آزمایش ۷

تغذیهٔ DC

هدف

طراحی یک مدار خود تغذیه (تغذیه سرخود) و اثر حرارت در تغییر نقطهٔ کار

وسایل آزمایش

منبع تغذیه dc – مولتی‌متر (۳عدد) – ترانزیستور (BC۱۰۷) – مقاومتهای ۱KΩ، ٤٧KΩ- پتانسیومتر۱ MΩ – بردبورد - مقاومتهای مختلف - سیمهای رابط - هویه.

تئوری آزمایش

در طراحی تقویت‌کننده‌های خطی، انتخاب نقطهٔ کار مناسب برای ترانزیستور بسیار با اهمیت است و برای این کار بایستی از ولتاژها و جریانهای DC لازم استفاده کرد، که به این عمل تغذیهٔ DC ترانزیستور یا بایاسینگ ترانزیستور گفته می‌شود. همان‌طور که انتخاب یک نقطهٔ کار مناسب حائز اهمیت است، اطمینان از پایداری آن در حین کار تقویت‌کننده و یا احیاناً پس از تغییر ترانزیستور نیز مهم است. هرچند در همهٔ موارد، جلوگیری کامل از تغییر نقطهٔ کار عملی یا مقرون به صرفه نیست ولی در هر صورت با روشهای خاصی می‌توان تغییرات نقطهٔ کار را که بستگی به تغییرات فیزیکی محیط و عوامل دیگر دارد، در حد قابل قبولی محدود کرد، از جملهٔ این عوامل عبارتند از:

– تغییر جریان اشباع معکوس (I_{CBO}) ترانزیستور با افزایش دما، به طوری که این جریان به ازای هر $10^{\circ}C$ ، افزایش دما، تقریباً دوبرابر می‌شود.

– تغییر ولتاژ بیس–امیتر با افزایش دما، به طوری که به ازای هر $1^{\circ}C$ افزایش دما، این ولتاژ در حدود ۲/۵ میلی ولت کاهش می‌یابد.

– تغییرات گستردهٔ ضریب تقویت جریان (β) ترانزیستور که گذشته از تغییر با دما حتی برای یک نوع ترانزیستور نیز اغلب مقادیر حداکثر و حداقلی دارد.

– تغییر ولتاژ منبع تغذیه به علت عدم وجود یک تنظیم ولتاژ مناسب.

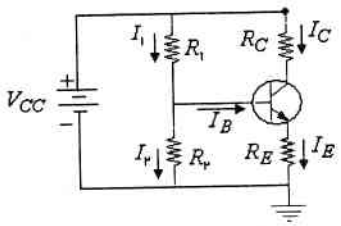
– تغییر مقادیر مقاومتهای مورد استفاده به علت دقیق نبودن آنها و یا تغییرات آنها با دما.

از این عوامل، تغییرات دما یا تغییر β با اهمیت بوده هرچند که در خیلی از مدارها ممکن است اثر خطای مقاومتها یا تغییرات ولتاژ منبع چندان مهم نباشد. باتوجه به موارد فوق، ترانزیستورها را به روشهای مختلفی می‌توان تغذیه کرد که از جملهٔ این روشها می‌توان از روش تغذیهٔ ثابت، تغذیهٔ کلکتور به بیس و روش تغذیه سرخود نام برد که هر یک معایب و مزایای خاص خود را دارند. و در اینجا بهترین روش یعنی روش تغذیه سرخود یا روش تغذیهٔ تقسیم ولتاژ را بررسی می‌کنیم، در انتهای این آزمایش مزایا و معایب دو روش تغذیهٔ دیگر را در مورد ترانزیستور NPN به اختصار شرح می‌دهیم.

در روش تغذیه سرخود؛ شکل ۷ – ۱، ولتاژ منبع تغذیه (V_{CC}) به وسیلهٔ دو مقاومت R_1 و R_2 تقسیم و سر مشترک R_1 و R_2 به بیس ترانزیستور متصل می‌شود، در نتیجه ولتاژ بیس تقریباً ثابت و برابر افت ولتاژ دو سر مقاومت R_2 است زیرا در این روش فرض می‌شود که جریان بیس آنقدر کوچک است که تأثیر زیادی در تقسیم ولتاژ ندارد، به عبارت دیگر قسمت اعظم جریان R_1 از R_2 می‌گذرد و جریان بیس نسبت به جریانی که از R_2 می‌گذرد بسیار کمتر است بنابراین:

$$I_B \to 0 \Rightarrow I_2 \cong I_1$$

$$\Rightarrow I_1 \text{ یا } I_2 = \frac{V_{cc}}{R_1 + R_2}$$



شکل ۷ – ۱. روش تغذیهٔ تقسیم ولتاژ یا تغذیه سر خود ترانزیستور

معمولاً اگر جریان بیس کمتر از $\frac{۱}{۲۰}$ جریان تقسیم ولتاژ باشد، خطایی در حدود ۵٪ در محاسبات خواهیم داشت، بنابراین می‌توانیم جریان بیس را با این فرض از رابطهٔ زیر به دست آوریم؛

$$I_B = \frac{۱}{۲۰}\left(\frac{V_{cc}}{R_۱ + R_۲}\right)$$

و ولتاژ بیس عبارت است از؛

$$V_B = I_۲R_۲ \qquad \text{یا} \quad V_B = \frac{V_{cc} \times R_۲}{R_۱ + R_۲}$$

که همان ولتاژ دو سر مقاومت $R_۲$ است، برای محاسبهٔ ولتاژ امیتر، باتوجه به این که در عمل برای تعیین ولتاژ امیتر بایستی افت دو سر دیود امیتر (V_{BE} = ۰/۷ V) را از ولتاژ بیس کم‌کنیم یعنی؛

$$V_E = V_B - V_{BE} \qquad \text{یا} \quad V_E = V_B - ۰/۷$$

و بنابراین برای تعیین جریان امیتر داریم $I_E = \frac{V_E}{R_E}$ و همچنین ولتاژ کلکتور از رابطهٔ $V_C=V_{CC}-I_CR_C$ به دست می‌آید و ولتاژ کلکتور– امیتر (V_{CE}) عبارت است از:

$$V_{CE}=V_C-V_E$$

دیده می‌شود که در این روش تغذیه، که جریان بیس کوچک در نظرگرفته می‌شود، لازم نیست برای محاسبهٔ ولتاژ بیس، مؤلفه جریانی برای بیس درنظر بگیریم و این کار محاسبهٔ ولتاژ بیس را ساده‌تر می‌کند. همچنین وقتی که جریان بیس آنقدر کم باشد که تأثیری بر ولتاژ بیس نداشته باشد، تغییرات ضریب تقویت جریان مستقل از ولتاژ بیس خواهد بود و از طرفی ثابت بودن ولتاژ بیس یعنی ثابت بودن ولتاژ امیتر و این هم به

معنی ثابت بودن جریان امیتر، جریان کلکتور (I_C) و ولتاژ کلکتور امیتر (V_{CE}) خواهد بود، به عبارت دیگر نقطهٔ کار مستقل از تغییرات ضریب تقویت جریان است. در معین مداری تغییر ضریب تقویت جریان، تنها ممکن است جریان بسیار کوچک بیس را تغییر دهد که تأثیری بر مقادیر مدار ندارد.

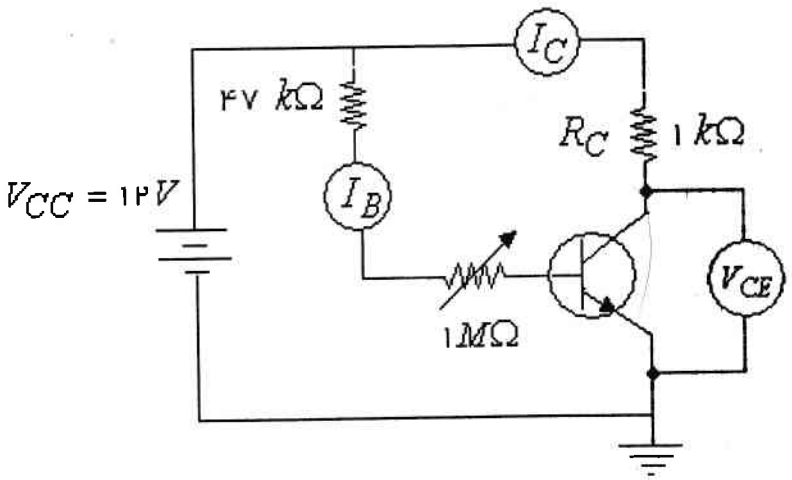
فرض دیگری که در طراحی مدار تغذیه سر خود صورت می‌گیرد این است که معمولاً R_E را بین $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{15}$ مقدار R_C در نظر می‌گیرند. هر چند این روش تغذیه نسبت به دو روش دیگر تغذیهٔ ثابت و یا تغذیهٔ کلکتور به بیس کمی پیچیده‌تر است و در آن عناصر بیشتری به کار می‌رود ولی از نظر پایداری حرارتی بسیار خوب عمل می‌کند و بر دو نوع فوق برتری دارد. علت پایداری این است که اگر فرض کنیم جریان I_C به علت گرم شدن ترانزیستور زیاد شود، چون این جریان پس از گذشتن از کلکتور، از امیتر ترانزیستور خارج می‌شود و از مقاومت R_E می‌گذرد، افت ولتاژ در این مقاومت زیادتر می‌شود و چون مقدار V_B یعنی ولتاژ بیس ثابت است، باتوجه به رابطهٔ ($V_B=V_{BE} + R_EI_E$)، ولتاژ V_{BE} ترانزیستور کم شده باعث کاهش I_B و در نتیجه کاهش I_C می‌شود. از نظر ضریب تقویت، در این روش تغذیه به خاطر وجود مقاومت R_E در مدار امیتر ترانزیستور، ضریب تقویت کاهش می‌یابد که این خود عیب بزرگی محسوب می‌شود. برای برطرف کردن این عیب، اغلب از یک خازن به موازات R_E استفاده می‌شود به نام خازن بای پاس و به این ترتیب مقاومت R_E عملاً در شرایط AC اتصال کوتاه شده و باعث می‌شود که افت زیادی در ضریب تقویت مدار ایجاد نشود.

روش آزمایش

می‌خواهیم برای ترانزیستوری با ضریب تقویت جریان (β) معین، یک مدار تغذیهٔ سرخود طوری طراحی می‌کنیم که در نقطهٔ کاری در وسط خط بار (با مشخصات I_C و V_{CE}) کارکند، منظور از طراحی چنین مداری، تعیین مقاومتهای R_1، R_2، R_E و R_C با داشتن β ، I_C و V_{CE} است.

الف) مدار شکل ۷ - ۲ را بر روی برد بورد ببندید و با تغییر پتانسیومتر، جریان بیس را طوری تغییر دهید که V_{CE} مقادیر ۴V، ۵V، ۶V، ۷ V، ۸V و ۹V را داشته باشد و پس از کامل کردن جدول (۱-۷)، مقدار متوسط β را برای ترانزیستور به دست آورید

و با رسم **نمودار** I_C برحسب V_{CE}، خط بار ترانزیستور را رسم کرده و نقطهٔ کاری در وسط این **خط بار** با I_C و V_{CE} مشخص تعیین کنید.



شکل ۷ – ۲. با تغییر پتانسیومتر و تغییر I_B، مقدار V_{CE} تغییر می‌کند.

جدول ۷ – ۱. تعیین β متوسط

V_{CE}	٤ V	٥ V	٦V	٧ V	٨ V	٩V
I_B						
I_C						
β						
β متوسط:						

اگر β=۱۰۰ به دست آید و V_{CC}=۱۲V و مشخصات نقطهٔ کاری که به‌دست آورده‌اید، I_C=۸ mA و V_{CE} = ۸ V باشد و با فرض R_C=۱۰R_E، به R_1، R_2، R_E و R_C را برای طراحی مدار تغذیهٔ سرخود، به دست آوریم:

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E \quad \text{و} \quad I_E \cong I_C$$
$$۱۲ = R_C\left(۸\times۱۰^{-۳}\right)+(۸)+۰/۱R_C\left(۸\times۱۰^{-۳}\right)$$
$$\Rightarrow ۱۲ = ۰/۰۰۸۸R_C + ۸ \Rightarrow R_C = ٤٥٤/٥٥\Omega$$

و

$$R_E = ۰/۱R_C \Rightarrow R_E \cong ٤٥/٥\Omega$$

با انتخاب نزدیکترین مقادیر استاندارد، یعنی:

$$R_C = ٤٧۰\Omega \text{ ، } R_E = ٤٧\Omega$$

داریم:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{۸\times۱۰^{-۳}}{۱۰۰} = ۸۰\mu A$$

برای خطای حدود ۵٪ باید:

$$I_۱ \cong ۲۰I_B$$
$$\Rightarrow I_۱ = ۲۰(۸۰) = ۱٦۰۰\mu A \cong I_۲$$
$$V_E = R_E I_E = ٤٧\times۸\times۱۰^{-۳} = ۳۷٦\times۱۰^{-۳} = ۰/۳۷٦V$$
$$V_B = V_E + V_{BE} = ۰/۳۷٦ + ۰/۷ = ۱/۰۷٦V$$

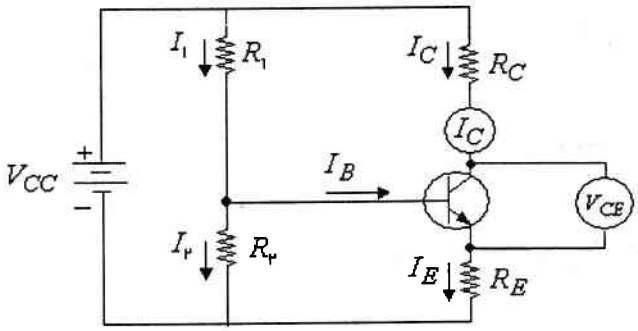
از دو رابطهٔ:

$$V_B = \frac{V_{cc}R_۲}{R_۱ + R_۲}\text{ ، }V_{cc} = (R_۱ + R_۲)I_۱$$

نتیجه می‌شود:

$$R_۲ \cong ۰/٦۷K\Omega \text{ ، } R_۱ \cong ٦/۸K\Omega$$

آنگاه مدار شکل ۷-۳ را طراحی کنید و با استفاده از مولتی‌متر ولتاژهای جدول ۷-۲ را اندازه‌گیری کرده و با مقادیری که از طریق محاسبه به دست می‌آید، مقایسه کنید.



شکل ۷ – ۳. طراحی یک مدار تغذیه سرخود

جدول ۷ – ۲. مقایسهٔ ولتاژهای مختلف به دست آمده در یک مدار تغذیه سرخود از طریق عملی و تئوری

ولتاژهای مختلف	V_{CC}	V_{CE}	V_{BE}	V_{R_C}	V_{R_E}	V_{R_1}	V_{R_2}
عملی: اندازه‌گیری با مولتیمتر							
تئوری: محاسبه							

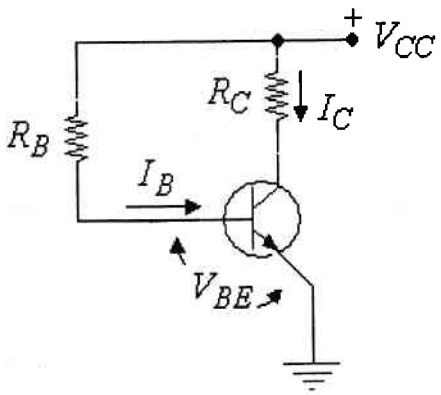
*ب) در مدار شکل ۷ – ۳، نوک هویه را در حدود ۱۰ ثانیه در مجاورت بدنهٔ ترانزیستور نگهدارید و اثر آن را در مشخصات نقطهٔ کار (I_C و V_{CE}) مشاهده و نتیجه را یادداشت کنید.

*مدار تغذیهٔ ثابت برای ترانزیستور NPN

چون در این روش تغذیه، جریان بیس همیشه ثابت است، به این نوع تغذیهٔ روش تغذیهٔ ثابت می‌گویند. هرچند این نوع تغذیه ساده‌تر و ضریب تقویت آن خوب است

ولی پایداری حرارتی کمتری دارد زیرا با گرم شدن ترانزیستور جریان I_C کمی افـزایش می‌یابد و با گرم شدن ترانزیستور ممکن است باعث سوختن آن شود و یا از نقطهٔ کـار طراحی شده خارج شود.

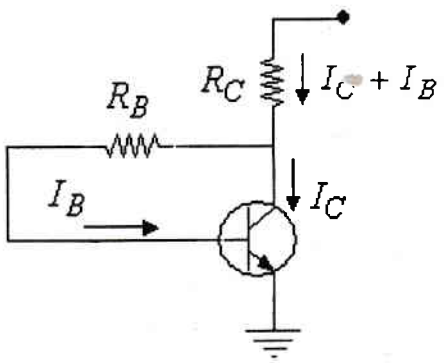
بنابراین از این روش تغذیه بیشتر در مواردی استفاده می‌شـود کـه جریانهـا نـاچیز باشند، (شکل ۷ – ٤).



شکل ۷ – ٤ مدار تغذیهٔ ثابت برای ترانزیستور NPN

*مدار تغذیهٔ کلکتور به بیس برای ترانزیستور NPN

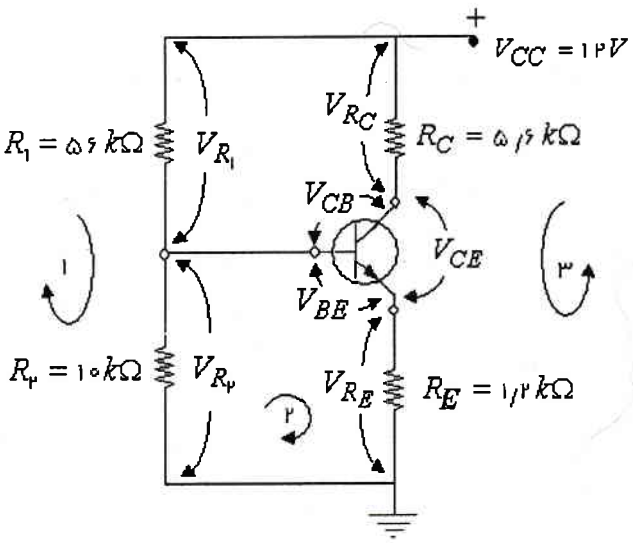
هرچند از نظر سادگی این روش تغذیه مناسب است، اشکال عمدهٔ آن کم بودن ضریب تقویت آن است ولی از نظر پایداری حرارتی از روش تغذیهٔ ثابت بهتر اسـت زیـرا بـا گرم شدن ترانزیستور و افزایش I_C، چون این جریان از مقاومت R_C می‌گذرد، باتوجه به رابطهٔ $V_{CE} = V_{CC}-R_CI_C$، مقدار V_{CE} کاهش یافتـه و طبـق رابطـهٔ $I_B = \frac{V_{CE} - V_{BE}}{R_B}$، جریان بیس کاهش می‌یابد که خود باعث کاهش I_C می‌شـود، زیـرا $I_C=\beta I_B$ اسـت. در نتیجه با کاهش جریان کلکتور، ترانزیستور خنک‌شده و نقطهٔ کار چندان تغییری نکـرده و در مقدار طراحی شده متعادل می‌ماند، (شکل ۷ – ٥).



شکل ۷ – ۵. مدار تغذیهٔ کلکتور به بیس برای ترانزیستور NPN

تمرین مدار

مدار شکل زیر را ببندید،



ابتدا ولتاژهای V_{C_E}، V_{B_F}، V_{R_C}، V_{R_E}، V_{R_C}، V_{R_2} و V_{R_1} را با مالتی‌متر اندازه بگیرید. آنگاه آزمایشهای زیر را انجام دهید.

الف) با استفاده از قانون کرشهف (KVL) برای مسیرهای بستهٔ ۱ ، ۲ و ۳ با قراردادن مقادیر ولتاژ اندازه‌گیری شده، صحت آنها را تحقیق کنید.

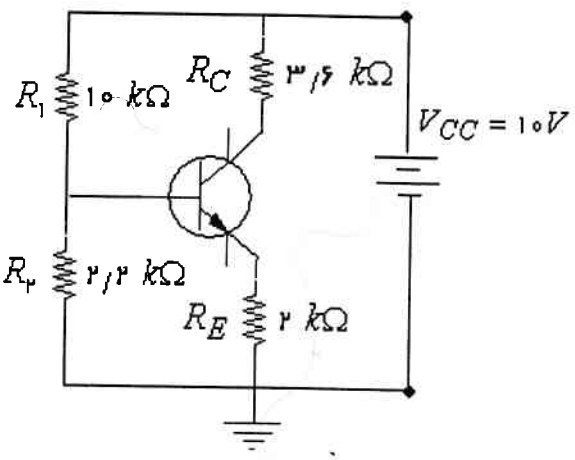
ب) نقطهٔ کار (I_C و V_{CE}) ترانزیستور را محاسبه کنید و سپس اندازه‌گیری کرده و مقایسه کنید.

پرسش

۱- دو عامل مهم در تغییر نقطهٔ کار ترانزیستور کدامند؟

۲- خازن بای پاس در مدار تغذیهٔ سر خود چه اثری دارد؟

۳- در مدار شکل زیر ولتاژ کلکتور امیتر را محاسبه کنید. (ج: ۶/۹۲ ولت)



$V_B = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_{CC} = 1.8V$

$V_E = V_B - V_{BE} = 1.1V$

$V_C = V_{CC} - R_C I_C = 8.02V$

$V_{CE} = V_C - V_E = 6.92$