

هدف کلی کتاب

شناخت مفاهیم اساسی الکترونیک و مدارهای مرتبط با آن

کتاب الکترونیک عمومی (۲) در شهریورماه ۱۳۹۰ در یک دورهٔ بازآموزی کشوری توسط ۲۸ نفر از هنرآموزان مدرس این درس که از استان‌های مختلف کشور حضور داشته‌اند اعتبار بخشی قضاوتی شده است.

جدول بودجه‌بندی زمانی

شمارهٔ فصل	عنوان فصل	زمان اختصاص داده شده (ساعت آموزشی)
۱	یادآوری دیود و ترانزیستور و آشنایی با تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری	۱۲
۲	مشخصات ویژهٔ تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری	۲۰
۳	ترانزیستور اثر میدان (FET)	۱۶
۴	تقویت‌کننده‌های چندطبقه	۱۲
۵	تقویت‌کننده‌های قدرت	۱۲
۶	تقویت‌کنندهٔ تفاضلی	۸
۷	تقویت‌کنندهٔ عملیاتی	۸
۸	تنظیم‌کننده‌های ولتاژ	۱۲
۹	الکترونیک صنعتی	۲۰

کتاب آزمایشگاه مجازی جلد دوم را برای اجرای فعالیت‌های نرم‌افزاری مطالعه نمایید و آزمایش‌های مربوط به آن را اجرا کنید. تقریباً تمام آزمایش‌هایی که امکان اجرای آن وجود دارد را می‌توانید در لوح فشردهٔ ضمیمهٔ کتاب مشاهده کنید.

فصل اول

یادآوری دیود و ترانزیستور و آشنایی با تقویت کننده ترانزیستوری

زمان اجرا: ۱۲ ساعت آموزشی

هدف کلی: یادآوری مدارهای دیودی و تقویت کننده های ترانزیستوری

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

- ۹- اطلاعات قابل استخراج از منحنی های مشخصه ورودی، انتقالی و خروجی را شرح دهد.
- ۱۰- با استفاده از اطلاعات قابل استخراج از منحنی های ترانزیستور، مسایل مربوطه را حل کند.
- ۱۱- مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود بیس امیتر و قابلیت هدایت انتقالی را محاسبه کند.
- ۱۲- چگونگی تقویت سیگنال ac را توسط ترانزیستور، در آرایش امیتر مشترک و با استفاده از منحنی های مشخصه شرح دهد.
- ۱۳- حالت کلیدی ترانزیستور را شرح دهد.
- ۱۴- به سؤال های الگوی پرسش پاسخ دهد.

- ۱- ساختمان و نماد مداری دیود را تشریح کند.
- ۲- کاربردهای دیود را بیان کند.
- ۳- ساختمان و نماد مداری ترانزیستور را تشریح کند.
- ۴- با استفاده از Data book و Data Sheet به زبان اصلی، اطلاعات ترانزیستور را استخراج کند و توضیح دهد.
- ۵- انواع ترانزیستورهای قدرت، سیگنال، نوری و ... را توضیح دهد.
- ۶- انواع بایاس ترانزیستور را تشریح کند.
- ۷- مسائل مربوط به بایاس ترانزیستور را حل کند.
- ۸- منحنی های مشخصه ورودی، خروجی و انتقالی ترانزیستور را توضیح دهد.

پیش گفتار

در مورد ساختمان و کاربرد انواع دیود در الکترونیک (۱) به تفصیل بحث شده است. در این مبحث پس از مرور مختصری در مورد ساختمان و نحوه بایاس کردن دیود، به حل مدارهای با دیود می پردازیم تا پس از تشخیص وضعیت قطع یا وصل (off-on) دیود در مدار، در مورد محاسبه جریان و افت ولتاژ و نوشتن معادله KVL در یک حلقه، مهارت لازم را کسب نمایید. چون ترانزیستور نیز معادل دو دیود است، با حل مسایل دیودی، توانایی تجزیه و تحلیل مدارهای ترانزیستوری نیز آسان خواهد شد.

۱-۱- یادآوری در مورد دیود

- ۱-۱-۱- اتصال P-N Junction (P-N): اگر یک قطعه نیمه هادی نوع P را به یک قطعه نیمه هادی نوع N وصل کنیم، اتصال P-N به وجود می آید. به اتصال P-N دیود گویند. شکل ۱-۱ اتصال P-N و سد ایجاد شده در محل اتصال و پتانسیل سد را نشان می دهد.
- ۱-۱-۲- ساختمان کریستالی و نماد مداری دیود: شکل ۱-۲ ساختمان کریستالی و علامت اختصاری (نماد) دیود را نشان می دهد.

توجه قرار گیرد.

● اگر در دیود سیلیسیومی ولتاژ آند تقریباً $0.6V$ ولت بیشتر از کاتد آن شود، دیود هدایت می‌کند.

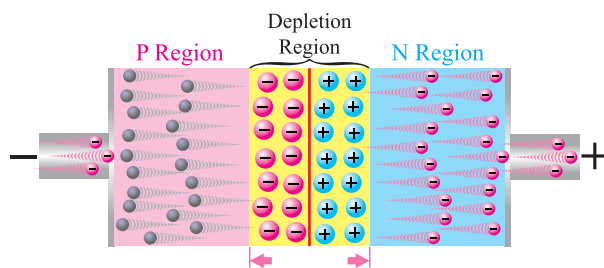
● اگر در دیود ژرمانیومی ولتاژ آند آن تقریباً $0.15V$ ولت بیشتر از کاتد آن شود، دیود هدایت می‌کند.

● برای هدایت دیود جریان مدار باید به اندازه کافی باشد.
● در دو سر دیودی که در حال هدایت است ولتاژی حدود $0.7V$ ولت افت می‌کند که به آن ولتاژ وصل دیود گویند و آن را با V_γ نشان می‌دهند. ولتاژ وصل برای دیود ژرمانیومی حدود $0.2V$ ولت است.

● در حالت ایده‌آل دیود وصل مانند یک کلید بسته است و $V_\gamma = 0$ است.

● در هنگام وصل دیود، باید جریان عبوری از آن را توسط مقاومتی کنترل نمود تا جریان عبوری از آن، از مقدار ماکزیمم مجاز تجاوز نکند.

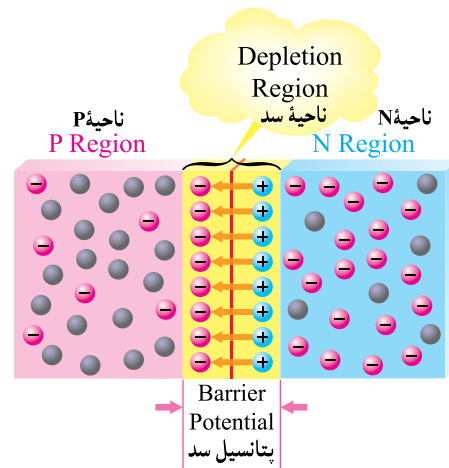
۱-۱-۴ دیود در بایاس مخالف: هرگاه مطابق شکل ۱-۴ نیمه هادی نوع N را به قطب مثبت باتری و نیمه هادی نوع P را به قطب منفی باتری وصل کنیم دیود در بایاس مخالف قرار می‌گیرد.



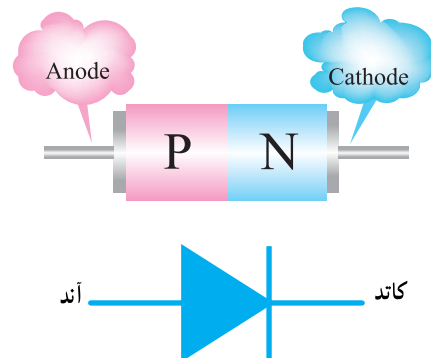
شکل ۱-۴ دیود در بایاس مخالف

در دیود در بایاس مخالف، سد بین P و N افزایش می‌یابد لذا در این حالت از دیود جریانی به جزء جریان اشباع معکوس عبور نمی‌کند. افزایش ولتاژ منبع، سبب افزایش ناحیه سد می‌شود. در مورد دیود در بایاس مخالف باید نکات مهم زیر مورد توجه قرار گیرد.

● از دیود در بایاس مخالف جریانی به غیر از جریان اشباع

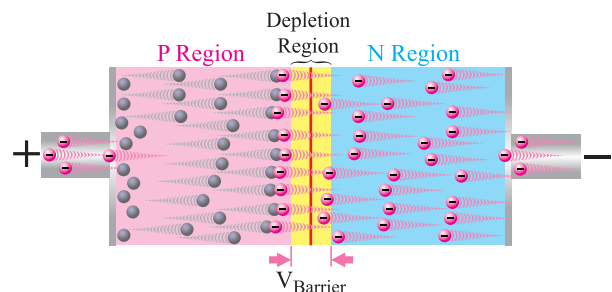


شکل ۱-۱ اتصال PN و ناحیه سد



شکل ۱-۲ ساختمان کریستالی و نماد مداری دیود

۱-۱-۳ دیود در بایاس موافق: هرگاه مطابق شکل ۱-۳ نیمه هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه هادی نوع N را به قطب منفی باتری اتصال دهید، دیود را در بایاس موافق قرار داده‌اید.



شکل ۱-۳ دیود در بایاس موافق

اگر جنس دیود سیلیسیم باشد و ولتاژ باتری بیش از $0.6V$ ولت شود، سد بین P و N شکسته شده و در مدار جریان برقرار می‌شود. در مورد دیود در بایاس موافق باید نکات مهم زیر مورد

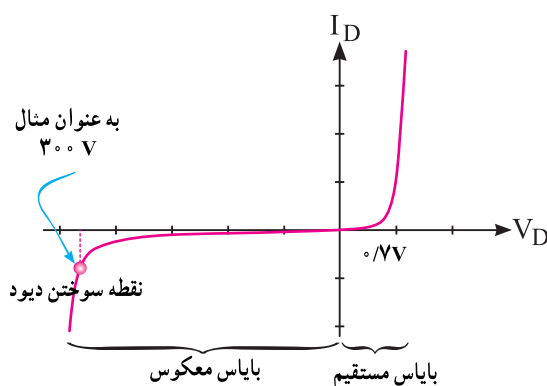
معکوس نمی‌گذرد.

● دیود در بایاس مخالف، در حالت ایده‌آل مانند یک کلید باز است.

● در بایاس مخالف تمام ولتاژ منبع در دو سر دیود افت می‌کند.

● در بایاس مخالف، ولتاژی که در دو سر دیود افت می‌کند نباید از حداکثر ولتاژ معکوس مجاز دیود بیش‌تر شود.

۱-۱-۵- منحنی مشخصه ولت آمپر دیود : منحنی مشخصه ولت آمپر یک دیود از جنس سیلیسیم در شکل ۱-۵ رسم شده است.

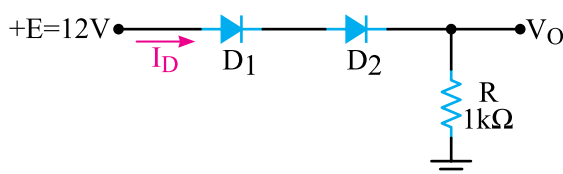


شکل ۱-۵- منحنی مشخصه دیود در بایاس موافق و مخالف

۱-۱-۷- حل برخی مسائل مدارهای دیودی :

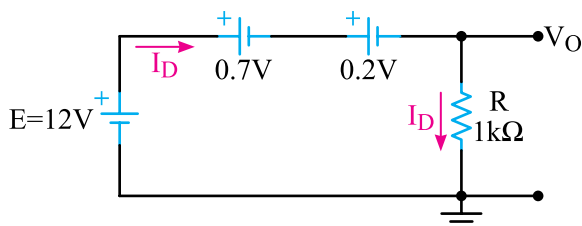
مسائل مطرح شده، ابتدا باید وصل یا قطع بودن دیودها تشخیص داده شود، سپس مدار معادل مسئله مورد نظر ترسیم گردد. در مدار معادل، با نوشتن معادله KVL می‌توان جریان مدار، افت ولتاژ دو سر هر قطعه و سایر مجهولات مورد نظر را محاسبه نمود.

مثال ۱-۱ : در شکل ۱-۷ اگر دیود D_1 از جنس سیلیسیم و ولتاژ وصل آن $0.7V$ و دیود D_2 از جنس ژرمانیوم و ولتاژ وصل آن $0.2V$ و ولت باشد، I_D و V_O را محاسبه کنید.



شکل ۱-۷

پاسخ : چون مثبت منبع +E به آند دیودها وصل است، دیودها در بایاس موافق و در حال هدایت هستند. می‌توان افت ولتاژ دو سر دیودها در مدار شکل ۱-۷ را به صورت شکل ۱-۸ در نظر گرفت.



شکل ۱-۸

با نوشتن معادله KVL می‌توان I_D را محاسبه نمود.

$$-12 + 0.7 + 0.2 + 1 I_D = 0$$

$$I_D = \frac{12 - 0.9}{1K\Omega} = 11/1mA$$

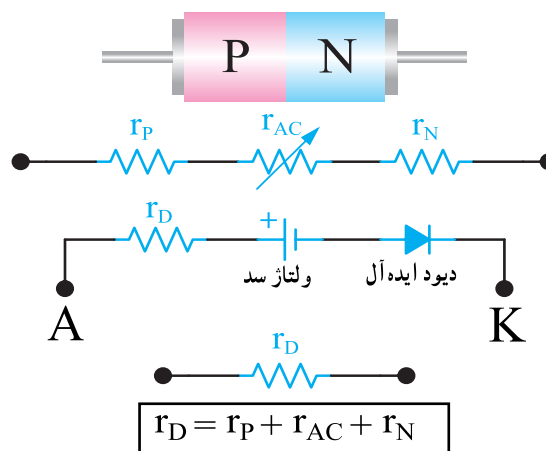
محاسبه V_O :

$$V_O = R I_D = (1K\Omega)(11/1mA)$$

$$V_O = 11/1 \text{ ولت}$$

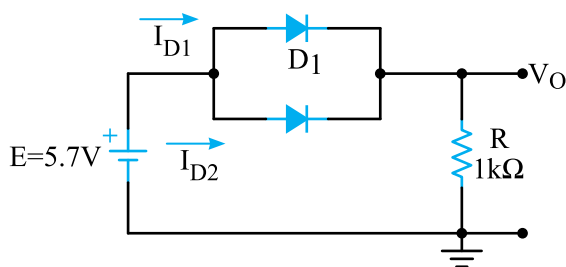
۱-۱-۶- مدار معادل دیود : برای دیود معمولی

می‌توان مدار معادلی مانند شکل ۱-۶ رسم کرد. در مدار، r_P مقاومت نیمه هادی نوع P، r_N مقاومت نیمه هادی نوع N و r_{AC} مقاومت لایه سد است.



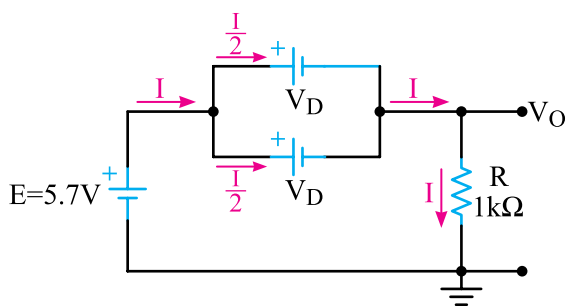
شکل ۱-۶- مدار معادل دیود معمولی

ولت است. دیودها کاملاً مشابه هستند.



شکل ۱-۱۱

پاسخ: چون مثبت منبع E به آند دیودها و منفی منبع به کاتد دیودها وصل است، دیودها هادی هستند. لذا به جای دیودها می‌توان منبع معادل ۰/۷ ولت را قرار داد. مدار معادل شکل ۱-۱۲ به صورت شکل ۱-۱۲ درمی‌آید.



شکل ۱-۱۲ - مدار معادل شکل ۱-۱۱

با نوشتن معادله KVL می‌توان جریان I را محاسبه نمود.

$$-E + V_D + RI = 0$$

$$-5.7 + 0.7 + 1I = 0$$

$$1I = 5.7 - 0.7 = 5$$

$$I = \frac{5V}{1K\Omega} = 5mA$$

چون دو دیود مشابه هستند:

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I}{2} = 2.5mA$$

محاسبه V_O :

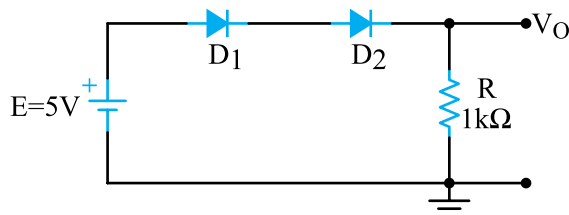
$$V_O = RI = (1K\Omega)(5mA)$$

$$V_O = 5V$$

توجه: در مسائل، اگر ولتاژها برحسب ولت (V) و

مقاومت‌ها برحسب کیلو اهم ($K\Omega$) باشد، جریان‌ها برحسب میلی آمپر (mA) است.

مثال ۱-۲: با توجه به شکل ۱-۹ I_{D1} و I_{D2} و V_O را محاسبه کنید. هر دو دیود از جنس سیلیسیم و ولتاژ وصل آن‌ها ۰/۷ ولت است.



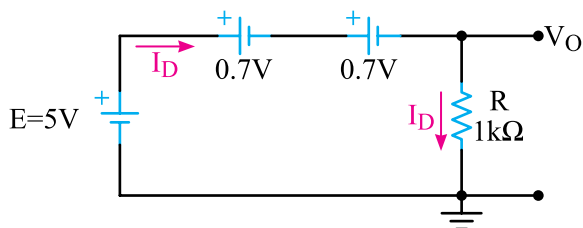
شکل ۱-۹

پاسخ: چون مثبت منبع E به آند دیودها وصل است،

دیودها در بایاس موافق و در حال هدایت هستند.

می‌توان مدار معادل شکل ۱-۹ را به صورت شکل ۱-۱۰

رسم نمود.



شکل ۱-۱۰ - مدار معادل شکل ۱-۹

با نوشتن معادله KVL می‌توان I_D را محاسبه نمود.

$$-5 + 0.7 + 0.7 + 1I_D = 0$$

$$I_D = \frac{5 - 1.4}{1K\Omega} = 3.6mA$$

محاسبه V_O :

$$V_O = RI_D$$

$$V_O = (1K)(3.6mA) = 3.6V$$

مثال ۱-۳: با توجه به شکل ۱-۱۱ I_{D1} و I_{D2} و V_O

را محاسبه کنید. هر دو دیود از جنس Si و ولتاژ وصل آن‌ها ۰/۷

۱-۲-۱ الگوی پرسش کامل کردنی

۱-۲-۱-۱ ولتاژ وصل یک دیود از جنس Si حدود ولت و از جنس Ge حدود است.

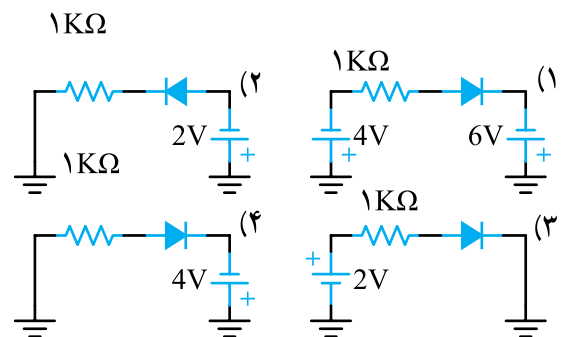
صحیح یا غلط

۱-۲-۲ اگر آند دیود به مثبت باتری و کاتد دیود به منفی باتری وصل شود، دیود در بایاس موافق قرار دارد.

صحیح ☐ غلط ☐

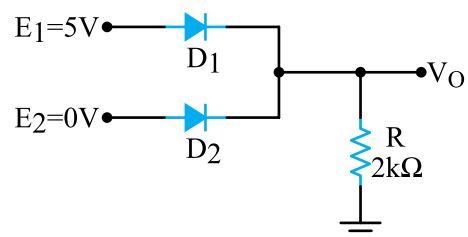
چهار گزینه ای

۱-۲-۳ کدام گزینه دیود را در حالت ایده آل مانند یک کلید باز نشان می دهد؟



محاسباتی

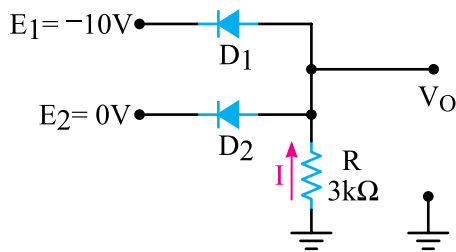
۱-۲-۴ در شکل ۱-۱۳ دیودها از جنس Si و V_γ در هر دیود برابر ۰/۷ ولت است. V_O را محاسبه کنید.



شکل ۱-۱۳

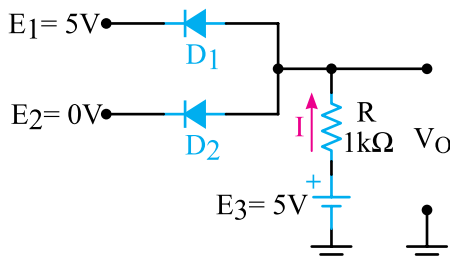
۱-۲-۵ در شکل ۱-۱۴ دیودها از جنس Si و V_γ هر دیود برابر ۰/۷ ولت است.

الف) کدام دیود وصل و کدام دیود قطع است؟
ب) I و V_O را محاسبه کنید.



شکل ۱-۱۴

۱-۲-۶ در شکل ۱-۱۵ دیودها از جنس Si و ولتاژ وصل آنها $V_\gamma = 0.7V$ است. I و V_O را محاسبه کنید.



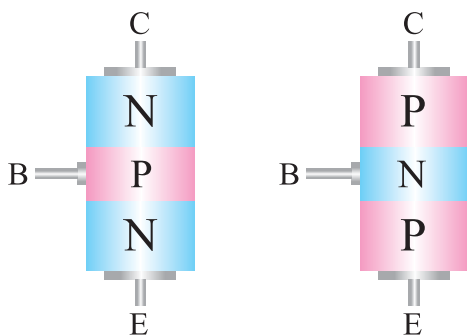
شکل ۱-۱۵

اجرای نرم افزاری

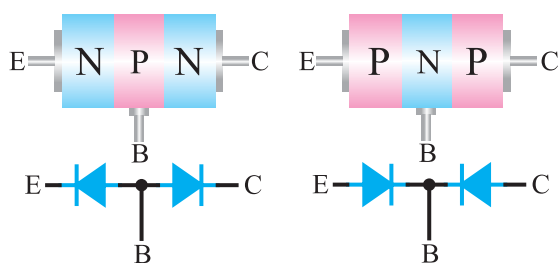
کلیه موارد مندرج در این بخش را به صورت نرم افزاری با استفاده از کتاب آزمایشگاه مجازی (جلد دوم) شبیه سازی نمایید.

۱-۳-۱ مروری بر ساختمان و طرز کار ترانزیستور BJT

یک ترانزیستور معمولی (BJT) از سه قطعه نیمه هادی نوع P و N تشکیل شده است. نحوه قرار گرفتن کریستال های نیمه هادی به صورت شکل ۱-۱۶ است.

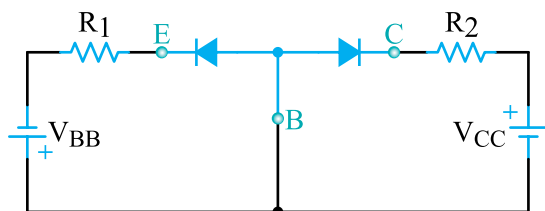


شکل ۱-۱۶ نحوه قرار گرفتن نیمه هادی های نوع P و N در ترانزیستور



شکل ۱۹-۱- معادل دیودی ترانزیستور PNP و NPN

و دیود کلکتور بیس در بایاس مخالف قرار گیرد تا جریان‌ها در ترانزیستور برقرار شوند. شکل ۲۰-۱ نحوه بایاس نمودن یک ترانزیستور NPN را در منطقه فعال نشان می‌دهد.



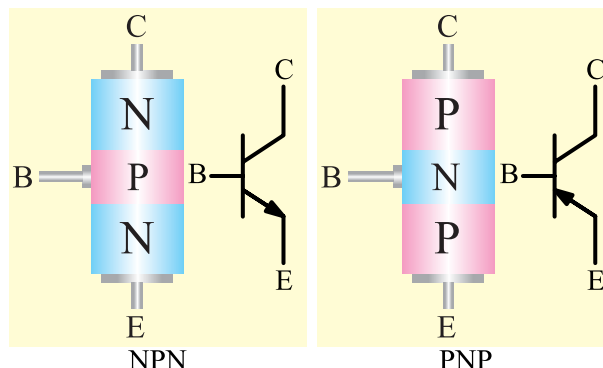
شکل ۲۰-۱- بایاس ترانزیستور NPN در منطقه فعال

۴-۱- کتاب اطلاعات (Data book) و برگه اطلاعات (Data Sheet)

ترانزیستورها نیز مانند دیودها دارای مقادیر حد و مقادیر مجاز هستند که توسط کارخانه سازنده تعریف می‌شود. این مقادیر معمولاً در کتاب اطلاعات (Data book) یا در برگه اطلاعات (Data Sheet) درج می‌شود. کتاب و برگه اطلاعات معمولاً در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌گیرد.

شما می‌توانید با مراجعه به سایت‌های اینترنتی از جمله www.Alldatasheet.com به انواع برگه‌های اطلاعات دسترسی پیدا نمایید. در برگه اطلاعات ترانزیستورها (dataSheet) معمولاً اطلاعات مکانیکی، مشخصه‌های عمومی، مقادیر ماکزیمم مطلق، مشخصه‌های الکتریکی، منحنی‌های مشخصه خروجی، ورودی و توان الکتریکی درج می‌شود.

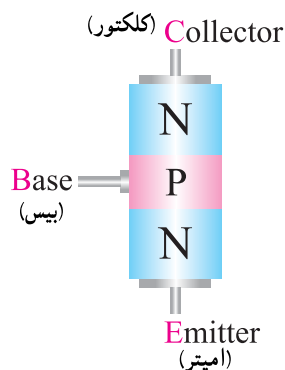
ترانزیستوری که از دو قطعه نیمه هادی نوع P و یک قطعه نیمه هادی نوع N ساخته شده است، ترانزیستور PNP و ترانزیستوری که شامل دو قطعه نیمه هادی نوع N و یک قطعه نیمه هادی نوع P است، ترانزیستور NPN نام دارد. شکل ۱۷-۱ دو نوع ترانزیستور NPN و PNP و نماد آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷-۱- علامت قراردادی ترانزیستورهای NPN و PNP

پایه‌های ترانزیستور را امیتر (E)، بیس (B) و کلکتور (C) می‌نامند.

شکل ۱۸-۱ نام پایه‌های ترانزیستور را نشان می‌دهد.



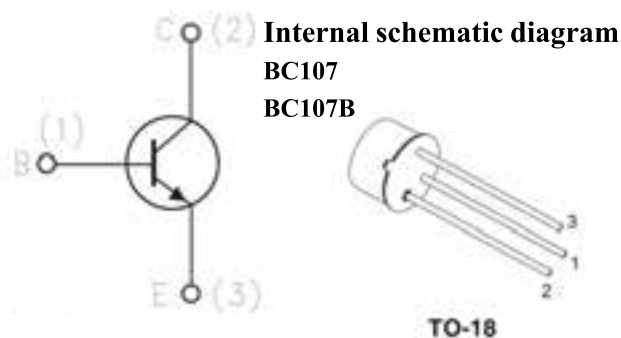
شکل ۱۸-۱- نام پایه‌های ترانزیستور

۱-۳-۱- معادل دیودی ترانزیستور NPN و

PNP: هر اتصال P-N معادل یک دیود است لذا معادل دیودی ترانزیستورهای NPN و PNP در شکل ۱۹-۱ رسم شده است.

۲-۳-۱- نحوه بایاس نمودن ترانزیستور در منطقه

فعال: در منطقه فعال لازم است دیود بیس امیتر در بایاس موافق



برگه اطلاعات ۱-۱ قسمتی از برگه اطلاعات ترانزیستور BC۱۰۷ است.

Low noise general purpose audio amplifiers
Description ترانزیستور عمومی برای تقویت کننده های صوتی با نویز کم
The BC107 and BC107B are silicon planar epitaxial NPN transistors in TO-18 metal case.
They are suitable for use in driver stages, low noise input stages and signal processing circuits of television receivers. The PNP complementary types are BC177 and BC177B respectively.

شکل ۲۱-۱ نماد و شکل ظاهری ترانزیستور BC۱۰۷

برگه اطلاعات ۱-۱

شرح عمومی: ترانزیستور BC۱۰۷ یک ترانزیستور سیلیکونی خاص NPN است که در یک محفظه فلزی TO-18 جاسازی شده است. (شکل ۲۱-۱) این ترانزیستور در مدارهای طبقات میانی صوت، اولیه صوت با نویز کم و در مدارهای پردازش سیگنال درگیرنده های تلویزیونی قابل استفاده است. ترانزیستور مکمل BC۱۰۷ ترانزیستور BC۱۷۷ است.

Order codes	علامت	محفظة	بسته بندی
Part Number	Marking	Package	Packing
BC107	BC107	TO-18	Bag
BC107A	BC107B	TO-18	Bag

قسمتی از برگه اطلاعات ترانزیستور BC۱۰۷

در برگه اطلاعات ۱-۲ مقادیر مجاز الکتریکی ترانزیستور BC۱۰۷ را ملاحظه می کنید.

Electrical ratings

BC107 - BC107B

1 Electrical ratings

مقادیر مجاز الکتریکی

جدول ۱

Table 1. Absolute maximum rating

مقادیر بیشینه مطلق

Symbol	Parameter	مشخصه	Value	مقدار	Unit	واحد
V_{CBO}	Collector-base voltage ($I_E = 0$)	ولتاژ ماکزیم CB وقتی امیتر باز است	50		V	V
V_{CEO}	Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)	ولتاژ ماکزیم CE وقتی بیس باز است	45		V	V
V_{EBO}	Emitter-base voltage ($I_C = 0$)	ولتاژ ماکزیم EB وقتی کلکتور باز است	6		V	V
I_C	Collector current	جریان ماکزیم مجاز کلکتور	100		mA	mA
P_{tot}	Total dissipation at $T_{amb} \leq 25^\circ C$ at $T_{case} \leq 25^\circ C$	ماکزیم تلفات توان در درجه حرارت محیط کم تر از $25^\circ C$ درجه حرارت بدنه کم تر از $25^\circ C$	0.3 0.75		W	W
T_{stg}	Storage temperature	ماکزیم درجه حرارت ذخیره در انبار	-55 to 175		$^\circ C$	$^\circ C$
T_J	Max. operating junction temperature	ماکزیم درجه حرارت محل پیوند	175		$^\circ C$	$^\circ C$

جدول ۲

Table 2. Thermal data

اطلاعات حرارتی

Symbol	Parameter	مشخصه	Value	مقدار	Unit	واحد
$R_{\theta j-case}$	Thermal resistance junction-case	ماکزیم مقاومت حرارتی پیوند به بدنه	200		$^\circ C/W$	سانتی گراد
$R_{\theta j-amb}$	Thermal resistance junction-ambient	ماکزیم مقاومت حرارتی پیوند با محیط	500		$^\circ C/W$	سانتی گراد

برگه اطلاعات ۱-۲ مقادیر ماکزیم مجاز الکتریکی

نکته بسیار مهم: لازم است هنگام طرح سؤال از data sheet حتماً جداول، اعداد و نوشته‌های موجود در data sheet به زبان انگلیسی در اختیار هنجریان قرار گیرد.

در برگه اطلاعات ۱-۳ قسمتی از مشخصه‌های الکتریکی ملاحظه می‌کنید. درجه حرارت‌های غیر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد ترانزیستور BC۱۰۷ را در حرارت بدنه ۲۵ درجه سانتی‌گراد ذکر می‌شود.

BC107 - BC107B

Electrical characteristics

2 Electrical characteristics

مشخصه‌های الکتریکی

درجه حرارت برابر با ۲۵ درجه سانتی‌گراد
($T_{CASE} = 25^{\circ}C$; unless otherwise specified) است در غیر این صورت ذکر می‌شود

Table 3. Electrical characteristics مشخصه‌های الکتریکی

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector cut-off current جریان قطع کلکتور	$V_{CB} = 40V$			15	nA
$V_{(BR)CBO}$	Collector-base breakdown voltage ($I_E = 0$) ولتاژ شکست CB	$I_C = 10\mu A$	50			V
$V_{(BR)CEO}$	Collector-emitter breakdown voltage ($I_B = 0$) ولتاژ شکست CE	$I_C = 10mA$	45			V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-base breakdown voltage ($I_C = 0$) ولتاژ شکست EB	$I_E = 10\mu A$	6			V

برگه اطلاعات ۱-۳- قسمتی از مشخصات الکتریکی ترانزیستور BC۱۰۷

در برگه اطلاعات ۱-۴ قسمت دیگری از مشخصات الکتریکی ترانزیستور BC۱۰۷ شامل $V_{BE(on)}$, $V_{BE(sat)}$, $V_{CE(sat)}$ می‌کنید.
 h_{fe} , h_{FE} , C_{CBO} , C_{EBO} , h_{ie} (r_{π}), h_{oe} ($\frac{1}{R_O}$) را ملاحظه

				MIN	TYP	Max	Unit
$V_{CE(sat)}^{(1)}$	Collector-emitter saturation voltage ولتاژ اشباع CE	$I_C = 10mA$ $I_B = 0.5mA$			70	250	mV
$V_{BE(sat)}^{(1)}$	Base-emitter saturation voltage ولتاژ اشباع BE	$I_C = 10mA$ $I_B = 0.5mA$			750		mV
$V_{BE(on)}^{(1)}$	Base-emitter on voltage ولتاژ هدایت BE	$I_C = 2mA$ $V_{CE} = 5V$		550	650	700	mV
h_{FE}	DC current gain مقدار بهره جریان DC (h_{FE} در شرایط DC)	$I_C = 2mA$ $V_{CE} = 5V$		110		450	
h_{fe}	Small signal current gain مقدار بهره جریان سیگنال کوچک (h_{fe}) در شرایط AC	$I_C = 2mA$ $V_{CE} = 5V$ $f = 1kHz$			250		
C_{CBO}	Collector-base capacitance ظرفیت خازنی CB	$I_E = 0$ $V_{CB} = 10V$ $f = 1MHz$			4	6	pF
C_{EBO}	Emitter-base capacitance ظرفیت خازنی EB	$I_C = 0$ $V_{EB} = 0.5V$ $f = 1MHz$			12		pF
h_{ie}	Input impedance (r_{π}) امپدانس ورودی	$I_C = 2mA$ $V_{CE} = 5V$ $f = 1kHz$			4 4.8		k Ω k Ω
h_{oe}	Output admittance هدایت خروجی ($\frac{1}{R_O}$)	$I_C = 2mA$ $V_{CE} = 5V$ $f = 1kHz$			30		μS

در حالت پالس: پریود یا دوره تناوب پالس $300\mu s$ میکروثانیه، دوام پالس کم تر یا مساوی یک درصد
(1) pulse duration=300 μs . duty cycle $\leq 1\%$

برگه اطلاعات ۱-۴- تعداد دیگری از مشخصه های الکتریکی ترانزیستور BC۱۰۷

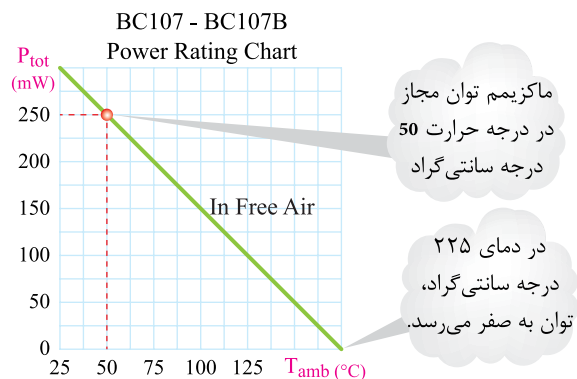
همان طور که ملاحظه می شود در صورتی که درجه حرارت محیط برابر با ۲۵ درجه سانتی گراد باشد، ماکزیمم توان مجاز برابر با ۳۰۰ میلی وات است. در صورتی که درجه حرارت به ۵۰ درجه سانتی گراد افزایش یابد، میزان توان مجاز به ۲۵۰ میلی وات کاهش می یابد. در ۲۲۵ درجه سانتی گراد، توان ماکزیمم مجاز ترانزیستور BC۱۰۷ به صفر خواهد رسید.

علاوه بر مشخصات الکتریکی، تعدادی از منحنی مشخصه های ترانزیستور نیز در برگه اطلاعات داده می شود. یکی از این مشخصه ها که بسیار اهمیت دارد، مشخصه تغییرات توان ماکزیمم مجاز بر حسب درجه حرارت است. در نمودار شکل ۱-۲۲ مشخصه تغییرات توان مجاز را با افزایش درجه حرارت برای ترانزیستور BC۱۰۷ در هوای آزاد مشاهده می کنید.

۱-۵-۱- ترانزیستور کاربرد عمومی و سیگنال کوچک

General Purpose / small signal Transistor : این

ترانزیستورها برای تقویت سیگنال‌های با ولتاژ و جریان با دامنه کم به کار می‌روند و معمولاً در تقویت‌کننده‌های قدرت پایین یا متوسط یا برای مدارهای کلیدی به کار می‌روند. بدنه این ترانزیستورها معمولاً پلاستیکی یا فلزی است و حداکثر توان مجاز آن‌ها معمولاً از ۵۰۰ میلی وات تجاوز نمی‌کند. در شکل ۱-۲۳ شکل ظاهری چند نمونه از این ترانزیستورها را مشاهده می‌کنید.



نمودار شکل ۱-۲۲ تغییرات توان ماکزیمم مجاز ترانزیستور BC107 نسبت به تغییرات درجه حرارت

تمرین کلاسی: مقدار توان ماکزیمم را در درجه

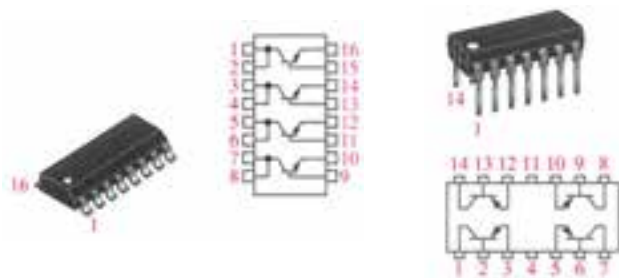
حرارت‌های ۶۲/۵، ۸۷/۵، ۱۰۰ و ۱۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه کنید. نقطه‌های موردنظر را با رنگ دیگری روی نمودار شکل ۱-۲۲ مشخص نمایید.

۱-۵-۱- تقسیم‌بندی ترانزیستورها بر اساس پارامترهای آن

اگر به اطلاعات نوشته شده در برگه اطلاعات ترانزیستورها توجه شود، مشاهده می‌گردد برخی مشخصات مانند V_{CEmax} ، I_{Cmax} ، P_{Cmax} ، فرکانس حد و فرکانس قطع آن‌ها با هم متفاوت است. ترانزیستورها بر اساس این پارامترها (مشخصه‌ها) و نوع کاربرد، در دسته‌بندی‌های متعددی قرار می‌گیرند. مثلاً ترانزیستورها از نظر فرکانس به سه دسته فرکانس کم (LF=Low Frequency)، فرکانس متوسط (MF=Medium Frequency) و فرکانس زیاد (HF=High Frequency) تقسیم‌بندی می‌شوند. این موضوع برای تقویت سیگنال از نظر ولتاژ، جریان و توان نیز صدق می‌کند. تقسیم‌بندی‌های دیگری نیز وجود دارد که به دلیل محدودیت زمانی نمی‌توان به آن‌ها پرداخت. در ادامه به توضیح مختصری در مورد برخی از انواع تقسیم‌بندی‌ها که در مباحث بعدی کاربرد دارند، می‌پردازیم.



(ب) ترانزیستور در بسته دوتایی (ت) ترانزیستور با بسته‌بندی TO ۱۸



(ت) چهار ترانزیستور در یک بسته بندی به صورت DIPIC ۱ (ج) چهار ترانزیستور در بسته بندی نصب سطحی

شکل ۱-۲۳ انواع ترانزیستورهای عمومی

در شکل ۱-۲۵ چند نمونه ترانزیستور فرکانس بالا را مشاهده می‌کنید.



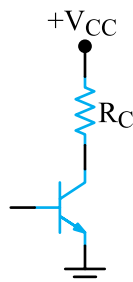
شکل ۱-۲۵ چند نمونه ترانزیستور فرکانس بالا

برای هنرجویان علاقه‌مند:

تحقیق کنید چرا در ترانزیستورهای فرکانس بالا پایه مشترک ترانزیستور بیش از یکی پیش‌بینی شده است.

۱-۵-۴ فتوترانزیستور (Photo Transistor): اگر

مطابق شکل ۱-۲۶ بیس ترانزیستوری باز باشد. جریان ضعیفی در اتصال دیود کلکتور بیس که در بایاس مخالف قرار دارد، ایجاد می‌شود. این جریان که ناشی از حامل‌های اقلیت بوده و در اثر حرارت ایجاد شده است، جریان اشباع معکوس یا جریان نشتی نام دارد.



شکل ۱-۲۶ ایجاد جریان نشتی در ترانزیستور

به علت آزاد بودن بیس، تمام جریان اشباع معکوس از بیس عبور نموده و در کلکتور جریان $I_C = \beta_{DC} I_B$ را ایجاد می‌نماید. اتصال P-N کلکتور بیس که در بایاس مخالف قرار دارد علاوه بر حساس بودن به حرارت، به نور نیز حساس است.

۱-۵-۲ ترانزیستورهای قدرت

Power Transistors: این ترانزیستورها قادر به تقویت

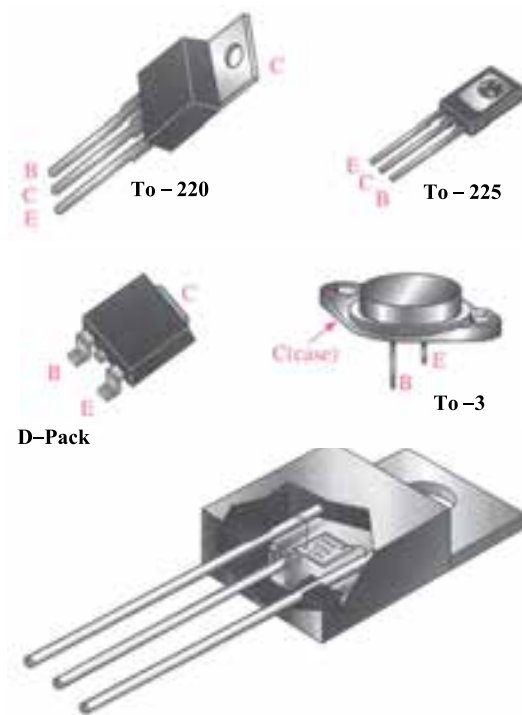
سیگنال‌های با ولتاژ و جریان با دامنه زیاد هستند و معمولاً در تقویت‌کننده‌های سیگنال بزرگ به کار می‌روند. حداکثر توان مجاز این ترانزیستورها از ۵۰۰ میلی‌وات تا چند ده وات است. بدنه این ترانزیستورها که معمولاً فلزی است، به کلکتور اتصال دارد تا بتواند با محیط تبادل حرارت نماید.

در توان‌های زیاد، بدنه به گرماگیر (هیت سینک) اتصال

داده می‌شود.

در شکل ۱-۲۴ شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور

قدرت را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۲۴ چند نمونه ترانزیستور قدرت

۱-۵-۳ ترانزیستورهای فرکانس بالا

High Frequency Transistors: این ترانزیستورها به

تغییر ولتاژ و شدت جریان ورودی خود که فرکانس فوق‌العاده زیاد دارند، به سرعت پاسخ می‌دهند.

مقدار فرکانس قطع این ترانزیستورها چندین مگاهرتز تا

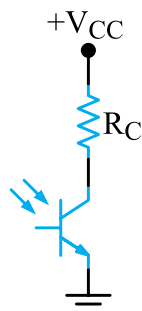
گیگاهرتز است.

مشاهده می‌شود فتوترانزیستور به صورت دو پایه و سه پایه عرضه می‌گردد.

در نوع دو پایه، پایه بیس در دسترس نیست، ولی در نوع سه پایه، پایه‌های امیتر، بیس و کلکتور در دسترس قرار دارند.

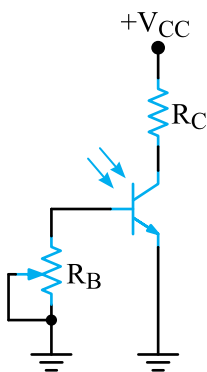
● بایاس نمودن فتوترانزیستور:

روش معمول استفاده از فتوترانزیستور به صورت شکل ۱-۳۰ است.



شکل ۱-۳۰- بایاس فتوترانزیستور

می‌توان مطابق شکل ۱-۳۱ مقاومت متغیری را در بیس ترانزیستور قرار داد و میزان حساسیت مدار را تنظیم نمود. البته استفاده از مدار بدون R_B متداول تر است.



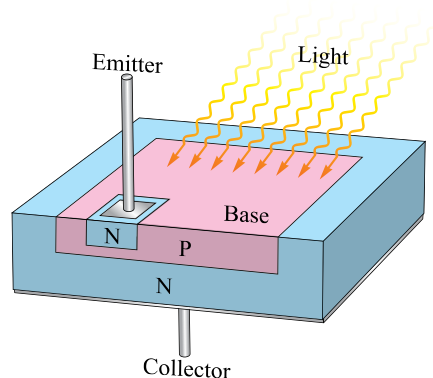
شکل ۱-۳۱- مقاومت تنظیم حساسیت در فتوترانزیستور

انواع دیگر ترانزیستور، مانند ترانزیستور کلیدزنی (Switching)، ترانزیستور با مقاومت سری با بیس، ترانزیستور با دیود و... وجود دارد که در صورت نیاز در مبحث مربوطه به توضیح در مورد آن‌ها خواهیم پرداخت.

در ترانزیستور نوری، نور از طریق یک دریچه، به اتصال کلکتور بیس برخورد می‌کند و جریان نشتی را افزایش می‌دهد و در نتیجه جریان I_C افزایش می‌یابد.

به این ترتیب نور به تغییر جریان الکتریکی تبدیل می‌شود. این پدیده اساس کار فتوترانزیستور را تشکیل می‌دهد.

در شکل ۱-۲۷ ساختمان کریستالی فتوترانزیستور را مشاهده می‌کنید.



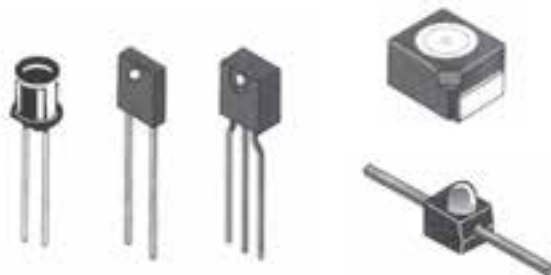
شکل ۱-۲۷- ساختمان کریستالی فتوترانزیستور

نماد فتوترانزیستور در شکل ۱-۲۸ رسم شده است.



شکل ۱-۲۸- نماد فتوترانزیستور

در شکل ۱-۲۹ چند نمونه شکل ظاهری فتوترانزیستور نشان داده شده است.



شکل ۱-۲۹- چند نمونه فتوترانزیستور

۶-۱-۱ الگوی پرسش

کامل کردنی

۶-۱-۱ برای بایاس ترانزیستور در منطقه فعال دیود بیس امیتر در بایاس و دیود کلکتور بیس در بایاس قرار می گیرد.

صحیح یا غلط

۶-۱-۲ با توجه به برگه اطلاعات شماره ۱-۲، جریان ماکزیم مجاز کلکتور ترانزیستور BC۱۰۷ در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد 30°mA است.

صحيح □ غلط □

۶-۱-۳ Collector Emitter Break down Voltage

به مفهوم ولتاژ شکست کلکتور - امیتر $(V_{(BR)CEO})$ است.

صحيح □ غلط □

کامل کردنی

۶-۱-۴ با توجه به برگه اطلاعات شماره ۱-۳ ترانزیستور BC۱۰۷، در شرایط آزمایش با جریان I_C برابر با میلی آمپر، $V_{(BR)CEO}$ حداقل برابر ولت است.

۶-۱-۵ با توجه به شکل نمودار ۱-۲۲ در دمای ۱۲۵ درجه سانتی گراد ماکزیم توان مجاز ترانزیستور BC۱۰۷ برابر میلی وات است.

چهار گزینه ای

۶-۱-۶ ترانزیستورهای با حداکثر توان از 50° میلی وات به بالا جزء کدام دسته از ترانزیستورها هستند؟

(۱) سیگنال کوچک (Small Signal)

(۲) قدرت (Power)

(۳) فرکانس بالا (HF)

(۴) فرکانس پایین (LF)

تشریحی

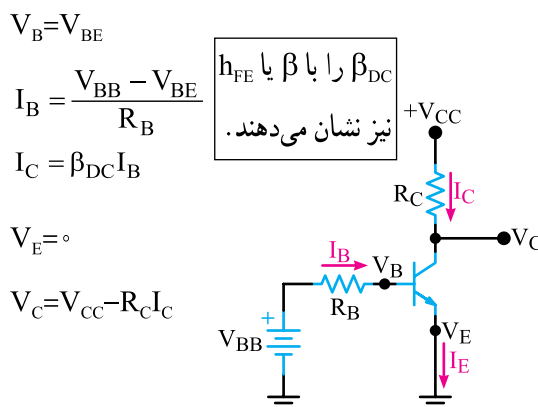
۶-۱-۷ نحوه بایاس کردن فتوترانزیستور را با رسم

شکل شرح دهید .

۷-۱-۱ روش های مختلف بایاس کردن ترانزیستور

در مورد انواع روش های بایاس نمودن ترانزیستور در کتاب الکترونیک (۱) توضیح داده شده است. ضمن یادآوری مدار سه نوع بایاس ترانزیستور یعنی بایاس ثابت، بایاس اتوماتیک و بایاس سرخود، سعی می شود با حل چند نمونه مسئله، نحوه نوشتن معادله KVL و محاسبه جریان ها و ولتاژها در این سه نوع بایاس، تمرین داده شود تا به مهارت لازم برسید.

۷-۱-۱-۱ بایاس ثابت با دو باتری : در شکل ۱-۳۲ مدار بایاس ثابت با دو باتری رسم شده است.



شکل ۱-۳۲ بایاس ثابت با دو باتری

باتری V_{BB} دیود بیس امیتر ترانزیستور را در بایاس موافق قرار می دهد. باتری V_{CC} دیود کلکتور بیس را در بایاس مخالف قرار می دهد تا به این ترتیب ترانزیستور در منطقه فعال بایاس شود. به منظور کنترل جریان بیس از مقاومت R_B و برای کنترل جریان کلکتور از مقاومت R_C استفاده شده است.

روابط جریان ها و ولتاژها در این بایاس به صورت زیر است :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad \boxed{I_B \text{ محاسبه}}$$

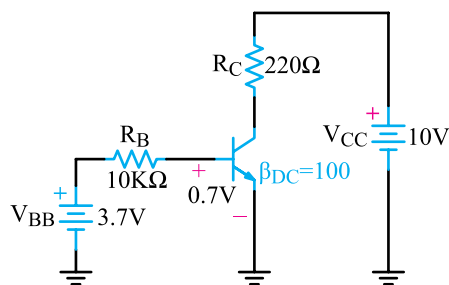
$$I_C = \beta_{DC} I_B \quad \boxed{I_C \text{ محاسبه}}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C \quad \boxed{V_{CE} \text{ محاسبه}}$$

۷-۱-۲ بایاس ثابت با یک باتری : در شکل ۱-۳۳

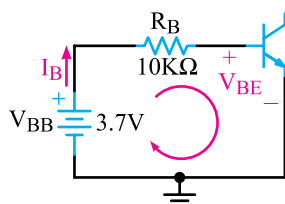
این بایاس و روابط لازم برای محاسبه جریان ها و ولتاژها در آن نشان داده شده است.

مثال ۱-۴: با توجه به شکل ۱-۳۶ و مقادیر داده شده در مدار، I_C ، I_B و V_{CE} را محاسبه کنید.



شکل ۱-۳۶

پاسخ: با نوشتن معادله KVL در حلقه ورودی I_B می‌توان محاسبه نمود. حلقه ورودی معادل شکل ۱-۳۷ است.



شکل ۱-۳۷ حلقه ورودی

معادله حلقه ورودی

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

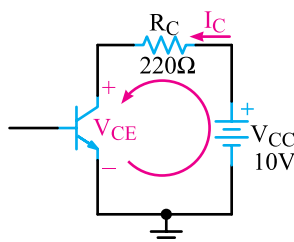
$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad \text{محاسبه } I_B$$

$$I_B = \frac{3.7 - 0.7}{10^4} = 0.3 \text{ mA}$$

چون $I_C = \beta_{DC} I_B$ است لذا

$$I_C = 100 \times 0.3 = 30 \text{ mA}$$

با نوشتن معادله KVL در حلقه خروجی می‌توان V_{CE} را محاسبه نمود. شکل ۱-۳۸ حلقه خروجی را نشان می‌دهد.

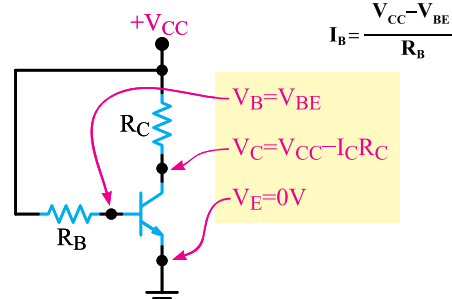


شکل ۱-۳۸ حلقه خروجی

$$I_C = \beta_{DC} I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

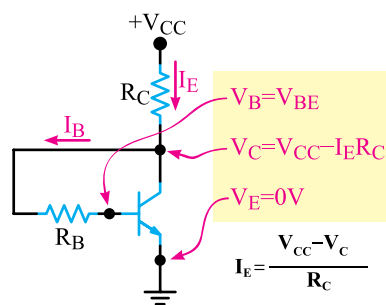
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$



شکل ۱-۳۳ بایاس ثابت با یک باتری

۱-۷-۳ بایاس اتوماتیک (خودکار): شکل ۱-۳۴

بایاس اتوماتیک و روابط مربوط به آن را نشان می‌دهد.



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

$$I_E = I_C + I_B$$

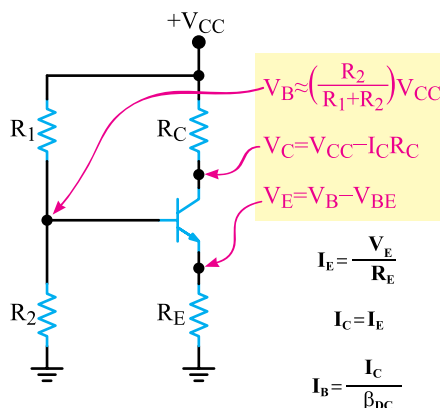
$$I_B = \frac{V_C - V_{BE}}{R_B}$$

شکل ۱-۳۴ بایاس اتوماتیک

۱-۷-۴ بایاس سرخود: مدار بایاس سرخود و

روابط مربوط به محاسبه ولتاژ پایه‌ها و جریان پایه‌های آن را در

شکل ۱-۳۵ مشاهده می‌کنید.



$$I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

$$I_C = I_E$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_{DC}}$$

شکل ۱-۳۵ بایاس سرخود

معادله حلقه خروجی

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

محاسبه V_{CE}

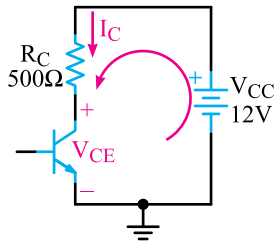
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$$

$$V_{CE} = 10 - (0.22)(30) = 3.4V$$

$$\boxed{V_{CE} = 3.4V}$$

مثال ۵-۱: با توجه به شکل ۱-۳۹ و مقادیر داده شده

در مدار، I_C و V_{CE} را محاسبه کنید. $V_{BE} = 0.7V$



شکل ۱-۴۱- حلقه خروجی

معادله KVL در حلقه خروجی:

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

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

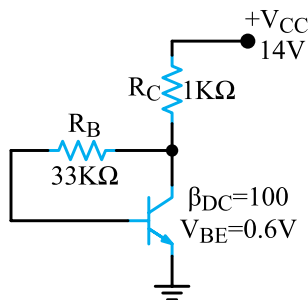
در معادله عددگذاری نموده و V_{CE} را محاسبه می‌کنیم.

$$V_{CE} = 12 - (0.5K\Omega)(11/3mA)$$

$$V_{CE} = 6.35V$$

مثال ۶-۱: با توجه به شکل ۱-۴۲ و مقادیر داده شده

در مدار، I_C ، I_B و V_{CE} را محاسبه کنید.



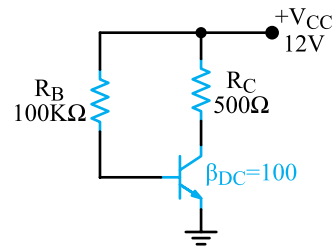
شکل ۱-۴۲

پاسخ: با توجه به اینکه $I_C = \beta I_B$ و $I_E = (1 + \beta)I_B$

است، جریان آمیتر ترانزیستور بر حسب I_B محاسبه می‌گردد.

با نوشتن معادله KVL در حلقه نشان داده شده در شکل

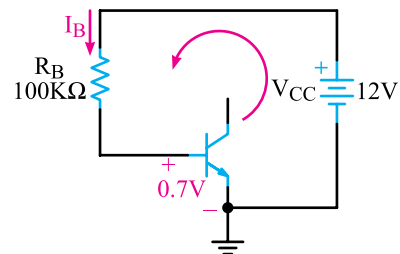
۱-۴۳، به دست می‌آید.



شکل ۱-۳۹

پاسخ: با نوشتن معادله KVL در حلقه خروجی و ورودی

مطابق شکل ۱-۴۰ می‌توان I_B را محاسبه نمود.



شکل ۱-۴۰

معادله KVL در حلقه خروجی و ورودی

$$-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

محاسبه I_B :

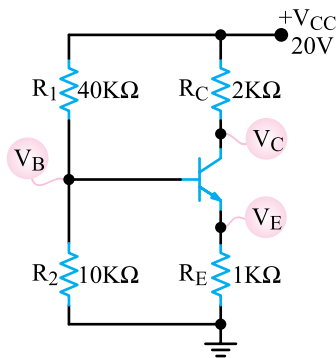
$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{12 - 0.7}{100K\Omega} = 113\mu A$$

$$\boxed{I_B = 113\mu A}$$

محاسبه I_C :

$$I_C = \beta I_B$$



شکل ۱-۴۴

$$V_B = \frac{20 \times 10}{10 + 40} = 4V$$

محاسبه V_E :

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

$$V_E = (4) - (0.7) = 3.3V$$

محاسبه I_E :

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{3.3}{1K} = 3.3mA$$

محاسبه I_C :

$$I_C \approx I_E = 3.3mA$$

محاسبه V_C :

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

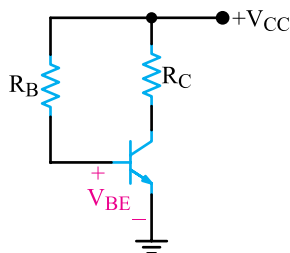
$$V_C = 20 - 2 \times 3.3$$

$$V_C = 13.4V$$

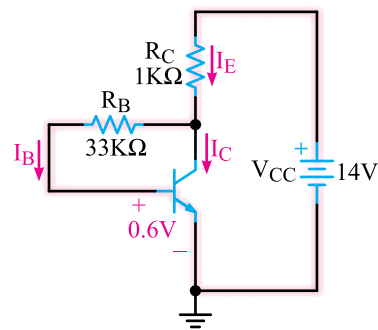
۱-۸ الگوی پرسش کامل کردنی

۱-۸-۱ در مدار شکل ۱-۴۵ از رابطه

$$I_B = \frac{V_{CC} - \dots}{\dots} \text{ به دست می آید.}$$



شکل ۱-۴۵



شکل ۱-۴۳

محاسبه جریان I_C و I_E بر حسب I_B :

$$I_C = 100 I_B$$

$$I_E = 101 I_B$$

معادله KVL در حلقه خروجی و ورودی:

$$-V_{CC} + R_C I_E + R_B I_B + V_{BE} = 0$$

جایگزینی اعداد در معادله و محاسبه I_B :

$$-14 + 1(101 I_B) + 33 I_B + 0.6 = 0$$

$$134 I_B = 14 - 0.6 = 13.4$$

$$I_B = \frac{13.4}{134} = 0.1mA$$

محاسبه I_C :

$$I_C = \beta I_B = 100 \times 0.1 = 10mA$$

محاسبه I_E :

$$I_E = I_C + I_B = 10.1mA$$

معادله KVL در حلقه خروجی برای محاسبه V_{CE} :

$$-V_{CC} + R_C I_E + V_{CE} = 0$$

محاسبه V_{CE} :

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

$$V_{CE} = 14 - (1)(10.1) = 3.9V$$

مثال ۱-۷: در شکل ۱-۴۴ با فرض $I_E \approx I_C$ ولتاژ

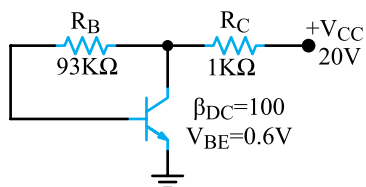
پایه ها و جریان پایه های ترانزیستور را محاسبه کنید.

$$V_{BE} = 0.7 \text{ ولت}$$

پاسخ: محاسبه V_B بر اساس تقسیم ولتاژ V_{CC} روی

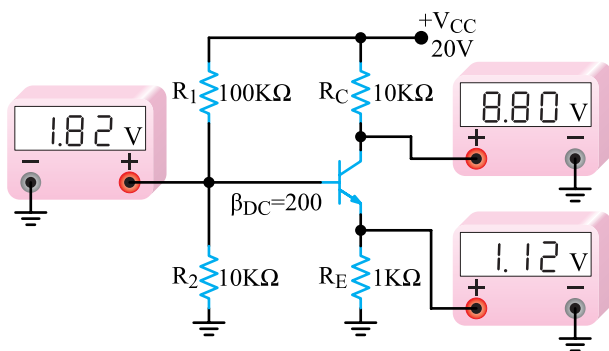
$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{مقاومت های } R_1 \text{ و } R_2:$$

۴-۸-۱- مقادیر نقطه کار (I_C , I_B و V_{CE}) را برای مدار شکل ۱-۴۷ محاسبه کنید.



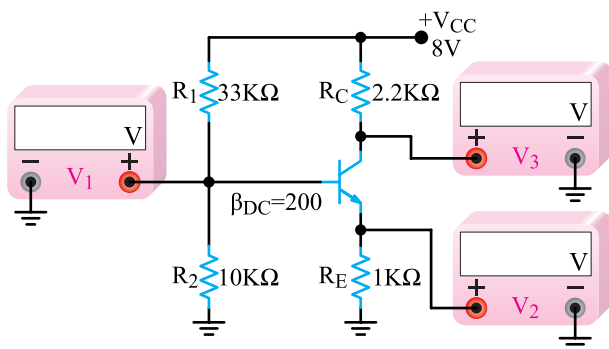
شکل ۱-۴۷

۵-۸-۱- با استفاده از روابط مربوط به بایاس سرخود اثبات کنید که مقادیر نشان داده شده توسط ولت‌مترهای شکل ۱-۴۸ صحیح است. $V_{BE} = 0.7V$



شکل ۱-۴۸

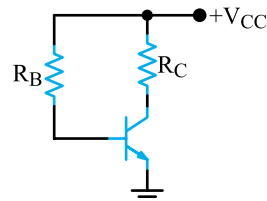
۶-۸-۱- مقادیری که ولت‌مترهای V_1 و V_2 و V_3 در مدار شکل ۱-۴۹ باید نشان دهند را محاسبه کنید. V_{BE} را ۰.۷ ولت در نظر بگیرید.



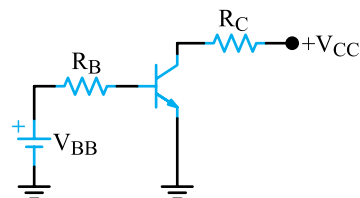
شکل ۱-۴۹

چهار گزینه‌ای

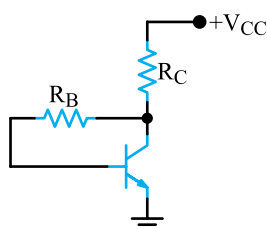
۲-۸-۱- مدار بایاس اتوماتیک کدام گزینه است؟



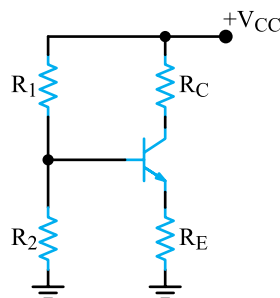
(۱)



(۲)



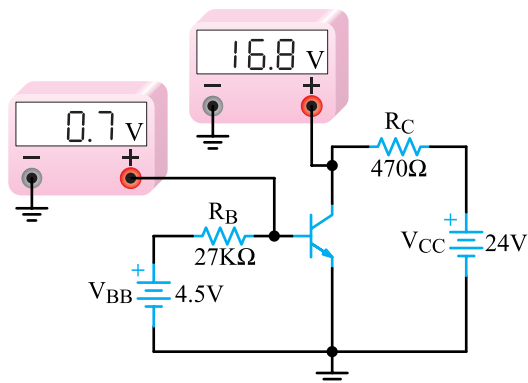
(۳)



(۴)

محاسباتی

۳-۸-۱- β_{DC} را در مدار شکل ۱-۴۶ محاسبه کنید.



شکل ۱-۴۶

۹-۱- منحنی‌های مشخصه ترانزیستور

روابط بین جریان‌ها و ولتاژها و تغییرات آن‌ها در ترانزیستور و هم‌چنین ضرب تقویت به عواملی چون درجه حرارت، فرکانس و غیر خطی بودن المان‌ها بستگی دارد. منظور از غیر خطی بودن، این است که نسبت تغییرات جریان‌ها و ولتاژها تابع یک معادله خطی ریاضی نیست. معمولاً از طریق ریاضی به سادگی نمی‌توان مقادیر را به دست آورد. بنابراین، از منحنی‌هایی که بیان‌کننده روابط بین جریان‌ها و ولتاژها است، استفاده می‌شود. این منحنی‌ها عبارت‌اند از:

الف) منحنی مشخصه ورودی

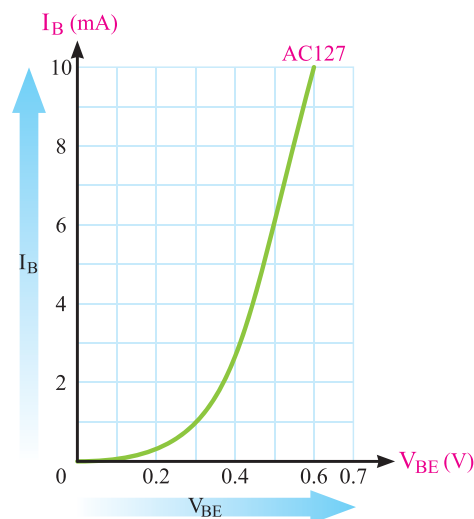
ب) منحنی مشخصه انتقالی

پ) منحنی مشخصه خروجی

در یک ترانزیستور، منحنی‌های مشخصه دیگری نیز وجود دارد که در آینده مورد بحث قرار می‌گیرند. در ادامه بحث، درباره هر یک از سه منحنی ذکر شده توضیحاتی خواهیم داد. البته این منحنی‌ها برای آرایش امیتر مشترک ترسیم شده‌اند.

۹-۱-۱- منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور

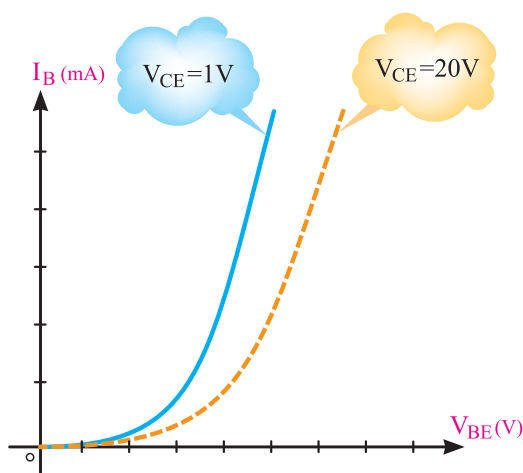
یا منحنی‌های بیس امیتر: در شکل ۱-۵۰ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور AC۱۲۷ در حالت امیتر مشترک نشان داده شده است. این ترانزیستور از جنس ژرمانیم است و به همین دلیل، جریان بیس نسبتاً زیادی دارد.



شکل ۱-۵۰- منحنی ورودی ترانزیستور AC۱۲۷

منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور، بیان‌کننده مقدار جریان ورودی بر حسب ولتاژ ورودی است. چون مدار ورودی به یک دیود شباهت دارد، منحنی مشخصه آن نیز شبیه منحنی مشخصه ولت-آمپر دیود معمولی است.

باید توجه داشت که منحنی مشخصه ورودی به ازای یک ولتاژ معین V_{CE} رسم می‌شود. اگر V_{CE} تغییر کند، منحنی نیز کمی تغییر می‌کند. البته این تغییرات بسیار جزئی هستند و در اکثر موارد می‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد. مقدار ولتاژ V_{CE} را که به ازای آن منحنی مشخصه ورودی رسم شده است، کارخانه سازنده مشخص می‌نماید. در شکل ۱-۵۱ منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور به ازای $V_{CE} = 1\text{ V}$ و $V_{CE} = 20\text{ V}$ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵۱- منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور به ازای مقادیر مختلف V_{CE}

• اطلاعات قابل استخراج از منحنی مشخصه

ورودی:

از منحنی مشخصه ورودی اطلاعات زیر را می‌توان استخراج نمود.

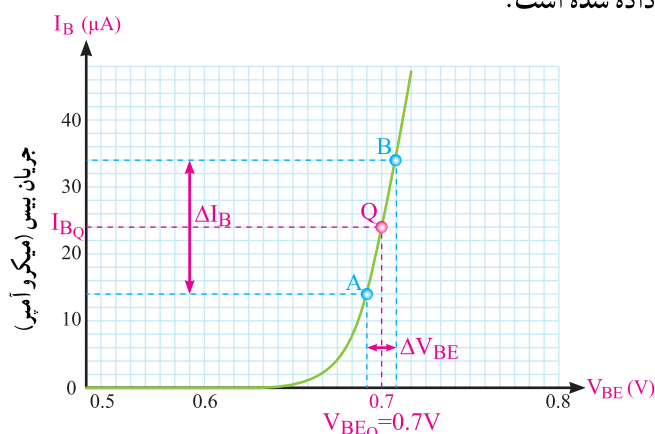
الف) نقطه کار ورودی: به ازای یک V_{CE} معین با معلوم بودن هر یک از کمیت‌های V_{BE} یا I_B از روی منحنی، نقطه کار ورودی مشخص می‌شود.

مثال ۱-۸: در شکل ۱-۵۲ به ازای ولتاژ $V_{BE} = 0.6\text{ V}$ مختصات نقطه کار ورودی را مشخص کنید.

مقایسه با ولتاژ بایاس V_{BEQ} خیلی کم است؛ مثلاً اگر $V_{BEQ} = 0.7$ ولت فرض شود، ممکن است این تغییرات بین دو مقدار 0.69 و 0.71 در نوسان باشد. تغییرات ولتاژ V_{BE} باعث تغییرات جریان بیس ترانزیستور خواهد شد. طبق تعریف، مقاومت دینامیکی دیود بیس با نسبت تغییرات ولتاژ بیس آمیتر به تغییرات جریان بیس ترانزیستور برابر است. مقاومت دینامیکی دیود بیس آمیتر را با r_{π} نشان می‌دهند.

$$r_{\pi} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B}$$

این مقاومت برابر عکس شیب خط مماس بر منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور در نقطه کار آن است. در حالت بدون سیگنال V_i ، نقطه کار Q ثابت است. در این حالت، طبق تعریف مقاومت استاتیکی دیود بیس - آمیتر برابر با $R_s = \frac{V_{BEQ}}{I_{BQ}}$ است. در شکل ۱-۵۴ یک منحنی مشخصه ورودی نمونه نشان داده شده است.



ولتاژ بیس - آمیتر (ولت)

شکل ۱-۵۴ - منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور و چگونگی تغییرات نقطه کار

مثال ۱-۹: با توجه به منحنی ۱-۵۴

(الف) مختصات نقطه کار DC را در نقطه Q بنویسید.

(ب) مقاومت استاتیکی دیود بیس آمیتر را در نقطه کار Q

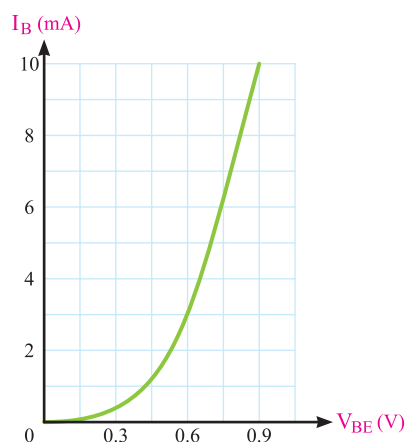
به دست آورید.

(پ) اگر در اثر اعمال سیگنال متناوب نقطه کار از A تا B

تغییر کند، مقاومت دینامیکی را از A تا B به دست آورید.

پاسخ: با مراجعه به مثال ۱-۸ و با توجه به شکل

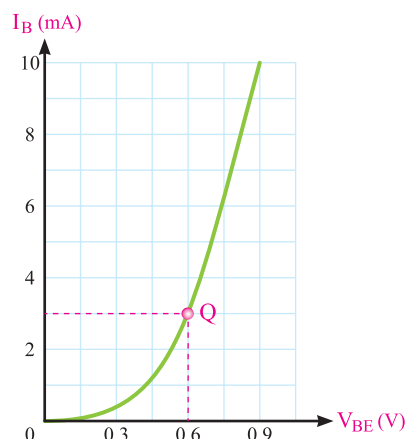
۱-۵۴ مقادیر مختصات نقطه کار Q را به دست می‌آوریم.



شکل ۱-۵۲

پاسخ: اگر مطابق شکل ۱-۵۳ از نقطه 0.6 $V_{BE} =$

ولت خطی بر محور V_{BE} عمود کنیم، منحنی را در نقطه Q قطع می‌کند، از نقطه Q خطی بر محور I_B عمود می‌کنیم، محل تلاقی این خط با محور I_B ، مقدار I_B را در نقطه کار مشخص می‌کند.



شکل ۱-۵۳

$$Q \begin{cases} V_{BE} = 0.6 \text{ ولت} \\ I_B = 3 \text{ mA} \end{cases} \text{ ورودی}$$

(ب) مقاومت / استاتیکی و دینامیکی دیود بیس / آمیتر:

اگر سیگنالی متناوب به بیس ترانزیستور اعمال کنیم، تغییر دامنه این

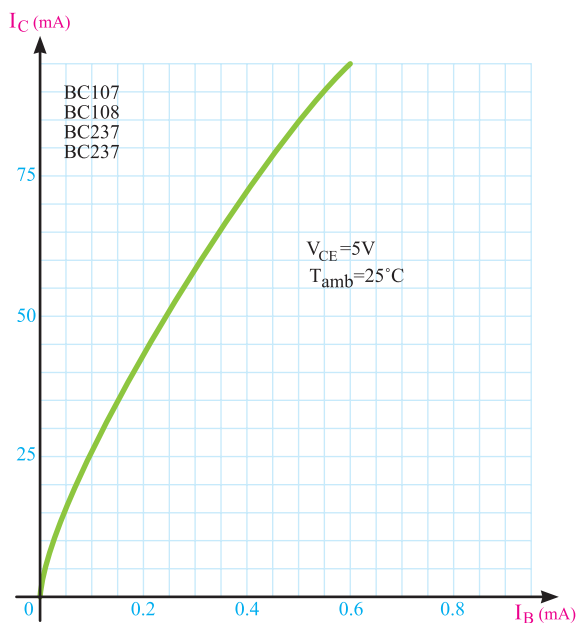
سیگنال موجب آن می‌شود که افت پتانسیل دو سر پیوند بیس -

امیتر، حول نقطه کار Q قدری تغییر کند. میزان این تغییرات در

آیا می دانید: امروزه از ترانزیستورهای تکی (جداگانه Discrete) کم تر استفاده می شود و اگر هم استفاده شود به صورت نصب سطحی (SMD) است.

۲-۹-۱- منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور:

مشخصه انتقالی، رابطه بین جریان ورودی و جریان خروجی ترانزیستور را به ازای مقادیر ثابت V_{CE} نشان می دهد. در شکل ۱-۵۵ منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور $BC107$ را به ازای $V_{CE}=5V$ مشاهده می کنید.



شکل ۱-۵۵ منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور $BC107$ با $V_{CE} = 5V$

از منحنی مشخصه انتقالی ترانزیستور می توان β_{DC} و β_{ac} یا h_{fe} را به دست آورد.

$$\beta_{DC} = \left. \frac{I_C}{I_B} \right|_{V_{CE} \text{ ثابت}}$$

$$\beta_{ac} = h_{fe} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE} \text{ ثابت}}$$

مثال ۱-۱۱: با توجه به منحنی شکل ۱-۵۶ در نقطه

کار Q_1 مقدار β_{DC} و از نقطه کار Q_2 تا نقطه کار Q_3 مقدار β_{ac} را به دست آورید.

مختصات نقطه کار Q با استفاده از مختصات $\begin{cases} V_{BEQ} = 0.7V \\ I_{BQ} = 24 \mu A \end{cases}$ به دست آمده، مقاومت استاتیکی را محاسبه می کنیم.

$$R_S = \frac{V_{BEQ}}{I_{BQ}} = \frac{0.7V}{24 \mu A} = 29.16 K\Omega$$

با مراجعه به منحنی شکل ۱-۵۴ مختصات کار نقاط A و B

را به دست می آوریم.

$$\begin{cases} V_{BE} = 0.69V \\ I_B = 14 \mu A \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{BE} = 0.71V \\ I_B = 34 \mu A \end{cases}$$

$$r_{\pi} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{V_{BE(B)} - V_{BE(A)}}{I_{B(B)} - I_{B(A)}} \quad (\text{مقاومت دینامیکی})$$

$$r_{\pi} = \frac{0.71 - 0.69}{(34 - 14) \mu A} = \frac{0.02}{20 \times 10^{-6}} = 1 K\Omega$$

توجه داشته باشید که مقاومت ورودی دینامیکی ترانزیستور ممکن است با تغییر نقطه کار به مقدار زیادی تغییر کند. برای این که در سیگنال ورودی تغییر شکل به وجود نیاید، باید نقطه کار طوری انتخاب شود که تغییرات آن همواره در قسمت خطی منحنی ورودی یعنی ناحیه A تا B در شکل ۱-۵۴ باقی بماند.

ب) قابلیت هدایت/انتقالی ترانزیستور: در ترانزیستور

نسبت $\frac{\beta}{r_{\pi}}$ را قابلیت هدایت انتقالی می گویند و آن را با g_m نشان می دهند. در دمای طبیعی g_m برابر است با:

$$g_m = \frac{I_C}{26 mV} \approx \frac{I_E}{26 mV}$$

$26 mV$ ولتاژ حرارتی در دمای 30° درجه کلوین است

و آن را با V_T نمایش می دهند. از g_m برای طراحی مدارهای تقویت کننده استفاده می شود.

مثال ۱-۱۰: اگر $I_{CQ} = 13 mA$ باشد هدایت انتقالی

ترانزیستور را به دست آورید. (در دمای محیط)

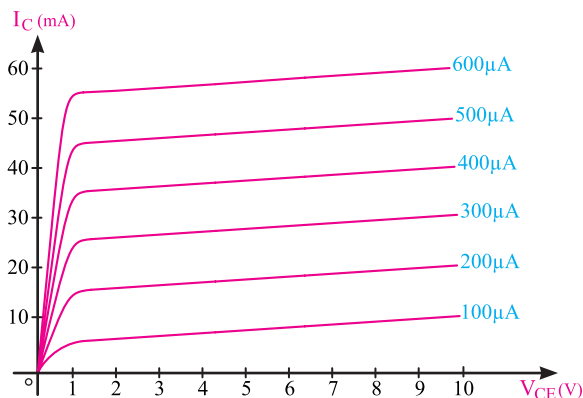
$$g_m = \frac{I_C}{26 mV} = \frac{13 mA}{26 mV}$$

پاسخ:

$$g_m = 0.5 \quad (\text{زیمنس S یا } \frac{1}{\Omega})$$

خروجی را به ازای جریان ورودی معین نشان می‌دهد. اگر تقویت‌کننده امپتر مشترک باشد، جریان ورودی I_B و جریان خروجی I_C و ولتاژ خروجی V_{CE} خواهد بود (تقریباً همه کارخانه‌های سازنده منحنی مشخصه ترانزیستور را در حالت امپتر مشترک ارائه می‌دهند).

شکل ۱-۵۷ منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور و نواحی کار آن را به ازای یک جریان I_B ثابت نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵۷ - منحنی‌های مشخصه خروجی

مقدار جریان خروجی (I_C), تابع دو عامل V_{CE} و I_B است؛ یعنی، با کم و زیاد شدن I_B جریان خروجی (I_C) نیز کم یا زیاد می‌شود. این مطلب در مورد V_{CE} نیز صدق می‌کند لیکن تأثیر تغییرات V_{CE} بر I_C ناچیز و در مواردی قابل اغماض است. از طرفی جریان I_B به V_{BE} نیز بستگی دارد.

● اطلاعات قابل استخراج از منحنی‌های مشخصه

خروجی :

از منحنی‌های مشخصه خروجی ترانزیستور اطلاعات زیر را می‌توان استخراج نمود.

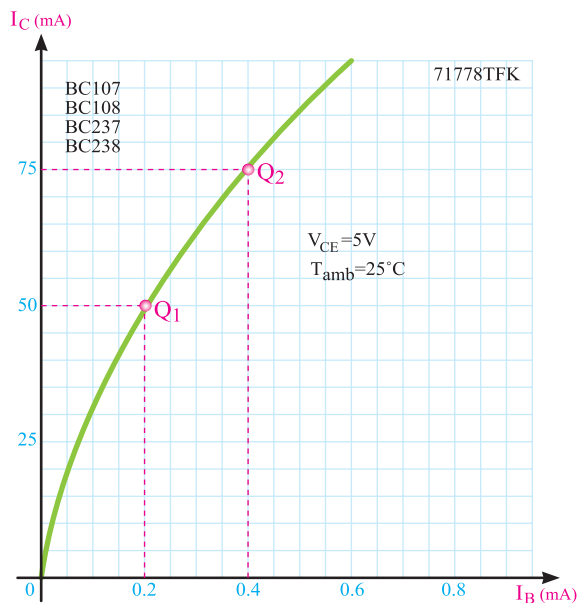
الف) نقطه کار (ب) جریان نشی

پ) بهره جریان (ت) امپدانس (مقاومت)

خروجی ترانزیستور

الف) نقطه کار Q (Quicent Point): برای انتخاب

نقطه کار، ابتدا باید محدودیت‌های ترانزیستور را در نظر گرفت. از جمله این محدودیت‌ها، تحمل توان تلف شده در ترانزیستور، حداکثر جریان کلکتور و حداکثر ولتاژ بین کلکتور و امپتر است. از آن جا که تلفات توان توسط ترانزیستور برابر



شکل ۱-۵۶

پاسخ: مختصات نقطه Q_1 و Q_2 را بر اساس آن چه که قبلاً گفته شد از روی منحنی به دست می‌آوریم.

$$Q_1 \begin{cases} I_B = 0.2 \text{ mA} \\ I_C = 50 \text{ mA} \end{cases}$$

$$Q_2 \begin{cases} I_B = 0.4 \text{ mA} \\ I_C = 75 \text{ mA} \end{cases}$$

مقدار β_{DC} در نقطه Q_1 برابر است با

$$\beta_{DC} = \frac{I_{C1}}{I_{B1}} = \frac{50 \text{ mA}}{0.2 \text{ mA}} = 250 \text{ مرتبه}$$

برای به دست آوردن β_{AC} مقادیر ΔI_C و ΔI_B را از روی منحنی تعیین می‌کنیم.

$$\Delta I_C = 75 - 50 = 25 \text{ mA}$$

$$\Delta I_B = 0.4 - 0.2 = 0.2 \text{ mA}$$

مقدار h_{fe} را محاسبه می‌کنیم.

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{25 \text{ mA}}{0.2 \text{ mA}}$$

$$h_{fe} = \frac{250}{1} = 125 \text{ مرتبه}$$

۱-۹-۳ - منحنی‌های مشخصه خروجی ترانزیستور:

منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، رابطه بین جریان و ولتاژ

پاسخ: مختصات نقاط کار Q_1 و Q_2 و Q_3 را از روی منحنی به دست می آوریم.

$$\text{مختصات نقطه کار } Q_1 \begin{cases} V_{CE} = 5/6V \\ I_C = 20\text{mA} \\ I_B = 200\mu A \end{cases}$$

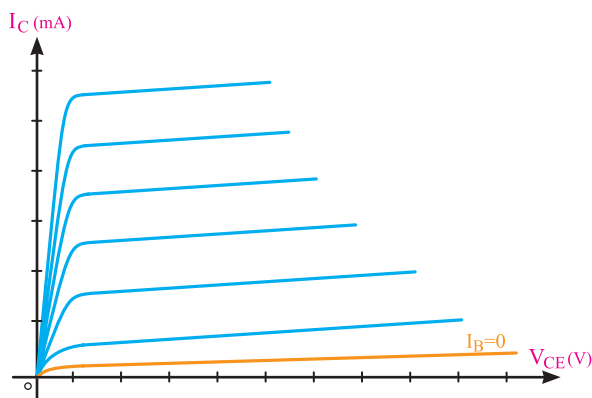
$$\text{مختصات نقطه کار } Q_2 \begin{cases} V_{CE} = 3/5V \\ I_C = 30\text{mA} \\ I_B = 300\mu A \end{cases}$$

$$\text{مختصات نقطه کار } Q_3 \begin{cases} V_{CE} = 1/2V \\ I_C = 40\text{mA} \\ I_B = 400\mu A \end{cases}$$

با توجه به این که در نقطه کار Q_3 مقدار V_{CE} در مقایسه با نقاط کار Q_1 و Q_2 کم تر و I_C آن بیش تر است لذا نقطه Q_3 به ناحیه اشباع نزدیک تر است.

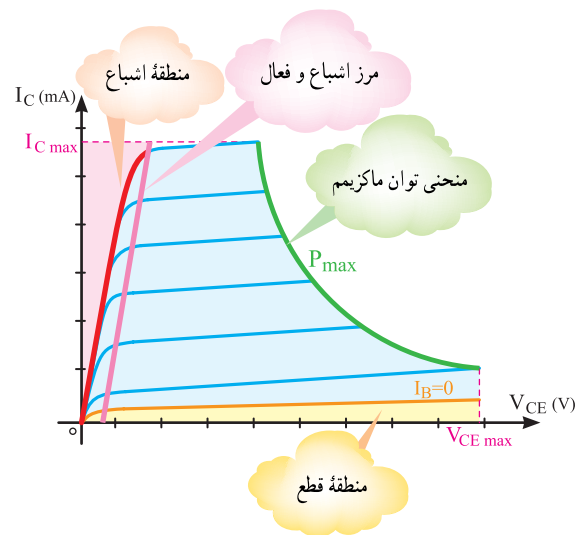
ب) جریان نشستی: به شکل ۱-۶۰ توجه کنید. در این شکل اولین منحنی به ازای جریان بیس صفر ($I_B=0$) رسم شده است. اگر جریان نشستی وجود نداشته باشد این منحنی باید روی خط V_{CE} (محور افقی) قرار گیرد زیرا $I_C = \beta I_B = \beta(0) = 0$ است.

همان طور که مشاهده می شود به علت وجود جریان نشستی، در I_B برابر صفر جریان I_C وجود دارد. این جریان، جریان نشستی تقویت شده است که از کلکتور عبور می کند. مقدار این جریان نشستی از رابطه $I_C = (1 + \beta) I_{CO}$ به دست می آید.



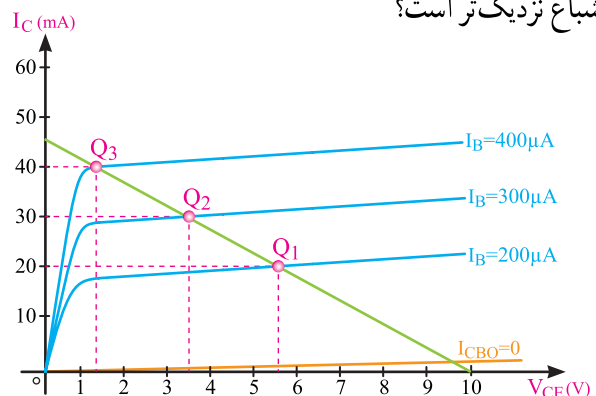
شکل ۱-۶۰- منحنی مشخصه خروجی

(یادآوری می شود که مقدار $P_T = V_{CE} \cdot I_C + V_{BE} \cdot I_B$ کم است و معمولاً از آن صرف نظر می کنند)؛ لذا نقطه کار باید در محلی قرار گیرد که حاصل ضرب $V_{CE} \cdot I_C$ مساوی یا کم تر از ماکزیمم توان قابل تحمل ترانزیستور باشد. منحنی تغییرات $V_{CE} \cdot I_C$ در شکل ۱-۵۸ آمده است. هم چنین محل نقطه کار نباید در محل $I_B = 0$ (منطقه قطع) باشد (در منطقه قطع جریان ورودی ترانزیستور برابر صفر است). در ضمن، نقطه کار باید در محلی قرار گیرد که بتواند سیگنال را از دو طرف به یک اندازه تقویت کند. در شکل ۱-۵۸ منطقه قطع، منطقه اشباع و منحنی توان ماکزیمم نشان داده شده است.



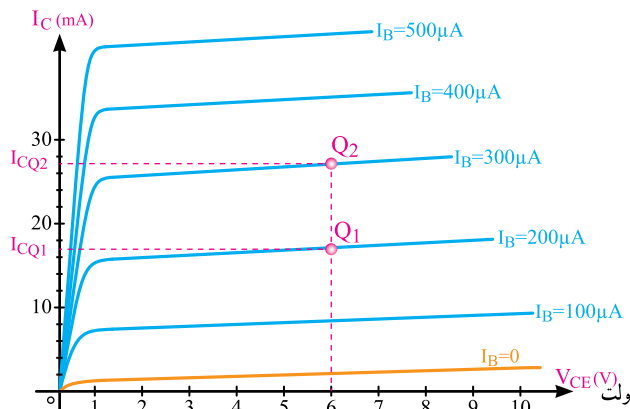
شکل ۱-۵۸- منحنی مشخصه خروجی و منحنی توان ماکزیمم

مثال ۱-۱۲: با توجه به منحنی شکل ۱-۵۹ مختصات نقطه کار Q_1 و Q_2 و Q_3 را بنویسید. کدام نقطه کار به ناحیه اشباع نزدیک تر است؟



شکل ۱-۵۹

پاسخ: مطابق شکل ۱-۶۳ از نقطه $V_{CE}=6$ ولت روی محور افقی خطی بر آن عمود می‌کنیم تا منحنی $I_B=200\mu A$ را در نقطه Q_1 و منحنی $I_B=300\mu A$ را در نقطه Q_2 قطع کند. از نقطه Q_1 و Q_2 خطی بر محور عمودی (محور I_C) عمود می‌کنیم. محل تلاقی این خط با محور I_C ، نقاط I_{CQ1} و I_{CQ2} را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶۳

$$\text{مختصات } Q_1 \begin{cases} I_{CQ1} = 17 \text{ mA} \\ I_{BQ1} = 200 \mu A = 0.2 \text{ mA} \end{cases}$$

از روی مختصات Q_1 مقدار β_{DC} را محاسبه می‌کنیم.

$$\beta_{DC} = \frac{I_{CQ1}}{I_{BQ1}} = \frac{17 \text{ mA}}{0.2 \text{ mA}} = 85 \quad \text{مرتبه}$$

مختصات نقطه Q_2 را برای محاسبه β_{AC} به دست می‌آوریم.

$$\text{مختصات } Q_2 \begin{cases} I_{CQ2} = 27 \text{ mA} \\ I_{BQ2} = 300 \mu A = 0.3 \text{ mA} \end{cases}$$

مقدار ΔI_C و ΔI_B را محاسبه می‌کنیم.

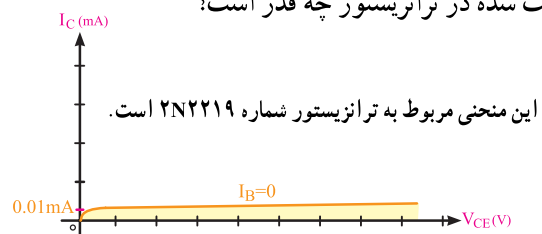
$$\Delta I_C = I_{CQ2} - I_{CQ1} = 27 - 17 = 10 \text{ mA}$$

$$\Delta I_B = I_{BQ2} - I_{BQ1} = 0.3 - 0.2 = 0.1 \text{ mA}$$

با استفاده از ΔI_C و ΔI_B مقدار h_{fe} را به دست

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{10 \text{ mA}}{0.1 \text{ mA}} = 100 \quad \text{مرتبه}$$

مثال ۱-۱۳: با توجه به شکل ۱-۶۱ جریان نشتی تقویت شده در ترانزیستور چه قدر است؟



شکل ۱-۶۱- منحنی مشخصه خروجی به ازای بزرگ‌تر

پاسخ: با توجه به شکل ۱-۶۱ به ازای I_B برابر صفر جریان I_C برابر است با:

$$I_C = 0.01 \text{ mA} = 10 \mu A$$

این جریان، جریان نشتی تقویت شده است که از کلکتور می‌گذرد.

پ) بهره جریان: بهره جریان معمولاً در دو حالت استاتیک

(β_{DC}) و دینامیک ($\beta_{ac} = h_{fe}$) بیان می‌شود که قبلاً در مورد

آن‌ها توضیح داده شده است و از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta_{DC} = \frac{I_C}{I_B} \bigg|_{V_{CE} \text{ ثابت}}$$

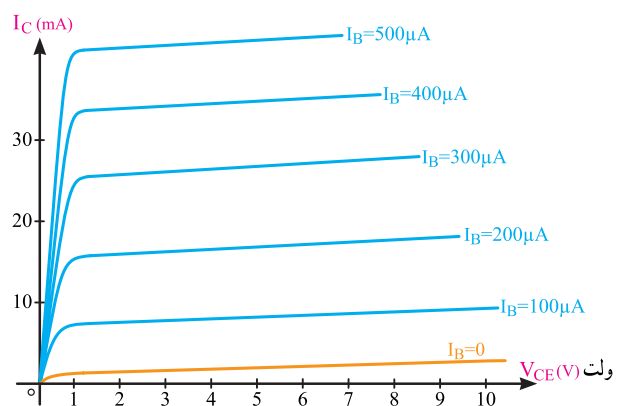
$$\beta_{ac} = h_{fe} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \bigg|_{V_{CE} \text{ ثابت}}$$

از روی منحنی‌های مشخصه خروجی ترانزیستور می‌توان

ضریب تقویت جریان را نیز به دست آورد.

مثال ۱-۱۴: با استفاده از منحنی شکل ۱-۶۲ به ازای

V_{CE} ثابت ۶ ولت و $I_B = 200\mu A$ ، β_{DC} را محاسبه کنید. اگر I_B از ۲۰۰ میکروآمپر تا ۳۰۰ میکروآمپر تغییر کند، h_{fe} چه قدر است؟



شکل ۱-۶۲- منحنی مشخصه خروجی

$$Q_2 \begin{cases} V_{CEQ2} = 16V \\ I_{CQ2} = 7/5mA \end{cases}$$

با محاسبه ΔV_{CE} و ΔI_C ، R_O محاسبه می‌شود.

$$\Delta V_{CE} = V_{CEQ2} - V_{CEQ1}$$

$$\Delta V_{CE} = 16 - 8 = 8V$$

$$\Delta I_C = I_{CQ2} - I_{CQ1}$$

$$\Delta I_C = 7/5 - 6 = 1/5mA$$

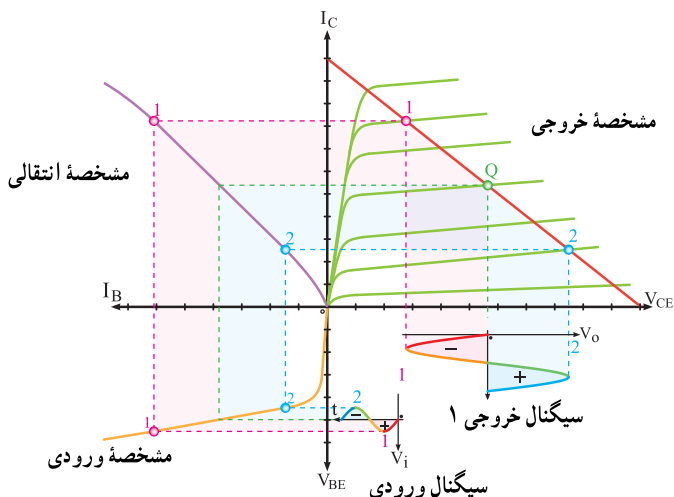
$$R_O = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} = \frac{8V}{1/5mA}$$

$$R_O = 5/33K\Omega$$

۱-۱۰- بررسی تقویت سیگنال الکتریکی از روی منحنی‌های مشخصه ترانزیستور

برای درک چگونگی تقویت سیگنال، از روی منحنی‌های مشخصه ورودی، انتقالی و خروجی با توجه به نقطه کار و خط بار به مطالب زیر توجه کنید.

همان‌طور که قبلاً گفتیم، سیگنال ورودی به بیس-امیتر داده می‌شود؛ بنابراین، ولتاژ V_{BE} یک ولتاژ متغیر حول نقطه کار ورودی خواهد شد. با تغییرات V_{BE} ، I_B نیز تغییر می‌کند. تغییرات I_B سبب تغییرات I_C می‌شود و تغییرات I_C ، تغییرات V_{CE} را به دنبال دارد که خروجی تقویت‌کننده است. در شکل ۱-۶۶ مراحل تقویت را مشاهده می‌کنید.



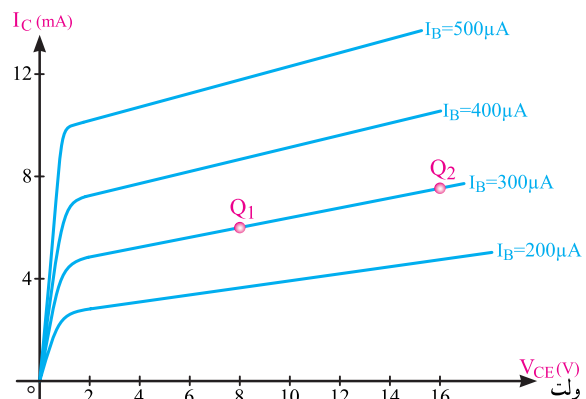
شکل ۱-۶۶- نحوه تقویت سیگنال متناوب روی منحنی‌های مشخصه

ت) مقاومت خروجی ترانزیستور: مقاومت خروجی

ترانزیستور، مقاومت کلکتور-امیتر ترانزیستور در نقطه کار مشخص شده است و از رابطه: ثابت $R_{OCE} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} | I_B$ به دست می‌آید. مقاومت خروجی ترانزیستور در داخل ترانزیستور قرار داشته و با مقاومت بار کاملاً متفاوت است.

مثال ۱-۱۵: با توجه به شکل ۱-۶۴ از روی منحنی

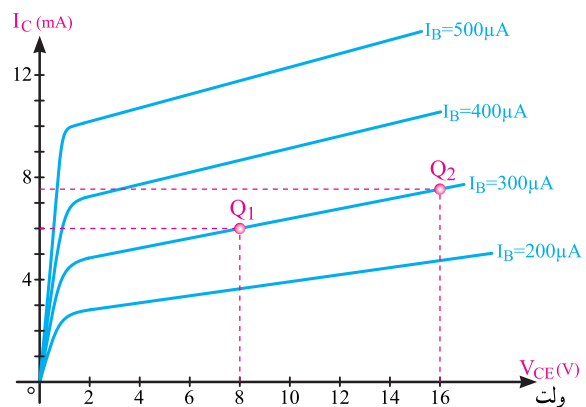
$I_B = 300 \mu A$ ، اگر نقطه کار از Q_1 تا Q_2 تغییر کند، مقاومت خروجی ترانزیستور را محاسبه کنید.



شکل ۱-۶۴- منحنی مشخصه خروجی

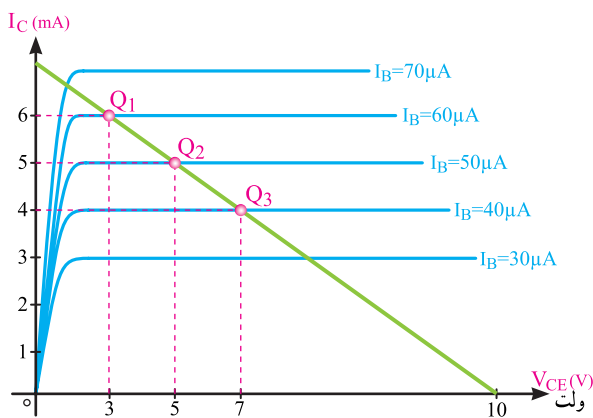
پاسخ: مطابق شکل ۱-۶۵ از نقاط Q_1 و Q_2 دو خط بر

محور V_{CE} و I_C عمود می‌کنیم، مقادیر V_{CE} و I_C را روی محورها می‌خوانیم.



شکل ۱-۶۵

$$Q_1 \begin{cases} V_{CEQ1} = 8V \\ I_{CQ1} = 6mA \end{cases}$$

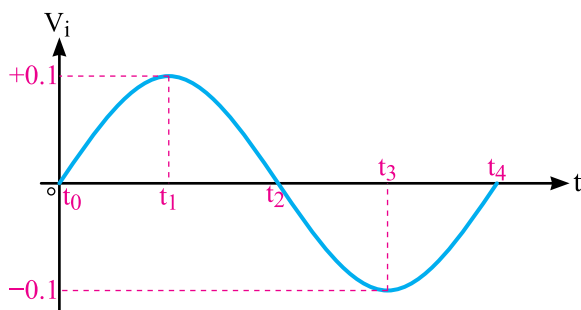


شکل ۱-۶۹- مختصات نقطه کار Q_2

از روی منحنی‌ها مختصات کامل نقطه کار Q_2 را استخراج می‌کنیم، نتیجه خواهد شد:

$$Q_2 \begin{cases} V_{CE} = 5V \\ I_C = 5mA \\ I_B = 50\mu A \\ V_{BE} = 0.7V \end{cases}$$

اکنون ولتاژ متناوب سینوسی با دامنه ۰/۱ ولت را به ورودی مدار اعمال می‌کنیم و به بررسی وضع ترانزیستور در هر لحظه می‌پردازیم. شکل ۱-۷۰ این موج و دامنه آن را در لحظات مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷۰- موج متناوب سینوسی

در هر لحظه می‌توان نوشت:

$$V_{be} = V_i + V_{BE}$$

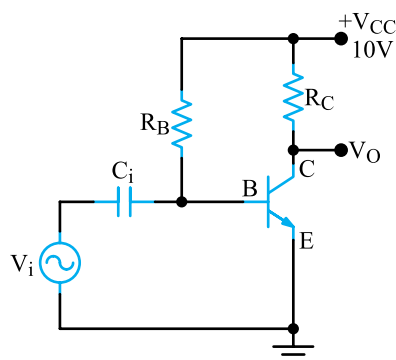
$$V_{BE} = \text{ولتاژ بیس آمیتر در نقطه کار DC}$$

$$V_{be} = \text{ولتاژ لحظه‌ای بیس آمیتر}$$

در لحظه t_0 ولتاژ متناوب ورودی برابر صفر است لذا در شکل ۱-۶۹ نشان داده شده است.

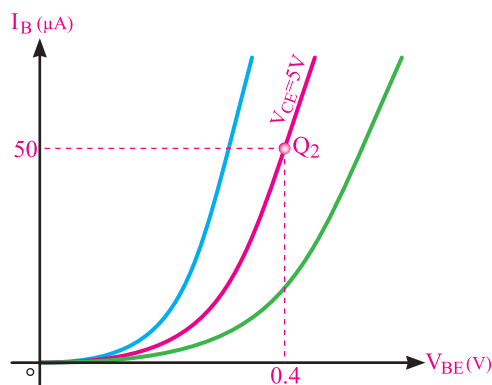
همان‌طور که می‌بینید، در نیم سیکل مثبت، زمانی که ولتاژ ورودی اضافه می‌شود (۱) دامنه سیگنال خروجی (V_{CE}) کاهش می‌یابد. لذا بین سیگنال ورودی و خروجی یک اختلاف فاز 180° درجه به وجود می‌آید. برای بررسی دقیق چگونگی تقویت، بحث را با یک مثال عددی پی می‌گیریم.

مثال ۱-۱۶: به مدار تقویت کننده شکل ۱-۶۷ توجه کنید. در این مدار می‌خواهیم چگونگی تقویت کنندگی را نشان دهیم.



شکل ۱-۶۷- مدار تقویت کننده

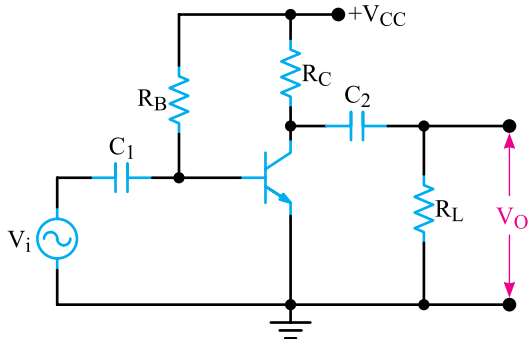
فرض کنید مقادیر R_C و R_B طوری انتخاب شده باشند که نقطه کار ترانزیستور در روی منحنی مشخصه ورودی شکل ۱-۶۸ در نقطه Q_2 قرار گرفته باشد.



شکل ۱-۶۸- منحنی مشخصه ورودی

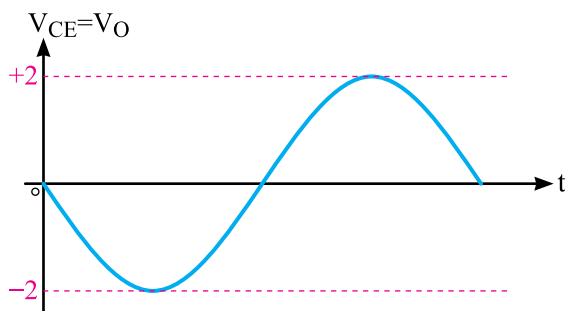
مختصات نقطه کار Q_2 در روی منحنی مشخصه خروجی در شکل ۱-۶۹ نشان داده شده است.

برای جدا کردن مؤلفه ac از مؤلفه DC از یک خازن مطابق شکل ۱-۷۲ در خروجی مدار استفاده می‌کنیم (خازن C_2) و بار (بلندگو و غیره) را توسط این خازن به کلکتور وصل می‌کنیم. خازن‌های C_1 و C_2 را خازن‌های کوپلاژ می‌نامند.



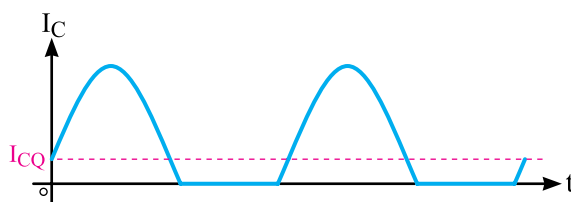
شکل ۱-۷۲ مدار یک تقویت‌کننده با خازن‌های کوپلاژ

شکل ۱-۷۳ سیگنال متناوب تقویت شده خروجی را که مؤلفه DC آن توسط خازن کوپلاژ C_2 حذف شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷۳ سیگنال متناوب خروجی بدون مؤلفه DC

اگر نقطه کار DC در محل مناسب انتخاب نشود، در شکل جریان کلکتور و ولتاژ خروجی تغییر نامطلوب (اعوجاج) ایجاد می‌شود. شکل‌های ۱-۷۴ و ۱-۷۵ تغییر شکل ناشی از تغذیه ناکافی و بیش از اندازه را روی جریان کلکتور نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷۴ اعوجاج ناشی از تغذیه ناکافی

لحظه t_1 دامنه ولتاژ متناوب سینوسی برابر 1° ولت است لذا $V_{be} = 0/1 + 0/4 = 0/5 \text{ V}$ با افزایش V_{be} ، I_B افزایش یافته و نقطه کار از Q_1 به نقطه Q_2 انتقال می‌یابد. در لحظه t_1 ، $V_i = 0$ و $V_{be} = 0/4$ و نقطه کار به Q_2 برمی‌گردد. در لحظه t_2 ، $V_i = -0/1 \text{ V}$ و $V_{be} = -0/1 + 0/4 = 0/3 \text{ V}$ می‌شود و با کم شدن V_{be} ، I_B کاهش یافته و نقطه کار از Q_2 به Q_1 تغییر می‌یابد.

در لحظات t_1 و t_2 که نقطه کار تغییر می‌کند، نقطه کار جدید را به دست می‌آوریم.

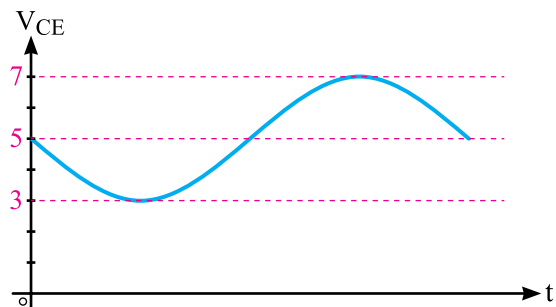
نتیجه چنین است:

$$Q_{t1} \begin{cases} V_{be} = 0/5 \text{ V} \\ I_B = 6^\circ \mu\text{A} \\ I_C = 6 \text{ mA} \\ V_{CE} = 3 \text{ V} \end{cases} \quad Q_{t2} \begin{cases} V_{be} = 0/3 \text{ V} \\ I_B = 4^\circ \mu\text{A} \\ I_C = 4 \text{ mA} \\ V_{CE} = 7 \text{ V} \end{cases}$$

بنابراین، با اعمال ولتاژ به ورودی، نقطه کار بین Q_1 و Q_2 نوسان می‌کند. به عبارت دیگر، ولتاژی با دامنه نوسان حداکثر $0/2$ ولت به ورودی داده شده است و ولتاژی با دامنه نوسان حداکثر 4 ولت در خروجی ظاهر شده که بیانگر عمل تقویت‌کنندگی است.

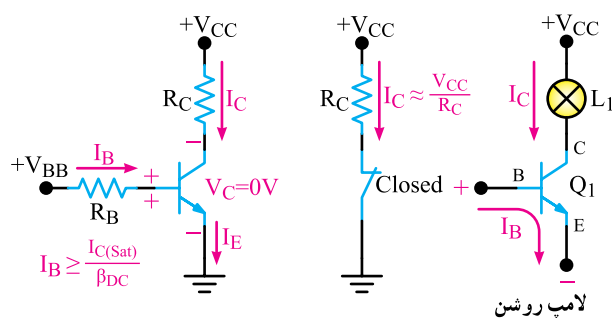
همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، سیگنال ورودی را می‌توان به بیس و امپدانس و خروجی را از کلکتور و امپدانس گرفت. هدف از به کارگیری خازن C_1 در مدار ورودی، جلوگیری از عبور جریان DC از منبع متناوب است زیرا در این صورت، نقطه کار ترانزیستور به هم می‌خورد.

گفتیم که خروجی را می‌توان از کلکتور امپدانس ترانزیستور گرفت، اما توجه داشته باشید که این ولتاژ دارای دو مؤلفه ac و DC، مطابق شکل ۱-۷۱ است.



شکل ۱-۷۱ سیگنال خروجی بدون خازن C_2

با وصل یک ولتاژ مثبت به بیس و قرار دادن ترانزیستور در ناحیه اشباع مانند شکل ۱-۷۷ جریان در پیوند بیس امیتر برقرار می‌شود (اتصال مذکور در بایاس موافق است)، مقاومت بین کلکتور و امیتر بسیار کم می‌شود و جریان نسبتاً زیادی از مدار عبور می‌کند. در این حالت، مدار مانند یک کلید بسته عمل خواهد کرد و لامپ روشن خواهد شد. هنگامی که ولتاژ موافق را از ترانزیستور قطع کنیم، مقاومت بین کلکتور و امیتر فوق‌العاده زیاد می‌شود و چون جریانی از مدار عبور نمی‌کند، لامپ خاموش خواهد شد. ترانزیستور می‌تواند مقدار شدت جریان داده شده به مصرف‌کننده را در محدوده وسیعی بین دو حالت قطع و وصل تغییر دهد و به همین دلیل، بر کلیدهای مکانیکی یا الکترومغناطیسی برتری دارد.



شکل ۱-۷۷ ترانزیستور به عنوان کلید بسته

۱-۱۲ الگوی پرسش کامل کردنی

- ۱-۱۲-۱ منحنی تغییرات V_{BE} ، I_B به ازای یک ولتاژ معین از منحنی مشخصه نام دارد.
- ۱-۱۲-۲ اگر نقطه کار ترانزیستور در و در باشد ترانزیستور مانند یک کلید عمل می‌کند.

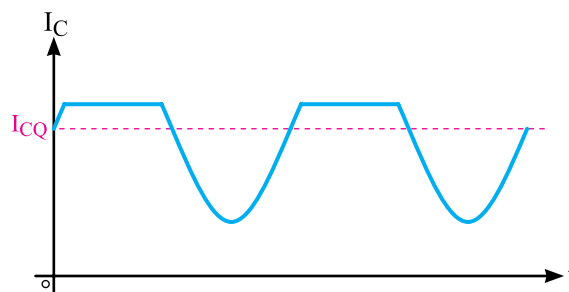
صحیح یا غلط

۱-۱۲-۳ هدایت انتقالی ترانزیستور از رابطه

$$g_m = \frac{I_C}{26\text{mV}} = \frac{I_E}{26\text{mV}}$$

به دست می‌آید.

□ غلط □ صحیح

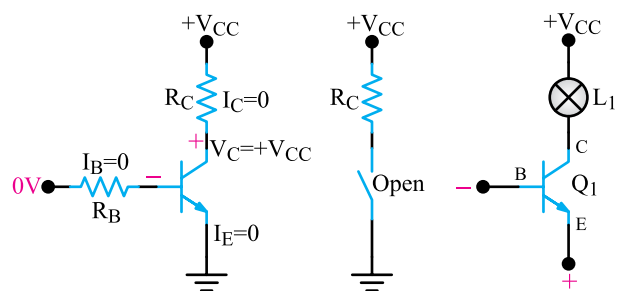


شکل ۱-۷۵ اعوجاج ناشی از تغذیه بیش از اندازه

۱-۱۱ عمل کلیدزنی (سوئیچینگ) ترانزیستور

همان‌طور که می‌دانید، هر کلیدی دارای دو وضعیت قطع و وصل است. وقتی که کلید قطع (خاموش) است، مقاومت الکتریکی بسیار زیادی دارد، اما وقتی که وصل (روشن) است، دارای مقاومت فوق‌العاده کمی است. برای تغییر دادن وضعیت یک کلید معمولی انرژی مکانیکی مورد نیاز است.

رله کلیدی است که برای تغییر وضعیت خود از انرژی الکترومغناطیس استفاده می‌کند. کلید و رله که دارای ویژگی‌های گفته شده هستند، اشکالاتی نیز دارند که از آن جمله می‌توان ایجاد قوس الکتریکی بین اتصال‌ها، خمیدگی اتصال‌ها، فرسودگی قسمت‌های متحرک و کندی کار آن‌ها را نام برد. با به کار گرفتن ترانزیستورها به عنوان کلید می‌توان اشکالات فوق را از میان برداشت. ترانزیستور معمولی را می‌توان به عنوان کلید به کار برد. با بررسی مدار شکل ۱-۷۶ می‌بینیم که مقاومت بین کلکتور و امیتر تابعی از جریان موافقی است که از پیوند بیس امیتر عبور می‌کند. وقتی از این پیوند جریانی عبور نمی‌کند (ولتاژ مخالف)، مقاومت بین کلکتور و امیتر بسیار زیاد است. در این حالت، ترانزیستور مانند یک کلید باز عمل می‌کند و مانع عبور جریان می‌شود؛ بنابراین، لامپ خاموش می‌ماند.



شکل ۱-۷۶ ترانزیستور به عنوان کلید باز

۴-۱۲-۱- مقاومت خروجی یک تقویت کننده ترانزیستوری

از رابطه :

$$R_O = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \Big|_{I_B} \text{ ثابت}$$

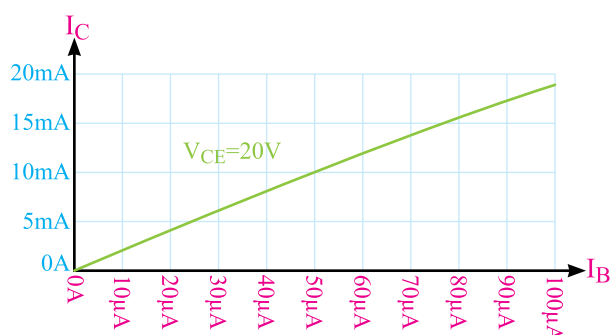
به دست می آید.

صحيح □ غلط □

چهار گزینه ای

۵-۱۲-۱- از روی منحنی مشخصه شکل ۱-۷۸ کدام

کمیت ترانزیستور را می توان به دست آورد؟



شکل ۱-۷۸

۱- AI (بهره جریان تقویت کننده)

۲- β_{DC} (بهره جریان استاتیکی)

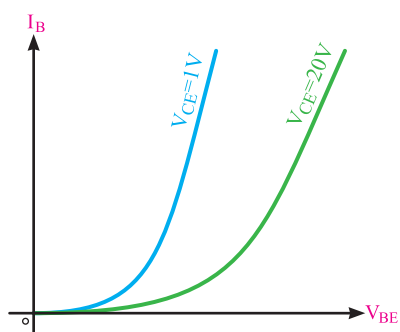
۳- R_i (مقاومت ورودی تقویت کننده)

۴- AV (بهره ولتاژ تقویت کننده)

۶-۱۲-۱- در منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور در

شکل ۱-۷۹ اگر V_{BE} ثابت باشد، با افزایش V_{CE} ، کدام گزینه

صحيح است؟



شکل ۱-۷۹

۱- I_B زیاد می شود.

۲- I_B کم می شود.

۳- I_B ثابت می ماند.

۴- I_C زیاد می شود.

محاسباتی

۷-۱۲-۱- با توجه به جدول ۱-۱ در نقطه A مقاومت

استاتیکی و از نقطه B تا C مقاومت دینامیکی دبودیس امیتر

ترانزیستور را به دست آورید.

جدول ۱-۱

نقطه	V_{BE} (ولت)	I_B (میکرو آمپر)
A	۰/۵	۲۰۰
B	۰/۶	۳۰۰
C	۰/۷	۴۰۰

۸-۱۲-۱- اگر I_{CQ} در یک تقویت کننده ترانزیستوری

۵mA باشد هدایت انتقالی ترانزیستور را محاسبه کنید. (در دمای

محیط)