

فصل ۲

مشخصات ویژه تقویت کننده‌های ترانزیستوری



هدف‌های فصل

نگرشی	مهارتی	دانشی
۱- شناخت عوامل مؤثر در جابه‌جایی نقطه کار در بایاس‌های مختلف	۱- توانایی تحلیل ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور در انواع بایاس‌های مختلف	۱- آشنایی با روش‌های مختلف تغذیه ترانزیستور
۲- درک چگونگی تقویت سیگنال در ترانزیستور	۲- توانایی تحلیل تقویت کننده‌های ترانزیستوری و انتخاب آن‌ها برای کاربردهای مختلف بر اساس مشخصات ویژه آن‌ها	۲- آشنایی با مشخصات تقویت کننده‌های ترانزیستوری
۳- درک رابطه بین انتخاب نقطه کار و شکل سیگنال تقویت شده خروجی	۳- توانایی انتخاب مناسب خازن بای پس با توجه به مشخصات فرکانسی مدار	۳- آشنایی با فیدبک مثبت و منفی و تأثیرات آن‌ها بر مشخصات تقویت کننده
۴- شناخت عوامل محدود کننده عملکرد تقویت کننده‌ها و برخی از راهکارهای جبران‌سازی	۴- توانایی محاسبه بهره یک تقویت کننده بر حسب دسی بل	۴- فراگیری راهکار بوت استریپینگ برای خنثی سازی اثر مقاومت‌های بایاس بر مقاومت ورودی تقویت کننده
۵- بررسی مشخصات یک تقویت کننده نوعی از دیدگاه فرکانسی		۵- آشنایی با پاسخ فرکانسی یک تقویت کننده نوعی

سرفصل‌ها و عناوین اصلی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مفاهیم اساسی فصل

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مراحل پیشنهادی برای تدریس

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

دانستنی‌ها و پیش‌نیازهای مورد نیاز برای آسان شدن یادگیری مطالب فصل

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مهارت‌های اصلی معرفی شده در فصل که یادگیری آن‌ها برای دانش‌آموزان ضروری است.

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

ارتباط مباحث مطرح شده در فصل با فناوری‌های رایج

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

نحوه ارزشیابی و مقدار زمان اختصاص داده شده به هر قسمت از فصل

همکاران محترم می‌توانند با توجه به وضعیت درسی دانش‌آموزان در میزان زمان در نظر گرفته شده برای هر قسمت یا روش ارزشیابی، به صلاحدید خود تجدیدنظر کنند. زمان‌بندی تدریس با توجه به سطح کلاس و پیشرفت درس با نظر معلم انجام می‌شود.

سرفصل مطالب	هدف‌ها در قلمرو دانش، مهارت و نگرش	محتوا و فعالیت‌های یادگیری	روش‌های پیشنهادی برای ارزشیابی	ابزارهای اندازه‌گیری پیشنهادی	زمان پیشنهادی برای تدریس (ساعت)	توضیحات
روش‌های مختلف تغذیه ترازیستور	آشنایی با مدارهای مختلف برای تغذیه ترازیستور و بررسی میزان پایداری نقطه کار در هر یک از آن‌ها	بحث، مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	تشریحی و محاسباتی	۵	سؤال در مورد روش‌های مختلف تغذیه ترازیستور در قالب سؤالات تشریحی. ارزیابی توانایی دانش‌آموزان در تعیین ولتاژ و جریان پایه‌های ترازیستور با استفاده از سؤالات محاسباتی.

سؤال در مورد مدارهای معادل AC و DC انواع آرایش‌های تقویت‌کننده در قالب سؤالات تشریحی	۲	تشریحی	تکوینی، مجموعی	مطالعه، حل تمرین	آشنایی با وضعیت قطعات مختلف در دو حالت DC و AC	رفار قطعات مدار تقویت‌کننده در سیگنال DC و AC
پرسش در مورد اثر تغییرات درجه حرارت بر نقطه کار و نقش فیدبک منفی در کاهش این پدیده در قالب سؤالات تشریحی. محاسبه ظرفیت خازن بای پس با توجه به مشخصات فرکانسی مدار و مقدار مقاومت امیتر.	۱	تشریحی و محاسباتی	تکوینی	بحث، حل تمرین	آشنایی با فیدبک منفی و مثبت و کاربرد فیدبک منفی در کاهش اثرات ناشی از تغییر درجه حرارت بر نقطه کار ترانزیستور	نقش فیدبک در تقویت‌کننده ترانزیستوری
پرسش در مورد نقش هر یک از پایه‌های ترانزیستور در آرایش‌های مختلف و مشخصات ویژه هر تقویت‌کننده در قالب سؤالات تشریحی. مقایسه مشخصات تقویت‌کننده‌های مختلف در قالب سؤالات چند گزینه‌ای.	۵	تشریحی، چند گزینه‌ای	تکوینی، مجموعی	مطالعه، حل تمرین	بررسی نقش پایه‌های ترانزیستور در هر آرایش و مشخصات اصلی هر یک از تقویت‌کننده‌ها	بررسی تقویت‌کننده‌های امیتر مشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک
بررسی اثر مقاومت‌های بایاس بر روی مقاومت ورودی تقویت‌کننده کلکتور مشترک و نقش مقاومت افزوده شده به مدار بایاس و فیدبک مثبت در خنثی کردن تأثیر مقاومت‌های بایاس.	۱	تشریحی	تکوینی	مطالعه	آشنایی با یکی از محدودیت‌های تقویت‌کننده کلکتور مشترک و چگونگی برطرف کردن آن	خنثی کردن اثر مقاومت‌های بایاسینگ با استفاده از خازن بوت استرپ
طرح سؤالات تشریحی در مورد برخی از کاربردهای تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری	۱	تشریحی	مجموعی	حل تمرین، مطالعه، بحث، پژوهش	آشنایی با مشخصاتی از تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری که آن‌ها را برای کاربردهای مختلف مناسب می‌سازد	کاربرد تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری
محاسبه ضریب تقویت و تضعیف شبکه‌های تقویت‌کننده و تضعیف‌کننده بر حسب دسی بل و همچنین محاسبه تقویت طبقات متوالی.	۳	محاسباتی	تکوینی، مجموعی	حل تمرین، مطالعه	محاسبه ضریب تقویت و تضعیف شبکه‌های تقویت‌کننده و تضعیف‌کننده بر حسب دسی بل و همچنین محاسبه تقویت طبقات متوالی	بیان بهره یک تقویت‌کننده بر حسب دسی بل
پرسش در مورد تعاریف اصلی مرتبط با پاسخ فرکانسی و عوامل مؤثر در تعیین شکل پاسخ فرکانسی	۲	تشریحی	تکوینی	حل تمرین، مطالعه	بررسی عوامل مؤثر در پاسخ فرکانسی مدار و نقش خازن‌های مختلف در فرکانس‌های پایین و بالا	پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده‌ها

۱-۲- روش‌های مختلف تغذیه ترانزیستور (صفحه ۳۰ کتاب درسی)

۱-۱-۲- پایداری بایاس

مباحث مربوط به ۱-۲ و ۱-۱-۲ در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

آزمونک ۱

تغذیه نامناسب ترانزیستور چه اثری بر سیگنال خروجی دارد؟

پاسخ: تغذیه ناکافی یا تغذیه بیش از حد موجب پدید آمدن اعوجاج در سیگنال خروجی می‌شود و برای مثال تغذیه بیش از حد موجب اتلاف توان و کاهش بازده تقویت کننده می‌شود.

۱-۲-۲- تغذیه ثابت

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۱

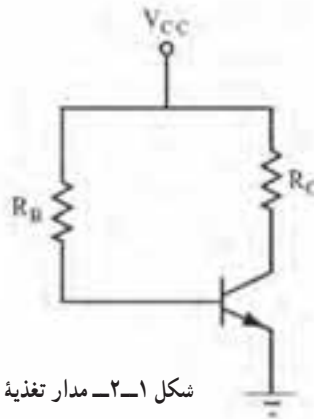
هدف

– بررسی نقش مقاومت بیس در تغییرات ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور در مدار تغذیه ثابت اثر تغییر در مقدار مقاومت R_B را بر روی I_B ، I_C و V_C در مدار شکل ۱-۲ تعیین کنید.

پاسخ: برای درک رابطه بین مقاومت R_B و نقطه کار باید از معادلات جریان و ولتاژ مدار استفاده کرد. با نوشتن KVL در

حلقه ورودی داریم:

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



شکل ۱-۲- مدار تغذیه ثابت

در نتیجه جریان بیس با افزایش R_B کاهش می‌یابد و بالعکس.

$$I_C = \beta I_B$$

چون برای جریان کلکتور داریم:

پس می‌توان نتیجه گرفت که I_C با تغییرات R_B رفتاری مشابه جریان بیس را از خود نشان می‌دهد.

برای ولتاژ کلکتور داریم:

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

با افزایش R_B جریان کلکتور کاهش می‌یابد و طبق رابطه بالا، ولتاژ کلکتور افزایش خواهد یافت و بالعکس. در نتیجه مقدار

ولتاژ کلکتور با اندازه R_B رابطه مستقیم دارد.

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.
 این فعالیت در کارگاه و آزمایشگاه عمومی یا آزمایشگاه مجازی انجام می‌شود. همچنین کلیه مراحل را معلم به صورت مجازی در هنگام تدریس با نرم افزار مولتی سیم به اجرا در می‌آورد.
 دانستنی‌هایی که دانش‌آموزان برای انجام فعالیت به آن‌ها نیاز دارند
 به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.
 فرصت یاددهی - یادگیری
 به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

نکته آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.
 ۱-۲-۳- تغذیه ثابت با مقاومت امیتر : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۲

هدف

- مقایسه میزان پایداری نقطه کار در برابر تغییرات در مقدار β در مدار تغذیه ثابت و مدار تغذیه ثابت با مقاومت امیتر.
 شکل ۲-۲- الف یک مدار تغذیه ثابت و شکل ۲-۲- ب یک مدار تغذیه ثابت با مقاومت امیتر را نشان می‌دهد. مقدار اولیه β در مدارهای تغذیه ثابت و تغذیه ثابت با مقاومت امیتر به ترتیب برابر 50° و 100° بوده است. فرض کنید مقدار β در مدار تغذیه ثابت به 100° افزایش یافته و در مدار تغذیه ثابت با مقاومت امیتر به 50° کاهش پیدا کند. اثر تغییر β در مدارهای داده شده را بر نقطه کار بررسی کنید.

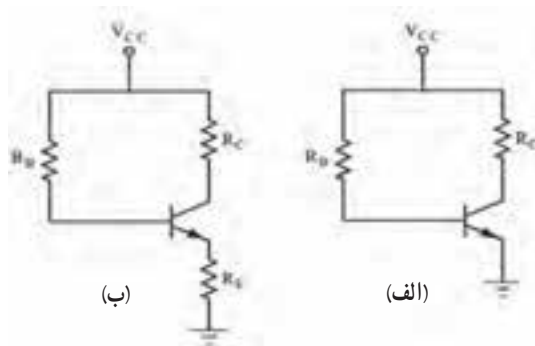
مشخصات مدارها عبارت‌اند از :

مدار تغذیه ثابت :

$$V_{CC} \quad 12V, R_B \quad 240K\Omega, R_C \quad 2/2K\Omega, \beta \quad 50^\circ, V_{BEon} \quad 0.7V$$

مدار تغذیه ثابت با مقاومت امیتر :

$$V_{CC} \quad 20V, R_B \quad 430K\Omega, R_C \quad 2K\Omega, R_E \quad 1K\Omega, \beta \quad 100^\circ, V_{BEon} \quad 0.7V$$



شکل ۲-۲- مدارهای تغذیه ثابت و تغذیه ثابت با مقاومت امیتر

پاسخ:

الف) با نوشتن معادله KVL در حلقه بیس - امیتر در مدار تغذیه ثابت خواهیم داشت:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(12 - 0.7)V}{24 \cdot K\Omega} = 47/8 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \cdot (47/8 \mu A) = 2/35 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12V - (2/35 mA)(2/2 K\Omega) = 6/83V$$

با افزایش مقدار β به 100 خواهیم داشت:

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot (47/8 \mu A) = 4/71 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 12V - (4/71 mA)(2/2 K\Omega) = 1/64V$$

ب) با نوشتن معادله KVL در حلقه بیس - امیتر مدار در تغذیه ثابت با مقاومت امیتر خواهیم داشت:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{(20 - 0.7)V}{43 \cdot K\Omega + 101(1 K\Omega)} = 36/35 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 100 \cdot (36/35 \mu A) = 3/635 mA \cong I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E = 20V - (3/635 mA)(2 K\Omega) - (3/635 mA)(1 K\Omega) \cong 9/1V$$

با کاهش مقدار β به 50 خواهیم داشت:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{(20 - 0.7)V}{43 \cdot K\Omega + 51(1 K\Omega)} = 40/12 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 50 \cdot (40/12 \mu A) = 2/01 mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C - I_E R_E = 20V - (2/01 mA)(2 K\Omega) - (2/01 mA)(1 K\Omega) \cong 13/97V$$

نتایج حاصل از تغییرات β بر نقاط کار مدارهای الف و ب در جدول های 1 و 2 زیر نشان داده شده است:

جدول 1 تغییر نقطه کار در اثر افزایش مقدار β در مدار تغذیه ثابت

β	$I_B(\mu A)$	$I_C(mA)$	$V_{CE}(V)$
5	47/8	2/35	6/83
1	47/8	4/71	1/64

جدول 2 تغییر نقطه کار در اثر کاهش مقدار β در مدار تغذیه ثابت با مقاومت امیتر

β	$I_B(\mu A)$	$I_C(mA)$	$V_{CE}(V)$
5	4/12	2/1	13/97
1	36/35	3/365	9/95

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در مدار الف)، با دو برابر شدن مقدار β اندازه جریان کلکتور 10° درصد افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان ولتاژ کلکتور – امیتر به شدت افت می‌کند در حالی که اندازه جریان بیس ثابت مانده است. از طرفی در مدار ب)، نصف شدن مقدار β باعث می‌شود که جریان کلکتور کمتر از 5° درصد کاهش پیدا کند و در نتیجه تغییرات ولتاژ کلکتور – امیتر از مقدار اولیه اش نسبت به مدار الف) کمتر است. باید در نظر داشت که در این مدار مقدار جریان بیس با تغییر β ثابت نمی‌ماند و با افزایش I_B ، اثر ناشی از کاهش β بر نقطه کار کنترل می‌شود.

✓ نکته آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۲-۱-۴ تغذیه سرخود : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۳

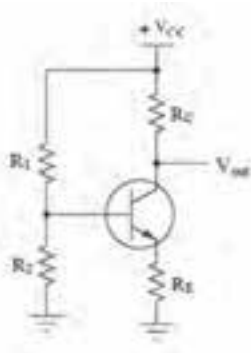
✓ هدف

– بررسی پایداری نقطه کار در مقابل تغییرات β در مدار تغذیه سرخود
برای مدار نشان داده شده در شکل ۲-۳ داریم :

$$R_1 = 39 \text{ k}\Omega, R_2 = 3/9 \text{ k}\Omega, R_E = 1/5 \text{ k}\Omega, R_C = 10 \text{ k}\Omega, V_{CC} = 22 \text{ V}, V_{BEon} = 0.7 \text{ V}.$$

مقادیر I_C و V_{CE} را برای $\beta = 140$ و $\beta = 70$ با استفاده از تحلیل

دقیق DC محاسبه و اثر تغییر β بر نقطه کار را در مدار تغذیه سرخود بررسی کنید.



شکل ۲-۳- یک مدار تغذیه سرخود

پاسخ : ابتدا می‌توان ولتاژ امیتر را محاسبه کرد که مقدار آن مستقل از β است :

$$V_B = V_{CC} \frac{R_2}{R_2 + R_1} = 22 \text{ V} \left(\frac{3/9}{3/9 + 39} \right) \text{ k}\Omega = 2 \text{ V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} \Rightarrow V_E = 2 - 0.7 = 1.3 \text{ V}$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{1.3 \text{ V}}{1/5 \text{ k}\Omega} = 0.86 \text{ mA}$$

با استفاده از روابط بالا برای جریان امیتر داریم :

$$I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E = \frac{140}{141} (0.86 \text{ mA}) = 0.85 \text{ mA}$$

برای $\beta = 140$ داریم :

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 22 \text{ V} - (0.85 \text{ mA} \times 10 \text{ k}\Omega) = 13.5 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_{CE} = V_C - V_E = 13.5 - 1.3 = 12.2 \text{ V}$$

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

چرا تغذیه سرخود در میان سه نوع بایاس ذکر شده در کتاب مناسب‌ترین است؟
 پاسخ: از آنجا که در این مدار از مقاومت‌های مقسم R_1 و R_2 برای بایاس بیس و از یک مقاومت فیدبک در امیتر استفاده شده است، پایداری حرارتی مطلوب قابل دستیابی است و این قابلیت، مدار تغذیه سرخود را از دیگر مدارهای تغذیه متمایز می‌کند.

WWW

معرفی سایت: مطالعه مدارهای بایاس و مشخصات آن‌ها

۱- <http://www.vk2zay.net/calculators/transistors/bjtBiasing.php>

۲- <http://www.zen2142.zen.co.uk/Design/bjtbias.htm>

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۲-۴ (صفحه ۳۶ از کتاب درسی)

۱-۴-۲- پاسخ: با نوشتن KVL در حلقه شامل منبع تغذیه، مقاومت بیس و پیوند بیس امیتر می‌توان دید که رابطه داده شده صحیح است.

۲-۴-۲- پاسخ: برای مدار ۲-۱۸ از کتاب درسی داریم:

$$V_C = V_{CC} - R_C(I_B + I_C) \quad V_{CC} - R_C(I_B + \beta I_B)$$

در نتیجه با افزایش جریان بیس از میزان ولتاژ کلکتور کاسته می‌شود.

۳-۴-۲- پاسخ: در مدار نشان داده شده در شکل ۲-۱۹ از کتاب درسی با افزایش R_C افت ولتاژ روی این مقاومت بیشتر شده و از ولتاژ کلکتور کاسته می‌شود. در نتیجه ولتاژ پیوند کلکتور-امیتر نیز کاهش یافته و بنابراین گزینه ۴ صحیح است.

۴-۴-۲- پاسخ: در مدار بایاس خودکار با افزایش جریان کلکتور و کاهش ولتاژ کلکتور از میزان ولتاژ پیوند بیس-امیتر کاسته می‌شود. با دقت در منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور می‌توان فهمید که کاهش V_{BE} باعث کاهش جریان بیس می‌شود. در نتیجه جریان کلکتور کاهش یافته و این امر موجب افزایش ولتاژ کلکتور می‌شود.

۵-۴-۲- پاسخ: نحوه محاسبه ولتاژ و مقاومت تونن ورودی برای مدار بایاس سرخود در شکل‌های ۲-۶ و ۲-۷ از کتاب درسی و روابط متناظر با آن‌ها به طور کامل شرح داده شده است.

۶-۴-۲- پاسخ: همانطور که در شکل ۲-۱۶ از کتاب درسی نشان داده شده است با کاهش R_E تغییری در میزان ولتاژ امیتر به وجود نخواهد آمد ولی جریان امیتر و در نتیجه جریان کلکتور افزایش خواهد یافت. از این رو افت ولتاژ روی مقاومت کلکتور بیشتر شده و ولتاژ کلکتور کاهش می‌یابد.

۷-۴-۲- پاسخ: در این مدار برای ولتاژ و مقاومت تونن داریم:

$$V_{th} = \frac{V_{CC}(R_2)}{(R_1 + R_2)} = \frac{(20V \times 10^{K\Omega})}{(40+10)^{K\Omega}} = 4V$$

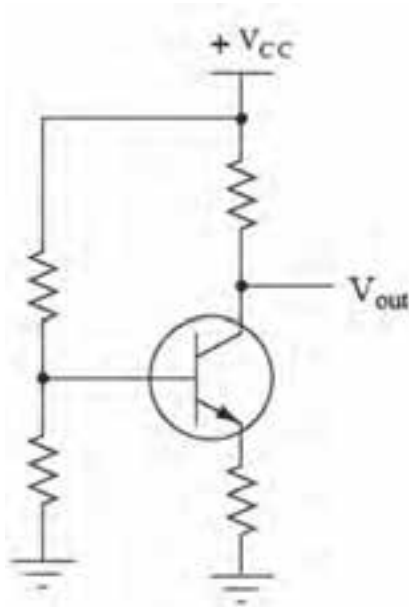
$$R_{th} = (R_1 \parallel R_2) = \frac{(R_1 \times R_2)}{(R_1 + R_2)} = \left(\frac{10 \times 40}{10 + 40}\right)^{K\Omega} = 8^{K\Omega}$$

۲-۲- رفتار قطعات مدار تقویت کننده در سیگنال DC و AC (صفحه ۳۷ از کتاب درسی)



– بررسی نقش خازن کوپلاژ در مدارهای تقویت کننده ترانزیستوری و چگونگی

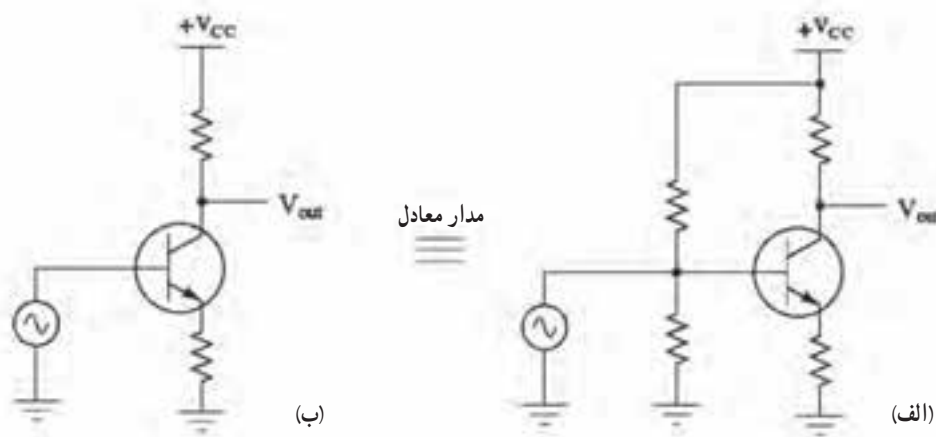
به کارگیری آن



شکل ۲-۴- مدار تغذیه سرخود

شکل ۲-۴ یک مدار ترانزیستوری با تغذیه سرخود را نشان می دهد. برای استفاده از این مدار به عنوان یک تقویت کننده، یک سیگنال متناوب به بیس ترانزیستور اعمال می شود. توضیح دهید چرا باید از خازن کوپلاژ برای اتصال منبع سیگنال به ترانزیستور استفاده کرد و مدار معادل تقویت کننده در صورت استفاده نکردن از خازن به چه شکل خواهد بود؟ در صورت استفاده از خازن، مشخصات آن به چه نحو باید باشد؟

پاسخ: شکل ۲-۵- الف، مدار تقویت کننده ترانزیستوری را نشان می دهد که در آن سیگنال ورودی مستقیماً به بیس ترانزیستور اعمال شده است. در این حالت منبع سیگنال با بیس ترانزیستور موازی شده است و ولتاژ ورودی ترانزیستور همان ولتاژ AC مولد سیگنال است. در نتیجه اثر ولتاژ DC ناشی از مقسم ولتاژ از بین خواهد رفت و مقدار ولتاژ خروجی ترانزیستور تنها از منبع سیگنال متأثر می شود. مدار معادل این تقویت کننده در شکل ۲-۵- ب نشان داده شده است. علاوه بر این همان طور که در کتاب درسی اشاره شده است این خازن، مدار DC ترانزیستور را از بقیه مدار جدا می کند و منبع سیگنال اثری بر روی نقطه کار مدار نخواهد داشت.

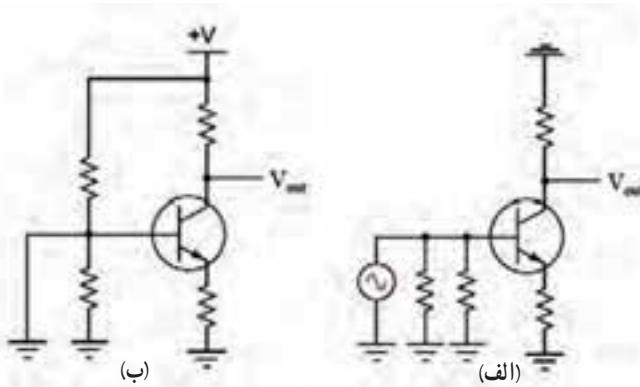


شکل ۲-۵- اعمال سیگنال به ترانزیستور بدون استفاده از خازن کوپلاژ

برای درک بهتر اثر اتصال مولد سیگنال بدون استفاده از خازن کوپلینگ می توان از راهکار جمع آثار که در ادامه ذکر می شود

استفاده کرد:

جمع آثار: در این حالت تأثیر هر یک از منابع ولتاژ AC و DC به صورت جداگانه بررسی می‌شوند. ابتدا می‌توان اثر منبع DC را با اتصال کوتاه کردن آن خنثی کرد و تأثیر منبع سیگنال را دید.



شکل ۲-۶

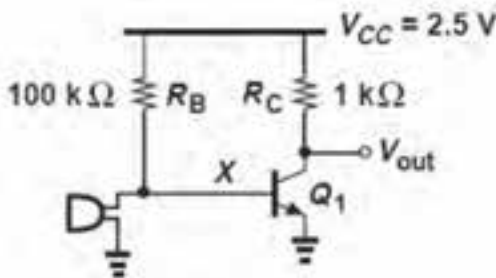
همان‌طور که در شکل ۲-۶ الف نشان داده شده است در این حالت مقاومت بین بیس و منبع تغذیه DC با مقاومت بین بیس و زمین موازی می‌شود و تنها منبع سیگنال است که در تولید ولتاژ خروجی نقش دارد. برای بررسی اثر منبع تغذیه DC باید منبع سیگنال را اتصال کوتاه کرد. حاصل در شکل ۲-۶ ب نشان داده شده است. می‌توان دید که در این حالت بیس به زمین متصل شده و اثر مقاومت بین بیس و زمین را خنثی کرده است. می‌دانیم که منبع ولتاژ DC از طریق ولتاژی که به مقاومت بین بیس و زمین اعمال می‌کند بر شکل موج خروجی مدار تأثیر می‌گذارد که با حذف شدن این مقاومت از مدار، منبع تغذیه DC نقشی در ولتاژ خروجی ندارد. در نتیجه در اثر استفاده نکردن از خازن کوپلاژ تنها منبع سیگنال است که ولتاژ خروجی را تولید می‌کند.

حال فرض کنید می‌خواهیم از یک خازن برای اتصال مولد سیگنال به مدار استفاده کنیم. همان‌طور که در کتاب ذکر شده است بایستی اندازه خازن را به اندازه کافی بزرگ انتخاب کنیم تا امپدانس آن در حداقل فرکانس کار مدار قابل چشم پوشی باشد.

مثال ۴

هدف

– بررسی نقش خازن در حفظ ویژگی‌های طراحی DC و انتقال صحیح سیگنال به ورودی ترانزیستور در حالت AC
 یک دانش‌آموز که با طراحی مدار ترانزیستوری و روش‌های تغذیه آن آشنا بوده مدار نشان داده شده در شکل ۲-۷ را برای تقویت سیگنال تولید شده توسط میکروفون ساخته است؛ اما هیچ جریانی در خروجی ترانزیستور وجود ندارد و عمل تقویت‌کنندگی انجام نمی‌شود. علت این مشکل را توضیح دهید و راه حل خود را برای حل این مشکل ارائه دهید (فرض کنید مقاومت میکروفون کوچک و حدود ۱۰۰ اهم است).



شکل ۲-۷ میکروفون

پاسخ: در این مدار، مقاومت کوچک میکروفون که بین بیس و زمین قرار گرفته است به همراه مقاومت R_B یک مدار تغذیه سرخود را شکل می‌دهد. کوچک بودن مقاومت میکروفون باعث می‌شود که ولتاژ کوچکی دو سر آن و روی پایه بیس قرار بگیرد:

$$V_X = V_B = \left[\frac{(100\Omega)}{(100k\Omega + 100\Omega)} \right] \times 2.5V = 2.5mV$$

بنابراین با این ولتاژ، پیوند بیس – امیتر در بایاس مستقیم قرار نمی‌گیرد و ترانزیستور خاموش است. برای حل این مشکل می‌توان یک خازن بین میکروفون و پایه بیس قرار داد تا در حالت DC میکروفون را از مدار خارج کند.

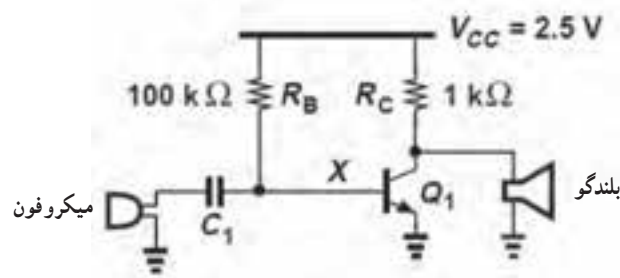
✓ فرصت یاددهی - یادگیری

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۵

✓ هدف

– بررسی تأثیر سلف بر عملکرد مدار ترانزیستوری در صورت عدم به کارگیری خازن در مکان مناسب در مدار دانش آموزی که مدار مثال ۴ را طراحی کرده است با تجربیاتی که از نوع عملکرد آن به دست آورده از مدار اصلاح شده برای راه اندازی یک بلندگو استفاده می کند (شکل ۲-۸). با این حال این مدار کار نمی کند و از بلندگو صوتی شنیده نمی شود. علت به وجود آمدن این مشکل را توضیح داده و راه حلی برای آن ارائه دهید. (در ساختار یک بلندگو نوعی از یک سلف استفاده می شود که مقاومت DC بسیار کمی دارد)



شکل ۲-۸

پاسخ: در این مدار چون مقاومت DC بلندگو بسیار کم و حدود ۱ اهم است خروجی ترانزیستور به زمین متصل است. برای حل این مشکل می توان یک خازن با کلکتور و بلندگو سری کرد تا بلندگو را در حالت DC از مدار تقویت کننده ایزوله کند.

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۲-۶ (صفحه ۴۲ از کتاب درسی)

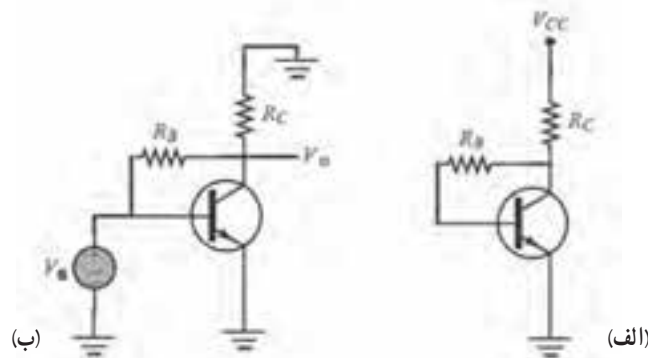
۲-۶-۱ پاسخ: خازن در مقابل سیگنال DC دارای مقاومت بینهایت و سلف ایده آل دارای مقاومت صفر است.

۲-۶-۲ پاسخ: از آنجا که خازن در هنگام اعمال یک سیگنال DC با فرکانس صفر دارای مقاومت بینهایت است مثل یک

کلید باز عمل می کند. اگر ظرفیت خازن به اندازه ای بزرگ باشد که در حداقل فرکانس سیگنال ac دارای امپدانس صفر باشد می توان آن را به صورت یک کلید بسته در نظر گرفت. در نتیجه گزاره بیان شده در این سؤال غلط است.

۲-۶-۳ پاسخ: مدارهای معادل DC و ac مدار نشان داده شده در شکل ۲-۴۸ کتاب درسی در شکل ۲-۹ نشان

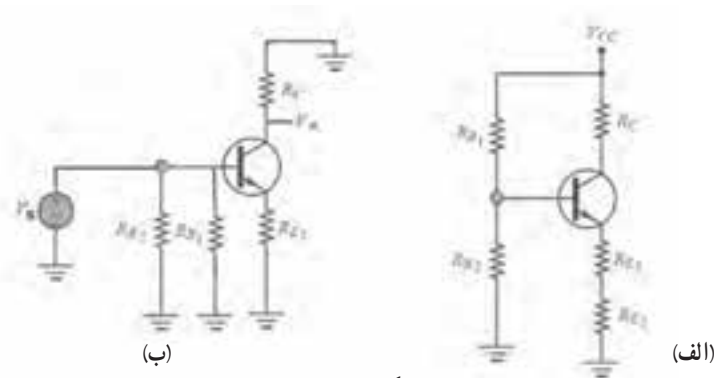
داده شده اند.



شکل ۲-۹

در حالت DC خازن‌های C_1 و C_2 اتصال باز هستند، منبع سیگنال اتصال کوتاه و منبع تغذیه DC در مدار باقی می‌ماند. شکل ۲-۹ الف مدار معادل DC را نشان داده است و همانطور که از شکل مشخص است تغذیه مدار از نوع اتوماتیک است. در حالت ac خازن‌های C_1 و C_2 اتصال کوتاه، منبع تغذیه DC اتصال کوتاه و منبع سیگنال در مدار باقی می‌ماند. نتیجه در شکل ۲-۹ ب نشان داده شده است.

در مدار شکل ۲-۴۹ از کتاب درسی، در حالت DC خازن‌های C_1 ، C_2 و C_3 اتصال باز هستند. منبع تغذیه DC در مدار باقی می‌ماند ولی به دلیل اتصال کوتاه بودن منبع سیگنال و اتصال باز بودن خازن کوپلاژ C_1 سیگنال ac به ورودی اعمال نمی‌شود. مدار معادل DC در شکل ۲-۱۰ الف نشان داده شده است و بایاس از نوع سرخود است. در حالت ac خازن‌های C_1 ، C_2 و C_3 اتصال کوتاه‌اند و مقاومت R_{E2} از مدار حذف می‌شود. چون منبع تغذیه DC اتصال کوتاه است مقاومت R_{B1} با مقاومت موازی می‌شود (شکل ۲-۱۰ ب).

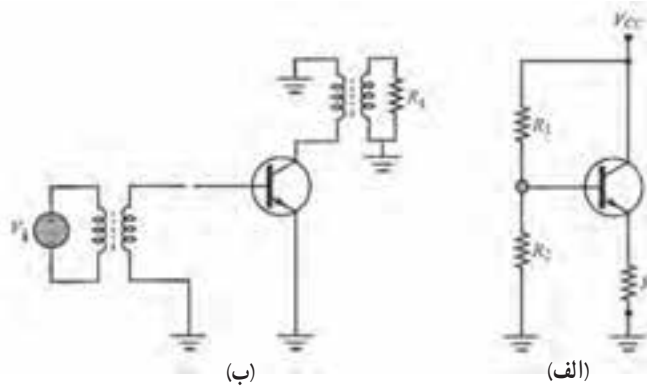


شکل ۲-۱۰

در مدار شکل ۲-۵۰ از کتاب درسی وقتی خازن‌های C_1 و C_2 برای رسیدن به مدار معادل DC اتصال باز و منبع سیگنال اتصال کوتاه در نظر گرفته می‌شوند به مدار شکل ۲-۱۱ الف خواهیم رسید. از آنجا که در این حالت دو منبع ولتاژ DC از طریق مقاومت‌های R_C و R_B در مدار وجود دارد، نوع بایاس مدار در این حالت، بایاس ثابت با دو باتری است که نمونه‌ای از آن در مدار شکل ۳۲-۱ از کتاب درسی نشان داده شده و روابط حاکم بر آن مطالعه شده است. در حالت ac خازن‌ها اتصال کوتاه و منابع ولتاژ DC اتصال کوتاه‌اند. مدار حاصل در شکل ۲-۱۱ ب نشان داده شده است.

در مدار شکل ۲-۵۱ از کتاب درسی، در حالت DC خازن‌ها اتصال باز و سلف‌ها اتصال کوتاه هستند. اتصال باز بودن خازن‌ها باعث باقی ماندن مقاومت‌های R_E و R_F در مدار است. با اتصال کوتاه شدن سلف متصل به بار، مقاومت بار از مدار خارج می‌شود و با اتصال کوتاه شدن سلف متصل به بیس، مقاومت‌های R_1 و R_2 به بیس متصل می‌شوند. مدار معادل DC حاصل که در شکل ۲-۱۲ الف نشان داده شده است یک مدار بایاس سرخود را می‌سازد. در حالت ac خازن‌ها اتصال کوتاه هستند و مقاومت‌های R_E و R_F از مدار خارج می‌شوند. منبع تغذیه DC نیز اتصال کوتاه است و چون دو سر مقاومت R_1 به زمین متصل است

این مقاومت نیز از مدار خارج می‌شود. در این حالت سلف‌ها دارای مقاومت X_L هستند که در مدار باقی می‌مانند. شکل ۲-۱۲-ب مدار معادل ac حاصل را نشان داده است.



شکل ۲-۱۲

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۲-۹ (صفحه ۴۶ از کتاب درسی)

۲-۹-۱- پاسخ: در تقویت کننده‌ها معمولاً نوع فیدبک منفی است.

۲-۹-۲- پاسخ: با قطع کلید، مقاومت R_E در حالت ac در مدار وجود دارد. از آنجا که وجود این مقاومت باعث می‌شود که ولتاژ ac به مدار برگشت داده شود، بهره ac مدار کاهش می‌یابد و مثل این است که یک فیدبک منفی در مدار برقرار شده است. بنابراین گزینه ۳ صحیح است.

۲-۹-۳- پاسخ: رابطه داده شده صحیح نیست چون مقدار X_C در کمترین فرکانس کاری مدار باید از رابطه زیر پیروی کند در حالی که رابطه داده شده در کتاب درسی برای فرکانس ماکزیمم نوشته شده است:

$$\frac{1}{2\pi f_{\min}} C \leq \frac{R_E}{10}$$

۲-۹-۴- پاسخ: طبق تعریف فیدبک عبارت است از انتقال قسمتی از انرژی از خروجی تقویت کننده به ورودی آن و دارای دو نوع مثبت و منفی است.

۲-۹-۵- پاسخ: اگر در تقویت کننده‌ای از فیدبک مثبت استفاده شده باشد چون ولتاژهای ورودی و خروجی همفازند دامنه ولتاژ خروجی یک روند افزایشی خواهد داشت که این امر باعث ناپایداری مدار می‌شود. در هنگام استفاده از فیدبک منفی عکس این مسئله اتفاق می‌افتد و ولتاژ خروجی کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه پایداری مدار در این حالت بیشتر بوده و از این جهت در تقویت کننده‌ها از فیدبک منفی استفاده می‌شود.

۲-۹-۶- پاسخ: اگر جریان کلکتور و به تبع آن جریان امیتر به هر دلیلی افزایش پیدا کند ولتاژ امیتر زیاد خواهد شد. از آنجا که در مدار تغذیه سرخود مقدار ولتاژ بیس ثابت است پس از مقدار ولتاژ پیوند بیس - امیتر کاسته خواهد شد. این مسئله باعث کاهش جریان بیس می‌شود که حاصل آن کاهش جریان کلکتور و برگشت مدار به وضعیت اولیه است. در نتیجه می‌توان دید که چگونه مقاومت امیتر در نقش فیدبک منفی توانست اثر افزایش جریان خروجی را کنترل کند.

۲-۹-۷- پاسخ: با استفاده از یک خازن بای پس که با مقاومت امیتر موازی می‌شود اثر مقاومت در حالت ac خنثی می‌شود. البته باید مقدار ظرفیت خازن به نحوی انتخاب شود که در کمترین فرکانس کاری مدار اتصال کوتاه باشد.

۲-۹-۸- پاسخ: حداقل ظرفیت خازن بای پس باید در کمترین فرکانس مدار و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود:

$$\frac{1}{2\pi f_{\min}} C \leq \frac{R_E}{10} \rightarrow \frac{1}{2\pi(100)} C \leq \frac{1000}{10} \rightarrow C \geq 15/92 \mu\text{F}$$

۲-۳- تحلیل تقویت کننده‌های ترانزیستوری (صفحه ۴۷ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

پرسش ۲ 

هدف

– این پرسش از دانش آموزان می‌خواهد که امکان اختلال اساسی در سیگنال ac را به دلیل جابه‌جایی ساده نقطه کار DC بر اساس دانستنی‌هایشان از چگونگی عملکرد ترانزیستور مورد بررسی قرار دهند. درک این مسئله که تغییرات اندک در نقطه کار ترانزیستور می‌تواند اثرات مخربی را بر مدار تقویت کننده داشته باشد ممکن است در ابتدا برای دانش‌آموزان دشوار باشد اما تأکید بر این مسئله به آن‌ها کمک می‌کند تا اهمیت بایاس صحیح را در مدارات تقویت کننده درک کنند.

توضیح دهید که چگونه یک بایاسینگ اشتباه در تقویت کننده ترانزیستوری باعث اختلال در خروجی تقویت کننده می‌شود.

چرا و چگونه یک جابه‌جایی در نقطه کار DC روی سیگنال ac که قرار است تقویت شود تأثیر خواهد گذاشت؟

پاسخ: برای درک بهتر شرایط بروز این مشکل، می‌توان مسائل مطرح شده در فصل ۱ کتاب راهنما در بخش منحنی‌های مشخصه ترانزیستور و خط بار DC را یادآوری کرد. اگر نقطه کار DC از مکان مناسب خود بسیار جابه‌جا شود، ترانزیستور به ناحیه اشباع یا قطع وارد می‌شود. در این وضعیت شکل سیگنال خروجی از طریق برش سیگنال دچار تغییر می‌شود. در حالتی که نقطه کار روی خط بار DC به جای واقع شدن در وسط خط بار در نقاط مرزی واقع شده باشد فرم سیگنال خروجی به شدت مختل شده و حتی ممکن است عمل تقویت کنندگی به طور کامل از بین برود.

مثال ۶

هدف

– بررسی تأثیر انتخاب نامناسب نقطه کار بر شکل موج سیگنال خروجی تقویت کننده ترانزیستوری و همچنین نقش مدارهای

تغذیه

شکل ۱۳-۲ مدارهای دو تقویت کننده ترانزیستوری را نشان می‌دهد. در حالی که یک شکل موج سینوسی به ورودی مدارها اعمال شده است، شکل موج‌های خروجی برش خورده‌اند و فرم سینوسی ندارند. توضیح دهید چرا این تقویت کننده‌ها نمی‌توانند شکل موج ورودی را به طور کامل تقویت کنند؟

پاسخ:

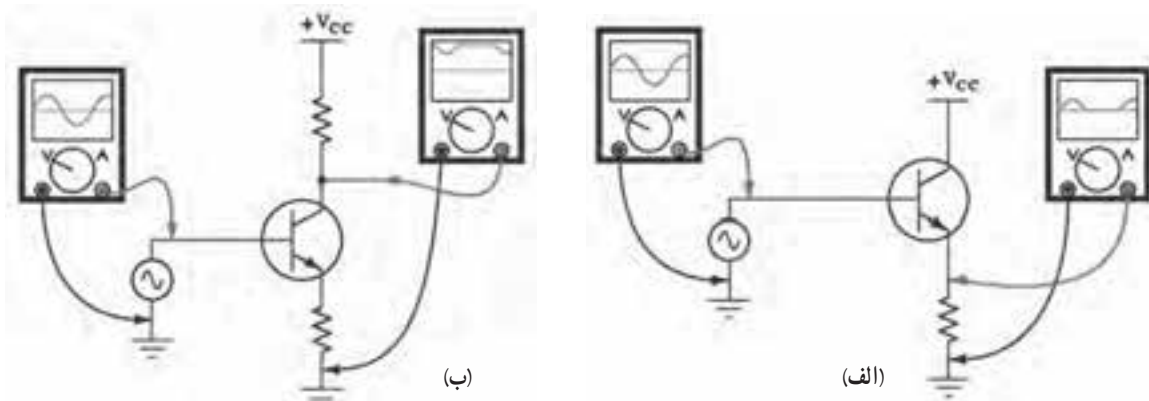
الف) ابتدا باید در نظر داشت که ترانزیستور بایاس نشده است و در حالتی که سیگنالی به ورودی اعمال نشده است داریم:

$$\begin{cases} I_{CQ} = 0 \\ V_{CQ} = V_{CC} \end{cases}$$

پس می‌توان نتیجه گرفت که هدایت فقط هنگامی وجود دارد که ولتاژ بیس – امیتر از ولتاژ هدایت پیوند pn بیشتر باشد. چون ورودی به بیس ترانزیستور اعمال شده و خروجی از امیتر گرفته شده است، می‌توان رفتار ترانزیستور را با توجه به مدل دیودی آن که در فصل قبل آمده است توجیه کرد.

ب) مشابه مدار الف)، ترانزیستور بایاس نشده است و تنها وقتی هدایت صورت می‌پذیرد که ولتاژ پیوند pn بیس امیتر بزرگتر از مقدار آستانه هدایت باشد. همانطور که از شکل مشخص است بر خلاف حالت الف) که نیمه منفی سیگنال خروجی برش می‌خورد و سیگنال‌های ورودی و خروجی با هم همفاز بودند؛ در مدار شکل ب) نیمه مثبت سیگنال خروجی برش می‌خورد و شکل موج خروجی

دارای اختلاف فاز 18° درجه ای با موج ورودی است. علت این است که در حالت الف) سیگنال خروجی از آمپتر گرفته می‌شود و افزایش یا کاهش دامنه ولتاژ ورودی باعث افزایش یا کاهش جریان آمپتر و در نتیجه ولتاژ آمپتر می‌شود و در نتیجه سیگنال‌های ورودی و خروجی هم فاز بودند. در حالت ب)، خروجی مدار از کلکتور گرفته می‌شود و افزایش جریان آمپتر و در نتیجه جریان کلکتور ترانزیستور باعث افزایش افت ولتاژ روی مقاومت کلکتور و در نتیجه کاهش دامنه ولتاژ خروجی می‌شود که منجر به اختلاف 18° درجه‌ای بین ورودی و خروجی خواهد شد.



شکل ۱۳-۲- اعمال سیگنال به ترانزیستور بدون استفاده از روش‌های تغذیه ترانزیستور

پرسش ۳

هدف

— درک ملموس‌تر دانش آموزان از پدیده بایاسینگ نامناسب و اثر آن بر سیگنال خروجی تقویت کننده با استفاده از یک کاربرد عملی

فرض کنید از یک تقویت کننده ترانزیستوری برای تقویت سیگنال صوتی استفاده شده است اما هیچ وسیله سنجش الکترونیکی در اختیار نیست تا به وسیله آن بتوان برش سیگنال خروجی را که از بایاسینگ نامناسب ناشی می‌شود تشخیص داد. با این حال یک دستگاه هدفون صوتی در اختیار است که به وسیله آن می‌توان به سیگنال‌ها گوش داد. توضیح دهید که با استفاده از این هدفون چگونه می‌توان اختلال جدی در شکل موج خروجی تقویت کننده را تشخیص داد.

پاسخ: با استفاده از مولد سیگنال یک شکل موج سینوسی با فرکانس 1 kHz تولید کنید. با استفاده از هدفون به صدای ایجاد شده ناشی از این شکل موج گوش فرا دهید. سیگنال سینوسی را به ورودی مدار اعمال کرده و این بار با استفاده از هدفون، به صدای موج خروجی تولید شده توسط تقویت کننده گوش کنید. تفاوت بین صدای شکل موج سینوسی خالص و شکل موج برش خورده کاملاً قابل تشخیص است.

همکاران محترم می‌توانند از مدار نشان داده شده در شکل ۵۶-۲ کتاب درسی یا هر مداری که مناسب دانستند به عنوان مدار تقویت کننده استفاده کنند.

توجه

همکاران گرامی می‌توانند این پرسش را در قالب یک فعالیت عملی و گروهی در آزمایشگاه مطرح کنند و از گروه‌های مختلف بخواهند تا در مورد یافته‌های عملی خود با دیگر گروه‌ها، بحث کنند. بدین منظور می‌توان بایاسینگ ترانزیستورها را برای گروه‌های مختلف به صورت متفاوت تعریف کرد و از دانش آموزان خواست با توجه به سیگنال خروجی شنیده شده، در مورد میزان جابه‌جایی نقطه کار از وسط خط بار DC و مناسب بودن بایاسینگ به کار گرفته شده گفت‌وگو کنند.

پرسش ۴

در کدام یک از آرایش‌های ترانزیستوری زیر ورودی به کلکتور اعمال می‌شود؟

الف) امیتر مشترک

ب) بیس مشترک

پ) کلکتور مشترک

ت) هیچکدام

پاسخ: در مدار امیتر مشترک ورودی به بیس اعمال شده و خروجی از کلکتور گرفته می‌شود. در مدار بیس مشترک نیز خروجی از کلکتور گرفته می‌شود و در مدار کلکتور مشترک، کلکتور بین بیس (ورودی) و امیتر (خروجی) مشترک است و در هیچ یک از آرایش‌های ترانزیستوری ورودی به کلکتور داده نمی‌شود. بنابراین (ت) گزینه صحیح است.

پرسش ۵

در آرایش ترانزیستوری که اغلب برای تطبیق امپدانس ورودی زیاد به امپدانس خروجی کم مورد استفاده قرار می‌گیرد، کدام پایه ترانزیستور بین ورودی و خروجی مشترک است؟

الف) امیتر ب) بیس پ) کلکتور ت) هر کدام از پایه‌ها می‌توانند انتخاب شوند

پاسخ: همانطور که در کتاب درسی ذکر شده است برخی از مشخصات اصلی تقویت‌کننده کلکتور مشترک عبارت‌اند از امپدانس ورودی زیاد، امپدانس خروجی کم، بهره و ولتاژ کمتر از واحد و بهره جریان بالا. این مشخصات باعث شده‌اند تا از این تقویت‌کننده به عنوان بافر یا جداساز برای اتصال یک منبع با امپدانس بالا به یک بار با امپدانس کم استفاده شود در حالی که تلفات سیگنال وجود نخواهد داشت. بنابراین (پ) گزینه صحیح است.

فعالیت خارج از کلاس ۲

دانش‌آموزان می‌توانند این فعالیت را در آزمایشگاه و یا با استفاده از نرم افزارهای معرفی شده در کتاب آزمایشگاه مجازی ۲ کد ۴۶۶/۶ چاپ ۱۳۹۱ انجام دهند.

هدف

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

پرسش ۶: در کدام یک از تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری زیر خروجی با ورودی همفاز است؟

الف) امیتر مشترک

ب) بیس مشترک

پ) کلکتور مشترک

ت) بیش از یکی از آرایش‌های ترانزیستوری

پاسخ: در تقویت‌کننده‌های بیس مشترک و کلکتور مشترک جریان و ولتاژهای ورودی با جریان و ولتاژهای خروجی همفازند. در مدار امیتر مشترک نیز جریان‌های ورودی و خروجی هم‌فازند اما چون در این مدار خروجی از کلکتور گرفته می‌شود، اندازه ولتاژ خروجی با افزایش جریان خروجی کاهش می‌یابد. افزایش جریان خروجی به واسطه افزایش مقدار جریان ورودی اتفاق می‌افتد که خود با ولتاژ ورودی رابطه‌ای مستقیم دارد. در نتیجه دو آرایش از سه آرایش ترانزیستوری دارای خروجی و ورودی همفاز بوده و

(ت) گزینه صحیح است.

WWW

معرفی سایت: مطالعه و مقایسه آرایش‌های مختلف تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری

http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_3/bjt_amps/bjt_amps.html

آزمونک ۳ 

چرا تقویت‌کننده امیتر مشترک بیشترین کاربرد را در بین دیگر تقویت‌کننده‌ها دارد؟
پاسخ: از آنجا که این تقویت‌کننده دارای امپدانس ورودی و خروجی متوسطی است و قابلیت تقویت ولتاژ و جریان را داراست از آن در تقویت‌انتهایی، میانی و ابتدایی استفاده می‌شود. همچنین این تقویت‌کننده دارای پهنای باند نسبتاً خوبی است.

۲-۴- خنثی کردن اثر مقاومت‌های بایاس با استفاده از خازن بوت استراپ (صفحه ۵۲ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۷

هدف

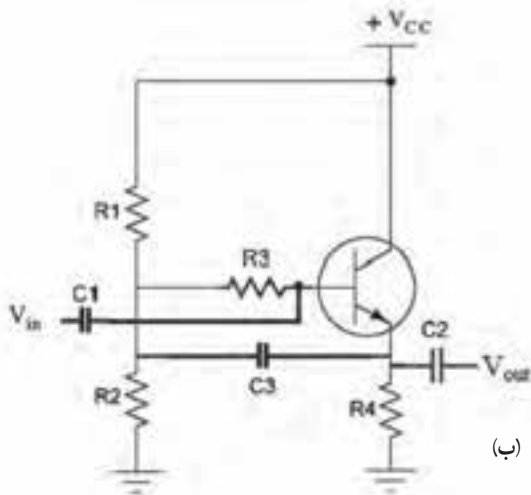
— بررسی نقش مقاومت افزوده شده به مدار بایاس سرخود در کاهش اثر منفی مقاومت‌های بایاس بر مقاومت ورودی.

در مدار نشان داده شده در شکل ۱۵-۲ الف فرض کنید مقدار Z_n برابر $50 \text{ k}\Omega$ است و داریم:

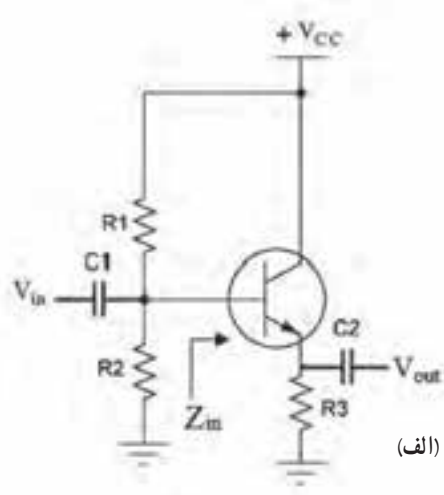
$$R_1 = 22 \text{ k}\Omega, R_2 = 18 \text{ k}\Omega$$

در مدار شکل ۱۵-۲ ب مقاومت $20 \text{ k}\Omega$ با استفاده از تکنیک بوت استریپینگ برای کاهش اثر مقاومت‌های بایاس، به

مدار اضافه شده است. در هر دو مدار تأثیر مقاومت‌های بایاس را بر Z_n مطالعه کنید.



(ب)



(الف)

شکل ۱۴-۲— تقویت‌کننده کلکتور مشترک و استفاده از راهکار بوت استریپینگ برای خنثی کردن اثر مقاومت‌های بایاس بر مقاومت ورودی تقویت‌کننده

پاسخ: در مدار الف مقاومت تونین مقاومت‌های بایاس برابر است با:

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \left(\frac{22 \times 18}{22 + 18} \right) \text{K}\Omega \cong 10 \text{K}\Omega$$

اثر این مقاومت بر Z_n در حالت DC عبارت است از:

$$Z_{in} = Z_{in} \parallel R_{in} = \left(\frac{50 \times 10}{50 + 10} \right) \text{K}\Omega = 8.33 \text{K}\Omega$$

همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار Z_n به شدت کاهش می‌یابد. وقتی از تقویت کننده کلکتور مشترک برای تطبیق امپدانس استفاده می‌شود، کاهش مقاومت ورودی باعث پایین آمدن کارایی این مدار می‌شود. برای کاهش اثر مقاومت‌های بایاس بر مقاومت ورودی از مدار شکل ۱۷-۲ استفاده می‌کنیم و داریم:

$$R_n \quad R_n \quad R_2 \quad 10 \text{K}\Omega \quad 20 \text{K}\Omega \quad 30 \text{K}\Omega$$

در این حالت مقاومت تونین مدار بایاس در مدار الف سری شده و مقدار این مقاومت را افزایش می‌دهد. مقاومت حاصل با مقاومت ورودی تقویت کننده موازی می‌شود و داریم:

$$Z_{in} = Z_{in} \parallel R_{in} = \left(\frac{50 \times 30}{50 + 30} \right) \text{K}\Omega = 18.75 \text{K}\Omega$$

مشاهده می‌شود که مقاومت ورودی در حالت DC نسبت به حالت الف افزایش پیدا کرده است و به این طریق اثر منفی مقاومت‌های بایاس بر مقاومت ورودی تا حدی جبران می‌شود. همانطور که در کتاب درسی اشاره شده است در حالت ac از طریق فیدبک مثبت ایجاد شده توسط خازن C_p ، مقادیر ولتاژهای دو سر مقاومت R_2 تقریباً یکسان است و R_2 معادل یک مقاومت بزرگ است و جریان ac ناچیزی از آن می‌گذرد.

۲-۵ - کاربرد آرایش‌های مختلف تقویت کننده (صفحه ۵۴ از کتاب درسی)

مثال ۸ (کاربردی)

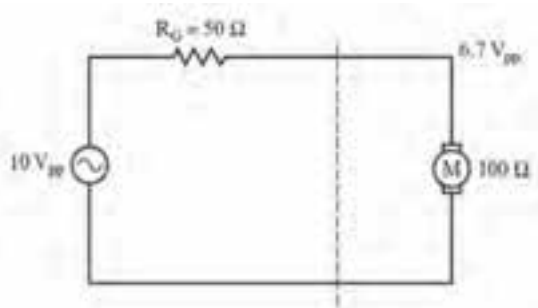
هدف

— نشان دادن اهمیت و کاربرد مدار کلکتور مشترک

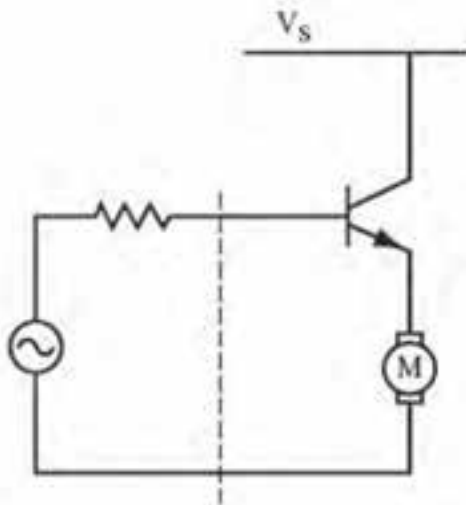
مدار نشان داده شده در شکل ۱۵-۲ شامل یک موتور AC کوچک با مقاومت 100Ω اهم است که با یک سیگنال پیک تو پیک

10V_{pp} ولت با استفاده از یک ژنراتور راه اندازی می‌شود. مقاومت 50Ω اهمی نشان داده در شکل که با R_G مشخص شده است، مقاومت داخلی ژنراتور است. در این مدار تنها $6/7$ ولت پیک تو پیک به موتور اعمال می‌شود و باقیمانده ولتاژ در دو سر R_G افت می‌کند.

شکل ۱۶-۲ مداری مشابه را نشان می‌دهد که در آن یک ترانزیستور



شکل ۱۵-۲ - اعمال سیگنال به یک موتور AC



شکل ۱۶-۲- اعمال سیگنال به موتور AC در قالب تقویت کننده کلکتور مشترک

بین ژنراتور و موتور در یک آرایش کلکتور مشترک واقع شده است. می توان از رابطه زیر برای محاسبه تقریبی مقاومت ورودی ترانزیستور استفاده کرد (با این فرض که داریم $\beta = 100$):

$$R_n \approx \beta \times R_E = 100 \times 100 \Omega = 10000 \Omega$$

ولتاژ یک تو پیک 10° ولت ژنراتور بین مقاومت ورودی 10000Ω اهمی ترانزیستور و مقاومت 5° اهمی داخلی ژنراتور تقسیم می شود. بنابراین افت ولتاژ قابل توجهی در دو سر R_G وجود نخواهد داشت و تقریباً تمامی 10° ولت به بیس ترانزیستور اعمال می شود. از آنجا که در تقویت کننده کلکتور مشترک بهره ولتاژ مدار کمی کمتر از واحد و مقدار ولتاژ امیتر (خروجی) تقریباً برابر ولتاژ بیس (ورودی) است، می توان فرض کرد که مقدار ولتاژ امیتر نیز تقریباً برابر 10° ولت پیک تو پیک است.

همچنین جریان عبوری از موتور نیز توسط منبع توان تأمین می شود و نه ژنراتور و ترانزیستور در نقش یک ژنراتور با یک مقاومت داخلی بسیار اندک عمل می کند. این مقاومت داخلی (R_O) که امپدانس خروجی مدار کلکتور مشترک نامیده می شود، از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$R_O = (\beta) / (\text{مقاومت داخلی ژنراتور})$$

برای مدار نشان داده شده در شکل ۱۷-۲، اگر $R_G = 5^\circ \Omega$ و $\beta = 100$ در نظر گرفته شود R_O مقداری برابر $5^\circ / 100$ اهم خواهد داشت. بنابراین مدار نشان داده شده در شکل ۱۷-۲، یک ژنراتور با مقاومت داخلی تنها $5^\circ / 100$ اهم است که یک موتور با مقاومت 100 اهم را راه اندازی می کند و در نتیجه ولتاژ خروجی 10° ولت پیک تو پیک در دو سر موتور حفظ می شود.

۲-۶- پاسخ فرکانسی تقویت کننده ها (صفحه ۵۹ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱۸-۲ (صفحه ۶۰ از کتاب درسی)

۱- ۱۸-۲- پاسخ: تقویت کننده با آرایش بیس مشترک دارای بهره ولتاژ زیاد و بهره جریان کم و کوچک تر از واحد

است.

۲- ۱۸-۲- پاسخ: غلط

۳- ۱۸-۲- پاسخ: بیس مشترک

۴- ۱۸-۲- پاسخ: گزینه ۲ صحیح است

۵- ۱۸-۲- پاسخ: نسبت توان خروجی به توان ورودی بر حسب دسی بل برابر مجموع ضریب قدرت هر یک از بلوک ها

بر حسب دسی بل است:

$$10 \log A_p = 10 \log \left(\frac{P_o}{P_{in}} \right) = 50 \text{dB} + X \text{dB} + 10 \text{dB}$$

$$\rightarrow 10 \log \left(\frac{10^W}{2^{\mu W}} \right) = 60 \text{dB} + X \text{dB} \rightarrow 67 \text{dB} = 60 \text{dB} + X \text{dB} \rightarrow X = 7 \text{dB}$$

۶-۱۸-۲- پاسخ: مدار تقویت کننده کلکتور - مشترک که دارای بایاس سرخود است در شکل ۲-۶۹ از کتاب درسی نشان داده شده است و نحوه محاسبه مقاومت خروجی آن در بخش ۲-۱۲-۵ بیان شده است.

۷-۱۸-۲- پاسخ: این مشخصات در جدول ۲-۱ از کتاب درسی و در صفحه ۵۴ نشان داده شده است.

۸-۱۸-۲- پاسخ: در این مدار خازن C_B سیگنال خروجی را به یک سر مقاومت R_3 در نقطه A برگشت داده و خازن C_1 سیگنال ورودی را به سر دیگر مقاومت R_3 که در بیس قرار دارد می‌رساند. از آنجا که در مدار کلکتور - مشترک سیگنال‌های ورودی و خروجی تقریباً هم دامنه و هم فازند، اختلاف ولتاژ دو سر مقاومت R_3 تقریباً صفر و امپدانس آن دارای مقدار بسیار زیادی است. این امپدانس که به ضریب تقویت ولتاژ وابسته است باعث خنثی شدن اثر مقاومت‌های بایاس و میل کردن امپدانس ورودی به سمت امپدانس مقاومت بوت استرپ می‌شود.

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار

۱- کاربرد تقویت کننده‌های ترانزیستوری با آرایش‌های مختلف

۲- کاربردهای فیدبک در مدارهای ترانزیستوری

۳- پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌های ترانزیستوری

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.