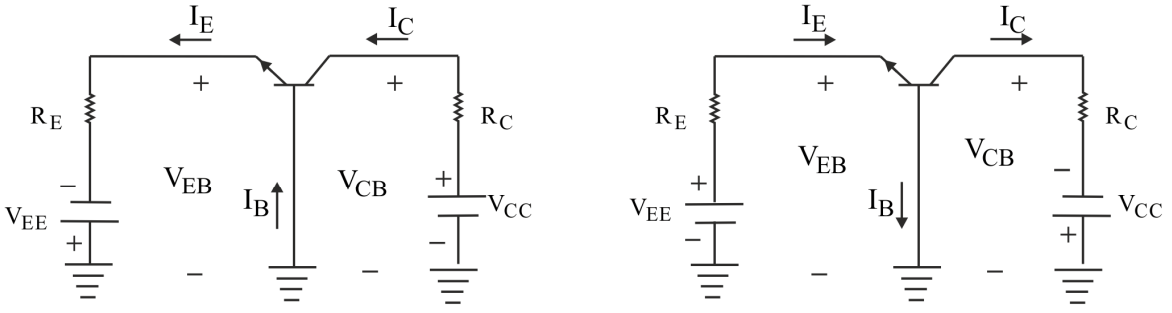
| | نوع ترکیب | مشخصه خروجی | مشخصه ورودی |
|---|---|---|---|
| بیس مشترک |  | $i_C = f_1(i_E, v_{CB})$ | $i_E = g_1(v_{CB}, v_{EB})$ |
| امیتر مشترک |  | $i_C = f_2(i_B, v_{CE})$ | $i_B = g_2(v_{CE}, v_{BE})$ |
| کلکتور مشترک |  | $i_E = f_3(i_B, v_{EC})$ | $i_B = g_3(v_{EC}, v_{BC})$ |

در جدول بالا چگونگی قرار گرفتن یک ترانزیستور PNP در ترکیب‌های CB، CE و CC و نحوه تعریف مشخصه‌های خروجی و ورودی آن نمایش داده شده است. قابل ذکر است که در جدول فوق، جهت جریان سرهای ترانزیستور جهت واقعی آن‌ها در نظر گرفته شده و لذا در بعضی از موارد در تعریف کلی مشخصه‌های خروجی و ورودی، علامت متغیرها تغییر می‌کند.

## پیش‌آزمون ۵

### ترکیب بیس مشترک

چون ترانزیستور دارای سه سر خارجی متمایز است، از لحاظ نحوه اتصال ورودی و خروجی به آن، می‌تواند به شکل‌های مختلفی در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر هر یک از سرهای ترانزیستور ممکن است بین ورودی و خروجی مشترک باشند.




الف) ترانزیستور PNP

ب) ترانزیستور NPN

شکل۱: مدار بیس مشترک

در اینجا فرض می‌کنیم که بیس به عنوان سر مشترک و امیتر و کلکتور، به‌ترتیب به عنوان سرهای ورودی و خروجی به کار رفته می‌شوند. در شکل ۱ ترانزیستورهای PNP و NPN در ترکیب بیس مشترک نشان داده شده‌اند.

در ترکیب بیس مشترک، جریان و ولتاژ خروجی به ترتیب $I_C$ و $V_{CB}$ بوده و جریان ورودی $I_E$ است. بنابراین برای ترانزیستور در ترکیب بیس مشترک، مشخصه خروجی به‌صورت $I_C(I_E, V_{CB})$ بیان می‌شود. در $I_E = ۰$ (امیتر مدار باز) میزان تزریق حفره از امیتر به بیس صفر است و جریان کلکتور منحصراً جریان اشباع معکوس پیوند کلکتور ـ بیس $(I_{CBO})$ می‌باشد. جریان $I_{CBO}$ برای ترانزیستورهای سیلیکن در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانوآمپر و برای ترانزیستورهای ژرمانیم در حدود چند میکروآمپر است.

**ناحیه قطع:** بنا به تعریف در ناحیه قطع، هر دو پیوند امیتر ـ بیس و کلکتور ـ بیس در حالت معکوس هستند. بنابراین جریان کلکتور برابر $I_{CBO}$ بوده و جریان امیتر کوچکتر و یا مساوی صفر است.

**ناحیه فعال:** ناحیه فعال کار ترانزیستور ناحیه‌ای است که در آن پیوند امیتر ـ بیس در حالت مستقیم و پیوند کلکتور – بیس در حالت معکوس باشند. در ناحیه فعال به ازای یک مقدار ثابت $I_E$، جریان $I_C$ کاملاً ثابت نبوده و با افزایش $|V_{CB}|$ کمی افزایش می‌یابد. در واقع ضریب $\alpha$ ثابت نبوده و با افزایش $|V_{CB}|$ کمی تغییر می‌کند.

**مثال ۱:** در مدار شکل (۱-ب) با فرض ولت $V_{CB} = ۵$، $\alpha = ۰/۹۸$، $V_{BE} = ۰/۷V$، $R_C = ۴K\Omega$، $V_{CC} = ۱۰V$ و $V_{EE} = ۱۰V$ مقادیر $I_C$، $I_E$ و $R_E$ را محاسبه کنید. (فرض کنید ترانزیستور در ناحیه‌ی فعال کار می‌کند.)

حل:

معادلات KVL در حلقه‌های بیس و کلکتور عبارتند از:

$$V_{EE} = R_E I_E + V_{BE}$$
$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CB}$$

با جایگذاری مقادیر و استفاده از معادلات فوق داریم:

$$۱۰ = R_E I_E + ۰/۷$$
$$۱۰ = ۴I_C + ۵$$

در ناحیه فعال $I_C = \alpha I_E$ بوده که با به کارگیری آن مقدار $I_E$ و در نتیجه مقدار $R_E$ محاسبه می‌شود.

$$I_C = \frac{۵}{۴} = ۱/۲۵ mA$$

$$I_E = \frac{۱/۲۵}{۰/۹۸} \cong ۱/۲۸ mA$$

$$R_E = \frac{۱۰ - ۰/۷}{۱/۲۸} \cong ۷/۲۷ K\Omega$$

**مثال۲** : اگر در مدار شکل ۱-الف، $R_E = ۹/۳K\Omega$، $\alpha = ۰/۹۸$، $V_{CC} = ۱۰V$ و $V_{EE} = ۱۰V$ باشد،

الف) با فرض $R_C = ۱۱K\Omega$ و $V_{EB} = ۰/۷V$، آیا ترانزیستور در ناحیه فعال کار می‌کند؟ اگر جواب منفی است ناحیه کار ترانزیستور را تعیین کنید.

ب) در صورتی که $R_C = ۴K\Omega$ و $V_{EE} = ۰V$ باشد، ناحیه کار ترانزیستور را تعیین کنید.

**حل:**

الف) با نوشتن معادله $KVL$ در مدار شکل ۱- الف داریم:

$$V_{EE} = R_E I_E + V_{EB} \Rightarrow ۱۰ = ۹/۳ I_E + ۰/۷ \Rightarrow I_E = ۱mA$$
$$V_{CC} = R_C I_C - V_{CB} \Rightarrow ۱۰ = ۱۱ I_C - V_{CB}$$

در صورتی که ترانزیستور در ناحیه فعال باشد می‌توان نوشت:

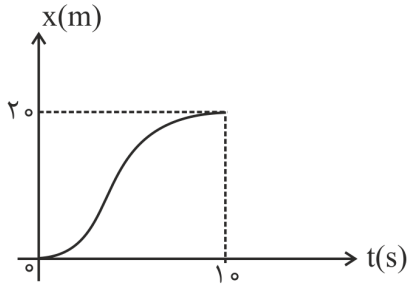
$$I_C = \alpha I_E = ۰/۹۸ I_E = ۰/۹۸ mA$$
$$V_{CB} = ۱۱ \times ۰/۹۸ - ۱۰ = ۰/۷۸V$$

مقدار فوق برای $V_{CB}$ نشان می‌دهد که پیوند کلکتور ـ بیس به‌صورت مستقیم بایاس شده و بنابراین ترانزیستور نمی‌تواند در ناحیه فعال کار کند. از طرف دیگر روشن است که پیوند امیتر ـ بیس هم به‌صورت مستقیم بایاس شده است و بنابراین ترانزیستور در ناحیه اشباع قرار دارد.

ب) چنان‌چه $V_{EE} = ۰V$ شود، پیوند امیتر ـ بیس ولتاژ بایاسی نخواهد داشت و $I_E$ و $V_{EB}$ برابر صفر می‌شوند و هیچ‌گونه حفره‌ای به بیس تزریق نمی‌شود. در این حالت هر دو پیوند امیتر ـ بیس و کلکتور ـ بیس در وضعیت قطع قرار گرفته و ترانزیستور در ناحیه قطع خواهد بود.

## سوالات عمومی

**۱. نمودار مکان ـ زمان زیر را در نظر بگیرید. شتاب متوسط جسم چند $\frac{m}{s^2}$ است؟**




۱) صفر

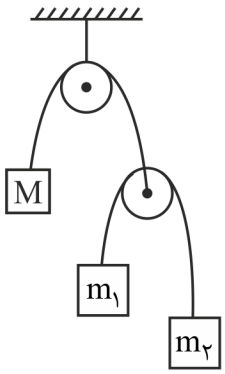
۲) ۰/۱

۳) ۱

۴) ۰/۲

۵) ۲

**۲.دستگاه جرم و قرقره‌ی شکل زیر را در نظر بگیرید.**
**چه رابطه‌ای بین $m_2$ ، $m_1$ و $M$ وجود داشته باشد تا $M$ ساکن باقی بماند؟**




۱) $M = m_1 + m_2$

۲) $M = \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2}$

۳) $M = |m_1 - m_2|$

۴) $M = \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}$

۵) $M = \frac{4m_1m_2}{m_1 + m_2}$

**۳. یک بطری پلاستیکی خالی را گرم می‌کنیم تا دمای هوای درون آن $90^\circ C$ شود. در این حالت در بطری را می‌بندیم. حداکثر اختلاف فشار دو سوی دیواره‌های این بطری برای این که به آن صدمه نخورد، ۰/۲ فشار آن محیط است. بطری را سرد می‌کنیم. حداقل دمای بطری برای این‌که به آن صدمه نخورد، تقریباً چند سانتی‌گراد است؟**

۱) ۱۵

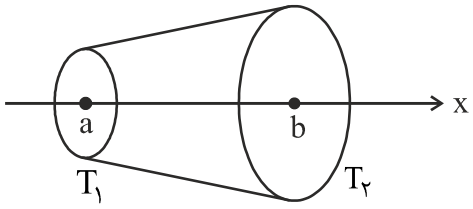
۲) ۱۷

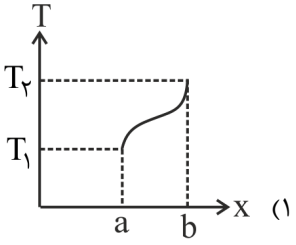
۳) ۹

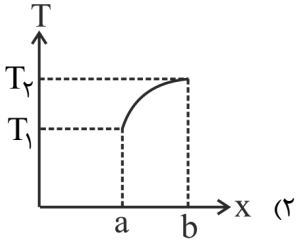
۴) ۱۱

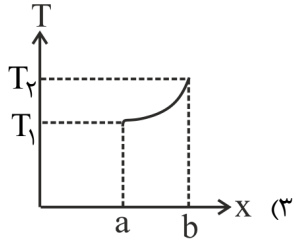
۵) ۲۲

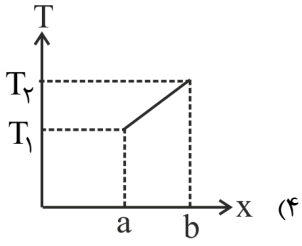
۴.یک مخروط ناقص که زاویه‌ی رأس آن کوچک است، رسانای گرماست. مطابق شکل، قاعده‌های این جسم را در دماهای ثابت $T_1$ و $T_2$ $(T_2 > T_1)$ است، قرار می‌دهیم تا گرما در طول آن جریان یابد؛ به طوری‌که $T(a) = T_1$ و $T(b) = T_2$. سطح جانبی مخروط به گونه‌ای عایق پوشی شده است که از آن گرما هدر نمی‌رود. در حالت پایا دمای نقطه‌ی $x$ روی محور جسم را $T(x)$ می‌نامیم. کدام منحنی نشان دهنده‌ی رفتار $T(x)$ بر حسب $x$ است؟




۱)


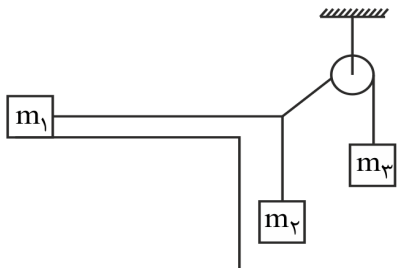

۲)



۳)



۴)


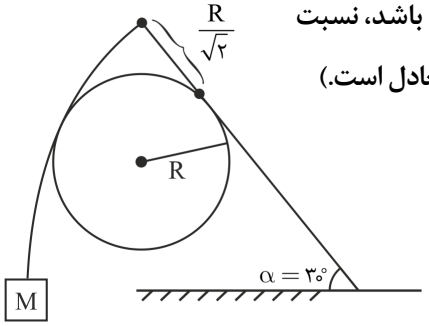

۵) هیچ‌کدام

۵. در دستگاه نشان داده شده در شکل، طناب‌ها و قرقره بدون جرم و اجسام دارای جرم‌های $m_1 = 20kg$، $m_2 = 8kg$ و $m_3 = 10kg$ هستند. حداقل ضریب اصطکاک ایستایی بین جسم $m_1$ و سطح زیرین آن چقدر باشد تا دستگاه درحال تعادل باشد؟ (طناب متصل به $m_1$ افقی است.)




۱) ۰/۱۵
۲) ۰/۳۰
۳) ۰/۴۰
۴) ۰/۵۳
۵) ۰/۲۲

۶.مطابق شکل زیر یک استوانه با سطح صیقلی و به شعاع $R$ (که محور آن عمود بر صفحه‌ی کاغذ فرض می‌شود، با یک میله‌ی سفت در تماس است و فاصله‌ی انتهای میله از نقطه‌ی تماسش با استوانه برابر $\frac{R}{\sqrt{2}}$ است. میله با سطح افق زاویه‌ی $\alpha = 30^\circ$ می‌سازد. انتهای میله به طنابی بسته شده است که بر استوانه مماس بوده و سر دیگر طناب به وزنه‌ای به جرم $M$ وصل شده است. اگر جرم میله $m$ باشد، نسبت $\frac{M}{m}$ برابر با چه عددی است؟ (از جرم طناب صرفنظر کنید. دستگاه در حال تعادل است.)




۱) ۲
۲) ۲/۵
۳) ۰/۵
۴) ۰/۷۵
۵) ۱/۵

**۷. نسبت نیروی مقاومت هوا در برابر حرکت گلوله‌ای که به طرف بالا شلیک می‌شود، به نیروی وزن آن کدام است؟ سرعت شلیک گلوله برابر با $۵۰۰\frac{m}{s}$، قطرش برابر با $۷mm$ و جرمش ۹ گرم است. چگالی هوا را برابر با $۱/۳\frac{kg}{m^۳}$ در نظر بگیرید. (جواب به‌صورت تقریبی مدنظر است.)**

۱) ۴۰ ۲) ۱۵ ۳) ۵۵

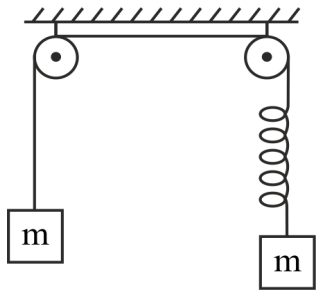
۴) ۷۰ ۵) هیچ‌کدام

**۸. معادله‌ی نیروی وارد شده بر یک جسم برحسب زمان از رابطه‌ی $F=t^۲-۸t+۲۰$ (در SI) به‌دست می‌آید. حداقل مقدار نیرو چند نیوتن است؟**

۱) ۱۰ ۲) ۲۰ ۳) ۴

۴) صفر ۵) ۸

**۹. در شکل زیر جرم هر یک از وزنه‌ها برابر با $۱۰۰g$ و ثابت فنر برابر با $۸۰\frac{N}{m}$ است. از جرم فنر و نخ‌ها و قرقره‌ها صرف‌نظر می‌شود. در ابتدا این سیستم در حالت تعادل قرار دارد. در ادامه، وزنه‌ی سمت چپ را با دست گرفته و وزنه‌ی سمت راست را به اندازه‌ی $۳cm$ پایین می‌کشیم. سپس وزنه‌ها را به آرامی رها می‌کنیم. حداکثر سرعت وزنه‌ی سمت چپ چند $\frac{m}{s}$ است؟ (فرض بر این است که وزنه‌ها با سطح بالایی برخوردی ندارند و نخ همیشه کشیده است.)**




۱) ۰/۴

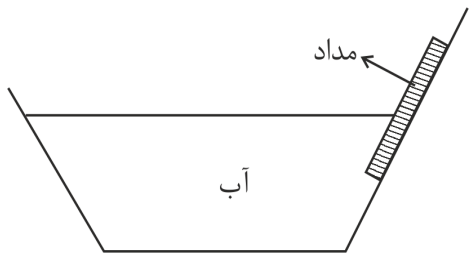
۲) ۰/۶

۳) ۰/۸

۴) ۱/۲

۵) ۱

**۱۰. مطابق شکل زیر در یک وان حمام مقداری آب ریخته شده است. روی دیواره‌ی شیب‌دار سمت راست وان، مدادی نازک و بلند قرار دارد که انتهایش توسط نخی بسته شده است. در حالی‌که انتهای دیگر نخ را با دست گرفته‌ایم، اجازه می‌دهیم تا مداد به آرامی و به تدریج از روی دیواره سرخورده و وارد وان شود. حداقل چه کسری از مداد می‌تواند داخل آب برود تا انتهای پایین مداد همچنان بر دیواره‌ی وان مماس باشد؟ (چگالی مداد را برابر با $\frac{۳}{۴}$ چگالی آب فرض کنید)**




۱) $\frac{۳}{۴}$ ۲) $\frac{۲}{۳}$

۳) $\frac{۱}{۲}$ ۴) $\frac{۲}{۵}$

۵) $\frac{۳}{۸}$

۱۱. در کف یک استخر میله‌ی باریکی به طول $L = 1m$ قرار دارد که از دو بخش با طول‌های یکسان و سطح مقطع برابر ساخته شده است. چگالی بخش اول $\rho_1 = 0/5 \frac{g}{cm^3}$ و چگالی بخش دوم $\rho_2 = 2 \frac{g}{cm^3}$ است. در ابتدا استخر خالی است. به‌تدریج داخل استخر آب می‌ریزیم. عمق استخر چقدر باشد تا میله با سطح آب زاویه‌ی ۴۵ درجه بسازد؟(چگالی آب را برابر با $1g/cm^3$ فرض کنید.)

۱) $0/42m$ ۲) $0/66m$ ۳) $0/28m$

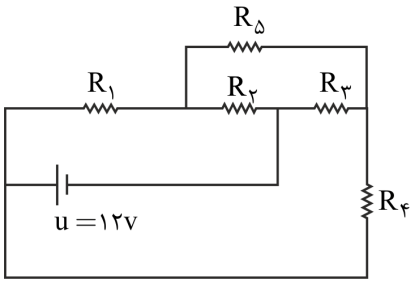
۴) $0/81m$ ۵) $0/12m$

۱۲. یک تیرچوبی یکنواخت با سطح مقطع مربع به ضلع $a$ و طول $L$ (که بسیار بسیار بزرگ‌تر از $a$ فرض می‌شود) در ابتدا روی سطح آب قرار دارد. چگالی ماده‌ی سازنده‌ی این تیرچوبی با چگالی آب برابر است. ناگهان تیرچوبی در آب فرو می‌رود. مقدار گرمایی که تا رسیدن به شرایط تعادل جدید در این فرآیند مبادله می‌شود، چند ژول است؟ (چگالی آب را برابر با $\rho$ فرض کنید)

۱) $\rho g \frac{L^2 a^2}{2}$ ۲) $\rho g L^2 a^2$ ۳) $\rho g L a^3$

۴) $2\rho g L a^3$ ۵) $\frac{\rho g L a^3}{2}$

۱۳. در مدار شکل زیر مجموع شدت جریان‌هایی که از مقاومت‌های $R_2, R_5$ می‌گذرد، برابر با چند آمپراست؟
$(R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\Omega \ , \ R_5 = 3\Omega \ , \ u = 12v)$




۱) ۱۰

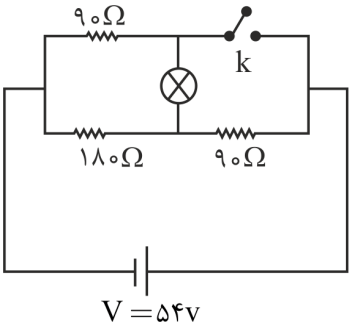
۲) صفر

۳) ۲/۵

۴) ۵

۵) ۷/۵

۱۴. در مدار شکل زیر چه کلید $k$ بسته باشد و چه باز باشد، روشنایی نور لامپ (که با علامت ⊗ نشان داده شده است) تغییری نمی‌کند. اختلاف پتانسیل دو سر لامپ برابر با چند ولت است؟




۱) ۲

۲) ۸

۳) ۱۲

۴) ۴

۵) ۶

۱۵. اندازه‌ی برداری که از حاصل‌ضرب خارجی دو بردار $\vec{a} = 2\vec{i} - 3\vec{j} + \vec{k}$ و $\vec{b} = -\vec{j} - 2\vec{k}$ به‌دست می‌آید، کدام است؟

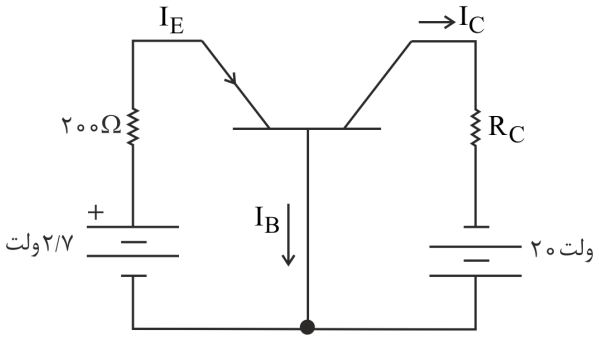
۱) $\sqrt{69}$ ۲) $\sqrt{48}$ ۳) $\sqrt{75}$

۴) $\sqrt{30}$ ۵) $\sqrt{18}$

**سوالات اختصاصی**

- **باتوجه به مدار شکل زیر به سوال‌های ۱۶ و ۱۷ پاسخ دهید:**

**در ترانزیستور $\alpha = ۰/۹$ و $|V_{BE}(on)| = ۰/۷V$ است.**



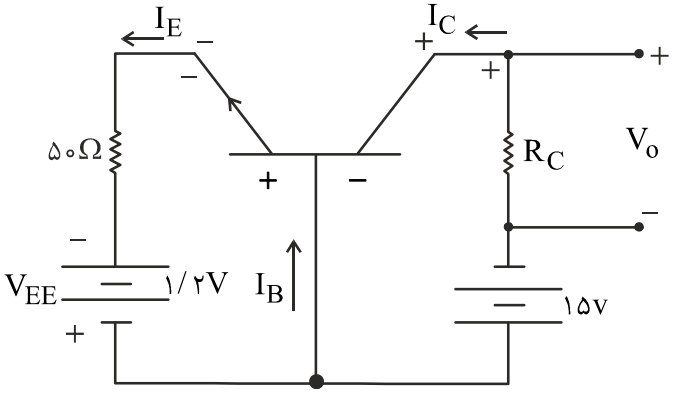

**۱۶. شدت جریان $I_C$ چند میلی‌آمپر است؟**

۱) ۱۰ ۲) ۹ ۳) ۶ ۴) ۱ ۵) ۳

**۱۷. اگر بخواهیم قدرمطلق ولتاژ $V_{CE}$ از ۲۰ ولت تجاوز نکند، حداقل مقدار $R_C$ تقریباً چقدر باید باشد؟**

۱) ۶۰Ω ۲) ۸۰Ω ۳) ۵۶Ω ۴) ۱۱۰Ω ۵) ۷۸Ω

- **با توجه به مدار داده شده که در آن $\alpha = ۰/۹$ و $V_{BE}(on) = ۰/۷V$ است، به سؤال‌های ۱۸، ۱۹، ۲۰ و ۲۱ پاسخ دهید. (ترانزیستور در ناحیه‌ی فعال (active) کار می‌کند.)**




**۱۸. مقدار $I_E$ برابر با چند میلی‌آمپر است؟**

۱) ۱/۵ ۲) ۶ ۳) ۱۲/۵ ۴) ۱۵ ۵) ۱۰

**۱۹. به ازای چه مقداری برای $R_C$ قدرمطلق ولتاژ خروجی (یعنی $V_O$) برابر با ۴/۵ ولت می‌شود؟ (اعداد داده شده در گزینه‌ها بر حسب کیلو اهم هستند.)**

۱) ۱/۵ ۲) ۰/۵ ۳) ۰/۲۵ ۴) ۰/۴ ۵) ۱/۲

**۲۰. با توجه به سؤال ۱۹ مقدار $V_{CE}$ برابر با چند ولت است؟**

۱) ۹/۴ ۲) ۱۲/۶ ۳) ۸/۱ ۴) ۱۱/۲ ۵) ۵/۹

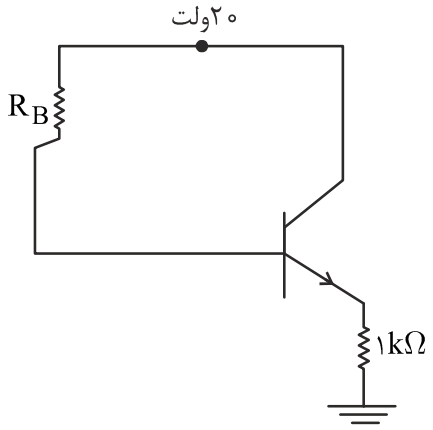
**۲۱. اگر بخواهیم با مقاومت $R_C$ بسته شده در سؤال ۱۹ مقدار ولتاژ $V_{CB}$ برابر ۷/۵ ولت شود، ولتاژ $V_{EE}$ را چند ولت باید تغییر داد؟**

۱) ۰/۳۳ ۲) ۱/۱۱ ۳) ۰/۷۹ ۴) ۱/۶۵ ۵) ۰/۲۸

• **برای ترانزیستور مدار شکل زیر داریم:**

$\beta = ۱۰۰ \ , \ V_{BE}(on) = ۰/۷$ **ولت**

**با توجه به این مطالب به سؤال‌های ۲۲ و ۲۳ پاسخ دهید:**




**۲۲.اگر $V_{CE} = ۱۰\,v$ باشد، مقدار $۱۰۱I_B$ برابر با چند mA خواهد شد؟**

۱) ۵ ۲) ۹ ۳) ۱۰ ۴) ۱۶ ۵) ۱۲

**۲۳. مقدار $R_B$ در صورتی‌که $V_{CE} = ۱۰v$ باشد، تقریباً چند کیلواهم است؟**

۱) ۸۲ ۲) ۶۳ ۳) ۳۲ ۴) ۱۹ ۵) ۹۴

**۲۴. کدام گزینه نادرست است؟**

۱) در حالت اشباع، بایاس پیوند بین بیس و کلکتور مستقیم است.

۲) در کاربردهای خطی معمولاً ترانزیستورها در ناحیه‌ی فعال بایاس می‌شوند.

۳) نوع بلورهای بکار رفته در امیتر، بیس و کلکتور یکسان نیست.

۴) جریان $I_{CBO}$ برای ترانزیستورهای سیلیکن در حدود چند میکروآمپر است.

۵) گزینه‌های ۳ و ۴

**۲۵. دو ترانزیستور کاملاً مشابه داریم که تنها فرقشان در این است که سطح مقطع امیتر ـ بیس در اولی نصف دومی است. اگر $V_{BE}$ برای هر دو ترانزیستور برابر باشد، جریان ترانزیستور اول چند برابر جریان ترانزیستور دوم است؟**

۱) $\frac{۱}{۲}$ ۲) ۲ ۳) $\frac{۱}{۴}$ ۴) ۴ ۵) ۱

**پیام بسیار مهم**

دانش آموزان عزیز شرکت کننده در نهمین دوره لیگ علمی پایا !

خدا قوت...

شما عزیزان برای دسترسی سریعتر به منابع، اطلاعیه های مراحل بعدی پایا و نتایج می بایست به کانال تلگرام دبیرخانه پایا بپیوندید. برای این منظور آدرس کانال را در نرم افزار تلگرام وارد نموده و به محض ورود بر روی گزینه Join کلیک نمایید.

آدرس تلگرامی:@payaleague

آدرس اینترنتی:Telegram.me/payaleague

منتظر حضورتان هستیم..

موفق باشید.