

آزمایش شماره ۴

زمان اجرا ۱۶ ساعت آموزشی

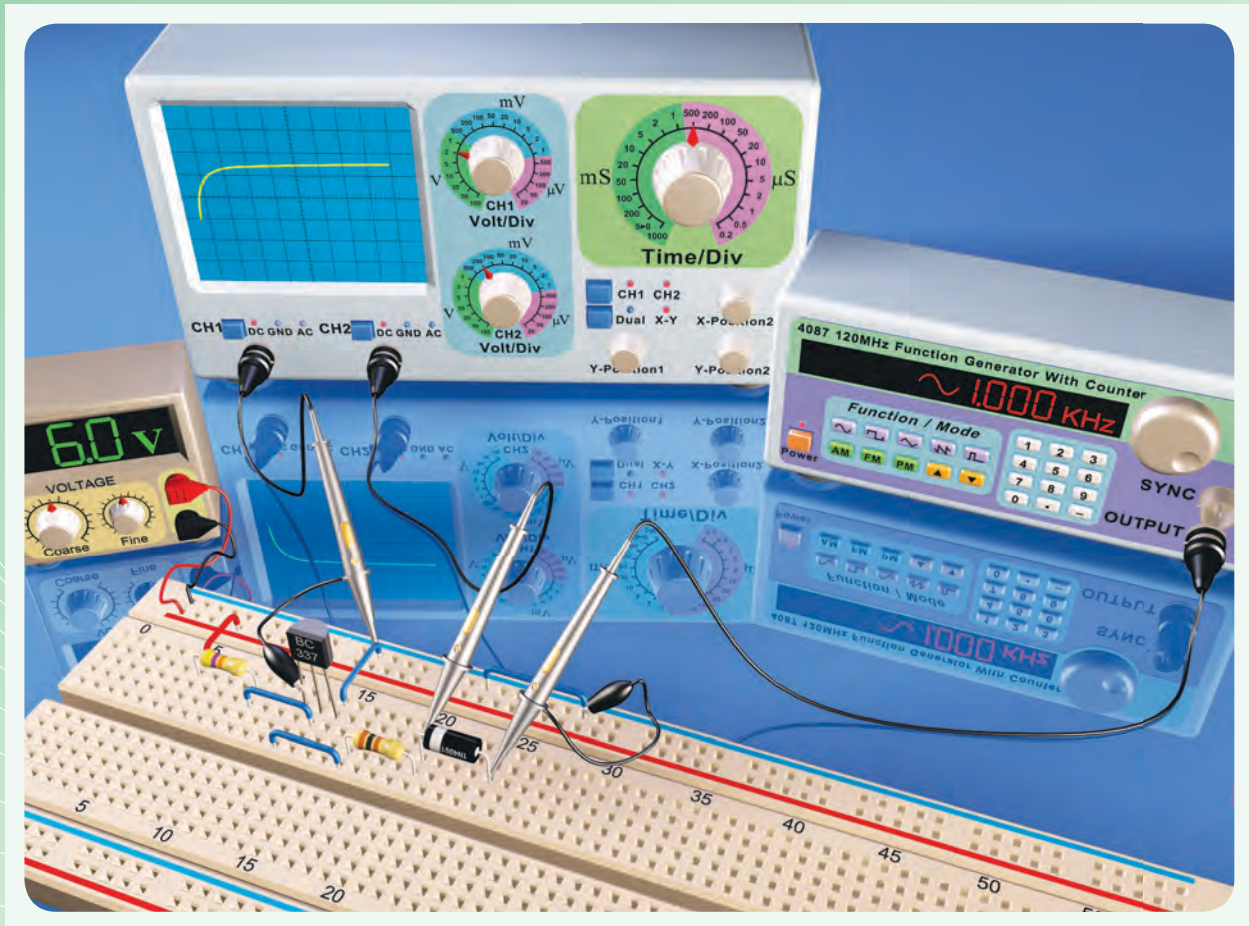


منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

هدف کلی آزمایش



نوعی هدایت ترانزیستور BJT و بررسی منحنی‌های مشخصه خروجی آن





هدف‌های رفتاری

در پایان این آزمایش از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

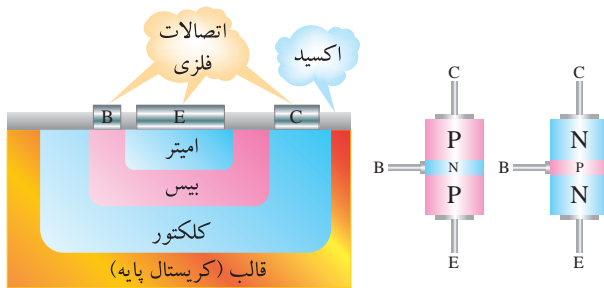
- ۱- به سؤال‌های آزمون نظری کارگاهی آزمایش شماره‌ی (۳) پاسخ دهد.
- ۲- با استفاده از Data Sheet و Data Book اطلاعات کاربردی ترانزیستور را استخراج کند.
- ۳- به وسیله‌ی مولتی‌متر پایه‌ها و صحت ترانزیستور را آزمایش کند.
- ۴- مدار مربوط به رسم منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور با اسیلوسکوپ را در حالت امیتر مشترک با R_C و R_B روی بردبرد ببندد.
- ۵- چند منحنی از منحنی‌های مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور را رسم کند.
- ۶- در ناحیه‌های قطع، فعال و اشباع مشخصات نقطه‌ی کار ترانزیستور را استخراج کند.
- ۷- مقدار V_{CC} ترانزیستور را تغییر دهد و مجدداً چند منحنی مشخصه‌ی خروجی را ترسیم کند.
- ۸- با تغییر R_C روی منحنی مشخصه، خط بار جدید را ترسیم کند.
- ۹- اثر تغییر R_C و V_{CC} را روی خط بار تحلیل کند.
- ۱۰- روی منحنی‌های ترسیم شده مجدداً نقطه‌ی کار را در نواحی قطع، فعال و اشباع به دست آورد.
- ۱۱- مشخصات نقطه‌ی کار به دست آمده در دو مرحله را با هم مقایسه کند.
- ۱۲- خط بار به دست آمده در دو حالت مختلف را با هم مقایسه کند.
- ۱۳- مدار آزمایش هدایت در ترانزیستور را ببندد.
- ۱۴- حالت‌های قطع، فعال و اشباع در ترانزیستور را بررسی کند.
- ۱۵- هدف‌های رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در آزمایش (۱) آمده است را اجرا کند.
- ۱۶- به سؤال‌های الگوی پرسش پاسخ دهد.
- ۱۷- کلیه‌ی مدارها را با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی کند.
- ۱۸- گزارش کار دقیق و مستند بنویسد.

۴-۱- اطلاعات اولیه

با شناخت خواص نیمه‌هادی‌ها، در سال ۱۹۴۸ ترانزیستور ساخته شد. این اختراع جدید به سرعت در صنعت الکترونیک راه یافت و تحولی بزرگ در این امر به وجود آورد.

امروزه ترانزیستورها جای‌گزین لامپ‌های خلأ شده‌اند اما تلفات قدرت کم‌تر، حجم و وزن کم‌تر و عمر بیش‌تری دارند.

ساختمان ترانزیستور شامل سه کریستال است که یک کریستال در وسط و دو کریستال از نوع مخالف در دو طرف آن قرار گرفته‌اند (شکل ۱-۴). ترانزیستورها در دو نوع NPN و PNP ساخته می‌شوند.



شکل ۴-۱- ساختمان ترانزیستور

ترانزیستور دارای سه پایه است که عبارت‌اند از:

الف) امیتر یا پخش‌کننده (Emitter): وظیفه‌ی امیتر پخش کردن الکترون‌ها (در NPN) یا حفره‌ها (در PNP) در لایه‌ی بیس است.

۴-۲- نکات ایمنی

۴-۲-۱- کلیه‌ی نکات ایمنی ذکر شده در آزمایش شماره‌ی ۱ را مجدداً مطالعه کنید و در اجرای این آزمایش آن‌ها را رعایت نمایید.

۴-۲-۲- هنگام راه‌اندازی مدار مراقب باشید که ولتاژ منبع تغذیه روی حداقل قرار داشته باشد.

۴-۲-۳- هنگام کار با ترانزیستور با پایه‌های آن بازی نکنید؛ زیرا پایه‌ها بسیار حساس است و در اثر فشار زیاد یا خم و راست کردن آسیب می‌بیند.

۴-۲-۴- برای نصب ترانزیستور روی بردبرد با استفاده از فیبر مدار چاپی سوراخ‌دار و پین‌هدر، سوکت مناسب را طراحی کنید و بسازید.

۴-۲-۵- در صورتی که امکان تهیه‌ی سوکت برای ترانزیستور وجود ندارد، سه قطعه سیم تلفنی کوتاه را به پایه‌های ترانزیستور لحیم کنید، سپس آن را روی بردبرد نصب نمایید.

۴-۲-۶- هنگام لحیم‌کاری ترانزیستور مراقب باشید تا حرارت پایه‌های آن از حد مجاز تجاوز نکند و زمان لحیم‌کاری نیز بر اساس آن چه که در Data Sheet تعیین شده است تنظیم شود. در غیر این صورت ترانزیستور آسیب خواهد دید.

۴-۲-۷- قبل از اتصال اهم‌متر، ولت‌متر و آمپر‌متر به مدار، ولتاژ تغذیه را قطع کنید.

۴-۲-۸- هنگام اتصال مولتی‌متر به مدار، به قطب‌های مولتی‌متر توجه کنید.

ب) کلکتور یا جمع‌کننده (Collector): کار کلکتور جمع کردن الکترون‌ها یا حفره‌های پخش شده به وسیله‌ی آمپتر از طریق لایه‌ی بیس است.

ج) بیس (Base): وظیفه‌ی بیس کنترل میزان الکترون‌ها یا حفره‌های پخش شده از آمپتر است.

نکته‌ی مهم



از آن‌جا که تغییرات بسیار گسترده‌ای در زمینه‌ی الکترونیک رخ داده است، با ورود فناوری‌های جدید، امروزه در اغلب موارد ترانزیستورها در تراشه‌ها به صورت IC جای می‌گیرند و استفاده از آن‌ها به صورت انفرادی و جداگانه بسیار محدود است.

چون عمل کلکتور جمع کردن الکترون‌ها یا حفره‌ها از طریق لایه‌ی بیس است؛ از این رو، سطح اتصال بیس کلکتور بزرگ‌تر از سطح اتصال بیس آمپتر است.

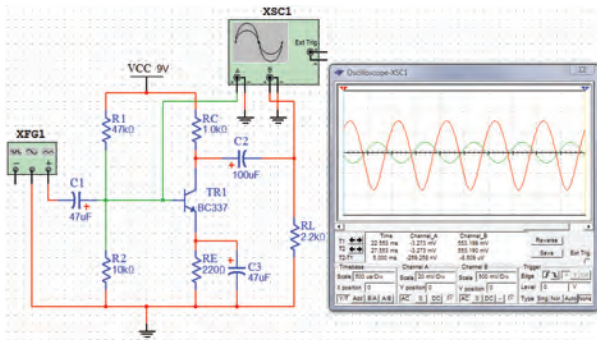
همان‌گونه که گفته شد ترانزیستور از سه کریستال تشکیل شده است که در محل پیوند هر کریستال یک اتصال وجود دارد. هر اتصال شامل پیوند یک کریستال N به کریستال P است که مانند یک اتصال دیود عمل می‌کند. از این ویژگی برای تشخیص پایه‌های ترانزیستور استفاده می‌کنند در شکل ۴-۲ شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴-۲- تصویر ظاهری چند نمونه ترانزیستور

۴-۳-۴- اجرای آزمایش‌ها به صورت

نرم‌افزاری



شکل ۴-۳-۴- یک نمونه نقشه‌ی مدار شبیه‌سازی شده

توجه کنید

پاسخ مواردی که با ستاره (★) مشخص شده است را در کتاب گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی درج نمایید.



۴-۴-۴- قطعات، مواد، ابزار و تجهیزات مورد

نیاز

- ۱ دستگاه - اسیلوسکوپ دو کاناله
- ۱ دستگاه - سیگنال ژنراتور صوتی
- ۲ دستگاه - منبع تغذیه DC
- ۲ دستگاه - مولتی‌متر دیجیتال
- یک قطعه - بردبرد
- ترانزیستورهای BC107، BC177، 2N2219 (یا هر نوع ترانزیستور عمومی PNP) - یک عدد
- ترانزیستورهای BC107، BC337 (یا هر نوع ترانزیستور عمومی NPN) - یک عدد
- مقاومت‌های 100Ω ، $1K\Omega$ ، 220Ω و $47K\Omega$ $\frac{1}{4}W$ - از هر کدام ۱ عدد
- پتانسیومتر $5K\Omega$ (ترجیحاً خطی) - ۱ عدد
- لامپ ۱۲ ولت یا ۳ ولت 0.5 وات یا LED - یک عدد

- تجهیزات، ابزار و مواد عمومی

۴-۵-۴- مراحل اجرای آزمایش

آزمایش ترانزیستور

- ۴-۵-۱-★ با مشاهده‌ی شکل ظاهری یک عدد ترانزیستور NPN و یک عدد ترانزیستور PNP، شکل ظاهری آن را در جدول ۴-۲ رسم کنید و پایه‌های آن را به دلخواه شماره‌گذاری کنید.

★ ۴-۳-۱- هدف آزمایش را در کتاب گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی بنویسید.

۴-۳-۲- هنرجویان عزیز به مدارهای شبیه‌سازی شده‌ی تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری که توسط مربی آزمایشگاه نمایش داده می‌شود توجه نمایند و نحوه‌ی شبیه‌سازی را فرا بگیرند.

۴-۳-۳- با مراجعه به جلد دوم کتاب آزمایشگاه مجازی، ابتدا نرم‌افزار مولتی‌سیم را روی کامپیوتر خود نصب کنید. سپس اقدام به شبیه‌سازی مدارها نمایید.

★ ۴-۳-۴- نقشه‌ی پرینت شده‌ی یکی از مدارهای شبیه‌سازی شده را در محل تعیین شده در کتاب گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی بچسبانید.

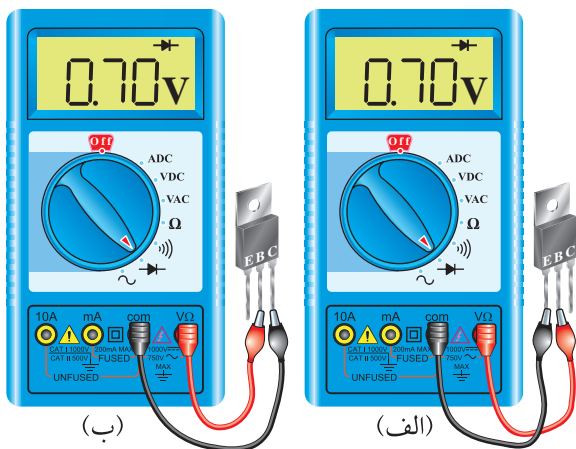
★ ۴-۳-۵- برای مدار آمیتر مشترک مقادیر ولتاژ نقطه‌ی کار DC ترانزیستور را در نرم‌افزار، در جدول ۴-۱ بنویسید.

★ ۴-۳-۶- فایل‌های مربوط به مدارهای شبیه‌سازی شده را در CD ذخیره کنید و تحویل مربی کارگاه دهید.

۴-۳-۷- در شکل ۴-۳ یک نمونه نقشه‌ی مدار شبیه‌سازی شده آمیتر مشترک را در نرم‌افزار مولتی‌سیم مشاهده می‌کنید.

★ ۴-۵-۴- با استفاده از مولتی متر دیجیتال که در اختیار دارید، پایه‌ی بیس ترانزیستورها را مشخص کنید و آن را در جدول شماره‌ی ۴-۳ درج نمایید. شکل ظاهری ترانزیستور را مشابه جدول ۴-۲ رسم کنید.

★ ۴-۵-۵- با استفاده از آزمایش ۴-۵-۴ می‌توانید نوع ترانزیستور را نیز مشخص کنید. در صورتی که در حالت ولتاژ موافق دیودهای بیس آمیتر و بیس کلکتور، ترمینال مثبت مولتی متر به بیس متصل باشد ترانزیستور NPN و اگر ترمینال منفی مولتی متر دیجیتال به پایه‌ی بیس متصل باشد، ترانزیستور از نوع PNP است. در شکل ۴-۶ ترانزیستور از نوع NPN است؛ زیرا پایه‌ی مثبت مولتی متر به بیس اتصال دارد. نوع ترانزیستورهای مورد آزمایش را مشخص کنید و در جدول ۴-۳ بنویسید.



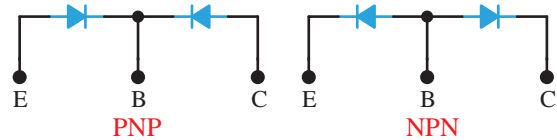
شکل ۴-۶- چون پایه‌ی مثبت مولتی متر به بیس اتصال دارد ترانزیستور از نوع NPN است

۴-۵-۶- تشخیص پایه‌های آمیتر و کلکتور ترانزیستور نیز با استفاده از مولتی متر دیجیتال امکان پذیر است.

نکته‌ی مهم

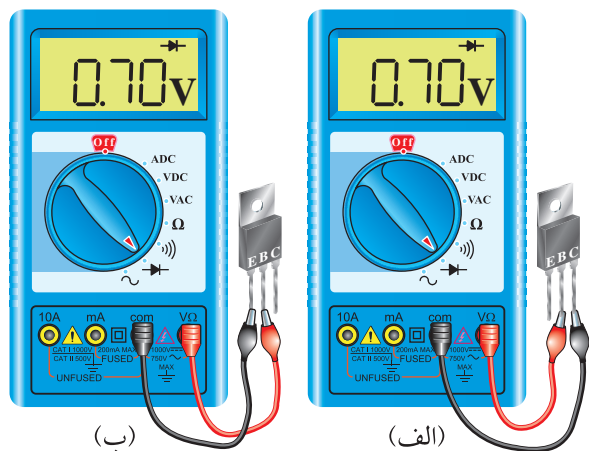
در برخی از موارد با توجه به نوع ترانزیستور و نوع دستگاه مولتی متر تشخیص پایه‌های کلکتور و آمیتر ترانزیستور با مولتی متر دیجیتال یا عقربه‌ای امکان پذیر

۴-۵-۲- می‌دانیم ترانزیستور از سه لایه کریستال تشکیل شده است که مدار معادل دیودی آن مشابه شکل ۴-۴ می‌شود. با استفاده از مولتی متر می‌توانیم نوع ترانزیستور NPN یا PNP را مشخص کنیم.



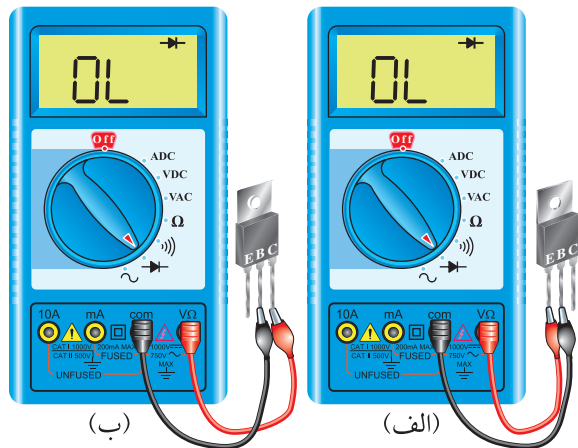
شکل ۴-۴- مدار معادل دیودی ترانزیستور

۴-۵-۳- از خاصیت دیودی ترانزیستور می‌توان برای تشخیص پایه‌های ترانزیستور و نوع ترانزیستور از نظر PNP یا NPN بودن آن استفاده کرد. برای تعیین پایه‌ی بیس ترانزیستور، مولتی متر دیجیتال را روی حالت آزمایش دیود قرار می‌دهیم؛ سپس با اتصال پروب مولتی متر به پایه‌ها، پایه‌ای را پیدا می‌کنیم که نسبت به پایه‌های دیگر در ولتاژ موافق قرار گرفته باشد. یعنی مولتی متر عدد ۰/۷ یا ۰/۶ ولت را نشان دهد. در صورتی که ترانزیستور سالم باشد این پایه، پایه‌ی بیس است. در شکل ۴-۵ این حالت را مشاهده می‌کنید. طبق شکل، پایه‌ای که با B مشخص شده است پایه‌ی بیس است. همان‌طور که در شکل‌های ۴-۵-الف و ۴-۵-ب مشاهده می‌شود، پایه‌ی وسطی ترانزیستور در یک حالت مشخص نسبت به دو پایه‌ی دیگر در ولتاژ موافق قرار دارد و پایه‌ی بیس است.



شکل ۴-۵- تشخیص پایه‌ی بیس ترانزیستور با استفاده از مولتی متر دیجیتال

۸-۵-۴- ترانزیستور زمانی سالم است که بین بیس و امیتر و بیس و کلکتور در یک جهت ولتاژ موافق و در جهت دیگر تقریباً حالت اتصال باز را نشان دهد. در شکل ۸-۴، دیودهای بیس-امیتر و بیس-کلکتور ترانزیستورهای شکل‌های ۵-۴ و ۶-۴ در بایاس مخالف قرار دارد و حالت **OL** یعنی **Open Load** را نشان می‌دهد، پس این ترانزیستور سالم است.



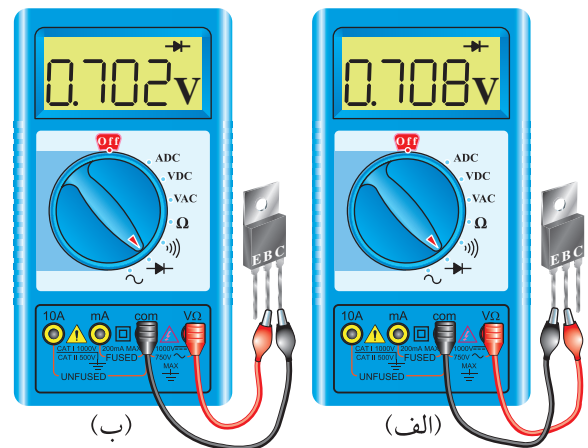
شکل ۸-۴- دیودهای بیس-امیتر و بیس-کلکتور در ولتاژ مخالف قرار دارند

۹-۵-۴- ترانزیستورهای مورد آزمایش را با استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی، مورد آزمایش قرار دهید و حالت‌های ولتاژ موافق و مخالف دیود «بیس-امیتر» و دیود «بیس-کلکتور» را عملاً مورد بررسی قرار دهید و نتایج را ثبت کنید.

۱۰-۵-۴- در صورتی که دیودهای «بیس-امیتر» و «کلکتور-بیس» در یکی از حالت‌های موافق و مخالف مقادیر یکسانی را نشان دهند یا کاملاً اتصال کوتاه یا کاملاً باز باشند. در این حالت ترانزیستور معیوب است. در شکل ۹-۴- الف دیود بیس-کلکتور در حالت موافق و مخالف مقدار صفر را نشان می‌دهد، پس اتصال کوتاه است.

نیست. در این حالت باید به **Data Sheet** یا کتاب اطلاعات ترانزیستور مراجعه کنید. هم‌چنین می‌توانید از قسمت **hfe** متر دستگاه مولتی‌متر استفاده کنید. در این حالت چنان‌چه پایه‌ها به طور صحیح وصل شده باشند مقدار **hfe** نشان داده می‌شود.

می‌دانیم سطح تماس کلکتور به بیس از سطح تماس امیتر بیس بیشتر است. یعنی اتصال کلکتور بیس در حالت موافق مقاومت کم‌تری دارد و هنگامی که در ولتاژ موافق قرار می‌گیرد افت ولتاژ دو سر آن از افت ولتاژ دو سر اتصال بیس امیتر کم‌تر می‌شود. بنابراین پایه‌ای که ولتاژ کم‌تری دارد کلکتور و پایه‌ای که ولتاژ بیش‌تری دارد امیتر است. توجه داشته باشید تفاوت ولتاژها بسیار کم و در حدود هزارم ولت است. لذا برای دیدن آن در صورتی که حوزه‌ی کار (رنج مولتی‌متر) قابل تنظیم است باید آن را تغییر دهید تا قابل خواندن باشد.



شکل ۷-۴- ولتاژ موافق دو سر کلکتور-بیس کم‌تر از امیتر-بیس است

به این ترتیب پایه‌ای که دارای ولتاژ موافق کم‌تری است دارای مقاومت کم‌تر و آن پایه کلکتور است. هم‌چنین پایه‌ای که دارای ولتاژ موافق بیش‌تری است مقاومت بیش‌تری دارد و آن پایه امیتر است.

۷-۵-۴- با استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی پایه‌های امیتر و کلکتور ترانزیستورها را مشخص کنید و در جدول ۴-۴ بنویسید.

Features

- NPN Silicon Epitaxial Planer Transistors for switching and amplifier applications. Especially suited for AF-driver stages and low power output stages.
- These types are also available subdivided into three groups -16, -25, and -40, according to their DC current gain. As complementary types, the PNP transistors BC337 and BC338 are recommended.
- On special request, this transistor is also manufactured in the pin configuration TO-18.

Mechanical Data

Case: TO-92 Plastic Package

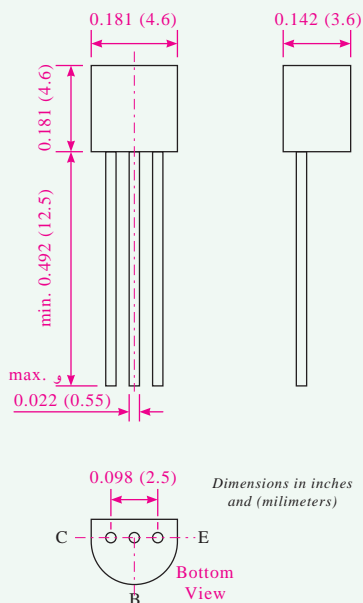
Weight: approx. 0.18g

Packaging Codes/Options:

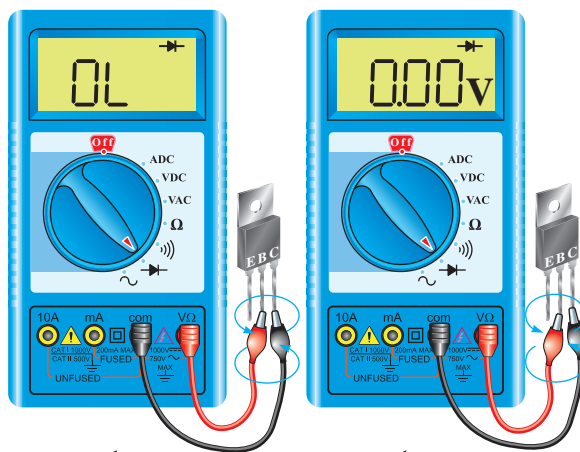
E6/Bulk - 5K per container

E7/4K per Ammo tape

TO-226AA (TO-92)



برگه‌ی اطلاعات شماره‌ی ۴-۱



الف. دیود کلکتور بیس اتصال کوتاه است.
ب. دیود کلکتور بیس قطع شده است.

شکل ۹-۴- نمایش یک ترانزیستور معیوب

در شکل ۹-۴-ب دیود «بیس کلکتور» در هر دو حالت موافق و مخالف، حالت اتصال باز را نشان می‌دهد. این شرایط برای دیود «بیس امیتر» نیز ممکن است اتفاق بیفتد.

۱۱-۵-۴ در ترانزیستورهای معمولی معمولاً «کلکتورامیتر» مقاومت زیادی دارد و هنگام آزمایش با مولتی‌متر دیجیتال مقدار زیادی را نشان می‌دهد. از این طریق می‌توان به سالم بودن اتصال «کلکتورامیتر» پی برد.

★ ۱۲-۵-۴ دو عدد ترانزیستور معیوب را در اختیار بگیرید و نوع عیب آن‌ها را مشخص کنید و با ذکر دلایل توضیح دهید.

★ ۱۳-۵-۴ در صورتی که مولتی‌متر عقربه‌ای در اختیار دارید، با استفاده از مولتی‌متر عقربه‌ای دو عدد ترانزیستور را آزمایش کنید و پایه‌های آن و نوع آن را تشخیص دهید و نتایج را به طور خلاصه بنویسید.

برگه‌ی اطلاعات ترانزیستور Data Sheet

★ ۱۴-۵-۴ با استفاده از برگه‌ی اطلاعات شماره‌ی ۴-۱ مشخصات ترانزیستور BC ۳۳۷ را بنویسید.

توان مجاز و "جریان ماکزیمم لحظه‌ای کلکتور" را برای ترانزیستور BC337 به دست آورید.

★ ۱۵-۵-۴- با استفاده از برگه‌ی اطلاعات شماره‌ی ۲-۴ مقادیر ماکزیمم مجاز ولتاژهای "کلکتور آمیتر"، "آمیتر بیس"، "جریان کلکتور"، "جریان بیس"،

Maximum Ratings & Thermal Characteristics Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.

Parameters		Symbols	Value	Units
Collector-Emitter Voltage	BC337 BC338	V_{CES}	50 30	V
Collector-Emitter Voltage	BC337 BC338	V_{CEO}	45 25	V
Emitter-Base Voltage		V_{EBO}	5	V
Collector Current		I_C	800	mA
Peak Collector Current		I_{CM}	1	A
Base Current		I_B	100	mA
Power Dissipation at $T_{amb}=25^\circ C$		P_{tot}	625 ⁽¹⁾	mW
Thermal Resistance Junction to Ambient Air		$R_{\theta JA}$	200 ⁽¹⁾	$^\circ C/W$
Junction Temperature		T_j	150	$^\circ C$
Storage Temperature Range		T_S	$\alpha 65$ to +150	$^\circ C$

Notes: (1) Valid provided that leads are kept at ambient temperature at a distance of 2mm from case.

برگه‌ی اطلاعات شماره‌ی ۲-۴

دهید.

★ ۱۷-۵-۴- بررسی کنید اگر ترانزیستور را در شرایط $I_C=800\text{mA}$ و $V_{CE}=0.5V$ بایاس کنیم، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★ ۱۸-۵-۴- در صورتی که ترانزیستور را در شرایط $I_C=10\text{mA}$ و $V_{CE}=5.0V$ بایاس کنیم، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★ ۱۹-۵-۴- در صورتی که ترانزیستور در شرایط $I_C=200\text{mA}$ و $V_{CE}=5V$ بایاس شود، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★ ۲۰-۵-۴- در صورتی که ترانزیستور در شرایط $I_C=300\text{mA}$ و $V_{CE}=1.5V$ بایاس شود، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★ ۲۱-۵-۴- نتایج حاصل از مراحل ۱۶-۵-۴ تا ۲۱-۵-۴ را مورد بررسی قرار دهید و برداشت‌های خود را به طور جامع تشریح کنید.

نکته‌ی مهم



توجه داشته باشید که هرگز نباید ترانزیستور در شرایط ماکزیمم مجاز قرار گیرد زیرا آسیب می‌بیند. معمولاً با توجه به شرایط ترانزیستور، مشخصه‌های الکتریکی آن در جدول جداگانه‌ای تعریف می‌شود. در شرایط عادی برای طراحی تا حداکثر ۷۵ درصد مقادیر ماکزیمم مجاز پیشنهاد می‌شود.

★ ۱۶-۵-۴- با توجه به جدول شماره‌ی ۲-۴ آیا می‌توان مقدار توان ماکزیمم در کلکتور ترانزیستور را از حاصل ضرب V_{CEO} و I_C به دست آورد؟

$$P_{Max} = I_C \times V_{CEO} = 0.8A \times 45$$

$$\Rightarrow P_{Max} = 36W$$

بررسی کنید به چه دلیل P_{Max} به دست آمده با P_{tot} (توان ماکزیمم مجاز) مغایرت دارد. دلیل آن را شرح

- ظرفیت خازنی ترانزیستور در شرایطی که $V_{CB}=10V$ و $F=1MHz$ است.

★ ۲۲-۵-۴- با مراجعه به برگه‌ی اطلاعات شماره‌ی ۳-۴ که مربوط به مشخصات الکتریکی ترانزیستور BC۳۳۷ است، مقادیر زیر را به دست آورید:

نکته‌ی مهم



توجه داشته باشید که مشخصات الکتریکی ترانزیستور تقریباً شرایط کار ترانزیستور را در حد بیش‌ترین مقدار برای طراحی تعریف می‌کند.

★ ۲۳-۵-۴- سایر مشخصات الکتریکی ترانزیستور را با هم‌گروهی خود به بحث بگذارید و نتایج را بنویسید.

- بهره‌ی جریان در شرایط امیتر مشترک (h_{FE})
 - جریان قطع کلکتور امیتر در شرایطی که بیس اتصال کوتاه است (I_{CES}).
 - ولتاژ شکست کلکتور امیتر ترانزیستور در شرایطی که بیس باز و $I_C=10mA$ است ($V_{BR(CEO)}$).
 - ولتاژ بیس امیتر در شرایطی که $I_C=300mA$ و $V_{CE}=1V$ است.

BC337 and BC338 Small Signal Transistors (NPN)

Electrical Characteristics

($T_J = 25^\circ C$ unless otherwise noted)

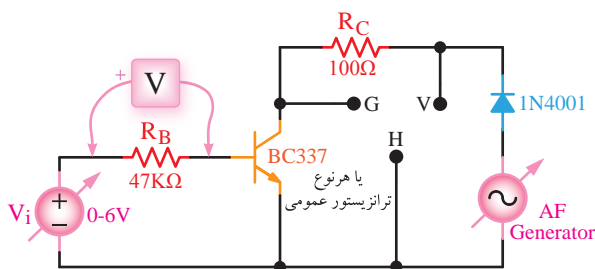
Parameter	Symbol	Test Condition	Min مینیمم	Typ متعارف	Max ماکزیمم	Unit واحد
DC Current Gain	h_{FE}	$V_{CE} = 1V, I_C = 100mA$	100 160 250	160 250 400	250 400 630	-
		$V_{CE} = 1V, I_C = 300mA$	60 100 170	130 200 320	- - -	
Collector-Emitter Cutoff Current	BC337 BC338 I_{CES}	$V_{CE} = 45V, T_{amb} = 125^\circ C$ $V_{CE} = 25V, T_{amb} = 125^\circ C$	- -	- -	10 10	μA μA
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BC337 BC338 $V_{(BR)CEO}$	$I_C = 10mA$	20 45	- -	- -	V
Collector-Emitter Breakdown Voltage	BC337 BC338 $V_{(BR)CES}$	$I_C = 0.1mA$	30 50	- -	- -	V
Emitter-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E = 0.1mA$	5	-	-	V
Collector Saturation Voltage	V_{CEsat}	$I_C = 500mA, I_B = 50mA$	-	-	0.7	V
Base-Emitter Voltage	V_{BE}	$V_{CE} = 1V, I_C = 300mA$	-	-	1.2	V
Gain-Bandwidth product	f_T	$V_{CE} = 5V, I_C = 10mA$ $f = 50MHz$	-	100	-	MHz
Collector-Base Capacitance	C_{CBO}	$V_{CB} = 10V, f = 1MHz$	-	12	-	pF

برگه‌ی اطلاعات ۳-۴- مشخصات الکتریکی ترانزیستور BC۲۲۸ و BC۲۳۷

★ ۲۴-۵-۴- منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور BC۳۳۷ که در شکل ۱۰-۴ آمده است را مورد مطالعه قرار دهید.

★ ۲۶-۵-۴- مشخصات حداقل سه نقطه‌ی کار را از روی خط بار به دست آورید (Q_1 , Q_2 و Q_3).

۲۷-۵-۴- مدار شکل ۱۱-۴ را روی برد برد ببندید. این مدار مربوط به رسم مشخصه‌ی ترانزیستور با استفاده از اسیلوسکوپ است. در این مدار برای تغییر ولتاژ کلکتور امیتر از یک سیگنال سینوسی نیم‌موج استفاده شده است. دیود D عمل یک سوسازی را انجام می‌دهد. تغییر جریان I_B نیز با استفاده از یک منبع تغذیه‌ی DC صورت می‌گیرد. نقاط V ، G و H محل اتصال ورودی عمودی، خط شاسی و افقی اسیلوسکوپ به مدار است.

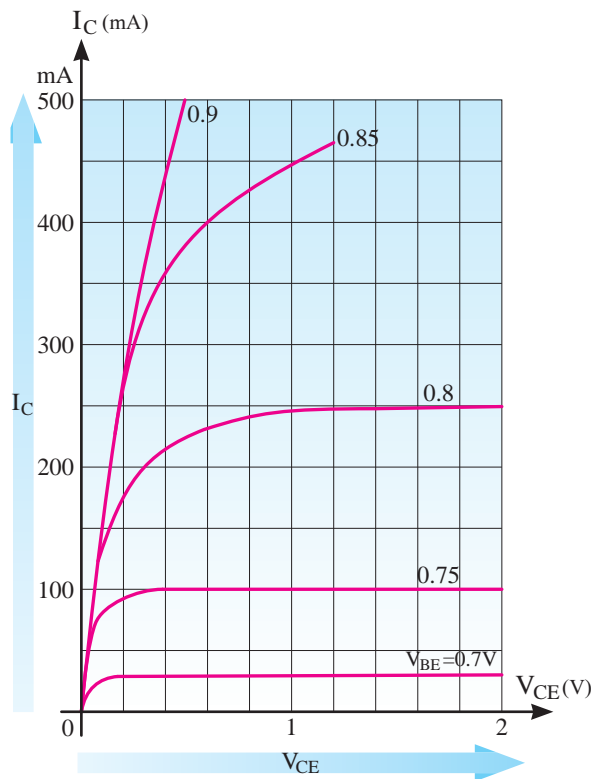


شکل ۱۱-۴- مدار آزمایش رسم مشخصه‌ی ترانزیستور

نکته‌ی مهم

دسته‌ای از ترانزیستورها که مصارف عمومی دارند را ترانزیستور برای مصارف عمومی یا **TU (Transistor Universal)** می‌نامند و به طور خلاصه نوع NPN را TUN و PNP را TUP نام‌گذاری می‌کنند. در بسیاری از موارد این ترانزیستور را **GP** یا **General Purpose** می‌نامند.

۲۸-۵-۴- برای اجرای آزمایش، ترانزیستور خاصی مورد نظر نیست هر نوع ترانزیستوری را می‌توانید انتخاب کنید. فقط ترانزیستور از نوع عمومی یا TU باشد.



شکل ۱۰-۴- منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، این منحنی تغییرات جریان I_C و ولتاژ V_{CE} را بر حسب تغییرات V_{BE} نشان می‌دهد. حداقل جریان I_C در شرایطی برقرار می‌شود که V_{BE} برابر با حدود $0.7V$ ولت باشد که در این منحنی مقدار آن حدود 25 میلی‌آمپر است. با افزایش V_{BE} به مقدار $0.75V$ ولت، جریان کلکتور 100 میلی‌آمپر می‌شود. در صورتی که V_{BE} را روی $0.7V$ ولت بگذارید و آن را ثابت نگه دارید، با تغییرات V_{CE} ، تغییرات بسیار کمی در I_C ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر I_C تقریباً ثابت باقی می‌ماند. حالت‌های مختلف مشخصه را مورد بررسی قرار دهید و تشریح نمایید.

★ ۲۵-۵-۴- در صورتی که تقویت‌کننده به صورت CE بسته شود و در حلقه‌ی خروجی فقط R_C وجود داشته باشد، خط بار را برای شرایطی که $I_C = 400mA$ و $V_{CE} = 2V$ است ترسیم کنید و مقدار R_C را به دست آورید.



توجه کنید

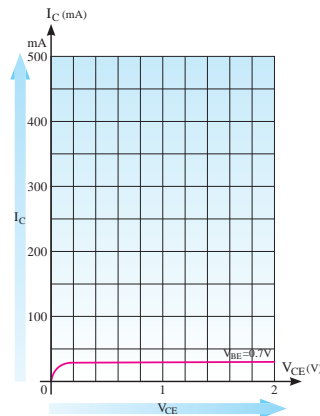
برای اجرای این آزمایش نباید سیم شاسی یا دستگاه‌های شما به یکدیگر وصل باشد. در صورتی که در میز آزمایشگاهی شما این حالت رخ داده است، یا سیستم اتصال زمین وجود دارد، حتماً قبل از اجرای آزمایش، اتصال زمین (بدنه) دستگاه را از یکدیگر جدا کنید. این کار توسط مربی آزمایشگاه انجام خواهد شد.

۴-۵-۲۹- نقطه‌ی G را به بدنه‌ی اسیلوسکوپ، نقطه‌ی V را به ورودی عمودی و نقطه‌ی H را به ورودی افقی اسیلوسکوپ وصل کنید.

۴-۵-۳۰- سلکتور Volt/Div عمودی اسیلوسکوپ را روی ۰/۲ Volt/cm و سلکتور Volt/Div افقی آن را روی ۲ Volt/cm قرار دهید. توجه داشته باشید که با توجه به نوع اسیلوسکوپ و تجهیزات ممکن است این مقادیر تغییر کند.

۴-۵-۳۱- سیگنال ژنراتور AF را روی فرکانس ۵۰۰ هرتز و دامنه‌ی ماکزیمم ۶ ولت قرار دهید و منبع تغذیه DC ورودی را روی حدود یک ولت بگذارید.

۴-۵-۳۲- باید روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ شکلی مشابه شکل ۴-۱۲ ظاهر شود. با توجه به شرایط تنظیم شده، مقادیر با اعداد نشان داده شده روی شکل متفاوت خواهد بود.



شکل ۴-۱۲- نمونه‌ای از منحنی که روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود

۴-۵-۳۳- اگر به شکل ۴-۱۱ توجه کنید محور افقی اسیلوسکوپ مقدار V_{CE} و محور قائم اسیلوسکوپ مقدار V_{RC} و ولت‌متر ولتاژ دوسر R_B را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر R_C و R_B و ولتاژهای نشان داده شده می‌توانید مقادیر I_C و I_B را به دست آورید:

$$I_B = \frac{V_{RB}}{R_B}, \quad I_C = \frac{V_{RC}}{R_C}$$

۴-۵-۳۴- شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ را با مقیاس مناسب در نمودار ۴-۱ ترسیم کنید. در صورت نیاز برای پوشش تمام صفحه سلکتور V/Div افقی و عمودی و مقدار دامنه‌ی ولتاژ سیگنال ژنراتور AF را تنظیم کنید.



نکات اجرایی مهم

هنگام ترسیم منحنی مشخصه‌ی خروجی، ابتدا وضعیت نقطه‌ی روشن شده روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ را با سلکتورهای V Position در پایین‌ترین نقطه و در سمت چپ صفحه قرار دهید، سپس نمودار را رسم کنید. همچنین ممکن است با توجه به نوع اسیلوسکوپ جهت ترسیم منحنی شما وارونه (از راست به چپ) باشد. در این حالت با استفاده از دکمه‌های CH invert سعی کنید شکل موج را به حالت اصلی برگردانید. در صورتی که این امر امکان‌پذیر نبود، هنگام ترسیم منحنی آن را به‌طور صحیح ترسیم کنید و در مورد وارونه بودن آن توضیح دهید.

در صورتی که کیفیت منحنی مطلوب نبود، مقدار ولتاژ تغذیه‌ی بیس را کمی افزایش دهید.

۴-۵-۳۵- با استفاده از مقادیر V_{RC} و V_{RB} مقدار جریان I_C و I_B را محاسبه کنید. توجه داشته باشید

می‌شود.

★ ۴-۵-۳۸- با توجه به اجرای مرحله‌ی ۴-۵-۳۷ با تغییر مقدار ولتاژ DC تغذیه‌ی بیس، حداقل تعداد ۴ منحنی را با مقادیر مختلف I_B در نمودار ۴-۲ ترسیم کنید و مقادیر جریان I_B و V_{CE} را روی آن مشخص نمایید.

★ ۴-۵-۳۹- همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار I_B مقدار V_{CE} کاهش می‌یابد. در صورتی که نقاط مختلف منحنی‌های خانواده‌ی $V_{CE}-I_C$ در شرایط مختلف I_B به هم وصل کنیم خط بار DC ترسیم می‌شود. خط بار DC را روی منحنی خروجی مرحله‌ی ۴-۵-۳۸ ترسیم کنید.

★ ۴-۵-۴۰- مقدار R_C را به $1\text{K}\Omega$ تغییر دهید و اثر آن را روی منحنی خروجی ترانزیستور بررسی کنید. خط بار جدید را روی نمودار مرحله‌ی ۴-۵-۳۸ ترسیم کنید و مختصات سه نقطه‌ی کار دلخواه را روی منحنی جدید به دست آورید (Q_1 ، Q_2 ، و Q_3).

ویژه‌ی هنرجویان علاقه‌مند



★ ۴-۵-۴۱- ترسیم منحنی خروجی با استفاده از منحنی‌نگار.

در صورتی که منحنی‌نگار (Curve Tracer) در اختیار دارید، منحنی خروجی ترانزیستور را ترسیم کنید و مقادیر ولتاژها و جریان‌ها را روی آن مشخص نمایید.

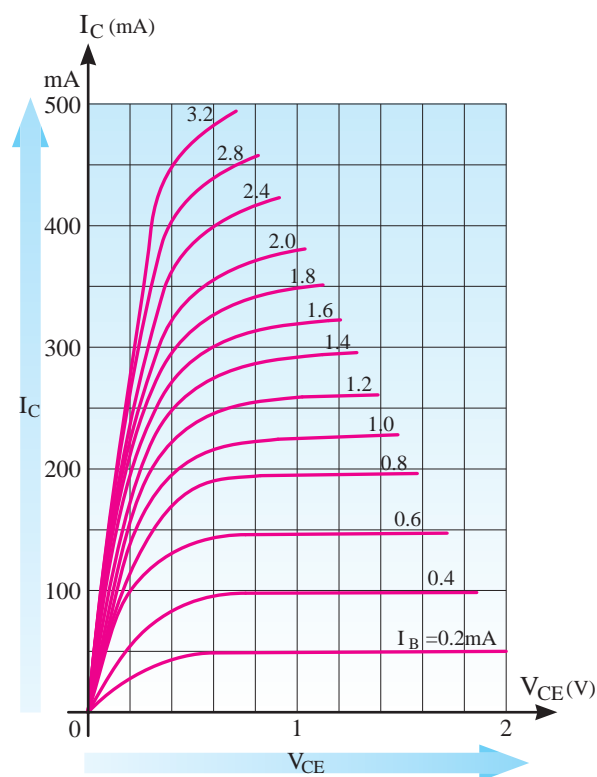
هدایت ترانزیستور

۴-۵-۴۲- در شکل ۴-۱۴ مدار آزمایش مربوط به هدایت ترانزیستور نشان داده شده است. در این مدار با استفاده از پتانسیومتر، ولتاژ بیس آمیتر و جریان کلکتور

این جریان‌ها بیش‌ترین جریانی است که در شرایط اجرای آزمایش از مدار می‌گذرد. پس از محاسبه‌ی جریان‌ها، منحنی مشخصه‌ی خروجی ترسیم شده را برای مقادیر V_{CE} ، I_C و I_B با مقیاس مناسب و دقیق درجه‌بندی کنید.

★ ۴-۵-۳۶- مقدار ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور AF را تغییر دهید. در این حالت باید مقدار V_{CE} روی منحنی خروجی تغییر کند و جا به جا شود. در مورد نتایج به دست آمده توضیح دهید.

۴-۵-۳۷- مقدار V_{CE} را در حدی تنظیم کنید که تمام صفحه را در جهت افقی بپوشاند. حال مقدار ولتاژ تغذیه‌ی بیس را افزایش دهید؛ باید منحنی به سمت بالا جا به جا شود. هر قدر منحنی به سمت بالاتر جا به جا می‌شود مقدار V_{CE} کم‌تر می‌شود (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳- تأثیر تغییرات I_B روی منحنی خروجی ترانزیستور

توجه داشته باشید که با تغییرات V_{BE} ، مقدار I_B زیاد می‌شود. با افزایش I_B مقدار I_C افزایش می‌یابد و با افزایش I_C مقدار ولتاژ دو سر R_C زیاد و ولتاژ V_{CE} کم

الگوی پرسش



★ ۴-۷-۴ - الگوی پرسش

۴-۷-۱- در صورتی که با استفاده از مولتی متر نتوانیم پایه‌های کلکتور و امیتر ترانزیستور را پیدا کنیم، با چه روش‌هایی می‌توانیم پایه‌ها را مشخص کنیم؟ شرح دهید.

۴-۷-۲- مفاهیم I_C ، V_{EBO} ، V_{CEO} و P_{tot} و T_j را با مراجعه به Data Sheet شرح دهید.

۴-۷-۳- در مدار شکل ۴-۱۱ در صورتی که ولتاژ خروجی مولد AF خیلی زیاد شود، چه اثری روی منحنی مشخصه‌ی خروجی می‌گذارد؟ شرح دهید.

۴-۷-۴- در شکل ۴-۱۱ در صورتی که R_B را اتصال کوتاه کنیم، چه مشکلی ممکن است پدید بیاید؟ شرح دهید.

۴-۷-۵- در شکل ۴-۱۴ اگر مقاومت $R_1 = 4.7K\Omega$ اتصال کوتاه شود، چه اشکالی در کار ترانزیستور پیش می‌آید؟ شرح دهید.

۴-۷-۶- در شکل ۴-۱۴ در چه شرایطی نور لامپ حداکثر می‌شود؟ شرح دهید.

۴-۷-۷- با مراجعه به شکل ۴-۱۴ حالت‌های قطع، اشباع و فعال ترانزیستور را مشخص کنید و در مورد آن توضیح دهید.

۴-۷-۸- حالت‌های قطع، فعال و اشباع ترانزیستور چه کاربردهایی دارد. شرح دهید.

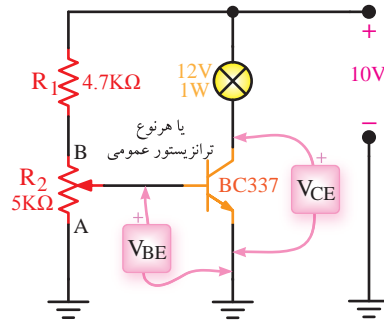
ارزش‌یابی



★ ۴-۸-۴ - ارزش‌یابی پایان هر آزمایش

پس از انجام آزمایش و کامل نمودن دفتر گزارش کار به نتایج ارزش‌یابی توجه کنید و سعی نمایید نقاط ضعف خود را بر طرف کنید.

ترانزیستور تغییر می‌کند و هر چه سر آزاد پتانسیومتر از A به B نزدیک‌تر شود هدایت ترانزیستور افزایش می‌یابد و نور لامپ بیش‌تر می‌شود. در نقطه‌ی A ترانزیستور قطع و لامپ خاموش می‌شود.



شکل ۴-۱۴- مدار آزمایش هدایت در ترانزیستور

توجه کنید



در صورتی که لامپ ۱۲ ولت ۱ وات در اختیار ندارید می‌توانید از لامپ ۳ ولت ۰/۵ وات یا LED استفاده کنید. در این حالت باید ولتاژ تغذیه را کاهش دهید.

★ ۴-۵-۴۳- مدار شکل ۴-۱۴ را روی بردبرد ببندید. سر وسط پتانسیومتر را در نقطه A قرار دهید. در این حالت ولتاژ "بیس امیتر" ترانزیستور و "کلکتور امیتر" ترانزیستور چند ولت است؟ لامپ خاموش است یا روشن؟ ترانزیستور در چه ناحیه‌ای قرار دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

★ ۴-۵-۴۴- سر وسط پتانسیومتر را از نقطه‌ی A آهسته‌آهسته به نقطه‌ی B نزدیک کنید. در نور لامپ چه تغییری به‌وجود می‌آید؟ ولتاژ بیس امیتر چه تغییری می‌کند؟ شرح دهید.

★ ۴-۵-۴۵- سر وسط پتانسیومتر را در نقطه‌ی B قرار دهید؟ ترانزیستور در چه ناحیه‌ای قرار می‌گیرد؟ هدایت ترانزیستور را چگونه می‌توان تغییر داد؟ شرح دهید.

★ ۴-۶-۴ - نتایج آزمایش

آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به طور خلاصه در ۱۲ نیم‌سطر شرح دهید.