فصل ۲

مشخصات ویژهٔ تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری

هدف‌های فصل

دانشی	مهارتی	نگرشی
۱ــ آشنایی با روش‌های مختلف تغذیهٔ ترانزیستور ۲ــ آشنایی با مشخصات تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری ۳ــ آشنایی با فیدبک مثبت و منفی و تأثیرات آن‌ها بر مشخصات تقویت کننده ۴ــ فراگیری راهکار بوت استرپینگ برای خنثی سازی اثر مقاومت‌های بایاس بر مقاومت ورودی تقویت‌کننده ۵ــ آشنایی با پاسخ فرکانسی یک تقویت کنندهٔ نوعی	۱ــ توانایی تحلیل ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور در انواع بایاس‌های مختلف ۲ــ توانایی تحلیل تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری و انتخاب آن‌ها برای کاربردهای مختلف بر اساس مشخصات ویژهٔ آن‌ها ۳ــ توانایی انتخاب مناسب خازن بای پس با توجه به مشخصات فرکانسی مدار ۴ــ توانایی محاسبهٔ بهرهٔ یک تقویت کننده بر حسب دسی بل	۱ــ شناخت عوامل مؤثر در جابه‌جایی نقطهٔ کار در بایاس‌های مختلف ۲ــ درک چگونگی تقویت سیگنال در ترانزیستور ۳ــ درک رابطهٔ بین انتخاب نقطهٔ کار و شکل سیگنال تقویت شدهٔ خروجی ۴ــ شناخت عوامل محدودکنندهٔ عملکرد تقویت‌کننده‌ها و برخی از راهکارهای جبران‌سازی ۵ــ بررسی مشخصات یک تقویت‌کنندهٔ نوعی از دیدگاه فرکانسی

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 پیش نیازهای 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.

نحوهٔ 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 تغذیهٔ ترانزیستور	آشنایی با مدارهای مختلف برای تغذیهٔ ترانزیستور و بررسی میزان پایداری نقطهٔ کار در هر یک از آن‌ها	بحث، مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	تشریحی و محاسباتی	۵	سؤال در مورد روش‌های مختلف تغذیهٔ ترانزیستور در قالب سؤالات تشریحی. ارزیابی توانایی دانش‌آموزان در تعیین ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور با استفاده از سؤالات محاسباتی.

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

۲ـ۱ـ روش‌های مختلف تغذیهٔ ترانزیستور (صفحهٔ ۳۰ کتاب درسی)

۲ــ۱ــ۱ــ پایداری بایاس

مباحث مربوط به ۲ـ۱ و ۲ـ۱ـ۱ در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

آزمونک ۱

تغذیهٔ نامناسب ترانزیستور چه اثری بر سیگنال خروجی دارد؟

پاسخ : تغذیهٔ ناکافی یا تغذیهٔ 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.

۲ــ۱ــ۲ــ تغذیهٔ ثابت

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

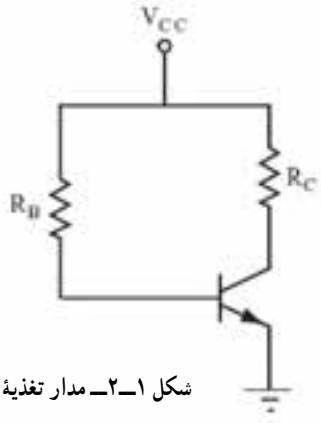
مثال ۱

هدف

ــ بررسی نقش مقاومت بیس در تغییرات ولتاژ و جریان پایه‌های ترانزیستور در مدار تغذیهٔ ثابت اثر تغییر در مقدار مقاومت R_B را بر روی I_B ، I_C و V_C در مدار شکل ۱ــ۲ تعیین کنید.

پاسخ : برای درک رابطهٔ بین مقاومت R_B و نقطهٔ کار باید از معادلات جریان و ولتاژ مدار استفاده کرد. با نوشتن KVL در حلقهٔ ورودی داریم :

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



شکل ۱ــ۲ــ مدار تغذیهٔ ثابت

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

چون برای جریان کلکتور داریم : $I_C \ \beta I_B$

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 رابطهٔ بالا، ولتاژ کلکتور افزایش خواهد یافت و بالعکس. در نتیجه مقدار ولتاژ کلکتور با اندازه R_B رابطهٔ مستقیم دارد.

فعالیت خارج از کلاس ۱

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

این فعالیت در کارگاه و آزمایشگاه عمومی یا آزمایشگاه مجازی انجام می‌شود. همچنین کلیه مراحل را معلم به‌صورت 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 ـ یادگیری

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

☑ نکتهٔ آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۲ــ۱ــ۳ــ تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۲

☑ هدف

ــ مقایسهٔ میزان پایداری نقطهٔ کار در برابر تغییرات در مقدار β در مدار تغذیهٔ ثابت و مدار تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر.

شکل ۲ــ۲ــ الف یک مدار تغذیهٔ ثابت و شکل ۲ــ۲ــ ب یک مدار تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر را نشان می‌دهد. مقدار اولیه β در مدارهای تغذیهٔ ثابت و تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر به ترتیب برابر ۵۰ و ۱۰۰ بوده است. فرض کنید مقدار β در مدار تغذیهٔ ثابت به ۱۰۰ افزایش یافته و در مدار تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر به ۵۰ کاهش پیدا کند. اثر تغییر β در مدارهای داده شده را بر نقطهٔ کار بررسی کنید.

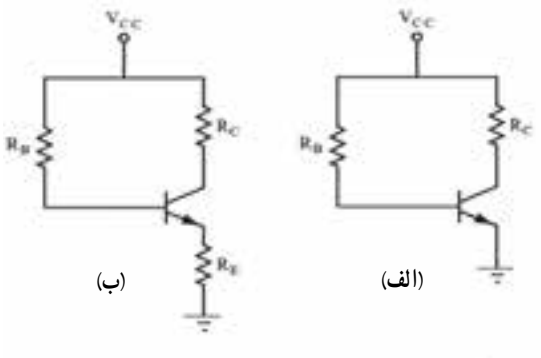
مشخصات مدارها عبارت‌اند از :

مدار تغذیهٔ ثابت :

V_{CC} ۱۲V, R_B ۲۴۰KΩ, R_C ۲/۲KΩ, β ۵۰, V_{BEon} ۰/۷V

مدار تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر :

V_{CC} ۲۰V, R_B ۴۳۰KΩ, R_C ۲KΩ, R_E ۱KΩ, β ۱۰۰, V_{BEon} ۰/۷V



شکل ۲ــ۲ــ مدارهای تغذیهٔ ثابت و تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر

پاسخ :

الف) با نوشتن معادلهٔ KVL در حلقه بیس ــ امیتر در مدار تغذیهٔ ثابت خواهیم داشت :

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{(۱۲ - ۰/۷)^V}{۲۴۰^{K\Omega}} = ۴۷/۰۸^{\mu A}$$

$$I_C \quad \beta I_B \quad ۵۰(۴۷/۰۸^{\mu A}) \quad ۲/۳۵^{mA}$$

$$V_{CE} \quad V_{CC} \quad I_C R_C \quad ۱۲^V \quad (۲/۳۵^{mA})(۲/۲^{K\Omega}) \quad ۶/۸۳^V$$

با افزایش مقدار β به ۱۰۰ خواهیم داشت :

$$I_C \quad \beta I_B \quad ۱۰۰(۴۷/۰۸^{\mu A}) \quad ۴/۷۱^{mA}$$

$$V_{CE} \quad V_{CC} \quad I_C R_C \quad ۱۲^V \quad (۴/۷۱^{mA})(۲/۲^{K\Omega}) \quad ۱/۶۴^V$$

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

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + ۱)R_E} = \frac{(۲۰ - ۰/۷)^V}{۴۳۰^{K\Omega} + ۱۰۱(۱^{K\Omega})} = ۳۶/۳۵^{\mu A}$$

$$I_C \quad \beta I_B \quad ۱۰۰(۳۶/۳۵^{\mu A}) \quad ۳/۶۳۵^{mA} \cong I_E$$

$$V_{CE} \quad V_{CC} \quad I_C R_C \quad I_E R_E \quad ۲۰^V \quad (۳/۶۳۵^{mA})(۲^{K\Omega}) \quad (۳/۶۳۵^{mA})(۱^{K\Omega}) \cong ۹/۱^V$$

با کاهش مقدار β به ۵۰ خواهیم داشت :

$$I \quad = \frac{V_{CC} \quad V_{BE}}{R_B + (\beta + \ )R_E} = \frac{(۲۰ \quad ۰/۷)}{۴۳۰^{K\Omega} \quad ۵۱(۱^{K\Omega})} = ۴۰/۱۲$$

$$I_C \quad \beta I_B \quad ۵۰(۴۰/۱۲^{\mu A}) \quad ۲/۰۱^{mA}$$

$$V_{CE} \quad V_{CC} \quad I_C R_C \quad I_E R_E \quad ۲۰^V \quad (۲/۰۱^{mA})(۲^{K\Omega}) \quad (۲/۰۱^{mA})(۱^{K\Omega}) \cong ۱۳/۹۷^V$$

نتایج حاصل از تغییرات β بر نقاط کار مدارهای الف و ب در جدول‌های ۱ و ۲ زیر نشان داده شده است :

جدول ۱ تغییر نقطهٔ کار در اثر افزایش مقدار β در مدار تغذیهٔ ثابت

β	$I_B(\mu A)$	$I_C(mA)$	$V_{CE}(V)$
۵	۴۷/ ۸	۲/۳۵	۶/۸۳
۱	۴۷/ ۸	۴/۷۱	۱/۶۴

جدول ۲ تغییر نقطهٔ کار در اثر کاهش مقدار β در مدار تغذیهٔ ثابت با مقاومت امیتر

β	$I_B(\mu A)$	$I_C(mA)$	$V_{CE}(V)$
۵	۴ /۱۲	۲/ ۱	۱۳/۹۷
۱	۳۶/۳۵	۳/۳۶۵	۹/ ۹۵

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود در مدار الف)، با دو برابر شدن مقدار β اندازهٔ جریان کلکتور ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد و درنتیجه میزان ولتاژ کلکتور ــ امیتر به شدت افت می‌کند در حالی‌که اندازهٔ جریان بیس ثابت مانده است. از طرفی در مدار ب)، نصف شدن مقدار β باعث می‌شود که جریان کلکتور کمتر از ۵۰ درصد کاهش پیدا کند و در نتیجه تغییرات ولتاژ کلکتور ــ 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 نمی ماند و با افزایش I_B، اثر ناشی از کاهشِ β بر نقطهٔ کار کنترل می‌شود.

☑ نکتهٔ آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۲ــ۱ــ۴ــ تغذیهٔ سرخود : به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۳

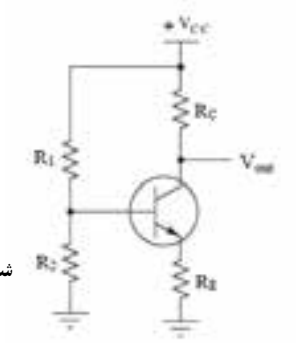
☑ هدف

ــ بررسی پایداری نقطهٔ کار در مقابل تغییرات β در مدار تغذیهٔ سرخود

برای مدار نشان داده شده در شکل ۳ــ۲ داریم :

$R_۱ = ۳۹^{k\Omega}, R_۲ = ۳/۹^{k\Omega}, R_E = ۱/۵^{k\Omega}, R_C = ۱۰^{k\Omega}, V_{CC} = ۲۲^{V}, V_{BEon} = ۰/۷^{V}.$

مقادیر I_C و V_{CE} را برای ۱۴۰ = β و ۷۰ = β با استفاده از تحلیل دقیق DC محاسبه و اثر تغییر β بر نقطهٔ کار را در مدار تغذیهٔ سرخود بررسی کنید.



شکل ۳ــ۲ــ یک مدار تغذیهٔ سرخود

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

$$V_B = V_{CC}\frac{R_۲}{R_۲ + R_۱} = ۲۲^{V}\left(\frac{۳/۹}{۳/۹ + ۳۹}\right)^{K\Omega} = ۲^{V}$$

$$V_E = V_B - V_{BE} \Rightarrow V_E = ۲ - ۰/۷ = ۱/۳^{v}$$

با استفاده از روابط بالا برای جریان امیتر داریم :

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{۱/۳^{V}}{۱/۵^{K\Omega}} = ۰/۸۶^{mA}$$

$$I_C = \frac{\beta}{\beta + ۱} I_E = \frac{۱۴۰}{۱۴۱}(۰/۸۶^{mA}) = ۰/۸۵^{mA}$$

برای ۱۴۰ = β داریم :

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = ۲۲^{v} - (۰/۸۵^{mA} \times ۱۰^{K\Omega}) = ۱۳/۵^{v}$$

$$\Rightarrow V_{CE} = V_C - V_E = ۱۳/۵ - ۱/۳ = ۱۲/۲^{v}$$

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

آزمونک ۲

چرا تغذیهٔ 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 تغذیهٔ سرخود را از دیگر مدارهای تغذیه متمایز می‌کند.

WWW

معرفی سایت : مطالعهٔ مدارهای بایاس و مشخصات آن‌ها

۱ــ http: //www.vk۲zay.net/calculators/transistors/bjtBiasing.php

۲ــ http: //www.zen۲۲۱۴۲.zen.co.uk/Design/bjtbias.htm

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۴ـ۲ (صفحهٔ ۳۶ از کتاب درسی)

۱ــ۴ــ۲ــ پاسخ : با نوشتن KVL در حلقهٔ شامل منبع تغذیه، مقاومت بیس و پیوند بیس امیتر می‌توان دید که رابطهٔ داده شده صحیح است.

۲ــ۴ــ۲ــ پاسخ : برای مدار ۱۸ــ۲ از کتاب درسی داریم :

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

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

۳ــ۴ــ۲ــ پاسخ : در مدار نشان داده شده در شکل ۱۹ــ۲ از کتاب درسی با افزایش R_C افت ولتاژ روی این مقاومت بیشتر شده و از ولتاژ کلکتور کاسته می‌شود. در نتیجه ولتاژ پیوند کلکتورــ امیتر نیز کاهش یافته و بنابراین گزینهٔ ۴ صحیح است.

۴ــ۴ــ۲ــ پاسخ : در مدار بایاس خودکار با افزایش جریان کلکتور و کاهش ولتاژ کلکتور از میزان ولتاژ پیوند بیس ــ امیتر کاسته می‌شود. با دقت در منحنی مشخصهٔ 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.

۵ــ۴ــ۲ــ پاسخ : نحوهٔ محاسبهٔ ولتاژ و مقاومت تونن ورودی برای مدار بایاس سرخود در شکل‌های ۶ــ۲ و ۷ــ۲ از کتاب درسی و روابط متناظر با آن‌ها به طور کامل شرح داده شده است.

۶ــ۴ــ۲ــ پاسخ : همانطور که در شکل ۱۶ــ۲ 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. ازاین‌رو افت ولتاژ روی مقاومت کلکتور بیشتر شده و ولتاژ کلکتور کاهش می‌یابد.

۷ــ۴ــ۲ــ پاسخ : در این مدار برای ولتاژ و مقاومت تونن داریم :

$$V_{th} = \frac{V_{CC}(R_2)}{(R_1 + R_2)} = \frac{(۲۰^{V} \times ۱۰^{K\Omega})}{(۴۰+۱۰)^{K\Omega}} = ۴^{V}$$

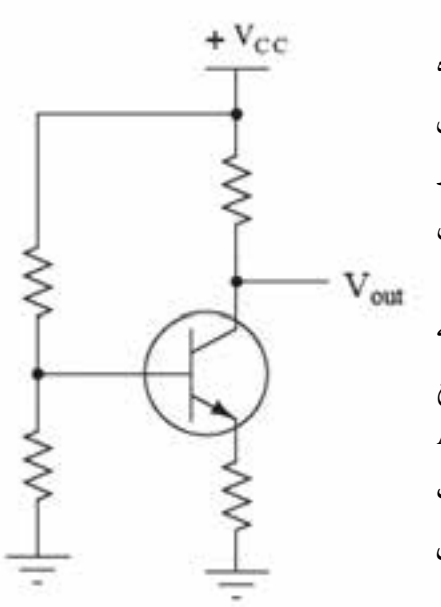
$$R_{th} = (R_1 \| R_2) = \frac{(R_1 \times R_2)}{(R_1 + R_2)} = (\frac{۱۰ \times ۴۰}{۱۰+۴۰})^{K\Omega} = ۸^{K\Omega}$$

۲ـ۲ـ رفتار قطعات مدار تقویت‌کننده در سیگنال DC و AC (صفحهٔ ۳۷ از کتاب درسی)

پرسش ۱

هدف

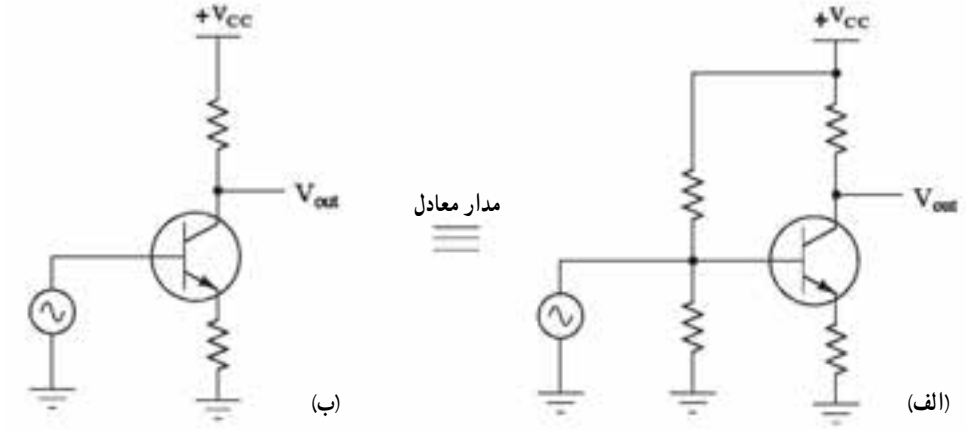
ــ بررسی نقش خازن کوپلاژ در مدارهای تقویت کنندهٔ ترانزیستوری و چگونگی به‌کارگیری آن



شکل ۴ــ۲ــ مدار تغذیه سرخود

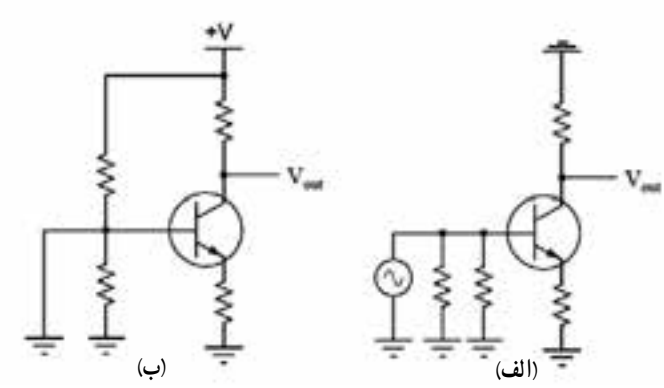
شکل ۴ــ۲ یک مدار ترانزیستوری با تغذیهٔ سرخود را نشان می‌دهد. برای استفاده از این مدار به عنوان یک تقویت کننده، یک سیگنال متناوب به بیس ترانزیستور اعمال می‌شود. توضیح دهید چرا باید از خازن کوپلاژ برای اتصال منبع سیگنال به ترانزیستور استفاده کرد و مدار معادل تقویت کننده در صورت استفاده نکردن از خازن به چه شکل خواهد بود؟ در صورت استفاده از خازن، مشخصات آن به چه نحو باید باشد؟

پاسخ : شکل ۵ــ۲ــ الف، مدار تقویت کنندهٔ ترانزیستوری را نشان می‌دهد که در آن سیگنال ورودی مستقیماً به بیس ترانزیستور اعمال شده است. در این‌حالت 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 می‌شود. مدار معادل این تقویت کننده در شکل ۵ــ۲ــ ب نشان داده شده است. علاوه بر این همان‌طور که در کتاب درسی اشاره شده است این خازن، مدار DC ترانزیستور را از بقیهٔ مدار جدا می‌کند و منبع سیگنال اثری بر روی نقطهٔ کار مدار نخواهد داشت.



شکل ۵ــ۲ــ اعمال سیگنال به ترانزیستور بدون استفاده از خازن کوپلاژ

برای درک بهتر اثر اتصال مولد سیگنال بدون استفاده از خازن کوپلینگ می‌توان از راهکار جمع آثار که در ادامه ذکر می‌شود استفاده کرد :



شکل ۶ــ۲

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

همان‌طور که در شکل ۶ــ۲ــ الف نشان داده شده است در این‌حالت مقاومت بین بیس و منبع تغذیهٔ 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 تغذیهٔ DC باید منبع سیگنال را اتصال کوتاه کرد. حاصل در شکل۶ــ۲ــ ب نشان داده شده است. می‌توان دید که در این‌حالت 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 تغذیهٔ 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.

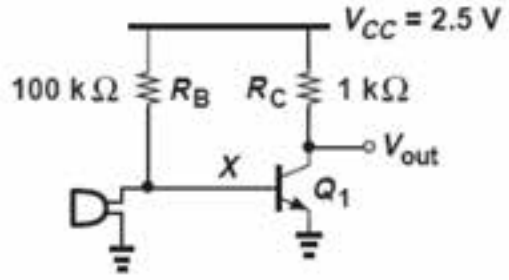
حال فرض کنید می‌خواهیم از یک خازن برای اتصال مولد سیگنال به مدار استفاده کنیم. همانطور که در کتاب ذکر شده است بایستی اندازهٔ خازن را به اندازهٔ کافی بزرگ انتخاب کنیم تا امپدانس آن در حداقل فرکانس کار مدار قابل چشم پوشی باشد.

مثال ۴

☑ هدف

ــ 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 تغذیهٔ آن آشنا بوده است مدار نشان داده شده در شکل ۷ــ۲ را برای تقویت سیگنال تولید شده توسط میکروفون ساخته است؛ اما هیچ جریانی در خروجی ترانزیستور وجود ندارد و عمل تقویت کنندگی انجام نمی شود. 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 ۷ــ۲ میکروفون

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

$$V_X = V_B = [\frac{(۱۰۰^{\Omega})}{(۱۰۰^{K\Omega} + ۱۰۰^{\Omega})}] \times ۲/۵^{V} \sim ۲/۵^{mV}$$

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

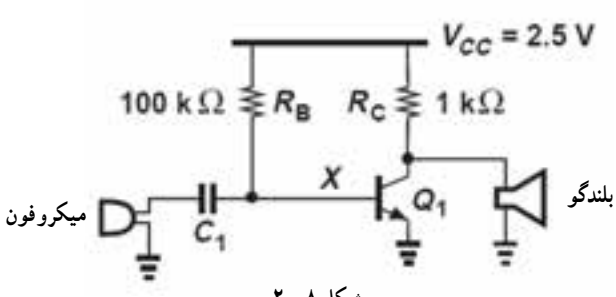
☑ فرصت یاددهی ـ یادگیری

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۵

☑ هدف

ــ بررسی تأثیر سلف بر عملکرد مدار ترانزیستوری در صورت عدم به‌کارگیری خازن در مکان مناسب در مدار دانش‌آموزی که مدار مثال ۴ را طراحی کرده است با تجربیاتی که از نوع عملکرد آن به‌دست آورده از مدار اصلاح شده برای راه‌اندازی یک بلندگو استفاده می‌کند (شکل ۸ــ۲). با این‌حال این مدار کار نمی‌کند و از بلندگو صوتی شنیده نمی‌شود. علت به وجودآمدن این مشکل را توضیح داده و راه حلی برای آن ارائه دهید. (در ساختار یک بلندگو نوعی از یک سلف استفاده می‌شود که مقاومت DC بسیار کمی دارد)



شکل ۸ــ۲

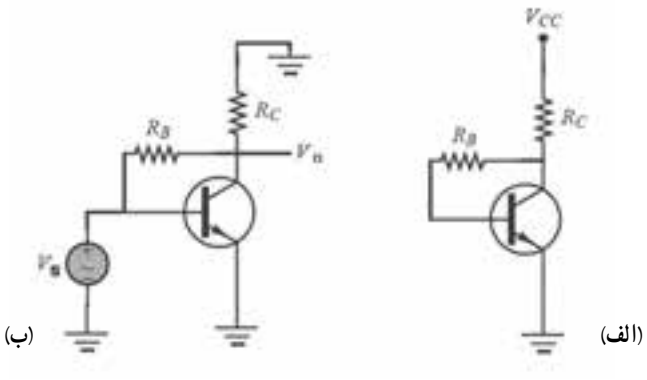
پاسخ : در این مدار چون مقاومت DC بلندگو بسیار کم و حدود ۱ اهم است خروجی ترانزیستور به زمین متصل است. برای حل این مشکل می‌توان یک خازن با کلکتور و بلندگو سری کرد تا بلندگو را در حالت DC از مدار تقویت کننده ایزوله کند.

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۶ـ۲ (صفحهٔ ۴۲ از کتاب درسی)

۱ــ۶ــ۲ــ پاسخ : خازن در مقابل سیگنال DC دارای مقاومت **بینهایت** و سلف ایده آل دارای مقاومت **صفر** است.

۲ــ۶ــ۲ــ پاسخ : از آنجا که خازن در هنگام اعمال یک سیگنال DC با فرکانس صفر دارای مقاومت بینهایت است مثل یک کلید باز عمل می‌کند. اگر ظرفیت خازن به اندازه‌ای بزرگ باشد که در حداقل فرکانس سیگنال ac دارای امپدانس صفر باشد می‌توان آن را به‌صورت یک کلید بسته درنظر گرفت. در نتیجه گزارهٔ بیان شده در این سؤال **غلط** است.

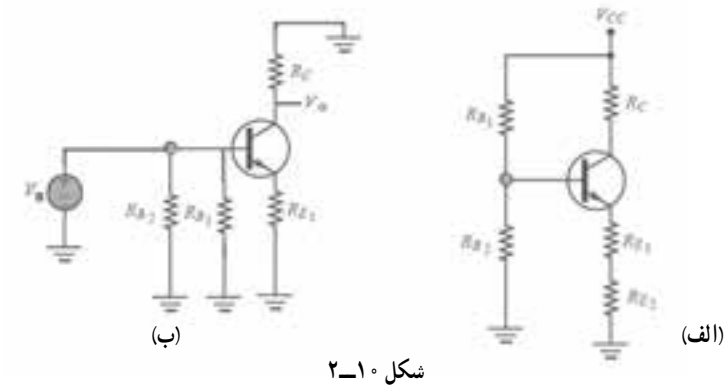
۳ــ۶ــ۲ــ پاسخ : مدارهای معادل DC و ac مدار نشان داده شده در شکل ۴۸ــ۲ کتاب درسی در شکل ۹ــ۲ نشان داده شده‌اند.



شکل ۹ــ۲

در حالت DC خازن‌های C_1 و C_2 اتصال باز هستند، منبع سیگنال اتصال کوتاه و منبع تغذیهٔ DC در مدار باقی می‌ماند. شکل ۹ــ۲ــ الف مدار معادل DC را نشان داده است و همانطور که از شکل مشخص است تغذیهٔ مدار از نوع اتوماتیک است. در حالت ac خازن‌های C_1 و C_2 اتصال کوتاه، منبع تغذیهٔ DC اتصال کوتاه و منبع سیگنال در مدار باقی می‌ماند. نتیجه در شکل ۹ــ۲ــ ب نشان داده شده است.

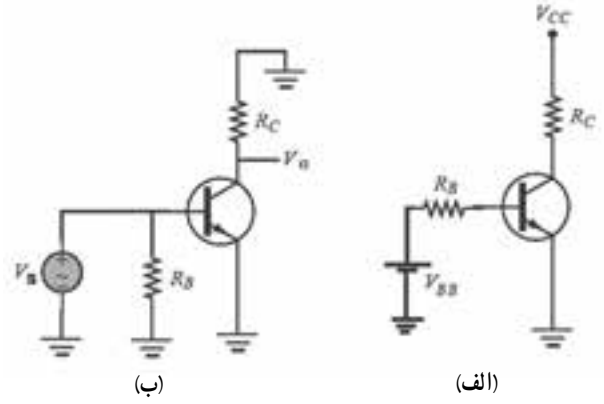
در مدار شکل ۴۹ــ۲ از کتاب درسی، در حالت DC خازن‌های C_1، C_2 و C_3 اتصال باز هستند. منبع تغذیهٔ DC در مدار باقی می‌ماند ولی به دلیل اتصال کوتاه بودن منبع سیگنال و اتصال باز بودن خازن کوپلاژ C_1 سیگنال ac به ورودی اعمال نمی شود. مدار معادل DC در شکل ۱۰ــ۲ ــ الف نشان داده شده است و بایاس از نوع سرخود است. در حالت ac خازن‌های C_1، C_2 و C_3 اتصال کوتاه‌اند و مقاومت R_{E2} از مدار حذف می‌شود. چون منبع تغذیهٔ DC اتصال کوتاه است مقاومت R_{B1} با مقاومت R_{B2} موازی می‌شود (شکل ۱۰ــ۲ــ ب).



(الف) (ب)

شکل ۱۰ــ۲

در مدار شکل ۵۰ ــ۲ 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 ۱۱ــ۲ــ الف خواهیم رسید. از آنجا که در این‌حالت دو منبع ولتاژ DC از طریق مقاومت‌های R_B و R_C در مدار وجود دارد، نوع بایاس مدار در این‌حالت، بایاس ثابت با دو باتری است که نمونه‌ای از آن در مدار شکل ۳۲ــ۱ 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 ۱۱ــ۲ــ ب نشان داده شده است.

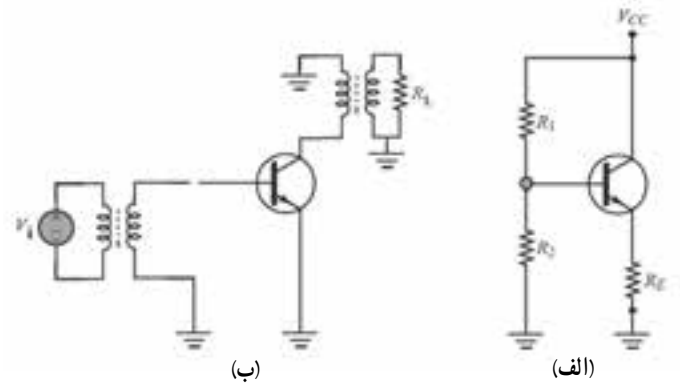


(الف) (ب)

شکل ۱۱ــ۲

در مدار شکل ۵۱ــ۲ از کتاب درسی، در حالت DC خازن‌ها اتصال باز و سلف‌ها اتصال کوتاه هستند. اتصال باز بودن خازن‌ها باعث باقی ماندن مقاومت‌های R_2 و R_E 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 ۱۲ــ۲ــ الف نشان داده شده است یک مدار بایاس سرخود را می‌سازد. در حالت ac خازن‌ها اتصال کوتاه هستند و مقاومت‌های R_2 و R_E از مدار خارج می‌شوند. منبع تغذیهٔ DC نیز اتصال کوتاه است و چون دو سر مقاومت R_1 به زمین متصل است

این مقاومت نیز از مدار خارج می‌شود. در این‌حالت سلف‌ها دارای مقاومت X_L هستند که در مدار باقی می‌مانند. شکل ۱۲ــ۲ــ ب مدار معادل ac حاصل را نشان داده است.



(ب) (الف)

شکل ۱۲ــ۲

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۹ـ۲ (صفحهٔ ۴۶ از کتاب درسی)

۱ــ۹ــ۲ــ پاسخ : در تقویت کننده‌ها معمولاً نوع فیدبک **منفی** است.

۲ــ۹ــ۲ــ 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، بهرهٔ ac مدار کاهش می‌یابد و مثل این است که یک فیدبک منفی در مدار برقرار شده است. بنابراین گزینهٔ ۳ صحیح است.

۳ــ۹ــ۲ــ پاسخ : رابطهٔ داده شده صحیح نیست چون مقدار X_C در **کمترین فرکانس کاری** مدار باید از رابطهٔ زیر پیروی کند در حالی که رابطهٔ داده شده در کتاب درسی برای فرکانس ماکزیمم نوشته شده است :

$$\frac{۱}{۲\pi f_{min}} C \le \frac{R_E}{۱۰}$$

۴ــ۹ــ۲ــ پاسخ : طبق تعریف فیدبک عبارت‌است از انتقال قسمتی از انرژی از خروجی تقویت کننده به ورودی آن و دارای دو نوع مثبت و منفی است.

۵ــ۹ــ۲ــ پاسخ : اگر در تقویت کننده‌ای از فیدبک مثبت استفاده شده باشد چون ولتاژهای ورودی و خروجی همفازند دامنهٔ 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 این‌حالت بیشتر بوده و از این جهت در تقویت‌کننده‌ها از فیدبک منفی استفاده می‌شود.

۶ــ۹ــ۲ــ 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 تغذیهٔ سرخود مقدار ولتاژ بیس ثابت است پس از مقدار ولتاژ پیوند بیس ــ 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.

۷ــ۹ــ۲ــ 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.

۸ــ۹ــ۲ــ پاسخ : حداقل ظرفیت خازن بای پس باید در کمترین فرکانس مدار و با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه شود :

$$\frac{۱}{۲\pi f_{min}} C \le \frac{R_E}{۱۰} \rightarrow \frac{۱}{۲\pi(۱۰۰)} C \le \frac{۱۰۰۰}{۱۰} \rightarrow C \ge ۱۵/۹۲^{\mu F}$$

۲ـ۳ـ تحلیل تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری (صفحهٔ ۴۷ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

پرسش ۲

هدف

ــ این پرسش از دانش‌آموزان می‌خواهد که امکان اختلال اساسی در سیگنال ac را به دلیل جابه‌جایی سادهٔ نقطهٔ کار DC بر اساس دانستنی‌هایشان از چگونگی عملکرد ترانزیستور مورد بررسی قرار دهند. درک این مسئله که تغییرات اندک در نقطهٔ 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 تقویت‌کننده درک کنند.

توضیح دهید که چگونه یک بایاسینگ اشتباه در تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری باعث اختلال در خروجی تقویت کننده می‌شود. چرا و چگونه یک جابه‌جایی در نقطهٔ 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 مشخصهٔ ترانزیستور و خط بار DC را یادآوری کرد. اگر نقطهٔ کارDC از مکان مناسب خود بسیار جابه‌جا شود، ترانزیستور به ناحیهٔ اشباع یا قطع وارد می‌شود. در این وضعیت شکل سیگنال خروجی از طریق برش سیگنال دچار تغییر می‌شود. در حالتی که نقطهٔ 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

ــ بررسی تأثیر انتخاب نامناسب نقطهٔ کار بر شکل موج سیگنال خروجی تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری و همچنین نقش مدارهای تغذیه

شکل ۱۳ــ۲ مدارهای دو تقویت کنندهٔ ترانزیستوری را نشان می‌دهد. در حالی‌که یک شکل موج سینوسی به ورودی مدارها اعمال شده است، شکل موج‌های خروجی برش خورده‌اند و فرم سینوسی ندارند. توضیح دهید چرا این تقویت‌کننده‌ها نمی‌توانند شکل موج ورودی را به طور کامل تقویت کنند؟

پاسخ :

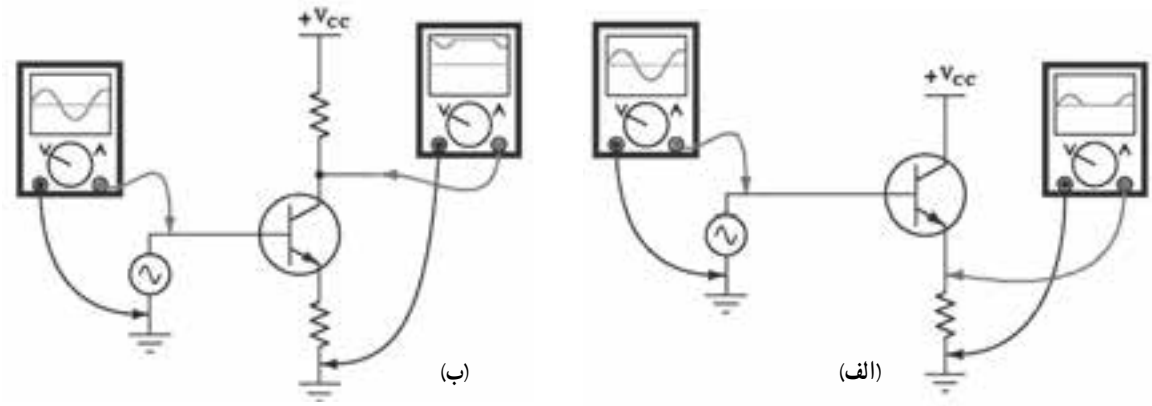
الف) ابتدا باید در نظر داشت که ترانزیستور بایاس نشده است و در حالتی که سیگنالی به ورودی اعمال نشده است داریم :

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

پس می‌توان نتیجه گرفت که هدایت فقط هنگامی وجود دارد که ولتاژ بیس ــ 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 آستانهٔ هدایت باشد. همانطور که از شکل مشخص است بر خلاف حالت الف) که نیمهٔ منفی سیگنال خروجی برش می‌خورد و سیگنال‌های ورودی و خروجی با هم همفاز بودند؛ در مدار شکل ب) نیمهٔ مثبت سیگنال خروجی برش می‌خورد و شکل موج خروجی

دارای اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ای با موج ورودی است. علت این است که در حالت الف) سیگنال خروجی از امیتر گرفته می‌شد و افزایش یا کاهش دامنهٔ ولتاژ ورودی باعث افزایش یا کاهش جریان امیتر و در نتیجه ولتاژ امیتر می‌شد و در نتیجه سیگنال‌های ورودی و خروجی هم‌فاز بودند. در حالت ب)، خروجی مدار از کلکتور گرفته می‌شود و افزایش جریان امیتر و در نتیجه جریان کلکتور ترانزیستور باعث افزایش افت ولتاژ روی مقاومت کلکتور و در نتیجه کاهش دامنهٔ ولتاژ خروجی می‌شود که منجر به اختلاف ۱۸۰ درجه‌ای بین ورودی و خروجی خواهد شد.



شکل ۱۳ــ۲ــ اعمال سیگنال به ترانزیستور بدون استفاده از روش‌های تغذیهٔ ترانزیستور

پرسش ۳

هدف

ــ درک ملموس‌تر دانش‌آموزان از پدیدهٔ بایاسینگ نامناسب و اثر آن بر سیگنال خروجی تقویت‌کننده با استفاده از یک کاربرد عملی

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

پاسخ : با استفاده از مولد سیگنال یک شکل موج سینوسی با فرکانس ۱^{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 تقویت‌کننده 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 ۵۶ــ۲ 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 به‌صورت متفاوت تعریف کرد و از دانش‌آموزان خواست با توجه به سیگنال خروجی شنیده شده، در مورد میزان جابه‌جایی نقطه کار از وسط خط بار DC و مناسب بودن بایاسینگ به‌کارگرفته شده گفت‌وگو کنند.

پرسش ۴

در کدام‌یک 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 هیچ‌یک از آرایش‌های ترانزیستوری ورودی به کلکتور داده نمی‌شود. بنابراین (ت) گزینهٔ صحیح است.

پرسش ۵

در آرایش ترانزیستوری که اغلب برای تطبیق امپدانس ورودی زیاد به امپدانس خروجی کم مورد استفاده قرار می‌گیرد، کدام پایهٔ 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 تقویت‌کنندهٔ کلکتور مشترک عبارت‌اند از امپدانس ورودی زیاد، امپدانس خروجی کم، بهرهٔ ولتاژ کمتر از واحد و بهرهٔ 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 حالی‌که تلفات سیگنال وجود نخواهد داشت. بنابراین (پ) گزینهٔ 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 کدام‌یک از تقویت کننده‌های 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 واسطهٔ 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) گزینهٔ صحیح است.

WWW

معرفی سایت : مطالعه و مقایسهٔ آرایش‌های مختلف تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری

http: //people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture 3/bjt amps/bjt amps.html

آزمونک ۳

چرا تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک بیشترین کاربرد را در بین دیگر تقویت‌کننده‌ها دارد؟

پاسخ : از آنجا که این تقویت کننده دارای امپدانس ورودی و خروجی متوسطی است و قابلیت تقویت ولتاژ و جریان را داراست از آن در تقویت انتهایی، میانی و ابتدایی استفاده می‌شود. همچنین این تقویت کننده دارای پهنای باند نسبتاً خوبی است.

۲ـ۴ـ خنثی کردن اثر مقاومت‌های بایاس با استفاده از خازن بوت استراپ (صفحهٔ ۵۲ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مثال ۷

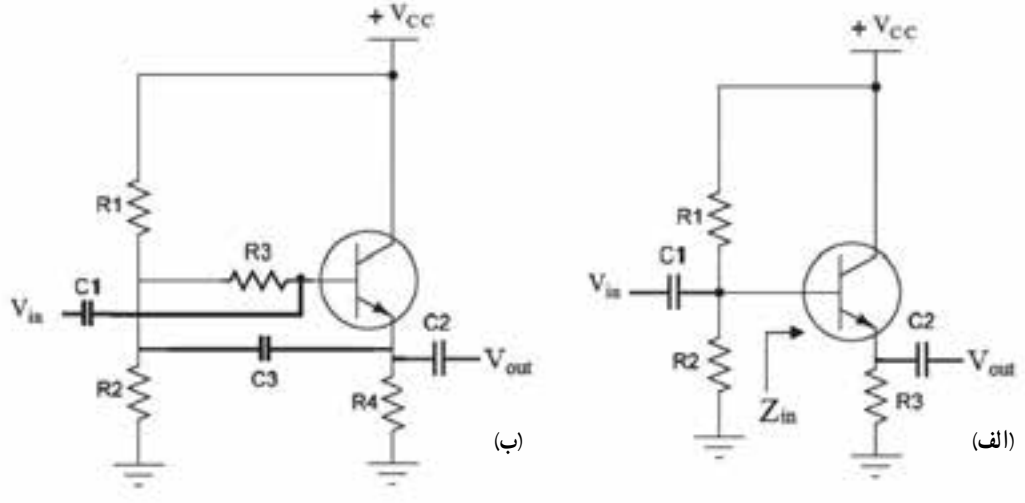
هدف

ــ 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 ۱۵ــ۲ــ الف فرض کنید مقدار Z_n برابر $۵۰^{k\Omega}$ است و داریم :

$R_۱ \quad ۲۲^{k\Omega}, R_۲ \quad ۱۸^{k\Omega}$

در مدار شکل ۱۵ــ۲ــ ب مقاومت $R_۴ \quad ۲۰^{k\Omega}$ با استفاده از تکنیک بوت استرپینگ برای کاهش اثر مقاومت‌های بایاس، به مدار اضافه شده است. در هر دو مدار تأثیر مقاومت‌های بایاس را بر Z_n مطالعه کنید.



شکل ۱۴ــ۲ــ تقویت‌کنندهٔ کلکتور مشترک و استفاده از راهکار بوت استرپینگ برای خنثی کردن اثر مقاومت‌های بایاس بر مقاومت ورودی تقویت کننده

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

$$R_{in} = R_۱ \| R_۲ = \frac{R_۱ R_۲}{R_۱ + R_۲} = (\frac{۲۲ \times ۱۸}{۲۲ + ۱۸})^{K\Omega} \cong ۱۰^{K\Omega}$$

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

$$Z_{in} = Z_{in} \| R_{in} = (\frac{۵۰ \times ۱۰}{۵۰ + ۱۰})^{K\Omega} = ۸/۳۳^{K\Omega}$$

همانطورکه ملاحظه می‌شود مقدار Z_n به شدت کاهش می‌یابد. وقتی از تقویت کنندهٔ 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 ۱۷ــ۲ــ ب استفاده می کنیم و داریم :

$R_n \quad R_n \quad R_۲ \quad ۱۰^{K\Omega} \quad ۲۰^{K\Omega} \quad ۳۰^{K\Omega}$

در این حالت مقاومت $R_۲$ با مقاومت تونن 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 :

$$Z_{in} = Z_{in} \| R_{in} = (\frac{۵۰ \times ۳۰}{۵۰ + ۳۰})^{K\Omega} = ۱۸/۷۵^{K\Omega}$$

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. همانطورکه در کتاب درسی اشاره شده است در حالت ac از طریق فیدبک مثبتِ ایجاد شده توسط خازن $C_۲$، مقادیر ولتاژهای دو سر مقاومت $R_۲$ تقریباً یکسان است و $R_۲$ معادل یک مقاومت بزرگ است و جریان ac ناچیزی از آن می‌گذرد.

۲ـ ۵ ـ کاربرد آرایش‌های مختلف تقویت کننده (صفحهٔ ۵۴ از کتاب درسی)

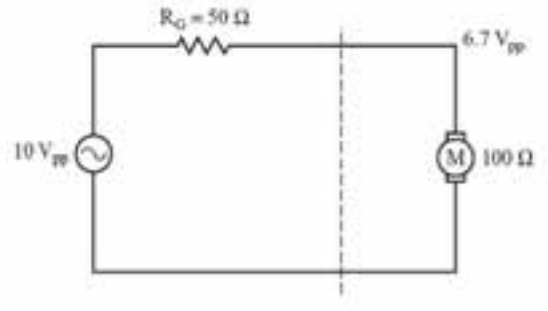
مثال ۸ (کاربردی)

هدف

ــ نشان دادن اهمیت و کاربرد مدار کلکتور مشترک

مدار نشان داده شده در شکل ۱۵ــ۲ شامل یک موتور AC کوچک با مقاومت ۱۰۰ اهم است که با یک سیگنال پیک تو پیک ۱۰ ولت با استفاده از یک ژنراتور راه اندازی می‌شود. مقاومت ۵۰ اهمی نشان داده در شکل که با R_G مشخص شده است، مقاومت داخلی ژنراتور است. در این مدار تنها ۶/۷ ولت پیک تو پیک به موتور اعمال می‌شود و باقیماندهٔ ولتاژ در دو سر R_G افت می کند.

شکل ۱۶ــ۲ مداری مشابه را نشان می‌دهد که در آن یک ترانزیستور



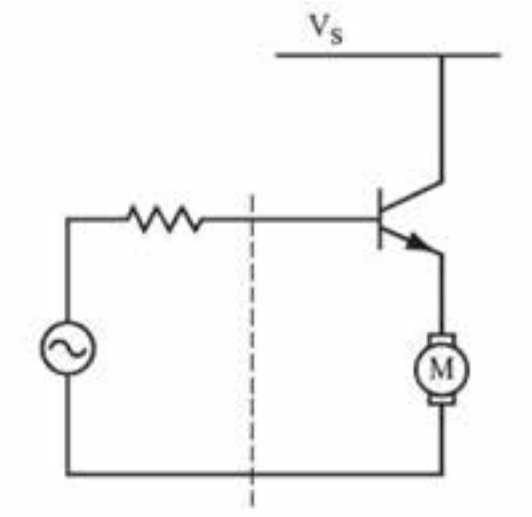
شکل ۱۵ــ۲ــ اعمال سیگنال به یک موتور AC

بین ژنراتور و موتور در یک آرایش کلکتور مشترک واقع شده است.

می‌توان از رابطهٔ زیر برای محاسبهٔ تقریبی مقاومت ورودی ترانزیستور استفاده کرد (با این فرض که داریم ۱۰۰ β) :

$$R_n \quad \beta \times R_E \quad ۱۰۰ \times ۱۰۰^{\Omega} \quad ۱۰۰۰۰^{\Omega}$$

ولتاژ پیک تو پیک ۱۰ ولتِ ژنراتور بین مقاومت ورودی ۱۰۰۰۰ اهمی ترانزیستور و مقاومت ۵۰ اهمی داخلی ژنراتور تقسیم می‌شود. بنابراین افت ولتاژ قابل توجهی در دو سر R_G وجود نخواهد داشت و تقریباً تمامی ۱۰ ولت به بیس ترانزیستور اعمال می‌شود. از آنجا که در تقویت کنندهٔ کلکتور مشترک بهرهٔ ولتاژ مدار کمی کمتر از واحد و مقدار ولتاژ امیتر (خروجی) تقریباً برابر ولتاژ بیس (ورودی) است، می‌توان فرض کرد که مقدار ولتاژ امیتر نیز تقریباً برابر ۱۰ ولت پیک تو پیک است.



شکل ۱۶ــ۲ــ اعمال سیگنال به موتور AC در قالب تقویت کنندهٔ کلکتور مشترک

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

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

برای مدار نشان داده شده در شکل ۱۶ــ۲، اگر ۵۰^{Ω} R_G و ۱۰۰ β در نظر گرفته شود R_O مقداری برابر ۰/۵ اهم خواهد داشت. بنابراین مدار نشان داده شده در شکل ۱۷ــ۲ ، یک ژنراتور با مقاومت داخلی تنها ۰/۵ اهم است که یک موتور با مقاومت ۱۰۰ اهم را راه اندازی می‌کند و در نتیجه ولتاژ خروجی ۱۰ ولت پیک تو پیک در دو سر موتور حفظ می‌شود.

۲ـ۶ـ پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌ها (صفحهٔ ۵۹ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱۸ـ۲ (صفحهٔ ۶۰ از کتاب درسی)

۱ــ ۱۸ــ۲ــ پاسخ : تقویت کنندهٔ با آرایش **بیس مشترک** دارای بهرهٔ ولتاژ زیاد و بهرهٔ جریان کم و کوچک‌تر از واحد است.

۲ــ ۱۸ــ۲ــ پاسخ : غلط

۳ــ ۱۸ــ۲ــ پاسخ : بیس مشترک

۴ــ ۱۸ــ۲ــ پاسخ : گزینهٔ ۲ صحیح است

۵ــ ۱۸ــ۲ــ پاسخ : نسبت توان خروجی به توان ورودی بر حسب دسی بل برابر مجموع ضریب قدرت هر یک از بلوک‌ها بر حسب دسی بل است :

$$۱۰\log A_P = ۱۰\log(\frac{P_o}{P_{in}}) = ۵۰dB + XdB + ۱۰dB$$

$$\rightarrow ۱۰\log(\frac{۱۰^{W}}{۲^{\mu W}}) = ۶۰dB + XdB \rightarrow ۶۷dB = ۶۰dB + XdB \rightarrow X = ۷dB$$

۶ــ۱۸ــ۲ــ پاسخ : مدار تقویت کنندهٔ کلکتور ــ مشترک که دارای بایاس سرخود است در شکل **۶۹ــ۲** از کتاب درسی نشان داده شده است و نحوهٔ محاسبهٔ مقاومت خروجی آن در بخش **۵ــ۱۲ــ۲** بیان شده است.

۷ــ۱۸ــ۲ــ پاسخ : این مشخصات در جدول **۱ــ۲** از کتاب درسی و در صفحهٔ **۵۴** نشان داده شده است.

۸ــ۱۸ــ۲ــ پاسخ : در این مدار خازن C_B سیگنال خروجی را به یک سر مقاومت $R_۴$ در نقطهٔ A برگشت داده و خازن $C_۱$ سیگنال ورودی را به سر دیگر مقاومت $R_۴$ که در بیس قرار دارد می‌رساند. از آنجا که در مدار کلکتور ــ مشترک سیگنال‌های ورودی و خروجی تقریباً هم دامنه و هم‌فازند، اختلاف ولتاژ دو سر مقاومت $R_۴$ 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 استراپ می‌شود.

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائهٔ آن به صورت سمینار

۱ــ کاربرد تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری با آرایش‌های مختلف
۲ــ کاربردهای فیدبک در مدارهای ترانزیستوری
۳ــ پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری

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