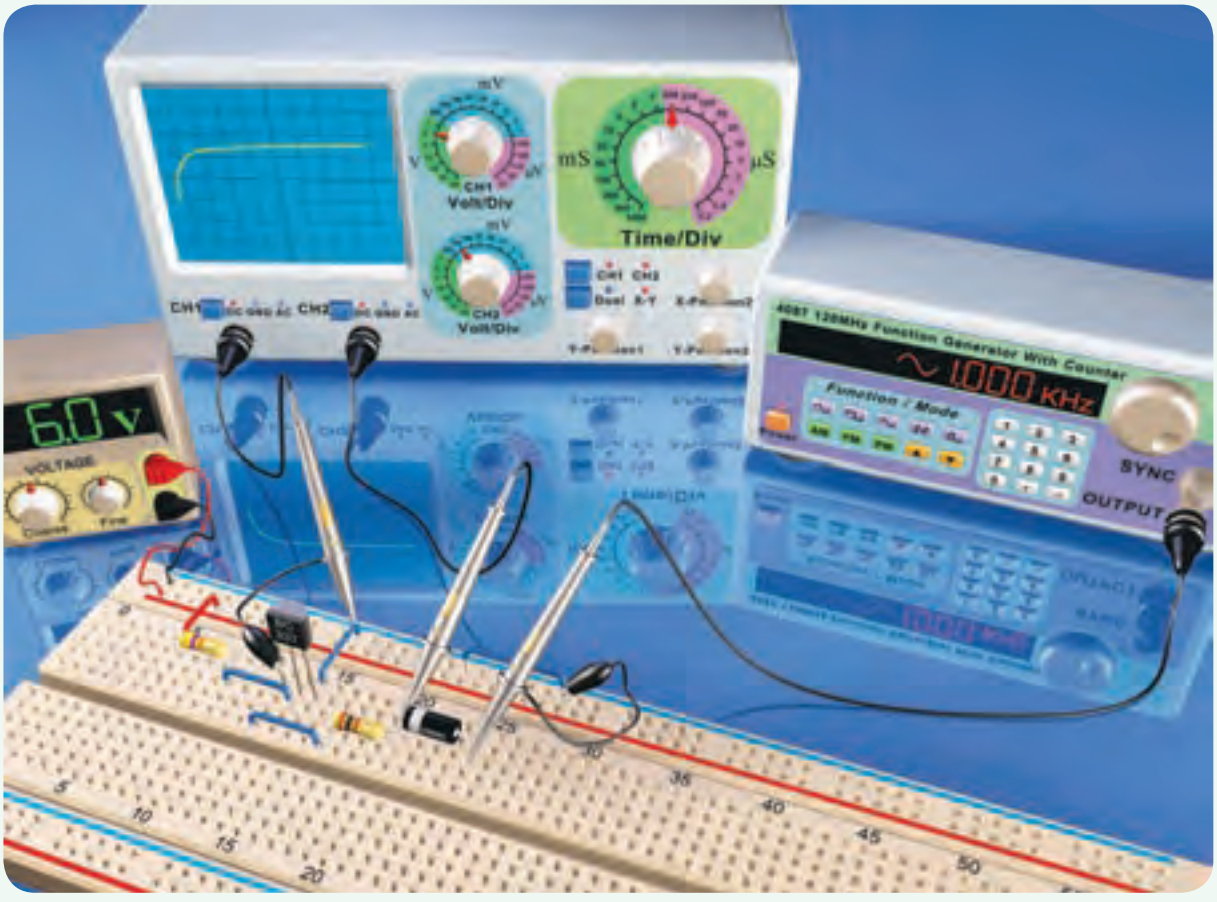
آزمایش شماره‌ی ۴

زمان اجرا ۱۶ ساعت آموزشی

منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

هدف کلی آزمایش

نحوه‌ی هدایت ترانزیستور BJT و بررسی منحنی‌های مشخصه خروجی آن



هدف‌های رفتاری در پایان این آزمایش از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

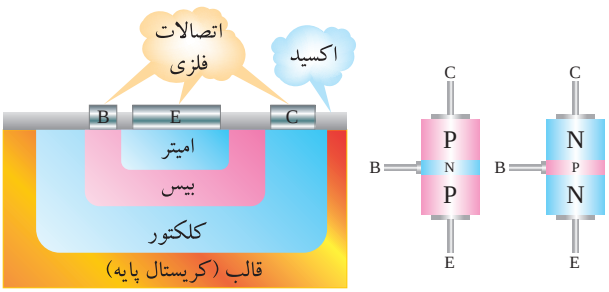
۱- به سؤال‌های آزمون نظری کارگاهی آزمایش شماره‌ی (۳) پاسخ دهد.
۲- با استفاده از Data Sheet و Data Book اطلاعات کاربردی ترانزیستور را استخراج کند.
۳- به‌وسیله‌ی مولتی‌متر پایه‌ها و صحت ترانزیستور را آزمایش کند.
۴- مدار مربوط به رسم منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور با اسیلوسکوپ را در حالت امیتر مشترک با R_c و R_b روی بِردبُرد 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 به‌دست آورد.
۱۱- مشخصات نقطه‌ی کار به‌دست‌آمده در دو مرحله را با هم مقایسه کند.
۱۲- خط بار به‌دست‌آمده 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- گزارش‌کار دقیق و مستند بنویسد.

۴-۱- اطلاعات اوّلیه

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 به‌وجود 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 ۴-۱). 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 پخش کننده (Emitter): وظیفه‌ی امیتر پخش کردن الکترون‌ها (در NPN) یا حفره‌ها (در PNP) در لایه‌ی بیس است.

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

ج) بیس(Base): وظیفه‌ی بیس کنترل میزان الکترون‌ها یا حفره‌های پخش شده از امیتر 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 امیتر 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 شکل۲-۴ شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور را مشاهده می‌کنید.

شکل ۲-۴- تصویر ظاهری چند نمونه ترانزیستور

۲-۴- نکات ایمنی

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

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

۳-۲-۴- 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 می‌بینند.

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

۵-۲-۴- 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 بردبُرد نصب نمایید.

۶-۲-۴- 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 این‌صورت ترانزیستور آسیب خواهد دید.

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

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

۳-۴- اجـــرای آزمایش‌هـــا بـــه صورت نرم‌افزاری

توجه کنید

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

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

۲-۳-۴- هنرجویان عزیز به مدارهای شبیه‌ســـازی شـــده‌ی تقویت‌کننده‌های ترانزیســـتوری که توســـط مربی آزمایشـــگاه نمایش داده می‌شـــود توجـــه نمایند و نحوه‌ی شبیه‌سازی را فرا بگیرند.

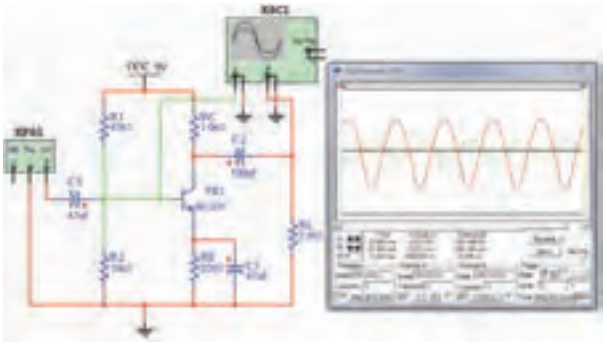
۳-۳-۴- بـــا مراجعه به جلد دوم کتاب آزمایشـــگاه مجازی، ابتدا نرم‌افزار مولتی‌سیم را روی کامپیوتر خود نصب کنید. سپس اقدام به شبیه‌سازی مدارها نمایید.

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

★۵-۳-۴- برای مدار امیتر مشـــترک مقادیر ولتاژ نقطه‌ی کار DC ترانزیســـتور را در نرم‌افزار، در جدول ۱-۴ بنویسید.

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

۷-۳-۴- در شـــکل ۳-۴ یک نمونه نقشـــه‌ی مدار شبیه‌ســـازی شده امیتر مشـــترک را در نرم‌افزار مولتی‌سیم مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۴- یک نمونه نقشه‌ی مدار شبیه‌سازی شده

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

-اسیلوسکوپ دو کاناله	۱ دستگاه
- سیگنال ژنراتور صوتی	۱ دستگاه
- منبع تغذیه DC	۲ دستگاه
- مولتی‌متر دیجیتال	۲دستگاه
- بردبُرد	یک قطعه
- ترانزیســـتورهای BC۱۷۷ ، ۲N۲۲۱۹ (یـــا هـــر نـــوع ترانزیستور عمومی PNP)	یک عدد
- ترانزیستورهای BC۱۰۷ ، BC۳۳۷ (یا هر نوع ترانزیستور عمومی NPN)	یک عدد
- مقاومت‌های ۱۰۰Ω، ۱KΩ، ۲۲۰Ω و ۴/۷KΩ $\frac{۱}{۴}$W از هر کدام	۱ عدد
- پتانسیومتر ۵KΩ (ترجیحاً خطی)	۱ عدد
- لامپ ۱۲ ولت ۱ وات یا ۳ ولت ۰/۵ وات یا LED	یک عدد

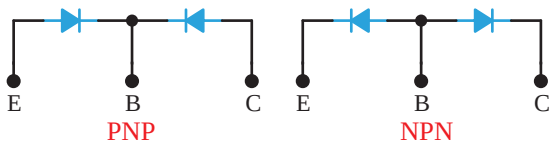
- تجهیزات، ابزار و مواد عمومی

۵-۴- مراحل اجرای آزمایش

آزمایش ترانزیستور

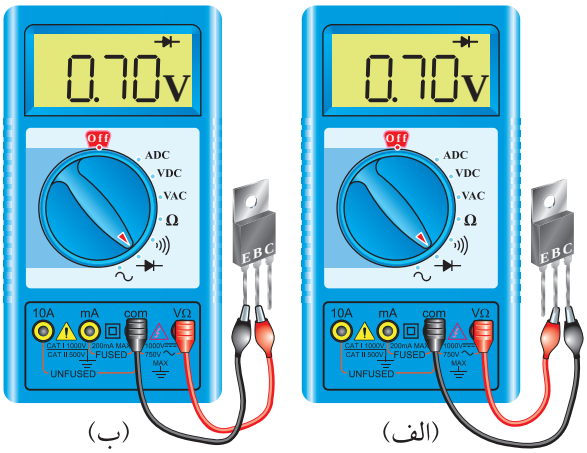
★۱-۵-۴- با مشاهده‌ی شـــکل ظاهری یک عدد ترانزیســـتور NPN و یک عدد ترانزیســـتور PNP، شکل ظاهری آن را در جدول ۲-۴ رسم کنید و پایه‌های آن را به دلخواه شماره‌گذاری کنید.

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 مولتی‌متر می‌توانیم نوع ترانزیستور NPN یا PNP را مشخص کنیم.



شکل ۴-۴- مدار معادل دیودی ترانزیستور

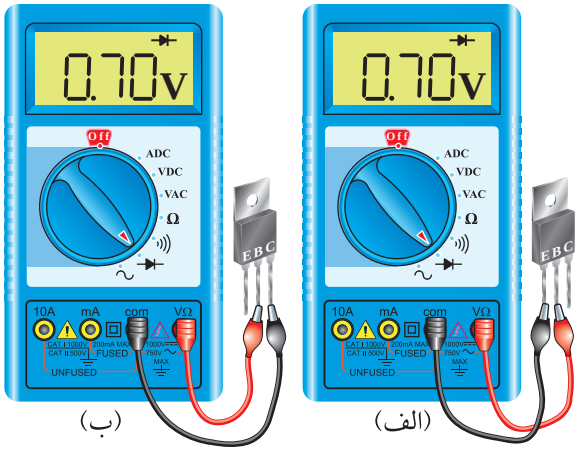
۴-۵-۳- از خاصیت دیودی ترانزیستور می‌توان برای تشخیص پایه‌های ترانزیستور و نوع ترانزیستور از نظر NPN یا PNP بودن آن استفاده کرد. برای تعیین پایه‌ی بیس ترانزیستور، مولتی‌متر دیجیتال را روی حالت آزمایش دیود قرار می‌دهیم؛ سپس با اتصال پروب مولتی‌متر به پایه‌ها، پایه‌ای را پیدا می‌کنیم که نسبت به پایه‌های دیگر در ولتاژ موافق قرار گرفته باشد. یعنی مولتی‌متر عدد۰/۷ 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 و۴-۵- 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 مولتی‌متر دیجیتال

۴-۵-۴- با استفاده از مولتی‌متر دیجیتال که در اختیار دارید، پایه‌ی بیس ترانزیستورها را مشخص کنید و آن را در جدول شماره‌ی ۳-۴ درج نمایید. شکل ظاهری ترانزیستور را مشابه جدول ۲-۴ 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 بیس‌امیتر و بیس‌کلکتور، ترمینال مثبت مولتی‌متر به بیس متصل باشد ترانزیستور NPN و اگر ترمینال منفی مولتی‌متر دیجیتال به پایه‌ی بیس متصل باشد، ترانزیستور از نوع PNP است. در شکل ۴-۶ ترانزیستور از نوع NPN است؛ زیرا پایه‌ی مثبت مولتی‌متر به بیس اتصال دارد. نوع ترانزیستورهای مورد آزمایش را مشخص کنید و در جدول ۳-۴ بنویسید.



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

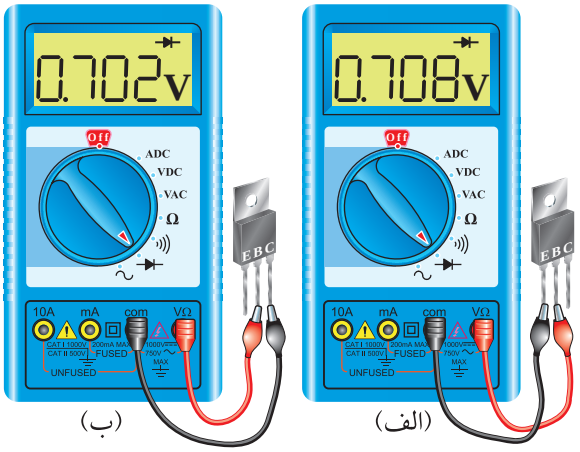
۴-۵-۶- تشخیص پایه‌های امیتر و کلکتور ترانزیستور نیز با استفاده از مولتی‌متر دیجیتال امکان‌پذیر است.

نکته‌ی مهم

در برخی از موارد با توجه به نوع ترانزیستور و نوع دستگاه مولتی‌متر تشخیص پایه‌های کلکتور و امیتر ترانزیستور با مولتی‌متر دیجیتال یا عقربه‌ای امکان‌پذیر

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

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

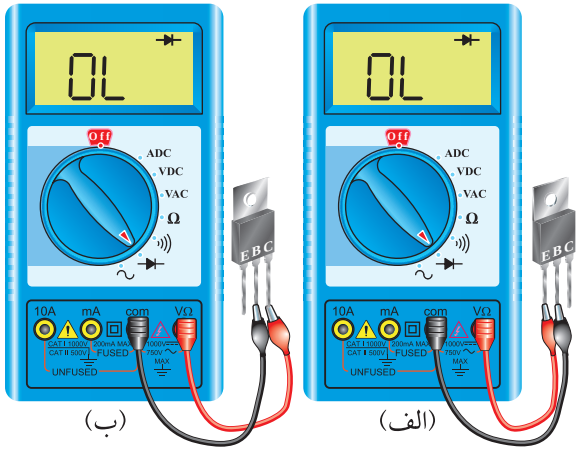


شکل ۴-۷- ولتاژ موافق دو سر کلکتوربیس کم‌تر از امیتربیس است

به این ترتیــب پایه‌ای که دارای ولتاژ موافق کم‌تری اســت دارای مقاومت کم‌تر وآن پایه کلکتور است. هم‌چنین پایه‌ای کــه دارای ولتــاژ موافق بیش‌تری اســت مقاومت بیش‌تری دارد و آن پایه امیتر است.

۴-۵-۷- بــا اســتفاده از مولتی‌متــر دیجیتال پایه‌های امیتر و کلکتور ترانزیستورها را مشخص کنید و در جدول ۴-۴ بنویسید.

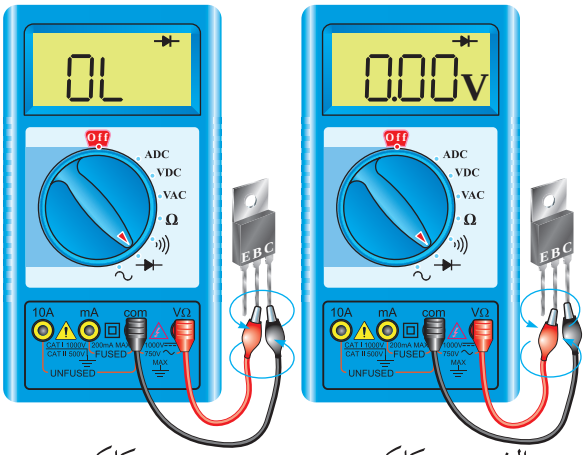
۴-۵-۸- ترانزیستور زمانی سالم است که بین بیس و امیتــر و بیس و کلکتور در یک جهــت ولتاژ موافق و در جهت دیگر تقریباً حالت اتصال باز را نشــان دهد. در شکل ۴-۸، دیودهای بیس‌امیتر و بیس‌کلکتور ترانزیســتورهای شــکل‌های ۴-۵ و ۴-۶ در بایاس مخالف قرار دارد و حالت OL یعنــی Open Load را نشــان می‌دهــد، پس این ترانزیستور سالم است.



شکل ۴-۸- دیودهای بیس‌امیتر و بیس‌کلکتور در ولتاژ مخالف قرار دارند

۴-۵-۹- ترانزیســتورهای مــورد آزمایش را با اســتفاده از مولتی‌متر دیجیتالی، مورد آزمایش قرار دهید و حالت‌های ولتــاژ موافق و مخالف دیود «بیس‌امیتر» و دیود «بیس‌کلکتور» را عملاً مورد بررســی قرار دهید و نتایج را ثبت کنید.

۴-۵-۱۰- در صورتی کــه دیودهای «بیس‌امیتر» و «کلکتوربیس» در یکی از حالت‌های موافق و مخالف مقادیر یکســانی را نشــان دهند یا کاملاً اتصال کوتــاه یا کاملاً باز باشــند. در این حالت ترانزیســتور معیوب اســت. در شکل ۴-۹- الف دیود بیس‌کلکتور در حالت موافق و مخالف مقدار صفر را نشان می‌دهد، پس اتصال کوتاه است.



الف. دیود کلکتور بیس اتصال کوتاه است.

ب. دیود کلکتور بیس قطع شده است.

شکل ۹-۴- نمایش یک ترانزیستور معیوب

در شـــکل ۹-۴-ب دیود «بیس‌کلکتـــور» در هر دو حالـــت موافق و مخالف، حالت اتصال باز را نشـــان می‌دهد. این شـــرایط برای دیود «بیس امیتر» نیز ممکن است اتفاق بیفتد.

۱۱-۵-۴- در ترانزیســـتورهای معمولـــی معمـــولاً «کلکتورامیتـــر» مقاومت زیادی دارد و هنـــگام آزمایش با مولتی‌متـــر دیجیتال مقدار زیادی را نشـــان می‌دهد. از این طریق می‌توان به ســـالم بودن اتصـــال «کلکتورامیتر» پی برد.

۱۲-۵-۴- دو عـــدد ترانزیســـتور معیوب را در اختیـــار بگیرید و نوع عیب آن‌ها را مشـــخص کنید و با ذکر دلایل توضیح دهید.

۱۳-۵-۴- در صورتـــی کـــه مولتی‌متر عقربه‌ای در اختیار دارید، با اســـتفاده از مولتی‌متر عقربه‌ای دو عدد ترانزیســـتور را آزمایـــش کنید و پایه‌هـــای 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.

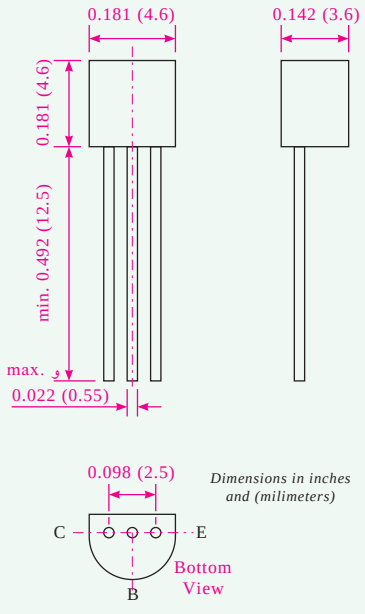
Features

- 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

★۱۵-۴-۵- با استفاده از برگه‌ی اطلاعات شماره‌ی ۲-۴ مقادیر ماکزیمم مجاز ولتاژهای "کلکتور امیتر"، "امیتر بیس"، "جریان کلکتور"، "جریان بیس"، "توان مجاز" و "جریان ماکزیمم لحظه‌ای کلکتور" را برای ترانزیستور BC۳۳۷ به دست آورید.

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 Tamb=25°C		P_{tot}	625(1)	mW
Thermal Resistance Junction to Ambient Air		$R_{\Theta JA}$	200(1)	°C/W
Junction Temperature		T_j	150	°C
Storage Temperature Range		T_S	α65 to +150	°C

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

برگه‌ی اطلاعات شماره‌ی ۲-۴

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.

★۱۶-۴-۵- 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؟

$$P_{Max} = I_C \times V_{CEO} = ۰/۸A \times ۴۵$$

$$\Rightarrow P_{Max} = ۳۶W$$

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

★۱۷-۴-۵- بررسی کنید اگر ترانزیستور را در شرایط I_C=۸۰۰mA و V_{CE}=۰/۵V بایاس کنیم، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★۱۸-۴-۵- درصورتی که ترانزیستور را در شرایط I_C=۱۰mA و V_{CE}=۵۰V بایاس کنیم، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★۱۹-۴-۵- در صورتی که ترانزیستور در شرایط I_C=۲۰۰mA و V_{CE}=۵V بایاس شود، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★۲۰-۴-۵- در صورتی که ترانزیستور در شرایط I_C=۳۰۰mA و V_{CE}=۱/۵V بایاس شود، آیا ترانزیستور آسیب می‌بیند؟ چرا؟ شرح دهید.

★۲۱-۴-۵- نتایج حاصل از مراحل ۱۶-۴-۵ تا ۲۰-۴-۵ را مورد بررسی قرار دهید و برداشت‌های خود را به طور جامع تشریح کنید.

★۲۲-۵-۴- بـا مراجعـه بـه برگـه‌ی اطلاعات شماره‌ی۳-۴ که مربوط به مشخصات الکتریکی ترانزیستور BC۳۳۷ است، مقادیر زیر را به دست آورید:

- بهره‌ی جریان در شرایط امیتر مشترک (h_{FE})

- جریان قطـع کلکتور امیتر در شـرایطی که بیس اتصال کوتاه است (I_{CES}).

- ولتاژشکست کلکتور امیتر ترانزیستور در شرایطی که بیس باز و I_C=۱۰mA است ($V_{BR(CEO)}$).

- ولتـاژ بیـس امیتر در شـرایطی کـه I_C=۳۰۰mA و V_{CE}=۱V است.

- ظرفیت خازنی ترانزیستور در شرایطی که V_{CB}=۱۰V و F=۱MHz است.

نکته‌ی مهم

توجه داشـته باشـید که مشـخصات الکتریکی ترانزیسـتور تقریباً شـرایط 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.

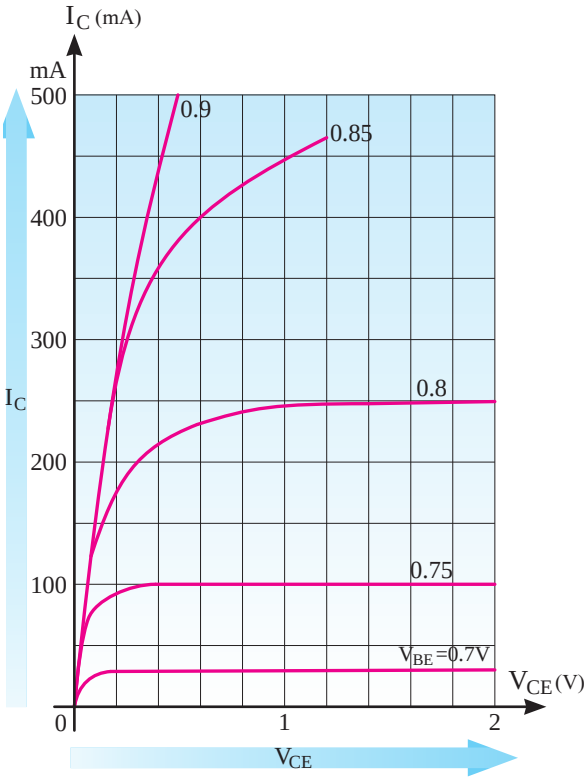
BC337 and BC338
Small Signal Transistors (NPN)

Electrical Characteristics (T_J = 25°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°C V_{CE} = 25V , T_{amb} = 125°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 BC۳۳۷ و BC۳۳۸

★۲۴-۵-۴- منحنـی مشـخصه‌ی خروجـی ترانزیستور BC۳۳۷ که در شکل ۱۰-۴ آمده است را مورد مطالعه قرار دهید.



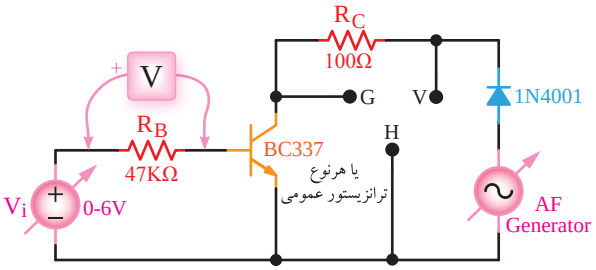
شکل ۱۰-۴- منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

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 ۰/۷ ولت باشد که در این منحنی مقدار آن حدود ۲۵ میلی‌آمپر است. با افزایش V_{BE} به مقدار ۰/۷۵ ولت، جریان کلکتور ۱۰۰میلی‌آمپر می‌شود. در صورتی که V_{BE} را روی ۰/۷ 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.

۴-۵-۲۵- 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=۴۰۰mA و V_{CE}=۲V است ترسیم کنید و مقدار R_C را به دست آورید.

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

۴-۵-۲۷- مدار شکل ۴-۱۱ را روی بردبُرد ببندید. این مدار مربوط به رسم مشخصه‌ی ترانزیستور با استفاده از اسیلوسکوپ است. در این مدار برای تغییر ولتاژکلکتور 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.

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

توجه کنید

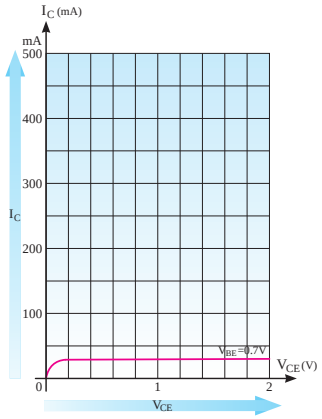
برای اجرای این آزمایش نباید سیم شاسی یا دستگاه‌های شما به یکدیگر وصل باشد. در صورتی که در میز آزمایشگاهی شما این حالت رخ داده است، یا سیستم اتصال زمین وجود دارد، حتماً قبل از اجرای آزمایش، اتصال زمین(بدنه) دستگاه را از یکدیگر جدا کنید. این کار توسط مربی آزمایشگاه انجام خواهد شد.

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

۴-۵-۳۰- سلکتورVolt/Div عمودی اسیلوسکوپ را روی Volt/cm ۰/۲ و سلکتور Volt/Div افقی آن را روی Volt/cm ۲ 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_{R_C} 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:

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

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 جهتِ ترسیمِ منحنیِ 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 ان توضیح دهید.

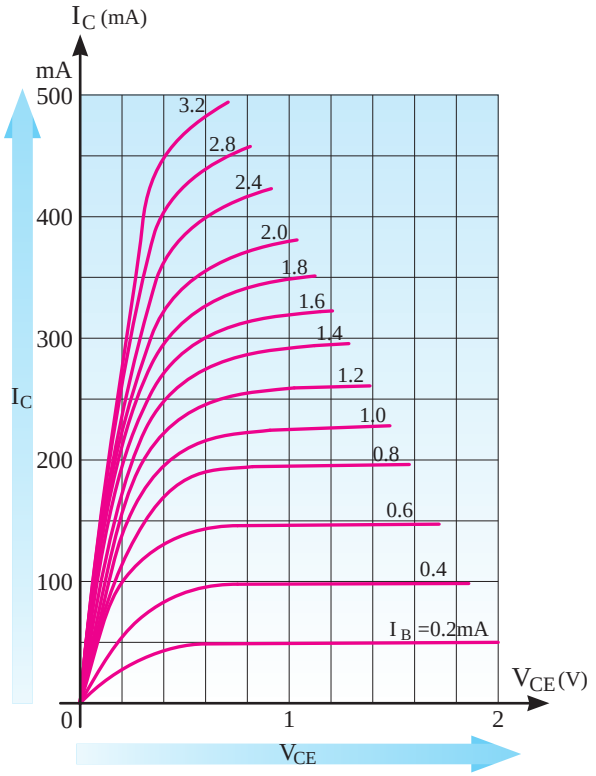
در صورتی که کیفیت منحنی مطلوب نبود، مقدار ولتاژ تغذیه‌ی بیس را کمی افزایش دهید.

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

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 ۱۳-۴).



شکل ۱۳-۴- 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 می‌یابدو با افزایش I_C مقدار ولتاژ دو سر R_C زیاد و ولتاژ V_{CE} کم می‌شود.

★۴-۵-۳۸- با توجه به اجرای مرحله‌ی ۴-۵-۳۷ با تغییر مقدار ولتاژ DC تغذیه‌ی بیس، حداقل تعداد۴ منحنی را با مقادیر مختلف I_B در نمودار ۲-۴ 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 ۱KΩ 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

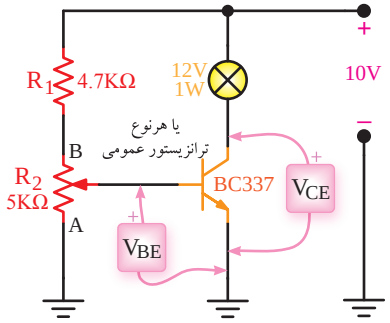
★۴-۵-۴۱- ترسیم منحنی خروجی با استفاده از منحنی‌نگار.

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 شکل۱۴-۴ مدارآزمایش مربوط به هدایت ترانزیستور نشان داده شده است. در این مدار با استفاده از پتانسیومتر، ولتاژ بیس امیتر و جریان کلکتور

ترانزیســـتور تغییر می‌کند و هرچه 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 ۱۴-۴- مدار آزمایش هدایت در ترانزیستور

توجه کنید

در صورتـــی که لامپ ۱۲ ولـــت۱ وات در اختیار ندارید می‌توانید از لامـــپ ۳ ولت ۰/۵ وات یا LED استفاده کنید. در این حالت باید ولتاژ تغذیه را کاهش دهید.

۴-۵-۴۳- مـــدار شـــکل ۴-۱۴ را روی بردبُرد ببندید. سر وسط پتانســـیومتر را درنقطه A قرار دهید. در این حالت ولتاژ "بیس امیتر" ترانزیســـتور و "کلکتور امیتر" ترانزیســـتور چند ولت است؟ لامپ خاموش است یا روشن؟ ترانزیستور در چه ناحیه‌ای قرار دارد؟ چرا؟ شرح دهید.

۴-۵-۴۴- ســـر وسط پتانســـیومتر را از نقطه‌ی A آهسته‌آهســـته به نقطه‌ی B نزدیک کنید. در نور لامپ چه تغییری به‌وجود می‌آیـــد؟ ولتاژ بیس امیتر چه تغییری می‌کند؟ شرح دهید.

۴-۵-۴۵- سر وسط پتانســـیومتر را در نقطه‌ی B قرار دهید؟ ترانزیســـتور در چـــه ناحیه‌ای قرار می‌گیرد؟ هدایت ترانزیستور را چگونه می‌توان تغییر داد؟ شرح دهید.

۴-۶- نتایج آزمایش

آن‌چه را کـــه در این آزمایـــش فراگرفته‌اید به طور خلاصه در ۱۲ نیم‌سطر شرح دهید.

الگوی پرسش

۴-۷- الگوی پرسش

۴-۷-۱- در صورتـــی کـــه با اســـتفاده از مولتی‌متر نتوانیـــم پایه‌های کلکتور و امیتر ترانزیســـتور را پیدا کنیم، با چه روش‌هایی می‌توانیم پایه‌ها را مشـــخص کنیم؟ شرح دهید.

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

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

۴-۷-۴- در شـــکل ۴-۱۱ در صورتـــی کـــه R_B را اتصال کوتاه کنیم، چه مشـــکلی ممکن اســـت پدید بیاید؟ شرح دهید.

۴-۷-۵- در شکل ۴-۱۴ اگر مقاومت $R_1=4/7K\Omega$ اتصال کوتاه شـــود، چه اشـــکالی در کار ترانزیســـتور پیش می‌آید؟ شرح دهید.

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

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

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

ارزش‌یابی

۴-۸- ارزش‌یابی پایان هر آزمایش

پـــس از انجـــام آزمایـــش و کامل نمـــودن دفتر گـــزارش‌کار به نتایج ارزش‌یابی توجه کنید و ســـعی نمایید نقاط ضعف خود را بر طرف کنید.