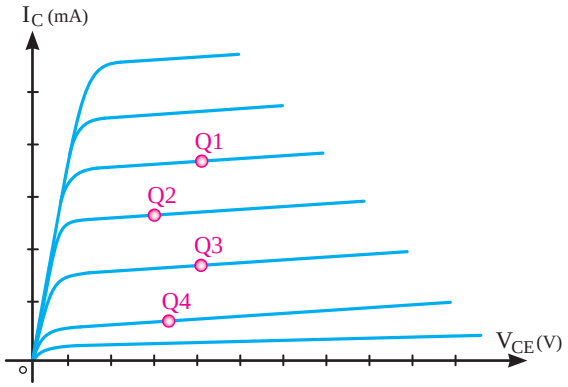
۲-۱۱-۵ خط بار: بر روی منحنی مشخصّه‌ی خروجی ترانزیستور، می‌توان نقاط زیادی را به عنوان نقطه‌ی کار انتخاب نمود. شکل ۴۱-۵ نقاط کار مختلفی را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور نشان می‌دهد.



شکل ۴۱-۵ بر روی منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور، نقاط زیادی را می‌توان به عنوان نقطه‌ی کار انتخاب کرد

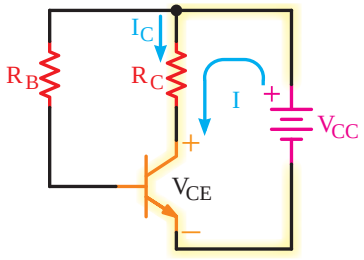
این نقاط کار روی خط راست قرار ندارند و با تغییر ولتاژ منبع یا R_B و یا R_C به دست آمده‌اند. اگر چند نقطه‌ی کار را به صورتی پیدا کنیم که در آن‌ها ولتاژ منبع تغذیه و مقاومت R_C ثابت مانده باشد، ملاحظه خواهیم کرد که نقاط مذکور روی یک خط مستقیم قرار خواهند گرفت، که به آن خط بار ترانزیستور می‌گویند. به تعبیر دیگر خط بار مکان هندسی نقاط کار مختلف است که در آن نقاط، مقادیر V_{CC} و R_C ثابت بماند.

۳-۱۱-۵ معادله‌ی خط بار و نحوه‌ی رسم آن:

برای رسم خط بار ابتدا باید معادله آن را نوشت. برای این منظور، با توجه به جهت جریان و جهت گردش در حلقه‌ی خروجی از یک نقطه (مثلاً قطب منفی منبع تغذیه) در مدار شکل ۴۲-۵ معادله‌ی KVL را می‌نویسیم. به این طریق:

معادله‌ی خط بار

$$-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$



شکل ۴۲-۵ تقویت کننده ترانزیستوری

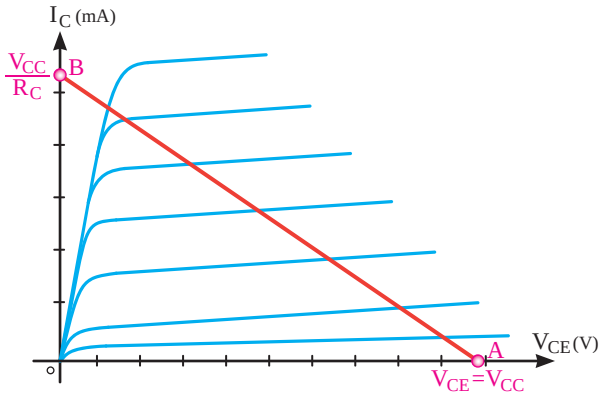
در معادله‌ی فوق R_C و V_{CC} ثابت ولی I_C و V_{CE} متغیر هستند. لذا برای به دست آوردن حداقل دو نقطه از خط بار، یک بار I_C را برابر صفر فرض می‌کنیم و در معادله‌ی خروجی قرار می‌دهیم و V_{CE} را به دست می‌آوریم (نقطه A) و بار دیگر V_{CE} را برابر صفر فرض می‌کنیم و در معادله‌ی خروجی قرار می‌دهیم و I_C را به دست می‌آوریم (نقطه B)، سپس نقاط A و B را به هم وصل می‌کنیم تا خط بار به دست آید. در شکل ۴۳-۵، خط بار را که روی منحنی مشخصه‌ی خروجی رسم شده است، مشاهده می‌کنید.

نقطه‌ی A

$$\begin{cases} I_C = ۰ \\ -V_{CC} + ۰ \times R_C + V_{CE} = ۰ \\ V_{CE} = V_{CC} \end{cases}$$

نقطه‌ی B

$$\begin{cases} V_{CE} = ۰ \\ -V_{CC} + I_C R_C + ۰ = ۰ \\ I_C = \dfrac{V_{CC}}{R_C} \end{cases}$$



شکل ۴۳-۵ نحوه‌ی ترسیم خط بار

مثال ۱-۵، در صورتی که در مدار شکل ۴۲-۵، $V_{CC}=۶V$ $R_C=۱K\Omega$ باشد، خط بار آن را روی منحنی مشخصه‌ی شکل ۴۴-۵ رسم کنید.

حل: ابتدا معادله‌ی KVL حلقه‌ی خروجی را می‌نویسیم. برای نقطه A با فرض $I_C=۰$، مقدار V_{CE} را به دست می‌آوریم. برای نقطه‌ی B با توجه به معادله‌ی KVL حلقه‌ی خروجی و فرض $V_{CE}=۰$ مقدار I_C را به دست می‌آوریم.

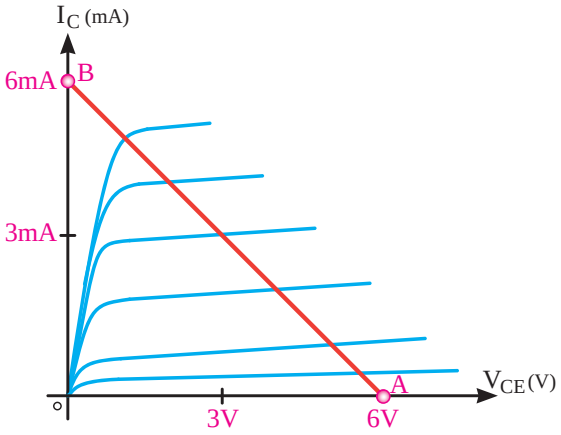
اکنون مقادیر محاسبه شده برای A و B را روی منحنی مشخصه‌ی خروجی شکل ۴۴-۵ جدا می‌کنیم. با اتصال A و B خط بار خواسته شده به دست می‌آید.

نقطه‌ی A

$$-V_{CC}+I_CR_C+V_{CE}=۰$$
$$I_C=۰$$
$$-۶+۱K\Omega\times۰+V_{CE}=۰$$
$$V_{CE}=۶V$$

نقطه‌ی B

$$-V_{CC}+I_CR_C+V_{CE}=۰$$
$$V_{CE}=۰$$
$$-۶+۱K\Omega\times I_C+۰=۰$$
$$I_C=\frac{۶V}{۱K\Omega}=۶mA$$



شکل ۴۴-۵ رسم خط بار روی منحنی مشخصه‌ی خروجی

۵-۲ الگوی پرسش

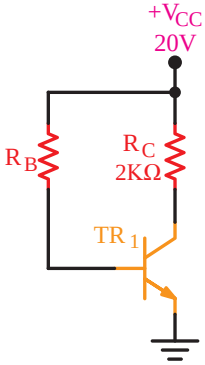
۵-۱۲-۱ نقطه‌ی کار DC را تعریف کنید.

۵-۱۲-۲ برای انتخاب نقطه‌ی کار چه محدودیت‌هایی را در ترانزیستور باید در نظر گرفت؟

۵-۱۲-۳ محل مناسب نقطه‌ی کار در روی منحنی مشخصه‌ی خروجی کجا است؟ شرح دهید.

۵-۱۲-۴ خط بار DC را تعریف کنید.

۵-۱۲-۵ با توجه به شکل ۴۵-۵

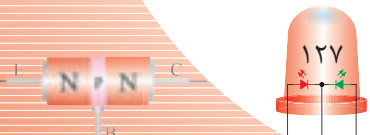


شکل ۴۵-۵ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

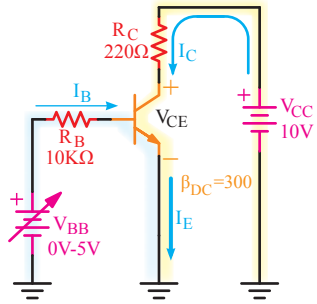
الف) معادله خط بار را بنویسید.

ب) خط بار را در محورهای مختصات رسم کنید.

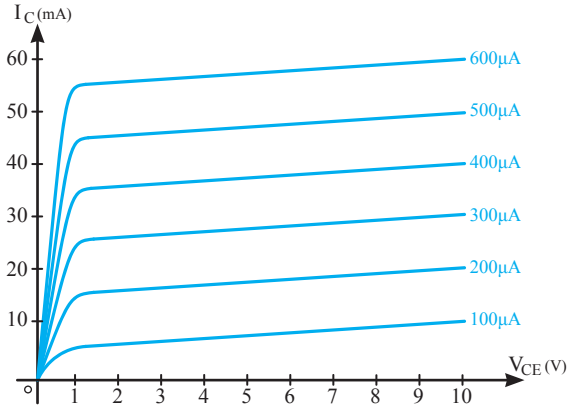
۵-۱۲-۶ با توجه به تقویت کننده‌ی شکل ۴۶-۵،



معادلـه‌ی خط بار را بنویسـید و خط بـار را روی منحنی مشـخصه‌ی خروجی شکل ۴۷-۵ رسم کنید. نقطه‌ی کار را در وسط خط بار مشخص کنید و مختصات نقطه‌ی کار را بنویسید. V_{BE} = ۰/۷ ولت است.



شکل ۴۶-۵ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری



شکل ۴۷-۵ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

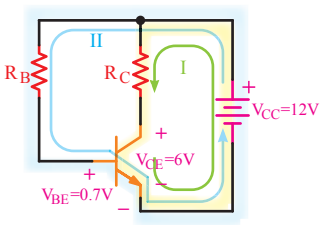
۱۳-۵ تأمیـن ولتاژهـا و جریان‌هـای مورد نیاز ترانزیستور

مقدار ولتاژی که باید به قسمت‌های مختلف ترانزیستور یا مدارات ترانزیسـتوری اعمال شـود یک اندازه نیست. مثـلاً ولتاژی که باید بین بیس و امیتـر قرار گیرد، حدود ۰/۶۵ V و مقدار ولتاژی که بین کلکتور و امیتر باید قرار گیرد حـدود نصف ولتاژ منبع تغذیه اسـت و... بنابراین، مشـاهده می‌شـود که در یک مـدار ترانزیسـتوری، به تعـداد زیادی منبع تغذیه با ولتاژهای مختلف نیاز اسـت. تأمیـن این همـه ولتاژهای مختلف از طریـق منابع تغذیه متعدد امکان‌پذیر نیسـت. بـرای تأمیـن ولتاژهای مورد نیـاز قسـمت‌های مختلف یک تقویت کننـده به کمک فقط یک منبع تغذیه، باید از تقسـیم کننده‌های مقاومتی اهمی اسـتفاده کرد. برای این منظور مقاومت‌های اهمی را با قسمت‌های مختلف تقویت کننده سری می‌کنند و با ایجاد افت ولتاژ کافی، ولتاژ و جریان‌های DC مورد نیاز را به دست می‌آورند.

لازم است یادآوری شـود که در انتخاب مقاومت‌ها، هدف‌هـای دیگری نیـز از جملـه تعیین ضریـب بهره، امپدانـس ورودی، امپدانس خروجـی و... در نظر گرفته می‌شود.

برای ایـن که دریابیم، چگونه می‌توان با مقاومت‌های اهمـی، افت ولتاژهای لازم را ایجاد نمود، به مثال سـاده زیر توجه کنید:

مثـال ۲-۵: اگـر بخواهیم مقـدار ولتـاژ V_{CE} در یک ترانزیسـتور، ۶ ولت و مقدار V_{BE} برابر ۰/۷ ولت و مقدار $I_C = ۱۰mA$ و مقدار $I_B = ۰/۱mA$ باشـد، مقدار مقاومت‌هایی را که باید با ترانزیسـتور سـری شـوند، به دسـت آورید. (مدار شـکل ۴۸-۵) ولتاژ منبع تغذیه ۱۲ ولت است.



شکل ۴۸-۵ مدار تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

حل: در مدار شکل ۴۸-۵ اگر بخواهیم $V_{CE} = ۶V$ بشود، باید مقدار ۶ ولت ولتاژ دو سر مقاومت R_C افت کند

تا جمع دو ولتاژ برابر ولتاژ منبع تغذیه بشود. بنابراین:

$$U_{RC} = ۶V$$

از آن جایی که می‌خواهیم $I_C = ۱۰mA$ بشود، و این جریان از R_C نیز عبور می‌کند لذا مقدار R_C با توجه به جریان عبوری از آن برابر:

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

طبق قانون ولتاژ کیرشهوف (KVL) می‌توان محاسبات بالا را در حلقه‌ی I شکل ۴۸-۵ به صورت زیر نوشت:

معادله‌ی KVL در حلقه‌ی خروجی: $-V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$
$-۱۲ + R_C \times ۱۰mA + ۶ = ۰$

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

هم‌چنین، طبق قانون ولتاژ کیرشهوف (KVL) می‌توانیم معادله‌ی حلقه‌ی II شکل ۴۸-۵ را بنویسیم و مقدار R_B را نیز محاسبه نماییم.

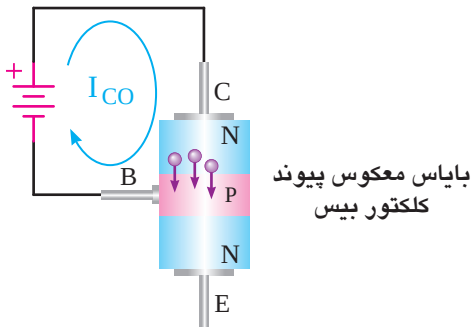
معادله‌ی KVL در حلقه‌ی ورودی: $-V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$
$-۱۲ + R_B \times ۰/۱mA + ۰/۷ = ۰$

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

بنابراین، با قرار دادن مقاومت‌های با مقادیر به دست آمده، مقدار V_{CE} و V_{BE} و I_B و I_C طبق خواسته‌ی صورت مسئله به دست می‌آید.

۵-۱۴ تأثیر درجه‌ی حرارت در ترانزیستور:

افزایش درجه‌ی حرارت، بیش‌تر بر روی جریان معکوس کلکتور بیس، نسبت به جریان‌های دیگر، اثر می‌گذارد. مطابق شکل ۴۹-۵، با توجه به این که بیس ـ کلکتور در بایاس مخالف قرار دارد، جریان بسیار ضعیفی، که عامل آن حامل‌های اقلیت (حفره‌ها) هستند، از کلکتور به طرف بیس جاری می‌شود. این جریان را جریان قطع کلکتور می‌نامند و با I_{CO} نمایش می‌دهند.



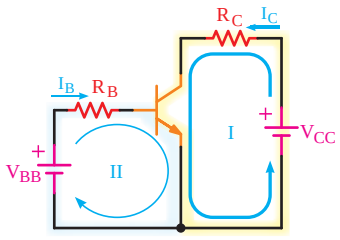
شکل ۴۹-۵ نمایش جریان I_{CO}

۵-۱۵ تغذیه‌ی ترانزیستور

از ترانزیستور، در صورتی می‌توان به صورت یک تقویت کننده استفاده کرد که ولتاژهای لازم به پایه‌های آن برسد و ترانزیستور را در حالت هدایت قرار دهد. انواع بایاسینگی (تغذیه) که ترانزیستور را در ناحیه هدایت قرار می‌دهد پنج نوع است که به شرح هر یک می‌پردازیم.

۵-۱۵-۱ بایاس با دو منبع مستقل V_{CC} و V_{BB}:

اگر بخواهیم ترانزیستور در نقطه‌ی کار Q کار کند، باید، مطابق شکل ۵۰-۵ یک منبع ولتاژ بین بیس امیتر و منبع دیگری بین کلکتور و امیتر قرار دهیم. منبع V_{BB} دیود بیس امیتر را در بایاس موافق و منبع V_{CC} دیود کلکتور بیس را در بایاس معکوس قرار می‌دهد.



شکل ۵۰-۵ تغذیه‌ی ترانزیستور با دو منبع مستقل

بـه منظور کنترل جریان بیـس از مقاومت R_B و برای کنترل جریان کلکتور از مقاومت R_C استفاده شده است.

با نوشـتن KVL در حلقه‌ی I و حلقـه‌ی II می‌توان مقدار مقاومت‌های بایاس را محاسبه نمود.

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

با نوشـتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی ورودی می‌توان R_B را محاسبه کرد.

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

مثال ۳-۵ بـرای تقویـت کننـده‌ی شـکل ۵۰-۵ مقاومت‌های بایاس R_B و R_C را طوری محاسـبه کنید که نقطه‌ی کار ترانزیستور برابر مختصات Q شود.

نقطه‌ی کار Q

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

مقادیر باتری‌ها برابر است با:

معلومات

$$V_{CC} = ۱۲V$$
$$V_{BB} = ۲V$$

حل: بـا اسـتفاده از باتری‌ها و ولتاژهـای موجود و نقطه‌ی کار Q، در حلقه‌های شماره‌ی I و II با استفاده از KVL می‌توان نوشت:

$$KVL_{(I)} \quad -V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} = ۰$$
$$-۱۲ + ۵R_C + ۶ = ۰$$
$$۵R_C = ۶ \qquad R_C = ۱/۲K\Omega$$

با نوشـتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی ورودی می‌توان R_B را محاسبه نمود.

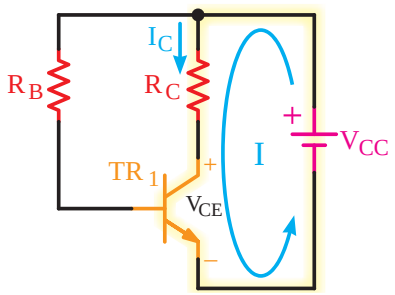
$$KVL_{(II)} \quad -V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} = ۰$$
$$-۲ + ۰/۱R_B + ۰/۷ = ۰$$
$$+۰/۱R_B = ۱/۳ \qquad R_B = ۱۳K\Omega$$

توجه داشـته باشـید، اگر جریان بر حسـب میلی‌آمپر و ولتاژ بر حسـب ولت باشـد، مقدار مقاومت، بر حسب کیلواهم به دست می‌آید.

۵-۱۵-۲ بایاس با یک منبع ولتاژ

● بایـاس بیس با یک منبع ولتـاژ (Base Bias):

برای صرفه‌جویـی به جای دو باتری تنهـا از یک باتری V_{CC} اسـتفاده می‌کنیم. این نوع بایـاس را بایاس بیس با یک باتری می‌نامند. (شکل ۵۱-۵-الف)

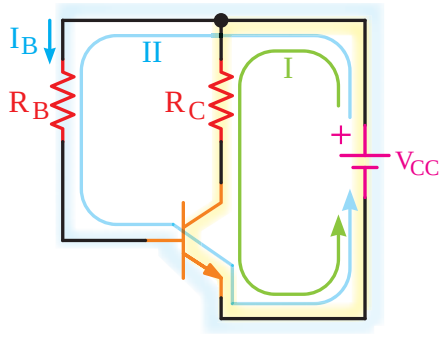


شکل ۵۱-۵- الف بایاس بیس با یک باتری

برای محاسبه R_C، معادله‌ی KVL در حلقه خروجی نوشته می‌شود.

$$KVL(I) \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

برای محاسبه‌ی R_B معادله‌ی KVL را در حلقه‌ی II می‌نویسیم. (شکل ۵۱-۵-ب)



شکل ۵۱-۵- ب تغذیه‌ی بیس با استفاده از یک باتری

$$KVL(II) \Rightarrow -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$
$$R_B I_B = V_{CC} - V_{BE}$$
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

مثال ۴-۵: برای نقطه‌ی کار Q با مختصات:

$$Q \begin{cases} I_B = ۰/۱ mA \\ I_C = ۵ mA \\ V_{CE} = ۶ V \\ V_{BE} = ۰/۷ \end{cases}$$

و با معلوم بودن مقدار V_{CC} برابر ۱۲ ولت، مقاومت‌های بایاس R_C و R_B را در تقویت کننده‌ی شکل ۵۱-۵ محاسبه کنید.

حل:

معادله‌ی KVL در حلقه‌ی خروجی

$$KVL \quad (I) \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_C + V_{CE} = ۰$$

محاسبه‌ی R_C

$$-۱۲ + ۵R_C + ۶ = ۰$$
$$R_C = \frac{۱۲-۶}{۵} = \frac{۶}{۵} = ۱/۲ K\Omega$$

مشاهده می‌شود محاسبه R_C با مدار با دو باتری هیچ تفاوتی ندارد.

معادله‌ی KVL در حلقه‌ی ورودی

$$KVL \quad (II) \Rightarrow -V_{CC} + R_B I_B + V_{BE} = ۰$$
$$-۱۲ + R_B \times ۰/۱ + ۰/۷ = ۰$$

محاسبه‌ی R_B

$$۰/۱ R_B = ۱۲ - ۰/۷ = ۱۱/۳$$
$$R_B = \frac{۱۱/۳}{۰/۱} = ۱۱۳ K\Omega$$

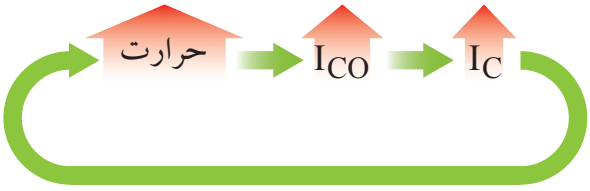
با استفاده از یک باتری، مقدار $R_C = ۱/۲ K\Omega$ و $R_B = ۱۱۳ K\Omega$ به دست آمد که ظاهراً خواسته‌ی ما را از لحاظ بایاس تأمین می‌کند، ولی باید توجه داشت که در این مدار در اثر حرارت، جریان ناخواسته‌ی I_{CO} (جریان نشتی) در ترانزیستور به وجود می‌آید. جریان نشتی در حرارت‌های کم ناچیز است و از آن صرف نظر می‌شود، ولی در حرارت‌های بالا I_{CO} به شدت افزایش می‌یابد و به ناچار از بیس ترانزیستور عبور می‌کند. از طرفی، می‌دانیم که هر جریانی که وارد بیس شود β برابر آن از کلکتور می‌گذرد، لذا جریان نشتی که از کلکتور عبور می‌کند با جریان نشتی اولیه به علاوه‌ی جریان نشتی تقویت شده، برابر است یعنی:

$$I_{CO} + \beta I_{CO} = (1+\beta) I_{CO}$$

در نتیجه، اگر جریان I_C واقعی را بخواهیم، باید جریان نشتی را نیز به آن بیفزاییم.

$$I_C = \beta I_B + (1+\beta) I_{CO}$$

چنان‌چه برای پیش‌گیری از افزایش I_{CO}، اقدامی نشود، ترانزیستور از نقطه‌ی کار Q خارج می‌گردد و ثبات حرارتی نخواهد داشت، زیرا با افزایش درجه‌ی حرارت، I_{CO} زیاد می‌شود. زیاد شدن I_{CO} نیز حرارت اولیه را زیادتر می‌کند. حرارت بیش‌تر، مجدداً I_{CO} را افزایش می‌دهد و همین‌طور این سیکل افزایش I_{CO} و افزایش حرارت، ادامه پیدا می‌کند تا این که ترانزیستور کاملاً از نقطه‌ی کار خارج شده یا می‌سوزد.

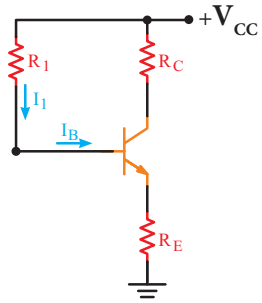


بنابراین، از این نوع بایاس باید در جاهایی که حرارت پایین و ثابت است، استفاده کرد که چون کاملاً امکان‌پذیر نیست باید چاره‌ی دیگری اندیشید.

● بایاس بافیدبک در امیتر Emitter Feedback Bias

به دلیل تأثیر حرارت در نقطه‌ی کار ترانزیستور، مقاومت R_E را در امیتر ترانزیستور قرار می‌دهند.

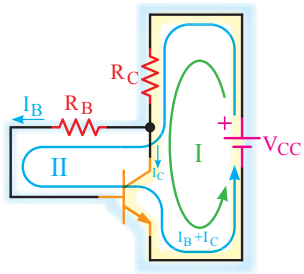
این نوع بایاس را بایاس با فیدبک در امیتر می‌گویند. (شکل ۵-۵۲)



شکل ۵-۵۲ بایاس بافیدبک در امیتر

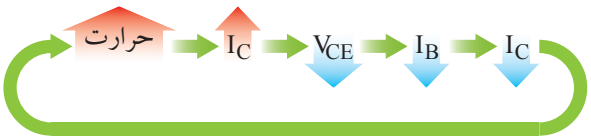
● بایاس بافیدبک از کلکتور Collector Feedback Bias

یکی از راه حل‌های مشکل فوق، قرار دادن R_B بین بیس کلکتور است که به این نوع تغذیه، بایاس بافیدبک ولتاژ هم می‌گویند. شکل ۵-۵۳ این نوع بایاس را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵۳ ترانزیستور با بایاس بافیدبک از کلکتور

این مدار، جریان کلکتور را به طور اتوماتیک کنترل می‌کند و از افزایش I_{CO} جلوگیری می‌کند. زیرا همان‌گونه که از رابطه‌ی $-V_{CC} + I_E R_C + V_{CE} = 0$ پیداست چون V_{CC} و R_C ثابت هستند، لذا اگر در اثر حرارت I_C افزایش یابد، به ناچار V_{CE} کاهش می‌یابد. با کاهش V_{CE} طبق رابطه‌ی $-V_{CE} + I_B R_B + V_{BE} = 0$ چون V_{BE} و R_B ثابت هستند I_B کاهش می‌یابد. بدیهی است که کاهش I_B کاهش I_C را نیز به دنبال دارد. بنابراین مدار به طور اتوماتیک، جریان I_C را در مقابل حرارت ثابت نگه می‌دارد. مطالب فوق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:



محاسبه‌ی مقاومت‌های بایاس R_C و R_B: برای محاسبه‌ی مقاومت بایاس R_C معادله‌ی KVL را در حلقه‌ی I می‌نویسیم.

$$KVL\ \ I \Rightarrow -V_{CC} + (I_C + I_B)R_C + V_{CE} = 0$$
$$R_C I_E = V_{CC} - V_{CE}$$
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_E}$$

با نوشتن معادله‌ی KVL در حلقه‌ی II، محاسبه R_B می‌شود.

$$KVL(II) \Rightarrow -V_{CC} + R_C I_E + R_B I_B + V_{BE} = 0$$
$$R_B I_B = V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E$$
$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - R_C I_E}{R_B}$$

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

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}, R_B I_B = V_{CB}$$
$$R_B = \frac{V_{CB}}{I_B}$$

مثال ۵-۵: برای نقطه‌ی کار

$$Q\begin{cases} I_B = 0/1\text{mA} \\ I_C = 5\text{mA} \\ V_{CE} = 6\text{V}, V_{BE} = 0/7\text{V} \end{cases}$$

و با معلوم بودن مقدار V_{CC}=۱۲ ولت مقادیر R_C و R_B را برای مدار شکل ۵-۵۳ محاسبه کنید.

حل:

محاسبه‌ی جریان امیتر

$$I_E = I_C + I_B$$
$$I_E = 5 + 0/1 = 5/1\text{mA}$$

معادله‌ی KVL در حلقه‌ی خروجی

$$-V_{CC} + R_C I_E + V_{CE} = 0$$
$$R_C(5/1) = 12 - 6$$

محاسبه‌ی R_C

$$R_C = \frac{6}{5/1} = 1/176\text{K}\Omega$$

محاسبه‌ی V_{CB}

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$
$$V_{CB} = 6 - 0/7 = 5/3\text{V}$$

محاسبه‌ی R_B

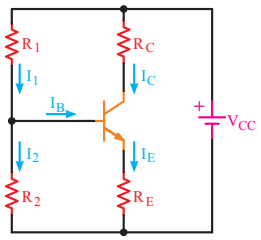
$$R_B I_B = V_{CB}$$
$$R_B = \frac{5/3}{0/1} = 53\text{K}\Omega$$

۵-۱۵-۳ بایاس با مدار تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی: Voltage divider Bias

روش بهتر بایاس و ثبات حرارتی، بایاس با مدار تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی است که به آن بایاس سرخود نیز می‌گویند. در این روش (مطابق شکل ۵-۵۴) یک مقاومت (R_E) سر راه امیتر قرار می‌گیرد و بیس، توسط دو مقاومت (R_1 و R_2) به صورت مقسم ولتاژ، تغذیه می‌شود.

مقاومت‌های R_E، R_C، R_1 و R_2 را با استفاده از KVL و مفروضاتی که از تجربه به دست آمده است و با معلومات داده شده محاسبه می‌نمایند. در این جا

از محاسبات مقاومت‌های بایاس R_E، R_C، R_1 و R_2 صرف‌نظر می‌شود، در مورد محاسبه این مقاومت‌ها در آینده به تفصیل بحث خواهد شد.

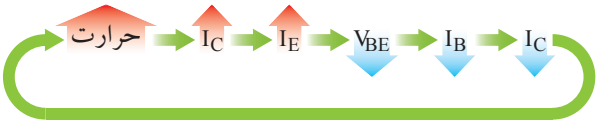


شکل ۵-۵۴ ترانزیستور با بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی یا سرخود

در این مدار نیز جریان کلکتور به طور خودکار، کنترل می‌شود، زیرا داریم:

$$V_{R_2} = V_{BE} \downarrow + I_E \quad \begin{matrix} \text{ثابت} \\ R_E \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{ثابت} \\ \end{matrix}$$

چون R_E و V_{R_2} مقادیر ثابتی هستند با افزایش I_E، $(I_B + I_C)$، به ناچار V_{BE} کاهش می‌یابد. کاهش V_{BE}، کاهش I_B را نیز به دنبال دارد، در نتیجه با کاهش I_B جریان کلکتور (I_C) کاسته می‌شود. سیکل خلاصه شده‌ی مطالب فوق، به صورت زیر است:

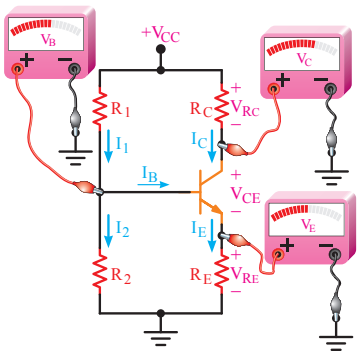


اجرای کار نرم افزاری

یک نمونه مدار بایاس را با نرم افزار شبیه سازی کنید و برای هنرجویان نمایش دهید.

۵-۱۵-۴ نحوه‌ی محاسبه جریان‌ها و ولتاژها در ترانزیستور:

در شکل ۵-۵۵ جریان پایه‌ها و ولتاژ پایه‌های ترانزیستور در بایاس سرخود نشان داده شده است. با معلوم بودن مقادیر مقاومت‌ها می‌توان به طریق زیر ولتاژ پایه‌ها و جریان پایه‌ها را محاسبه نمود.



شکل ۵-۵۵ مدار بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی

چنان‌چه از I_B در مقابل I_2 صرف‌نظر شود مقاومت‌های R_1 و R_2 را به صورت سری در نظر می‌گیریم، لذا می‌توانیم بنویسیم:

$$V_B = V_{R_2} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$

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

جریانی که از پایه‌ی امیتر ترانزیستور خارج می‌شود برابر است با:

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

با کمی تقریب می‌توان نوشت

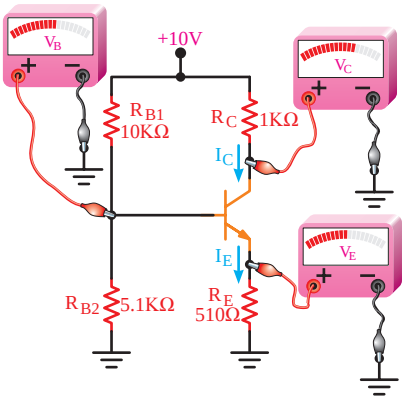
$$I_C \cong I_E$$

با معلوم بودن I_C ولتاژ کلکتور ترانزیستور یعنی V_C از رابطه‌ی

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

محاسبه می‌شود.

مثال ۶-۵: در مدار شکل ۵-۵۶ مقادیر V_B، V_E، V_C و I_C را محاسبه کنید. $V_{BE} = ۰/۷$ ولت است.



شکل ۵-۵۶ تقویت کننده به صورت بایاس تقسیم کننده ولتاژ مقاومتی

حل:

محاسبه‌ی V_B

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

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

محاسبه‌ی V_E

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

$$V_E = ۳/۳۷ - ۰/۷ = ۲/۶۷V$$

محاسبه‌ی I_E

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

$$I_E = ۵/۲۳mA$$

$$I_C = I_E = ۵/۲۳mA$$

محاسبه‌ی V_C

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

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

۵-۱۶ الگوی پرسش

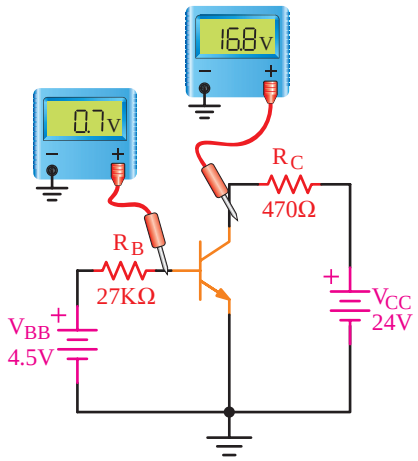
۵-۱۶-۱ مـدار بایاس با اسـتفاده از دو باتری و یک باتری را رسم کنید.

۵-۱۶-۲ عیب بایاس با دو منبع مستقل راتوضیح دهید.

۵-۱۶-۳ چگونـه بایـاس بافیدبـک از کلکتور، اثر جریان I_{CO} را روی جریان کلکتور کنترل می‌کند؟ شرح دهید.

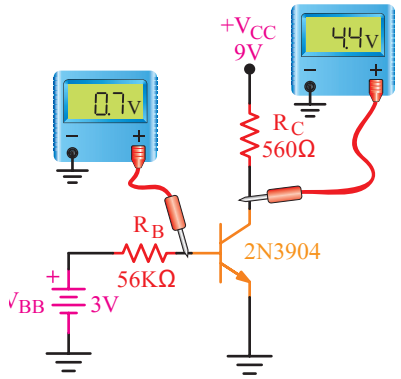
۵-۱۶-۴ چگونه جریان کلکتور در بایاس با تقسـیم کننـده ولتاژ مقاومتـی به طور خودکار کنترل می‌شـود. توضیح دهید.

۵-۱۶-۵ بـا توجه به شـکل ۵-۵۷ β_{DC} را محاسـبه کنید.



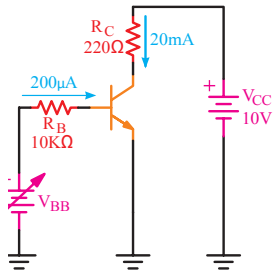
شکل ۵-۵۷ تقویت کننده ترانزیستوری و ولتاژ پایه‌های آن

۵-۱۶-۶ بـا توجه به شـکل ۵-۵۸، I_B و I_C و β_{DC} ترانزیستور را محاسبه کنید.



شکل ۵-۵۸ تقویت کننده ترانزیستوری و ولتاژ پایه‌های آن

۵-۱۶-۷ با توجه به شکل ۵۹-۵:



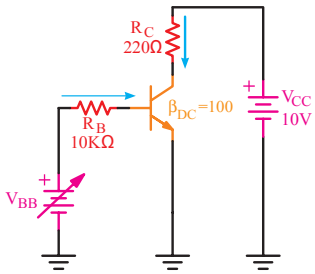
شکل ۵۹-۵ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

الف) مقدار β_{DC} چه‌قدر است؟

ب) V_{CE} را محاسبه کنید.

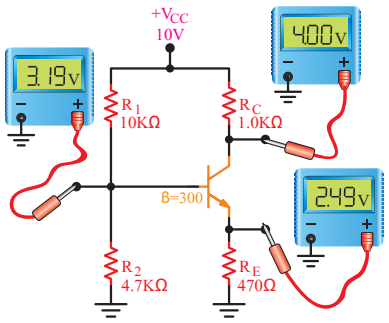
ج) مقدار منبع ولتاژ V_{BB} چه‌قدر است؟ مقدار V_{BE} برابر ۰/۷ ولت است.

۵-۱۶-۸ اگر V_{BB} = ۴/۷ ولت و V_{BE} = ۰/۷ ولت باشد I_B و I_C و V_{CE} را محاسبه کنید. (شکل ۶۰-۵)



شکل ۶۰-۵ تقویت کننده‌ی ترانزیستوری

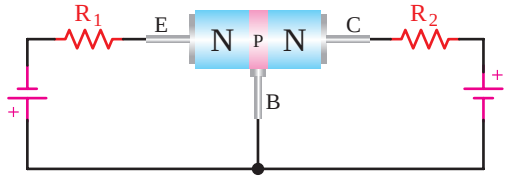
۵-۱۶-۹ آیا مقادیری را که ولت‌مترهای شکل ۶۱-۵ نشان می‌دهند صحیح است؟ V_{BE} برابر ۰/۷ ولت است. ولتاژ نقاط مشخص شده را محاسبه کنید.



شکل ۶۱-۵ تقویت کننده به صورت بایاس تقسیم کننده‌ی ولتاژ مقاومتی و ولتاژ پایه‌های آن

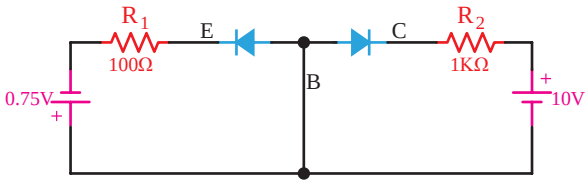
۵-۱۷ چگونگی عمل تقویت کنندگی در ترانزیستور

برای تقویت یک سیگنال الکتریکی توسط ترانزیستور، باید سیگنال را به ورودی ترانزیستور داد و از خروجی آن، سیگنال تقویت شده را دریافت نمود، در شکل ۶۲-۵، پایه‌ی بیس پایه‌ی مشترک بین ورودی و خروجی وامیتر - بیس ورودی ترانزیستور و کلکتور - بیس خروجی آن در نظر گرفته شده است. اتصال بیس - امیتر در بایاس مستقیم و اتصال بیس - کلکتور در بایاس معکوس است.



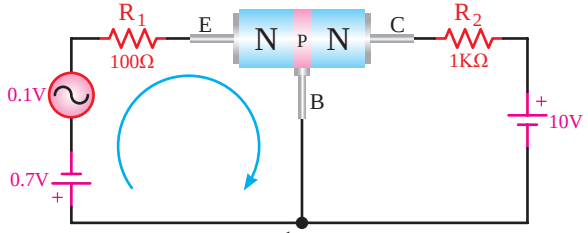
شکل ۶۲-۵ ترانزیستور بایاس شده

نظر به این که اتصال بیس - امیتر در بایاس مستقیم است، مقاومت آن کم است و اتصال بیس - کلکتور در بایاس معکوس و در نتیجه مقاومت آن زیاد است. حال یک مقاومت، مثلاً ۱۰۰ اهم، را جهت کنترل جریان در ورودی ترانزیستور با اتصال بیس - امیتر سری می‌نماییم. از آن‌جایی که اتصال کلکتور - بیس در بایاس معکوس است، سری کردن یک مقاومت زیاد، مثلاً ۱ کیلو اهم، اثر چندانی روی ترانزیستور ندارد. شکل ۶۳-۵ معادل دیودی ترانزیستور را که در حالت DC بایاس شده است، نشان می‌دهد.



شکل ۶۳-۵ بایاس DC ترانزیستور

ولتـاژ بایاس امیتر ـ بیس را حدود ۰/۷ ولت (زیرا ۰/۷ ولت، دیود امیتر ـ بیس را کاملاً هادی می‌سـازد.) و ولتاژ کلکتور ـ بیس را حدود ۱۰ ولت انتخاب می‌نماییم. چون دیود کلکتور ـ بیس در بایاس معکوس اسـت، هیچ‌گونه اشـکالی در مدار بـه وجود نمـی‌آورد. (مطابق شـکل ۵-۶۴)



شکل ۵-۶۴ اتصال سیگنال متناوب به مدار

یک سـیگنال متناوب با دامنه‌ی مثـلاً ۰/۱ ولت را به ورودی ترانزیسـتور اعمال می‌کنیم. می‌خواهیم ببینیم آیا این سیگنال تقویت خواهد شد یا نه؟

اگر مقاومت دینامیکی دیـود امیتر ـ بیس را به هنگام اعمال سـیگنال، معـادل ۲۰ Ω فرض کنیـم در حلقه‌ی ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با:

$$I=\frac{۰/۱V}{۱۰۰+۲۰}=۰/۰۰۰۸۳A=۰/۸۳mA$$

همان‌گونه که بیان شد، قسـمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد. از این رو، این جریان تقریباً از مقاومت R۲=۱KΩ، که با کلکتور سـری شده است، عبور می‌کند و در دو سر مقاومت ۱K Ω افت ولتاژ متناوبی بـا دامنه‌ی $U_R=۰/۸۳mA\times۱K\Omega=۰/۸۳V$ ایجاد می‌کند. افت ولتاژ متناوب دو سـر R۲ به مراتب از ولتاژ متناوب ورودی بیش‌تر است. در نتیجه ولتاژ ورودی تقویت می‌شـود. اگر ضریب تقویت ولتاژ را با A_V نشان دهیم، رابطه و مقدار A_V برابر است با:

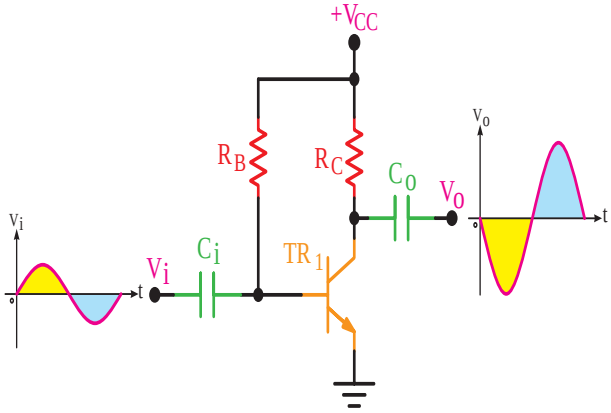
$$A_V=\frac{\text{دامنه‌ی سیگنال خروجی}}{\text{دامنه‌ی سیگنال ورودی}}=\frac{۰/۸۳}{۰/۱}=۸/۳$$

پس سـیگنال متناوب ورودی ۸/۳ مرتبه تقویت شده است. با طراحی مدارات ترانزیستوری و با تغییر مقدار مقاومت‌ها می‌توان دامنه‌ی سـیگنال خروجی را روی مقـدار مورد نظر تنظیم نمود. همان‌گونه که مشاهده شـد، جریانی که از مقاومت $R_۱$ می‌گذرد تقریبـاً همه‌ی این مقدار جریـان از مقاومت $R_۲$ هم عبور می‌کند. این عمل تنها به وسـیله‌ی ترانزیستور صورت گرفته اسـت. به این ترتیب، می‌توان گفت ترانزیسـتور عمـل انتقـال مقاومت را انجـام داده اسـت. نام ترانزیسـتور هم از همین عمـل انتخاب شـده اسـت. Transistor از ترکیب دو کلمه‌ی Transfer of Resistor انتخاب شده است.

۵-۱۷-۱ بررسـی مدار عملی یـک تقویت کننده و نحـوه‌ی تقویـت سـیگنال متناوب:

بـرای این که بتوانیـم یک سـیگنال الکتریکـی را از لحاظ دامنه یا جریـان، تقویت نماییم، باید ابتـدا تقویت کننده (AMP=Amplifier) را از نظر ولتاژ DC (یکی از انواع بایاس) تغذیه نماییم، سـپس سـیگنال را به ورودی وصـل کنیم و از خروجـی تقویت کننده، سیگنال تقویت شده را دریافت نماییم. شکل ۵-۶۵

مدار یک تقویت کننده‌ی ساده را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶۵ مدار عملی یک تقویت کننده

مختصـات نقطه‌ی DC تقویت کننـده را به صورت

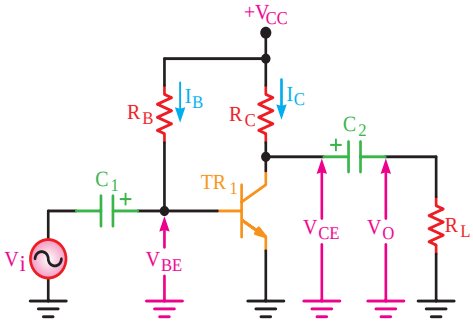
$$Q\begin{cases} V_{CE} \\ V_{BE} \\ I_C \\ I_B \end{cases}$$

در نظر می‌گیریم.

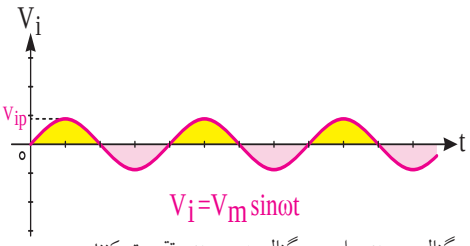
در مـدار C_i که خـازن کوپلاژ نـام دارد، مانع عبور سیگنال DC است و فقط سیگنال AC ورودی را به بیس ترانزیستور اعمال می‌کند.

Co نیز خازن کوپلاژ است و مانع عبور سیگنال DC به بار می‌شـود و فقط سیگنال AC از آن عبور می‌نماید.

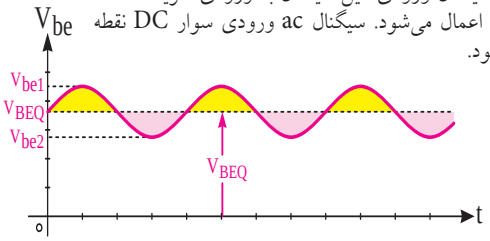
نحوه‌ی تقویت سـیگنال متناوب ورودی در شکل ۵-۶۶ الف تا چ تشریح شده است.



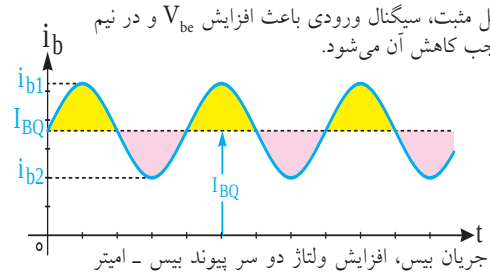
الف. یک تقویت کننده‌ی ترانزیستوری نمونه



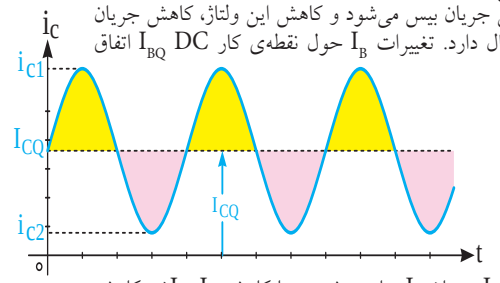
ب. شکل موج سیگنال ورودی، این سیگنال به ورودی تقویت کننده، یعنی بیس امیتر اعمال می‌شود. سیگنال ac ورودی سوار DC نقطه کار V_{BEQ} می‌شود.



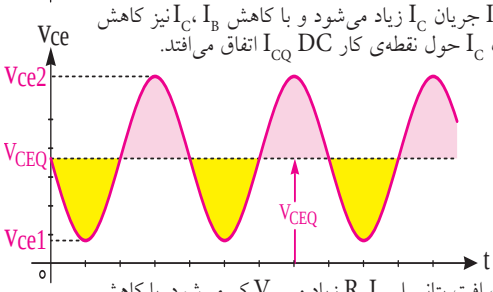
پ. در نیم سیکل مثبت، سیگنال ورودی باعث افزایش V_{be} و در نیم سیکل منفی موجب کاهش آن می‌شود.



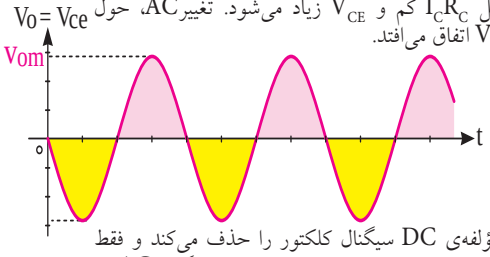
ت. شکل موج جریان بیس، افزایش ولتاژ دو سر پیوند بیس ـ امیتر موجب افزایش جریان بیس می‌شود و کاهش این ولتاژ، کاهش جریان بیس را به دنبال دارد. تغییرات I_B حول نقطه‌ی کار DC I_{BQ} اتفاق می‌افتد.



ث. با افزایش I_B جریان I_C زیاد می‌شود و با کاهش I_B، I_C نیز کاهش می‌یابد. تغییرات I_C حول نقطه‌ی کار DC I_{CQ} اتفاق می‌افتد.



ج. با افزایش I_C، افت پتانسیل R_CI_C زیاد و V_{CE} کم می‌شود. با کاهش I_C، افت پتانسیل I_CR_C کم و V_{CE} زیاد می‌شود. تغییرAC، حول نقطه‌ی کار V_{CEQ} اتفاق می‌افتد.



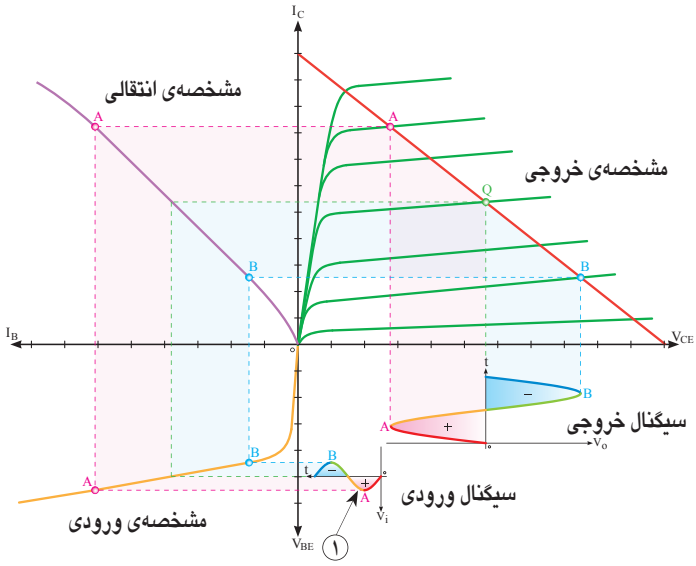
چ. خازن C_c مؤلفه‌ی DC سیگنال کلکتور را حذف می‌کند و فقط سیگنال ac به بار می‌رسد. مشاهده می‌شود تغییرات سیگنال AC در دو سر بار نسبت به سیگنال ورودی بسیار بیش‌تر است و سیگنال در خروجی تقویت شده است.

شکل ۵-۶۶ نحوه‌ی تقویت سیگنال متناوب ورودی

۵-۱۷-۲ بررسی تقویت یک سیگنال الکتریکی

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

همان‌طوری که قبلاً گفته شد، سیگنال ورودی به بیس ـ امیتر داده می‌شود. بنابراین، ولتاژ V_{BE} حول نقطه‌ی کار ورودی متغیر می‌شود. با تغییرات V_{BE}، I_B نیز تغییر می‌کند. تغییرات I_B نیز سبب تغییرات I_C می‌شود، هم‌چنین تغییرات I_C، تغییرات V_{CE} را به دنبال دارد که خروجی تقویت کننده است. شکل ۵-۶۷ مراحل تقویت را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶۷ نمایش مراحل تقویت

همان‌طور که می‌بینید، در نیم سیکل مثبت، زمانی که ولتاژ اضافه می‌شود (۱) دامنه‌ی سیگنال خروجی (V_{CE}) کاهش می‌یابد. لذا، بین سیگنال ورودی و خروجی یک اختلاف فاز ۱۸۰ درجه به وجود می‌آید.

۵-۱۸ بررسی روابط بین جریان‌ها و ولتاژها در ترانزیستور

همان‌گونه که قبلاً نیز گفته شد، بین جریان‌ها و ولتاژها در ترانزیستور روابط زیر برقرار است:

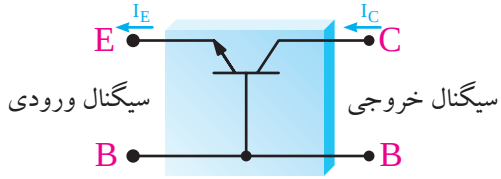
$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$
$$I_E = I_C + I_B$$

اکنون با ضرایب دیگری چون α و β و γ، که در محاسبات مدارهای ترانزیستوری استفاده می‌شوند، آشنا می‌شویم. ضرایب فوق به صورت زیر تعریف می‌شوند.

۵-۱۸-۱ α: آلفا بهره‌ی جریان در بیس مشترک نام دارد. بهره‌ی جریان یعنی نسبت جریان خروجی به جریان ورودی.

$$\text{بهره‌ی جریان} = A_I = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}}$$

شکل ۵-۶۸ آرایش ساده‌ی بیس مشترک و جریان ورودی و خروجی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۶۸ آرایش ساده‌ای از بیس مشترک

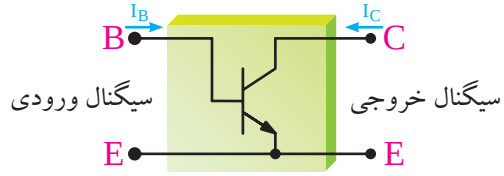
$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$ نسبت جریان کلکتور به جریان امیتر

α همواره کوچک‌تر از ۱ است. یعنی آرایش بیس مشترک جریان سیگنال ورودی را تقویت نمی‌کند.

۵-۱۸-۲ β: بتا بهره‌ی جریان در امیتر مشترک نام دارد.

نسبت جریان کلکتور به جریان بیس $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

در شکل ۵-۶۹ آرایش ساده‌ای از امیتر مشترک و جریان ورودی و خروجی آن مشخص شده است.



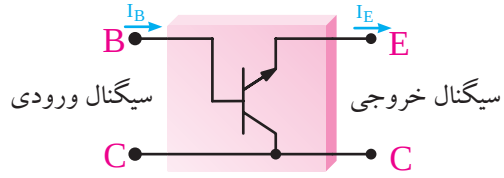
شکل ۵-۶۹ آرایش ساده امیتر مشترک

عدد β نسبتاً بزرگ است.

۵-۱۸-۳ γ: گاما بهره‌ی جریان در کلکتور مشترک نام دارد. این آرایش در شکل ۵-۷۰ نشان داده شده است.

نسبت جریان امیتر به جریان بیس $\gamma = \frac{I_E}{I_B}$

γ نیز عدد نسبتاً بزرگی است.



شکل ۵-۷۰ آرایش کلکتور مشترک

۵-۱۹ محاسبه‌ی روابط α و β و γ بر حسب یک‌دیگر

۵-۱۹-۱ محاسبه α بر حسب β و بر عکس:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

به جای I_E مساوی آن، یعنی : I_B+I_C را قرار می‌دهیم.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_C + I_B}$$

صورت و مخرج کسر حاصل را بر I_B تقسیم می‌کنیم.

$$\alpha = \frac{\frac{I_C}{I_B}}{\frac{I_C}{I_B} + \frac{I_B}{I_B}}$$

قبلاً $\frac{I_C}{I_B}$ به صورت β تعریف شده است، بنابراین

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + ۱} \qquad (۱)$$

رابطه‌ی β بر حسب α نیز چنین است. چرا؟

$$\beta = \frac{\alpha}{۱ - \alpha} \qquad (۲)$$

۵-۱۹-۲ محاسبه‌ی γ بر حسب β:

$$\gamma = \frac{I_E}{I_B} = \frac{I_C + I_B}{I_B} = \frac{I_C}{I_B} + \frac{I_B}{I_B}$$
$$\gamma = \beta + ۱ \qquad (۳)$$

۵-۱۹-۳ محاسبه‌ی α بر حسب β و γ:

با استفاده از رابطه‌ی (۱) و (۳) می‌توان نوشت:

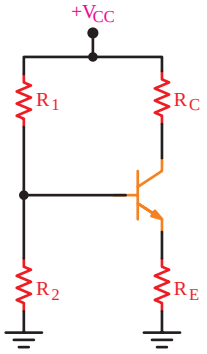
$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + ۱} = \frac{\beta}{\gamma}$$
$$\alpha = \frac{\beta}{\gamma} \qquad (۴)$$

۵-۲۰ اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده ترانزیستوری با بایاس سرخود

برای اتصال سیگنال متناوب به تقویت کننده‌ی ترانزیستوری، ابتدا باید تقویت کننده را از نظر DC در منطقه‌ی فعال بایاس کنیم.

شکل ۵-۷۱، بایاس DC ترانزیستور را به صورت سرخود نشان می‌دهد.

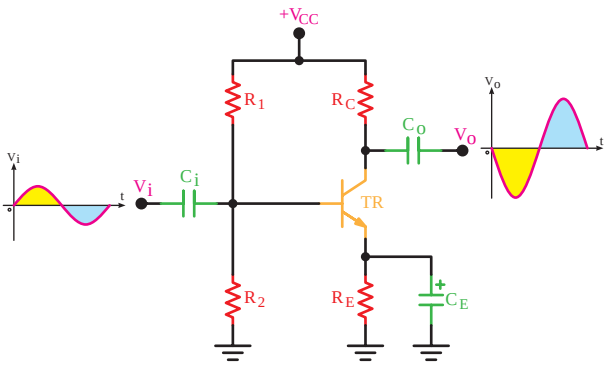
اتصال سیگنال متناوب به این تقویت کننده به سه صورت امکان‌پذیر است.



شکل ۵-۷۱ تقویت کننده به صورت بایاس سرخود

۵-۲۰-۱ آرایش امیتر مشترک: در این آرایش سیگنال متناوب ورودی را به بیس ترانزیستور اتصال می‌دهند و سیگنال تقویت شده از کلکتور دریافت می‌گردد.

پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است. شکل ۵-۷۲، این آرایش را نشان می‌دهد.

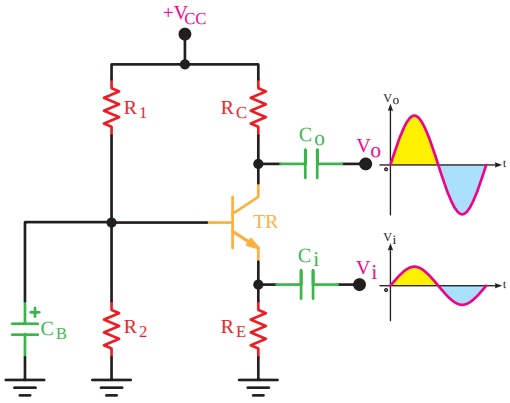


شکل ۵-۷۲ یک نمونه تقویت کننده امیتر مشترک

خازن‌های C_i و C_O خازن‌های کوپلاژ نام دارند و مانع عبور سیگنال DC می‌شوند ولی سیگنال متناوب را از خود عبور می‌دهند.

خازن C_E خازن بای پاس نام دارد. این خازن R_E را، از نظر سیگنال متناوب، اتصال کوتاه می‌کند. این آرایش، سیگنال ورودی را از نظر ولتاژ و جریان تقویت می‌نماید.

۵-۲۰-۲ آرایش بیس مشترک: در این آرایش سیگنال متناوب ورودی به امیتر اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می‌شود. پایه‌ی بیس بین ورودی و خروجی مشترک است شکل ۵-۷۳ این آرایش را نشان می‌دهد.

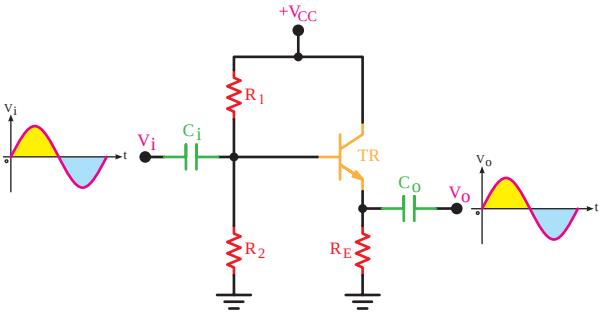


شکل ۵-۷۳ یک نمونه تقویت کننده‌ی بیس مشترک. پایه‌ی بیس از نظر سیگنال AC به زمین وصل و بین ورودی و خروجی مشترک است.

C_i و C_O خازن‌های کوپلاژ و C_B خازن بای پاس است. این آرایش سیگنال ورودی را فقط از نظر دامنه‌ی ولتاژ تقویت می‌کند.

۵-۲۰-۳ آرایش کلکتور مشترک: در این آرایش سیگنال متناوب ورودی به بیس اتصال داده می‌شود و سیگنال خروجی از امیتر دریافت می‌شود.

چون منبع تغذیه به طور ایده‌آل مقاومت داخلی ندارد لذا کلکتور از نظر سیگنال AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است. به این ترتیب پایه‌ی کلکتور پایه‌ی مشترک بین ورودی و خروجی است. شکل ۵-۷۴ این آرایش را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۷۴ یک نمونه تقویت کننده‌ی کلکتور مشترک. پایه‌ی کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک و از نظر AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است.

این آرایش، سیگنال ورودی را فقط از نظر جریان تقویت می‌کند.

سایر مشخصات این سه نوع آرایش از قبیل مقاومت ورودی، مقاومت خروجی و اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی، بهره‌ی توان و پاسخ فرکانسی با هم متفاوت هستند که در آینده راجع به آن‌ها بحث خواهد شد.

در جدول ۱-۵ بهره‌ی ولتاژ و بهره‌ی جریان این سه نوع آرایش با ترانزیستورهای مشابه و در شرایط یک‌سان بایاس با هم مقایسه شده‌اند.

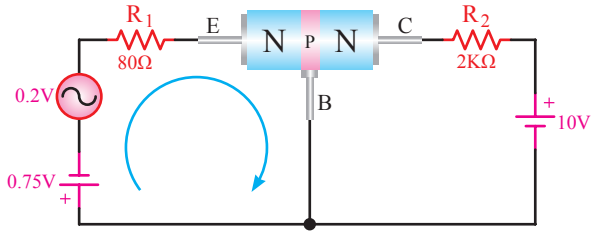
جدول ۱-۵
مقایسه‌ی برخی از مشخصات آرایش‌های ترانزیستور

نوع آرایش	بهره‌ی ولتاژ A_V	بهره‌ی جریان A_I
امیتر مشترک CE	متوسط	متوسط
بیس مشترک CB	زیاد	کم و کوچک‌تر از ۱
کلکتور مشترک CC	کم و کوچک‌تر از ۱	زیاد

توجه:
در صورتی که بخواهیم به جای ترانزیستور NPN، ترانزیستور PNP را جایگزین کنیم، کافی است جهت فلش ترانزیستور را تغییر دهیم و قطب‌های منبع تغذیه و خازن‌ها را عوض نماییم.

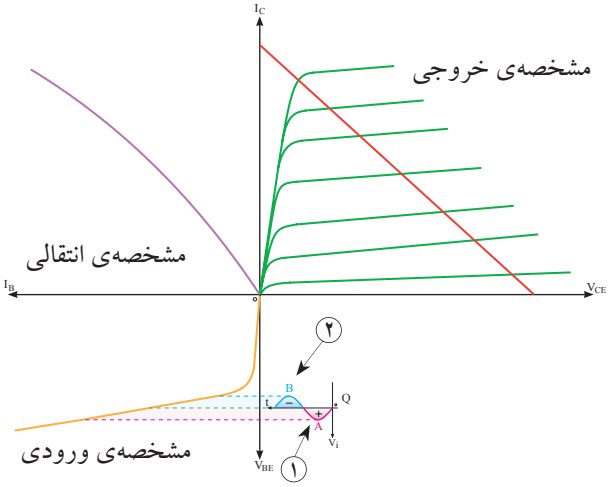
۵-۲۱ الگوی پرسش

۵-۲۱-۱ اگر مقاومت دینامیکی دیود بیس ـ امیتر به هنگام اعمال سیگنال متناوب معادل ۲۰Ω فرض شود ضریب تقویت ولتاژ مدار را محاسبه کنید. (شکل ۵-۷۵)



شکل ۵-۷۵ اعمال سیگنال متناوب به ورودی یک ترانزیستور NPN در منطقه‌ی فعال بایاس شده

۵-۲۱-۲ در شکل ۵-۷۶ اگر نقطه‌ی کار DC در نقطه‌ی Q روی منحنی مشخصه‌ی ورودی تعیین شده باشد، سپس نقطه‌ی کار از نقطه‌ی (۱) تا (۲) تغییر کند، به روش ترسیم ابتدا نقطه‌ی کار Q DC را روی مشخصه‌ی انتقالی و خروجی و روی محور V_{CE} مشخص کنید. سپس تغییرات نقطه‌ی کار را از نقطه‌ی (۱) تا (۲) روی منحنی‌ها و محور V_{CE} نمایش دهید. در این شرایط ترانزیستور در چه ناحیه‌ای کار می‌کند؟



شکل ۵-۷۶ تعیین نقطه‌ی کار روی منحنی‌های مشخصه ترانزیستور که در یک مختصات رسم شده‌اند

۵-۲۱-۳ در یک ترانزیستور نسبت $\frac{I_E}{I_B}$ برابر ۱۰۰ است، نسبت $\frac{I_C}{I_E}$ را محاسبه کنید.

۵-۲۱-۴ در یک ترانزیستور $\alpha = ۰/۹۹$ است. مقدار β و γ را محاسبه کنید.

۵-۲۱-۵ در یک ترانزیستور $\gamma = ۹$ و $I_C = ۱۰mA$ است، مقدار I_E چند میلی‌آمپر است؟

۵-۲۱-۶ یک تقویت کننده به صورت بایاس سرخود را رسم کنید. برای آرایش‌های امیتر مشترک و بیس مشترک سیگنال متناوب ورودی را به تقویت کننده اتصال دهید و خروجی تقویت کننده را برای دریافت سیگنال متناوب مشخص کنید.

۵-۲۱-۷ در جدولی مشخصات سه نوع آرایش را، از نظر بهره‌ی ولتاژ و بهره جریان، تعیین کنید.

اجرای کار نرم افزاری

انواع آرایش‌های ترانزیستور را با نرم افزار مولتی‌سیم شبیه‌سازی کنید و آن را برای دانش آموزان به نمایش در آورید.

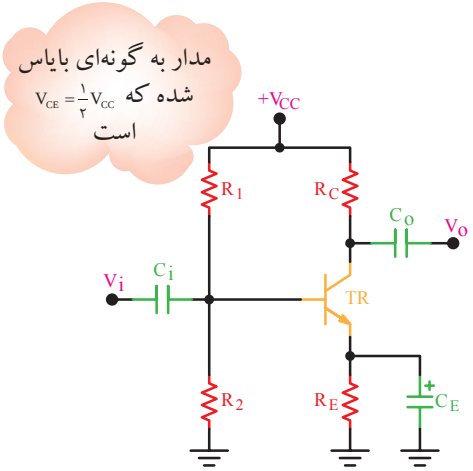
۵-۲۲ کلاس‌هاس تقویت کننده

وقتی یک سیگنال الکتریکی به یک تقویت کننده اعمال می‌شود، متناسب با این که چه مقدار از یک سیکل کامل سیگنال متناوب ورودی تقویت شود. تقویت کننده‌ها را دسته بندی می‌کنند و بر اساس آن کلاس‌های مختلف A، B، AB و C شکل می‌گیرد.

۵-۲۲-۱ تقویت کننده‌ی کلاس A: در تقویت کننده کلاس A، دامنه‌ی سیگنال در تمام سیکل به یک اندازه تقویت می‌شود و هیچ قسمتی از یک سیکل کامل حذف نمی‌شود. بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس A در شکل (۵-۷۷) نشان داده شده است.

شکل ۵-۷۷ درتقویت کننده‌ی کلاس A تمام قسمت‌های یک سیکل کامل ولتاژ ورودی تقویت می‌شود.

در شکل ۵-۷۸، یک نمونه تقویت کننده‌ی کلاس A نشان داده شده است. در این گونه تقویت کننده‌ها معمولاً $V_{CE} = \frac{1}{2}V_{CC}$ انتخاب می‌شود.



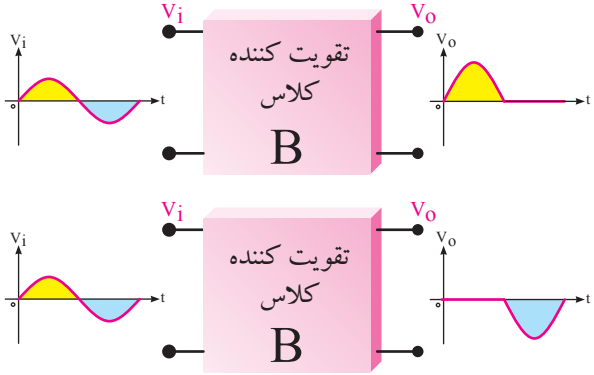
شکل ۵-۷۸ یک نمونه تقویت کننده، که در کلاس A کار می‌کند

در ایـن کلاس تقویـت کننده‌گی اعوجاج سـیگنال تقویت شده خروجی بسیار کم است.

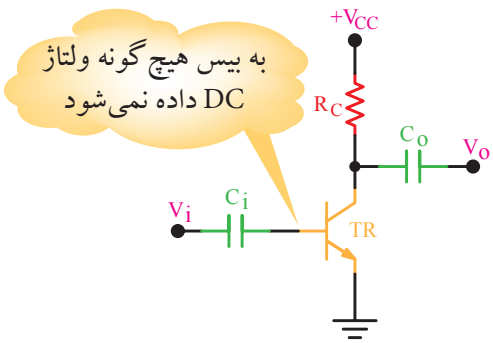
اکثـر طبقات تقویت کننده‌های صوتی (به جز طبقه‌ی آخر) در کلاس A کار می‌کنند.

۵-۲۲-۲ تقویت کننده‌ی کلاس B: در این کلاس کمی کم‌تر از نیم سـیکل از سـیگنال متنـاوب ورودی تقویت می‌شـود. زیرا دیود بیس امیتر را بایاس نمی‌کنند، یعنی $I_B = ۰, I_C = ۰$ اسـت. بـه علت بایاس نشـدن دیود بیس امیتر قسـمت کمی (حدود ۰/۶ ولت در ترانزیستور سیلیسیم) از سـیگنال تقویت نخواهد شد. در این کلاس اعوجاج سیگنال تقویت شده خروجی زیاد است.

در شکل ۵-۷۹، بلوک دیاگرام این نوع تقویت کننده نشان داده شده است. در شکل ۵-۸۰، یک نمونه تقویت کننده‌ی کلاس B را مشاهده می‌کنید.



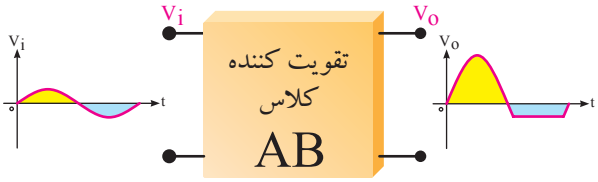
شکل ۵-۷۹ بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس B



شکل ۵-۸۰ یک نمونه تقویت کننده کلاس B

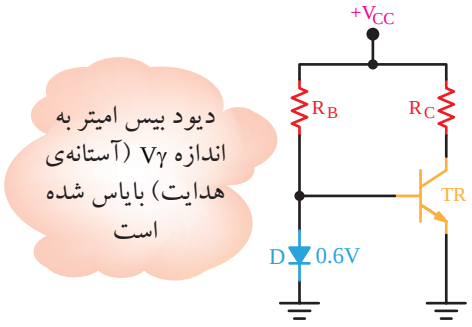
در اثـر عوامل مختلف ممکن اسـت شـکل موج تغییـر حالت دهـد. بروز ایـن شـرایط را اصطلاحاً تغییر شـکل یا Distortion یا اعوجـاج می‌نامند. به عنوان مثال برش قسمتی از موج سینوسی یا تبدیل موج سینوسـی به مربعی نوعی تغییر شکل در موج سینوسی است.

۵-۲۲-۳ تقویت کننده‌ی کلاس AB: این تقویت کننده از نظر DC، طوری بایاس می‌شود که شکل موج ورودی را بیش‌تـر از ۱۸۰ درجه و کم‌تـر از ۳۶۰ درجه تقویـت می‌کند. در شـکل ۵-۸۱ عملکـرد این تقویت کننده را مشـاهده می‌کنید. بایاسـینگ این تقویت کننده مشـابه کلاس A اسـت با این تفاوت که مقادیر آن فرق می‌کند.



شکل ۵-۸۱ تقویت کننده‌ی کلاس AB، سیگنال را از ۱۸۰ درجه بیش‌تر و از ۳۶۰ درجه کم‌تر تقویت می‌کند.

نقطـه‌ی کار تقویـت کننـده در ایـن کلاس بیـن کلاس‌های A و B قرار می‌گیرد. معمولاً دیود بیس امیتر تقویت کننده را در آسـتانه هدایت (برای سیلیسیم حدود ۰/۶ ولت) بایـاس می‌کنند. در این صـورت این تقویت کننده فقط نیم سیکل‌های مثبت یا منفی را تقویت می‌کند (تقویت نیم‌سیکل مثبت یا منفی، به نوع ترانزیستور NPN یا PNP بستگی دارد). اعوجاج سیگنال خروجی در این کلاس اندکی کم‌تر از کلاس B است. شکل ۵-۸۲ مدار تقویت کننده کلاس AB، را نشان می‌دهد.

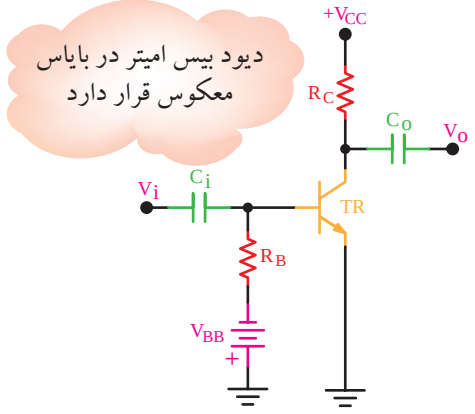


شکل ۵-۸۲ مدار تقویت کننده‌ی کلاس AB

۵-۲۲-۴ تقویت کننده‌ی کلاس C: در این نوع تقویت کننده، فقط قسمت کمی از نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی تقویت می‌شود. در شکل ۵-۸۳، بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس C نشان داده شده است.

شکل ۵-۸۳ در تقویت کننده کلاس C قسمت کمی از نیم سیکل مثبت یا منفی تقویت می‌شود

در شکل ۵-۸۴، یک نمونه تقویت کننده‌ی بسیار ساده و ابتدایی کلاس C نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل می‌بینید، بیس ـ امیتر ترانزیستور به صورت معکوس بایاس شده است.



شکل ۵-۸۴ یک نمونه ساده تقویت کننده‌ی کلاس C

۵-۲۲-۵ انواع دیگر کلاس‌های تقویت کننده:

علاوه بر کلاس‌های ذکر شده، کلاس‌های D، E، F، G و H نیز وجود دارد که اساس کار آن‌ها بر مبنای افزایش راندمان و بهبود کیفی عملکرد مدار است و غالباً برای قدرت‌های بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. تشریح عملکرد این کلاس‌ها پیچیده و از بحث ما خارج است و تنها اشاره می‌شود که مثلاً در کلاس D مدار به صورت کلید زنی (سوئیچینگ) در دو حالت قطع و اشباع عمل می‌کند. در این کلاس راندمان بالاتر از ۰/۹۰ و افت توان ناچیز است.

۵-۲۳ الگوی پرسش

۵-۲۳-۱ کلاس تقویت کننده‌گی را تعریف کنید.

۵-۲۳-۲ کلاس A را تعریف کنید و با رسم بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی در کلاس A، شکل موج ورودی و خروجی آن را رسم کنید.

۵-۲۳-۳ در تقویت کننده‌ی کلاس B ترانزیستور در چه ناحیه‌ای بایاس می‌شود؟ مختصات این ناحیه را بنویسید.

۵-۲۳-۴ دیود بیس امیتر تقویت کننده‌ی کلاس C چگونه بایاس می‌شود؟ با رسم بلوک دیاگرام تقویت کننده‌ی کلاس C شکل موج ورودی و خروجی آن را مشخص کنید.

۵-۲۴ نام‌گذاری ترانزیستورها

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

- نام‌گذاری به روش ژاپنی
- نام‌گذاری به روش اروپایی
- نام‌گذاری به روش آمریکایی

شکل ۸۵-۵ نمودار از نام‌گذاری‌ها را نشان می‌دهد.

شکل ۸۵-۵ روش‌های نام‌گذاری ترانزیستورها

اینک نام‌گذاری هر یک از سه روش فوق توضیح داده خواهد شد.

۱-۲۴-۵ نام‌گذاری به روش ژاپنی: در این سیستم، نام‌گذاری ترانزیستور را با عدد ۲ شروع می‌کنند و به دنبال آن حرف S را می‌آورند. بعد از حرف و عدد S ۲، یکی از چهار حرف A، B، C و D را قرار می‌دهند که هر یک مفاهیمی به شرح زیر دارند:

۱ـ حرف A نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.

(High Frequency = HF)

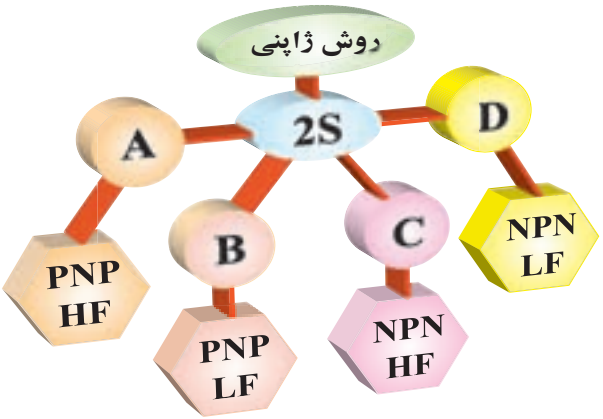
۲ـ حرف B نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع PNP است در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.

(Low Frequency = LF)

۳ـ حرف C نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع NPN است. در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.

۴ـ حرف D نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.

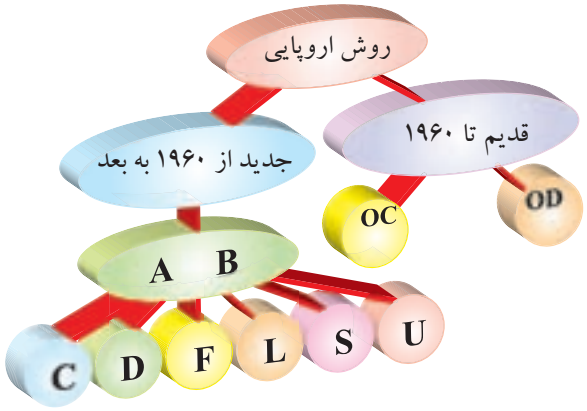
بعد از این حروف تعداد ۲ یا ۳ یا ۴ رقم عدد قرار می‌گیرد که با مراجعه‌ی به جدول، می‌توان مقادیر مشخصه‌های الکتریکی آن را به دست آورد. در این سیستم، حروف روی ترانزیستور، مشخص کننده‌ی جنس نیمه هادی به کار رفته (ژرمانیم یا سیلیسیم) و هم‌چنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً المان سه پایه به شماره‌ی ۲SC۸۲۹ نشان دهنده‌ی ترانزیستور از نوع NPN با محدوده‌ی فرکانسی بالاست. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً C۸۲۹ همان ۲SC۸۲۹ است. (شکل ۸۶-۵)



شکل ۸۶-۵ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی

۲-۲۴-۵ نام‌گذاری به روش اروپایی: در نام‌گذاری روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰، ترانزیستور را با حرف OC و OD و با دو، سه یا چهار عدد به دنبال آن مشخص می‌کردند، که OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای قدرت به کار می‌رفت. (مانند OCV۲)، در این روش نام‌گذاری، نوع ترانزیستور (PNP – NPN) یا جنس نیمه هادی به کار رفته یا محدوده‌ی فرکانسی آن مشخص نبود.

از سال ۱۹۶۰ به بعد، سیستم نام‌گذاری ترانزیستورها تغییر کرد. به این طریق که ترانزیستورهای به کار رفته در رادیو و تلویزیون و یا در وسایل الکترونیکی عمومی بیش‌تر با دو حرف و سه شماره، و ترانزیستورهای خاص، با سه حرف و دو شماره مشخص می‌شوند. مانند ترانزیستور شماره‌ی BUX۳۸، که این ترانزیستور در فرکانس‌های رادیویی با جریان و ولتاژ زیاد به کار برده می‌شود. در این مبحث روش نام‌گذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد. (شکل ۸۷-۵)



شکل ۸۷-۵ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی

حرف اول در این روش، نشان دهنده‌ی جنس نیمه هادی است که اگر از ژرمانیم باشد آن‌را با حرف A و اگر سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند.

حروف دوم را از حروف C، D، F، L، S یا U استفاده می‌نمایند که معانی هر یک از این حروف به شرح زیر است.

C : ترانزیستور کم قدرت ـ فرکانس کار کم.

D : ترانزیستور قدرت ـ فرکانس کار کم.

F : ترانزیستور کم قدرت ـ فرکانس کار زیاد.

L : ترانزیستور قدرت ـ فرکانس کار زیاد.

S : ترانزیستور کم قدرت که به صورت سوییچ به کار می‌رود.

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

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

مشخصات الکتریکی را، با مراجعه به کتاب مشخصات ترانزیستور و پیدا کردن جدول مربوط، به دست می‌آورند. مثلاً مشخصات ظاهری ترانزیستور BF۴۸۰، ترانزیستور کم قدرت بوده، و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد ($1GH_Z$) نیز می‌تواند کار کند. در این سیستم نام‌گذاری نوع ترانزیستور (NPN-PNP) از روی حروف ترانزیستور مشخص نیست.

۳-۲۴-۵ نام‌گذاری به روش آمریکایی: در این روش نام‌گذاری، ترانزیستور و المان‌های سه قطبی را با حرف و عدد ۲N مشخص می‌کنند و تعدادی رقم را برای شماره‌ی سری به دنبال آن می‌آورند. حرف N و عدد ۲ فقط المان‌های سه قطبی را از المان‌های دو قطبی (مانند دیود) مشخص می‌سازد. با توجه به شماره‌های بعدی که

بـه دنبال آن می‌آورنـد و با توجه به جدول مشـخصات المان‌ها، نوع المان و هم‌چنین مشخصات الکتریکی آن‌ها را باید به دست آورد. برای مثال:

ترانزیستور قدرت (NPN) = ۲N۳۰۵۵
که در فرکانس‌های کم کار می‌کند.
ترانزیستور تک اتصالی (UJT) = ۲N۲۶۴۶
تریستور = ۲N۱۸۴۲
ترایاک = ۲N۶۱۳۹

۵-۲۵ مقادیر حد در ترانزیستورها

هر المان نیمه هادی، از جمله ترانزیسـتور برای مقادیر الکتریکی مشخصی ساخته می‌شـود. مثلاً هر ترانزیستور را بـرای تحمل توان مشـخصی می‌سـازند. اگـر مقادیر الکتریکی را بیش از آن چه که کارخانه‌ی سازنده مشخص کرده است، به ترانزیستور اعمال کنیم، ترانزیستور معیوب می‌شـود. این مقادیر الکتریکی به مقادیر حد معروف‌اند. کارخانجـات سـازنده، مقـدار حداکثـر مجـاز مقادیر الکتریکی را مشخص می‌کنند. این مقادیر عبارت‌اند از:

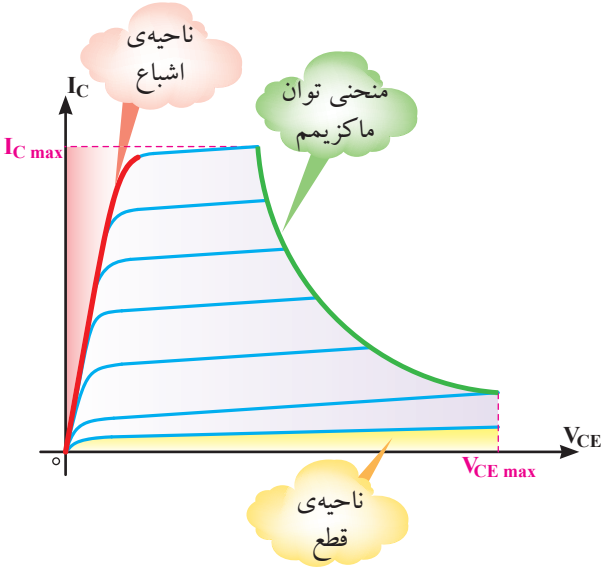
۵-۲۵-۱ حداکثر ولتاژ کلکتور ـ امیتر (V_{CEmax})، ایـن پارامتر، حداکثر ولتاژ مجاز بیـن پایه‌های کلکتور و امیتر را مشخص می‌کند.

۵-۲۵-۲ حداکثر جریان کلکتور (I_{Cmax})، حداکثر جریانی است که ترانزیسـتور می‌تواند در دمای مشخص شده از طرف کارخانه‌ی سازنده، تحمل کند.

۵-۲۵-۳ حداکثر توان (P_{max})، مقدار توانی اسـت که در ترانزیستور به صورت حرارت تلف می‌شود.

۵-۲۵-۴ حداکثـر درجه حـرارت در محل پیوند (T_j)، حداکثر درجه‌ی حرارتی است که در محل اتصال کلکتور ـ بیس، ترانزیستور می‌تواند تحمل کند.

۵-۲۵-۵ فرکانس حـد و فرکانس قطع ـ فرکانس حد (f_g)، مقدار فرکانسی است که β به ازای آن به اندازه $\frac{۱}{\sqrt{۲}}$ یـا ۳dB از فرکانـس (^{o}) هرتـز کم‌تر می‌شـود و فرکانس قطع (f_T) مقدار فرکانسـی است که به ازای آن $\beta = ۱$ می‌شـود. در شـکل ۸۸-۵ برای منحنی مشخصه‌ی خروجی مقادیر حد توان، جریان کلکتور و ولتاژ کلکتور ـ امیتر مشخص شده است.



شکل ۸۸-۵ مقادیر حد برای منحنی مشخصه خروجی

در شـکل ۸۹-۵ مقادیر حد ترانزیسـتور را مشـاهده می‌کنید.

شکل ۸۹-۵ مقادیر حد در ترانزیستور

۵-۲۶ به دست آوردن مقادیر حد از جدول

همان‌طوری که در قسمت قبل توضیح داده شد، در سیستم نام‌گذاری ژاپنی و اروپایی، تعدادی از مشخصات ترانزیستور به صورت حروف بر روی بدنه‌ی آن درج می‌شوند. مثلاً در ترانزیستور BC۱۰۷ می‌توانیم بفهمیم که توان این ترانزیستور کم است و در فرکانس کم، کار می‌کند، اما نمی‌توان فهمید که مثلاً قدرت یا فرکانس حد آن چه‌قدر است. برای یافتن مشخصات کامل و شرایط کار نامی باید به منحنی‌ها و جدول‌هایی که کارخانجات سازنده برای هر یک از ترانزیستورها می‌دهند مراجعه نمود.

در این‌جا یک نمونه از جدولی که مشخصات حد ترانزیستورها در آن درج است و به سادگی در بازار یافت می‌شود، معرفی می‌شود و طرز استفاده از آن گفته خواهد شد.

در این کتاب، مشخصات ترانزیستورها از کتاب Towers International Transistor Selector انتخاب شده است و در آن حدود ۲۰۰۰۰ ترانزیستور آمریکایی، اروپایی و ژاپنی آمده است. هم‌چنین ضمن ارائه مشخصات الکتریکی، ابعاد و شکل ظاهری و پایه‌های ترانزیستور را نیز مشخص کرده‌اند. در ضمن، نام کارخانه‌ی سازنده‌ی تمام ترانزیستورها در آن‌ها قید شده و در موارد زیادی، مشابه ترانزیستور آمریکایی و ژاپنی نیز داده شده است.

چگونگی استفاده از کتاب در جدول ۲-۵ آمده است.

جدول ۲-۵ جدول مشخصات مربوط به یک صفحه‌ی کتاب اطلاعات

Transistor Number	PMOALT	Package	Lead Info.	V_{CB} Max	V_{CE} Max	V_{EB} Max	I_C Max	T_J Max	PTOT	F_T Min	C_{OB} Max	H_{FE}	H_{FE} Bias	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV	ISS
BC 107	NS	TO 18	L 01	50 V	45 V	6 V	100 mA	175 °C	300 m WF	150 M	5p	110 MN	3 mA	ALG	MUB	BC 107	2N 929	0

شماره‌ی مربوط به اطلاعات کارخانه‌ی سازنده

معادل آمریکایی

معادل اروپایی

نام کارخانه‌ی سازنده به ضمیمه‌ی F مراجعه شود

کاربرد ـ به ضمیمه‌ی A مراجعه شود

به ازای این جریان بایاس

ضریب تقویت جریان

حداکثر ظرفیت خازن بین لایه‌ی بیس و کلکتور
P = پیکو فاراد N = نانو فاراد

فرکانس قطع ترانزیستور
مگاهرتز = M
کیلوهرتز = K گیگا هرتز = G

شماره ترانزیستور

نوع و جنس ترانزیستور
N=NPN
P=PNP
S= سیلیسیم
G= ژرمانیم

شکل ظاهری و ابعاد مراجعه شود به ضمیمه C

اطلاعات مربوط به پایه‌های ترانزیستور ـ به ضمیمه B مراجعه شود

حداکثر ولتاژ کلکتور ـ بیس

حداکثر ولتاژ کلکتور ـ امیتر

حداکثر ولتاژ معکوس امیتر ـ بیس

حداکثر جریان کلکتور

حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند بر حسب درجه‌ی سانتی گراد

حداکثر توان مجاز ترانزیستور C: با گرماگیر در هوای آزاد در ۲۵°C
MW = میلی‌وات F = در هوای آزاد در ۲۵°C
W = وات H = در هوای آزاد با گرماگیر فلزی

۵-۲۷ الگوی پرسش

۵-۲۷-۱ سه نمونه از مقادیر حد در ترانزیستور را نام ببرید.

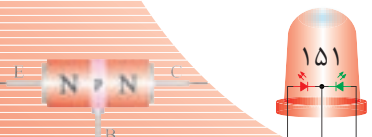
۵-۲۷-۲ C۸۲۹ چه شیوه‌ی نام‌گذاری ترانزیستور است؟

۵-۲۷-۳ با توجه به حروف و اعداد نام‌گذاری شده برای ترانزیستورهای BC۱۰۹، BU۱۱۲، BF۱۳۹، BD۱۳۶، AF۱۳۹ و AC۱۷۸ چه مشخصاتی را می‌توانید استخراج کنید؟ شرح دهید.

۵-۲۷-۴ کدام مشخصه‌ی الکتریکی را می‌توان از روی یک قطعه به شماره‌ی ۲N۳۰۵۵ استخراج کرد؟

همواره سعی می‌کنم

هر کاری را که در پیش دارم با نهایت دقت و حوصله انجام دهم و فکر کنم که این آخرین کاری است که در زندگی خود باید به انتها برسانم.



واژه‌نامه‌ی الفبایی بر اساس فصل‌های کتاب

فصل اول

Alternating Current=AC	جریان متناوب
Audio Frequency (AF)	فرکانس صوتی
Ampere	آمپر
Ampermeter	آمپرمتر
Battery	باتری
Cell	پیل
Capacitor	خازن
Capacitance	خاصیت خازنی - ظرفیت خازنی
Coeficient	ضریب
Direct Current	جریان مستقیم
Edison	نام دانشمند ادیسون
Electron	الکترون
Frequency	فرکانس - بسامد
Hertz	هرتز - واحد فرکانس
Heater	گرم کننده
LDR=Ligh Dependent Resistor	مقاومت تابع نور
Lamp	لامپ
Loud Speaker	بلندگو
Microphone	میکروفون مبدل صوت به الکتریسیته
Multimeter	مولتی‌متر
Neutron	نوترون
NTC=Negative Temperature Coefficient	ضریب حرارتی منفی
Oscillator	نوسان‌ساز - اسیلاتور
Ohm	نام دانشمند - واحد مقاومت
Primary	اولیه
Period	پریود - زمان تناوب
Parallel Circuit	مدار موازی
Potentiometer	پتانسیومتر - مقاومت متغیر
PTC=Positive Temperatur Coefficient	ضریب حرارتی مثبت
Relay	رله
Radio Frequency	فرکانس رادیویی
Resistance	مقاومت
Switch	کلید
Series Circuit	مدار سری
Solenoid	بوبین ـ سولونوئید
Secondary	ثانویه
Step Up Transformer	ترانسفورماتور افزاینده
Step Down Transformer	ترانسفورماتور کاهنده
Transformer	ترانسفورماتور ـ وسیله‌ای برای کاهش یا افزایش ولتاژ
Thermistor	مقاومت حرارتی
Transducer	مبدل
Working Voltage (WV)	ولتاژ کار

فصل دوم

Anode	آند ـ قطب مثبت
Copper Atom	اتم مس
Conductor	هادی
Conduction Band	باند هدایت
Cathode	کاتد ـ قطب منفی
Diode	دو قطبی ـ دیود
Energy	انرژی
Energy Level	سطح انرژی
Energy Gap	شکاف انرژی ـ باند ممنوع
Electron Hole Pair	زوج الکترون حفره

Forbiden Band باند ممنوعه

Free Electron الکترون آزاد

Gilo Sake نام دانشمند گیلوساک

Germanium ژرمانیوم ـ ژرمانیم ـ نوعی نیمه‌هادی

Heliom عنصر هلیوم

Hydrogen عنصر هیدروژن

Hole حفره ـ جای خالی الکترون که به اندازه‌ی الکترون بار مثبت دارد

Insulator عایق

Impurity ناخالصی

Nucleus هسته

N=Negative منفی

Orbit مدار

Overlap هم‌پوشی

pentode پنج قطبی

P=Positive مثبت

Shell پوسته

Silicon سیلیکون ـ نوعی نیمه‌هادی

Semiconductor نیمه‌هادی

Thermoionic فشار در اثر حرارت ـ فشار ترمویونیک

Triode سه‌قطبی

Tetrode چهارقطبی

Tenard نام دانشمند ـ تنارد

Valence Electron الکترون ظرفیت

Valence Band باند ظرفیت

Vacuum Tube لامپ خلاء

Winkler نام دانشمند ـ وینکلر

فصل سوم

Bias بایاس ـ دادن ولتاژ به مدار ـ ولتاژبندی

B=Blue آبی

Constant Current diode دیود جریان ثابت

Common Anode آند مشترک

Common مشترک

Common Cathode کاتد مشترک

Dynamic پویا ـ متحرک

Depltion Region ناحیه سد

Data Sheet برگه‌ی اطلاعات فنی قطعات

Data Book کتاب اطلاعات ـ کتاب داده

Dot Point نقطه

Display نمایش ـ صفحه‌ی نمایش

Forward Bias گرایش مستقیم ـ بایاس مستقیم ـ ولتاژبندی مستقیم

Green=G سبز

IFRM=Maximum Repetitive Forward Current

ماکزیمم جریان تکرار موافق

IFSM=Maximum Surge Forward Current

ماکزیمم جریان لحظه‌ای موافق

LED=Light Emitting Diode دیود انتشار دهنده‌ی نور

LCD=Liquid Crystal Display صفحه‌ی نمایش کریستال مایع

Laser Diode دیود لیزری ـ دیود مولد نور تک‌رنگ

Metal Semiconductor Junction پیوند فلزی نیمه‌هادی

Organic LED LED ارگانیک سازگار با محیط و انسان

Point Contact diode دیود اتصال نقطه‌ای

PN Junction پیوند PN

Pixel سلول تصویر ـ رنگ‌دانه

Photo diode دیود نوری

PDP=Plasma Display Panel صفحه نمایش پلاسما

Reverse Bias بایاس معکوس ـ گرایش معکوس ـ ولتاژبندی معکوس

Region ناحیه ـ منطقه

Rectifier Diode دیود یک‌سوساز

R=Red قرمز

SMP= Surface Mount Package بسته‌بندی جهت نصب سطحی

Seven Segment هفت قطعه‌ای

Ultra Bright LED LED با نور فوق‌العاده

Varactor=Variable Capacitor خازن متغیر

VR=Revers Voltage ولتاژ معکوس

VRMS=Maximum Reverse Surge Voltage

ماکزیمم ولتاژ معکوس لحظه‌ای (غیر تکراری)

Zener Diode دیود زنر

واژه‌نامه

Saturation Point	نقطه اشباع
Self Bias	بایاس سرخود

منابع و مآخذ مورد استفاده

۱ـ الکترونیک I — تألیف دکتر محمد ربیعی

۲ـ الکترونیک کاربردی — تألیف مهندس علوی

۳ـ اصول دیود و ترانزیستور — ترجمه پرویز شهبازی

۴ـ الکترونیک عمومی — تألیف مهندس خلج مهندس نظریان

۵ـ سایت‌های اینترنتی مرتبط

۶ـ تجارب شخصی مؤلفان

۷ – Electronic devices and circuit Theory by Robert Boylestad Louis Nashilsky.

۸ –Transistor Fundamentals by Rober J.Brite.

۹ – Transistor circuit action by Henry C.Vealch.

۱۰ – http:\\www.Alldatasheet.com

۱۱ – Electronic Devices Electron flow Version – Floyd.

فصل چهارم

Average	میانگین ـ معدل
Bridge	پُل ـ اتصال چهار قطعه به صورت پُل
Clipper	برش‌دهنده
Clamper	مهار کننده
Cycle	سیکل ـ دوره
Filter	صافی
Full Wave Rectifier	یک‌سو ساز تمام‌موج
Half Wave Rectifier	یک‌سو ساز نیم‌موج
PIV=Peak Inverse Voltage	حداکثر ولتاژ معکوس
Rectifier	یک‌سو ساز
Ripple	ضربان ـ ریپل
Semiconductor Hand Book	کتاب جامع کاربردی نیمه‌هادی

فصل پنجم

Active	فعال
Base	پایه
BJT=Bipolar Junction Transistor	ترانزیستور دوقطبی پیوندی
Bypass	مسیر عبور
Collector	جمع کننده
Common Emitter	امیتر مشترک
Common Base	بیس مشترک
Common Collector	کلکتور مشترک
Cut Off	قطع
Data book	کتاب اطلاعات – کتاب داده
Emitter	منتشر کننده – انتشار دهنده
Emitter Follower	امیتر دنباله‌رو
I=Input	ورودی
Load Line	خط بار
Quicent Point	نقطه کار