فصل ۴

تقویت‌کننده‌های چند طبقه

هدف‌های فصل

دانشی	مهارتی	نگرشی
۱ــ آشنایی با مباحث تطبیق امپدانس و کوپلاژ در تقویت‌کننده‌ها ۲ــ آشنایی با انواع مختلف کوپلاژ در ترانزیستورهای چندطبقه ۳ــ آشنایی با ترانزیستور زوج دارلینگتون و مدار تقویت‌کنندهٔ آبشاری ۴ــ فراگیری چگونگی استفاده از ترانسفورماتور با توجه به روابط حاکم بر آن	۱ــ توانایی محاسبهٔ بهرهٔ تقویت‌کننده‌های چند طبقه به صورت بلوکی ۲ــ توانایی تشخیص وجود یا عدم وجود تطبیق امپدانس بین یک تقویت‌کننده و بار ۳ــ قابلیت تشخیص کوپلاژ مناسب با توجه به کاربرد مورد نیاز ۴ــ توانایی محاسبهٔ نقطهٔ کار ترانزیستورهای استفاده شده در تقویت‌کننده‌های چند طبقه در انواع کوپلاژ	۱ــ شناخت علل استفاده از تقویت‌کننده‌های چند طبقه با توجه به محدودیت‌های ساختارهای تقویت‌کننده‌های متداول ۲ــ شناخت مشخصات و تفاوت‌های کوپلاژهای مختلف

سرفصل‌ها و عناوین اصلی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مفاهیم اساسی فصل

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.

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 دروس، با توجه به بودجه بندی ارائه شده در کتاب الکترونیک عمومی ۲، سطح کلاس و 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
ساختار تقویت‌کننده‌های چند طبقه	آشنایی با محدودیت‌های تقویت‌کننده‌هایی که تنها از یک ترانزیستور ساخته می‌کنند و معرفی تقویت‌کننده‌های چند طبقه به عنوان یک راهکار مناسب	بحث، مطالعه	تکوینی	تشریحی	۲	پرسش در مورد محدودیت‌های تقویت‌کننده‌های تک طبقه و چگونگی برطرف کردن آن‌ها با استفاده از تقویت‌کننده‌های چند طبقه.
بهرهٔ تقویت‌کننده‌های چند طبقه	تعیین محاسبه بهرهٔ تقویت‌کننده‌های چند طبقه به صورت بلوکی	حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی	۲	محاسبهٔ بهرهٔ ولتاژ یا جریان تقویت‌کننده‌های چند طبقه و ثبات روابط استفاده شده برای محاسبهٔ بهرهٔ این تقویت‌کننده‌ها.
تصال تقویت‌کننده‌ها به یکدیگر	آشنایی با مفهوم کوپلاژ در تقویت‌کننده‌های چند طبقه و شناخت مزایا و معایب روش‌های کوپلاژهای مختلف	مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۵	پرسش در مورد ویژگی‌های هر یک از نوع کوپلاژها در قالب سؤالات تشریحی. محاسبهٔ نقطهٔ کار ترانزیستورها در مدار تقویت‌کننده‌های چند طبقه در قالب سؤالات محاسباتی.
زوج دارلینگتون	آشنایی با مزیت‌های زوج دارلینگتون و کاربردهای آن	مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی	۱/۵	محاسبهٔ ضریب تقویت ترانزیستور زوج دارلینگتون
تقویت‌کنندهٔ آبشاری	آشنایی با مزیت‌ها و کاربرد تقویت‌کنندهٔ آبشاری	مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی	۱/۵	محاسبهٔ نقطهٔ کار ترانزیستورها در مدار تقویت‌کنندهٔ آبشاری.

۴ـ۱ـ پیشگفتار (صفحهٔ ۹۶ از کتاب درسی)

آزمونک ۱

دلیل استفاده از تقویت‌کننده‌های چند طبقه را توضیح دهید.

پاسخ : از آنجا که با استفاده از مدارهای تقویت‌کنندهٔ تک طبقه نمی‌توان به مشخصات بهره و امپدانس ورودی و خروجی مورد نظر در برخی از کاربردها دست یافت از مدارهای تقویت‌کنندهٔ چند طبقه استفاده می‌کنند.

۴ـ۲ـ ساختار تقویت‌کننده‌های چند طبقه (صفحهٔ ۹۶ از کتاب درسی)

۴ـ۲ـ۱ـ تطبیق امپدانس

مباحث ۴ـ۱ و ۴ـ۲ و زیر مجموعه آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

آزمونک ۲

برای اتصال دو طبقهٔ تقویت‌کننده به یکدیگر چه مسائلی باید مورد توجه قرار بگیرد؟

پاسخ : اوّلین مسئله بحث تطبیق امپدانس است که برای رسیدن حداکثر توان به بار باید مورد توجه قرار گیرد. دومین موضوع این است که تقویت‌کننده‌ها با استفاده از راهکار کوپلاژ مناسب به یکدیگر متصل شوند.

آزمونک ۳

برای اتصال یک بلندگو به خروجی یک تقویت‌کننده، کدامیک از آرایش‌های امیتر مشترک یا کلکتور مشترک مناسب تر هستند؟

پاسخ : بلندگو که در حکم بار عمل می‌کند دارای مقاومت کمی است و در صورت اتصال آن به یک تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک که دارای مقاومت خروجی بالا است تطبیق امپدانس مناسب و در نتیجه انتقال حداکثر توان ممکن به آن میسر نمی‌باشد. در این حالت تقویت‌کنندهٔ کلکتور مشترک که دارای امپدانس خروجی کم است گزینهٔ مناسبی است.

۴ـ۳ ـ اتصال تقویت‌کننده‌ها به یکدیگر (صفحهٔ ۹۹ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

آزمونک ۴

در کوپلاژ RC ظرفیت خازن کوپلاژ را به چه نحو انتخاب می‌کنند؟ چرا؟

پاسخ : ظرفیت خازن کوپلاژ بایستی به اندازهٔ کافی بزرگ انتخاب شود که بتوان آن را در حداقل فرکانس کاری تقویت‌کننده اتصال کوتاه فرض کرد. در غیر این صورت، امپدانس خازن قابل توجه خواهد بود و موجب افت سیگنال خروجی تقویت‌کنندهٔ اوّل و نرسیدن توان مورد نظر به تقویت‌کنندهٔ دوم خواهد شد.

آزمونک ۵

در تقویت‌کننده‌های چند طبقه با کوپلاژ RC محاسبات بایاسینگ به چه نحو انجام می‌شود؟

پاسخ : از آنجا که در کوپلاژ RC خازن کوپلاژ در حالت DC مدار باز در نظر گرفته می‌شود، طبقات تقویت‌کننده از یکدیگر مجزا هستند و نقطهٔ کار هر طبقه به‌طور مجزا محاسبه می‌شود.

آزمونک ۶

اگر دو تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک به یکدیگر کوپل شوند فاز سیگنال خروجی نسبت به ورودی چگونه است؟

پاسخ : می‌دانیم که در تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک سیگنال ورودی با خروجی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد. در یک تقویت‌کنندهٔ دو طبقه که از یک تقویت‌کنندهٔ امیتر مشترک به عنوان طبقهٔ دوم استفاده می‌کند سیگنال خروجی طبقهٔ اوّل در خروجی طبقهٔ دوم با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز ظاهر می‌شود. در نتیجه در یک تقویت‌کنندهٔ دو طبقه که از آرایش امیتر مشترک در هر دو طبقه استفاده می‌کند اختلاف فازی بین سیگنال ورودی و خروجی وجود نخواهد داشت.

آزمونک ۷

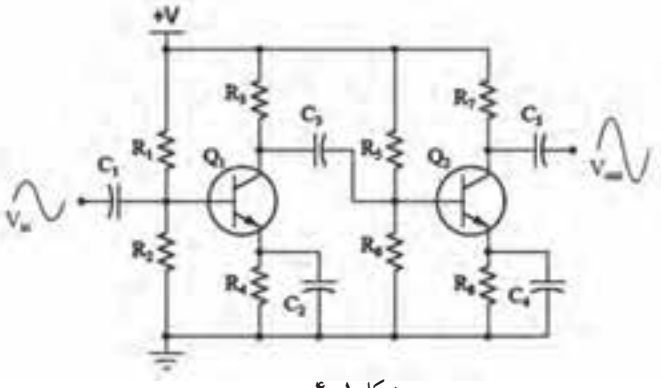
کوپلاژ خازنی در چه نوع تقویت‌کننده‌هایی می‌تواند به‌طور مناسب مورد استفاده قرار بگیرد؟ چرا؟

پاسخ : تقویت‌کننده‌های با قدرت کم که در فرکانس‌های بالا کار می‌کنند. در این نوع از کوپلاژ، امپدانس خازن‌های کوپلاژ و بای پس در فرکانس‌های پایین قابل چشم پوشی نیست و موجب تضعیف سیگنال خروجی خواهد شد. به‌علاوه قدرت اعمال شده به بار به‌علت تلفات توان بر روی تعداد مقاومت‌های زیاد، کم است.

پرسش ۱

هدف

ــ بررسی دقیق نقش هر یک از قطعات به‌کارگرفته شده در یک تقویت‌کنندهٔ دو طبقه با کوپلاژ خازنی در مدار شکل ۱ــ۴ نقش هر قطعه را توضیح دهید.



شکل ۱ــ۴

پاسخ :

ابتدا نقش مقاومت‌ها در مدار بررسی می‌شوند.

مقاومت‌های R_1 و R_2 در مدار مقسم ولتاژ برای تغذیهٔ ترانزیستور Q_1 مورد استفاده قرار گرفته‌اند. R_3 به عنوان مقاومت بار Q_1 عمل می‌کند و R_4 در نقش فیدبک منفی و برای پایداری نقطهٔ کار در مقابل تغییرات درجهٔ حرارت به‌کارگرفته می‌شود. در ترانزیستور Q_2 نیز R_5 و R_6 همانند R_1 و R_2 در Q_1 در مدار تغذیه استفاده شده‌اند و R_7 و R_8 نیز به ترتیب به عنوان بار و برای پایدارسازی حرارتی به کار گرفته شده‌اند.

خازن C_1 برای کوپلینگ سیگنال ورودی به Q_1 استفاده شده‌است و خازن C_2 ترانزیستور Q_1 را در حالت AC بای پس می‌کند و به این وسیله اثر منفی مقاومت R_4 بر بهرهٔ تقویت‌کننده خنثی می‌شود. از خازن C_3 به عنوان خازن کوپلاژ و برای اتصال دو طبقهٔ تقویت‌کننده به یکدیگر استفاده شده است. خازن C_4 ترانزیستور Q_2 را در حالت AC بای پس می‌کند و خازن C_5 برای کوپلینگ سیگنال خروجی به بار استفاده می‌شود.

ترانزیستور Q_1 طبقهٔ اول تقویت‌کننده و ترانزیستور Q_2 دومین طبقهٔ تقویت‌کننده را تشکیل می‌دهند.

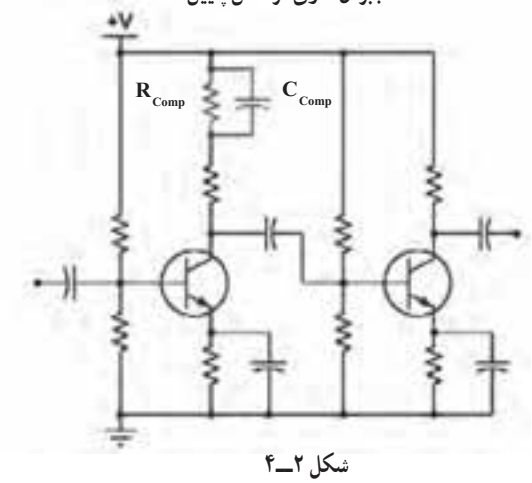
پرسش ۲ (دانش‌افزایی)

هدف

ـ بررسی یک راهکار برای کم کردن تأثیر منفی یکی از محدودیت‌های روش کوپلاژ خازنی

یکی از مشکلاتی که در هنگام استفاده از تقویت‌کننده‌های چند طبقه با کوپلاژ خازنی وجود دارد، پاسخ فرکانسی بد آن‌ها در فرکانس‌های پایین است، بدین معنی که با کاهش فرکانس سیگنال اعمال شده به مدار، امپدانس خازن‌های مدار افزایش یافته و باعث تضعیف سیگنال خروجی و کاهش بهره می‌شوند. یک راه برای حل این مشکل افزودن یک خازن در مسیر جریان کلکتور در طبقهٔ اول تقویت‌کننده است (شکل ۲ـ۴).

جبران‌سازی فرکانس پایین



شکل ۲ـ۴

توضیح دهید که چگونه این جبران سازیِ خازنی به حل مشکل مذکور کمک می‌کند؟

پاسخ : با موازی کردن خازن C_{comp} با مقاومت R_{comp} در کلکتور طبقهٔ اوّل تقویت‌کننده، این خازن در حالت AC اتصال کوتاه شده و به جریان کلکتور اجازه نمی دهد که از مقاومت R_{comp} عبور کند. در نتیجه افت ولتاژ روی مقاومت کلکتور طبقهٔ اوّل کاهش یافته و توان بیشتری به طبقهٔ دوم خواهد رسید. در هنگام استفاده از خازن جبران ساز باید در نظر داشت که ظرفیت آن بیشتر از ظرفیت خازن‌های دیگرِ استفاده شده در مدار تقویت‌کننده باشد. دلیل این انتخاب این است که اگر خازن‌های مدار در فرکانس‌های پایین از خود عکس العمل نشان داده و دارای امپدانس غیر صفر باشند خازن جبران سازی اتصال کوتاه می‌باشد.

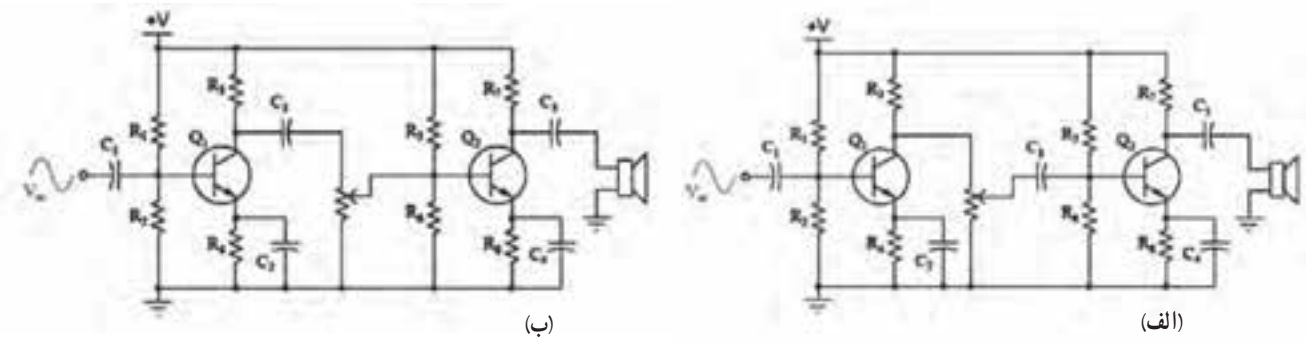
پرسش ۲ (دانش‌افزایی)

هدف

مطالعهٔ چگونگی تأثیرپذیری نقطهٔ کار ترانزیستورها در مدار تقویت‌کنندهٔ دو طبقه با استفاده از کوپلاژ خازنی

برای تقویت یک سیگنال صوتی از یک تقویت‌کنندهٔ دو طبقه با کوپلاژ خازنی استفاده شده است و یک بلندگو در خروجی آن به‌کار گرفته شده است. برای تنظیم مقدار صوت از یک پتانسیومتر به دو روش مختلف که در شکل ۳ـ۴ نشان داده شده است استفاده شده است. کدام‌یک از آرایش‌های ارائه شده مناسب‌تر است؟

پاسخ : همانطور که از شکل ۳ـ۴ مشخص است تقویت‌کننده‌های الف و ب کاملاً شبیه به هم هستند. تنها تفاوت آن‌ها نحوهٔ استفاده از خازن کوپلاژ C_2 است. در مدار الف این خازن به ترانزیستور Q_2 متصل است و سیگنال خروجی تقویت‌کنندهٔ طبقهٔ اوّل را از پتانسیومتر دریافت می‌کند. در این مدار چون در حالت DC خازن C_2 اتصال باز است دو طبقهٔ تقویت‌کننده به‌صورت مجزا عمل کرده و مقدار مقاومت پتانسیومتر تأثیری بر نقطهٔ کار ترانزیستور Q_2 ندارد. این در حالی است که در مدار ب چون C_2 به ترانزیستور Q_2 متصل است و پتانسیومتر در مدار بایاس ترانزیستور Q_2 استفاده شده است، نقطهٔ کار Q_2 به مقدار مقاومت پتانسیومتر وابسته است. در نتیجه پایداری مدار الف از ب بیشتر و آرایش الف مناسب‌تر است.



(الف) (ب)

شکل ۳ــ۴

فعالیت خارج از کلاس ۱

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

دانش‌آموزان می‌توانند این فعالیت را در آزمایشگاه و یا با استفاده از نرم افزارهای معرفی شده در کتاب آزمایشگاه مجازی ۲ انجام دهند. اجرای کارهای عملی پیشنهادی فقط در ساعات کارگاهی و بر مبنای کتاب کارگاه الکترونیک عمومی کد ۴۸۸/۷ انجام می‌گیرد.

☑ فرصت یاددهی ـ یادگیری

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

آزمونک ۸

مزیت کوپلاژ ترانسفورماتوری بر کوپلاژ خازنی چیست؟

پاسخ : از آنجا که افت توان در کوپلاژ ترانسفورماتوری کمتر از کوپلاژ خازنی است می‌توان از آن در تقویت‌کننده‌های با قدرت زیاد استفاده کرد.

آزمونک ۹

معایب کوپلاژ ترانسفورماتوری را نام ببرید.

پاسخ : افزایش ابعاد تقویت‌کننده، پاسخ بد فرکانسی در فرکانس‌های پایین و افزایش قیمت تقویت‌کننده‌هایی که از این نوع کوپلاژ استفاده می‌کنند.

آزمونک ۱۰

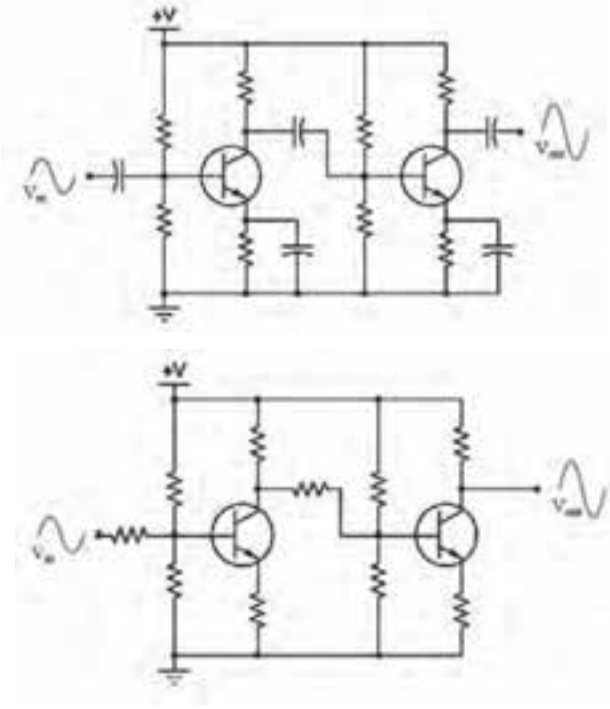
از کوپلاژ مستقیم بیشتر در چه فرکانس‌هایی استفاده می‌شود؟ چرا؟

پاسخ : از این نوع کوپلاژ بیشتر در فرکانس‌های پایین بهره می‌برند. علت این است که در کوپلاژهای خازنی و ترانسفورماتوری، عکس العمل خازنی و سلفی پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده در فرکانس‌های پایین را به نحو نامطلوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

پرسش ۵

هدف

امکان کاربرد تقویت‌کننده‌های چند طبقه با کوپلاژ مستقیم و خازنی در یک مدار عملی با توجه به محدودیت‌های فرکانسی آن‌ها



شکل ۴ـ۴

فرض کنید که دو تقویت‌کنندهٔ دو طبقه در اختیار است که دارای آرایش و قطعات مشابه می‌باشند (شکل ۴ـ۴) . اگر در یکی از آن‌ها از کوپلاژ مستقیم و در دیگری از کوپلاژ خازنی استفاده شده باشد، کدام‌یک از آنها برای استفاده در مدار ولت متر DC مناسب‌تر است؟

پاسخ : با توجه به اینکه در هنگام استفاده از کوپلاژ خازنی عکس العمل خازن‌های به کار گرفته شده در مدار به نحو نامطلوبی بر سیگنال خروجی اثر می‌گذارد بهتر است از آن برای اندازه گیری ولتاژ DC که دارای فرکانس صفر است استفاده نشود. چون در راهکار کوپلاژ مستقیم از خازن استفاده نمی شود می‌توان ولتاژهای با فرکانس‌های بسیار پایین یا صفر را (DC) اندازه‌گیری کرد، در حالی که تقویت‌کننده‌های چند طبقه با کوپلاژ خازنی برای سنجش ولتاژهای AC با فرکانس‌های نسبتاً زیاد مناسب هستند.

WWW

معرفی سایت : تطبیق امپدانس

۱ـ http: //hyperphysics.phy_astr.gsu.edu/hbase/audio/imped.html

در بخشی از وب سایت فوق که به بررسی تطبیق امپدانس بین یک تقویت‌کنندهٔ صوتی و میکروفن می‌پردازد، کاربر می‌تواند مقدار امپدانس میکروفن و امپدانس پیش تقویت‌کننده را تعیین کرده و مقدار افت سیگنال بر حسب دسی بل را مشاهده کند.

۲ـ http: //www.bcae۱.com/trnimpmt.htm

در بخشی از وب سایت فوق که به مبحث تطبیق امپدانس با استفاده از ترانسفورماتور می‌پردازد، می‌توان مقدار بار، نسبت دورهای اوّلیه و ثانویهٔ ترانسفورماتور و توان بیشینهٔ تقویت‌کننده را تعیین کرده و پارامترهایی همچون ولتاژها و جریان‌های مختلف، توان‌های ورودی و خروجی و مناسب بودن تطبیق امپدانس را مشاهده کرد.

پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۷ـ۴ (صفحهٔ ۱۰۸ از کتاب درسی)

۱ـ۷ـ۴ـ پاسخ : برای انتقال حداکثر توان از یک طبقه تقویت‌کننده به طبقهٔ دیگر باید امپدانس **خروجی** طبقهٔ اوّل با امپدانس **ورودی** طبقهٔ دوم برابر باشد.

۲ـ۷ـ۴ـ پاسخ : غلط

۳ـ۷ـ۴ـ پاسخ : کوپلاژ مستقیم در این‌حالت بهتر عمل می‌کند زیرا هم کوپلاژ خازنی و هم کوپلاژ ترانسفورماتوری در

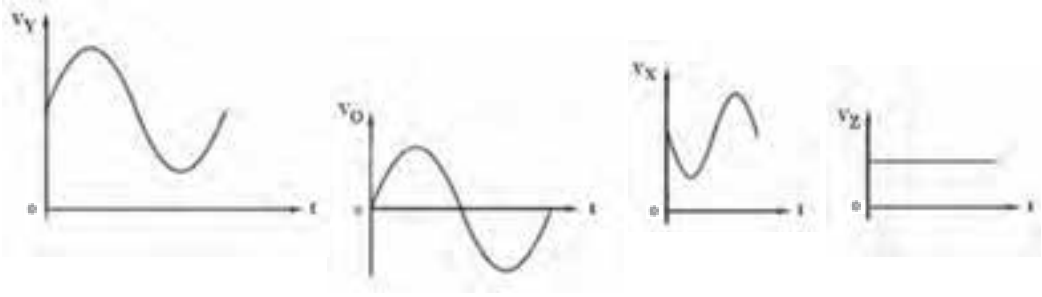
فرکانس پایین پاسخ فرکانسی نامناسبی دارند.

۴ــ۷ــ۴ــ پاسخ : در مدار ۳۴ــ۴ از کتاب درسی، در حالت AC خازن C_E اتصال کوتاه است و مقاومت $R_{E۲}$ را از مدار خارج می‌کند. اما مقاومت $R_{E۱}$ در مدار وجود دارد و یک سیگنال هم‌فاز با سیگنال ورودی بر روی آن سوار می‌شود که به خاطر وجود تغذیهٔ DC دارای یک سطح ولتاژ بزرگ تر از صفر است. بنابراین گزینهٔ ۳ پاسخ صحیح است.

۵ــ۷ــ۴ــ پاسخ : چگونگی اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به یکدیگر را کوپلاژ می‌نامند که شامل سه نوع کوپلاژ خازنی، ترانسفورماتوری و مستقیم است.

۶ــ۷ــ۴ــ پاسخ : پاسخ به این سؤال در بخش ۶ــ۵ــ۴ از کتاب درسی آمده است.

۷ــ۷ــ۴ــ پاسخ : شکل موج نقاط خواسته شده در شکل ۵ــ۴ نشان داده شده است. شکل موج نقطهٔ X همان شکل موج ورودی است که پس از عبور از خازن $C_۱$ بر ولتاژ DC بیس سوار شده است. از آنجا که در حالت AC خازن $C_۲$ اتصال کوتاه است امیتر تنها دارای مؤلفهٔ DC است که در شکل با V_Z نشان داده شده است. شکل موج نقطهٔ Y که همان کلکتور ترانزیستور است سیگنال تقویت شدهٔ ورودی است که ۱۸۰° درجه اختلاف فاز با سیگنال ورودی دارد. سیگنال ظاهر شده در نقطهٔ Y پس از حذف مؤلفهٔ DC اش توسط خازن $C_۳$ ، در نقطهٔ O موجی شبیه به آنچه در V_O نشان داده شده است را شکل می‌دهد.



شکل ۵ــ۴

۸ــ۷ــ۴ــ پاسخ : برای تطبیق امپدانس باید رابطهٔ زیر بین امپدانس‌های ورودی و خروجی و نسبت دورهای ترانسفورماتور برقرار باشد :

$$\frac{Z_{in}}{Z_o}=(\frac{N_1}{N_2})^2 \Rightarrow \frac{1000}{24}=(\frac{1000}{N_2})^2 \Rightarrow N_2=\sqrt{24000}\sim 155$$

۹ــ۷ــ۴ــ پاسخ : پاسخ این سؤال همانند پاسخ مثال ۲ــ۴ کتاب درسی است. اگرچه مقدار β ترانزیستورها در دو مدار متفاوت است اما چون از راهکار تغذیهٔ سرخود که مستقل از β است برای بایاس ترانزیستورها استفاده شده است مقادیر ولتاژها در دو حالت یکسان است.

۴ـ۴ـ زوج دارلینگتون (صفحهٔ ۱۰۹ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

آزمونک ۱۱

علت استفاده از ترانزیستورهای زوج دارلینگتون چیست؟

پاسخ : آنجا که ضریب تقویت جریان بالا مورد نیاز است می‌توان دو ترانزیستور را به صورت زوج دارلینگتون استفاده کرد. به عنوان مثال می‌توان از این راهکار برای افزایش βی ترانزیستورهای قدرت استفاده کرد.

آزمونک ۱۲

در ترانزیستورهای زوج دارلینگتون چه عاملی و به چه صورت باعث ناپایداری نقطهٔ کار ترانزیستور می‌شود؟

پاسخ : جریان نشتی ترانزیستور اوّل به این صورت باعث ناپایداری نقطهٔ کار ترانزیستور زوج دارلینگتون می‌شود که با تقویت آن توسط ترانزیستور دوم، جریان ناخواستهٔ زیادی تولید می‌شود.

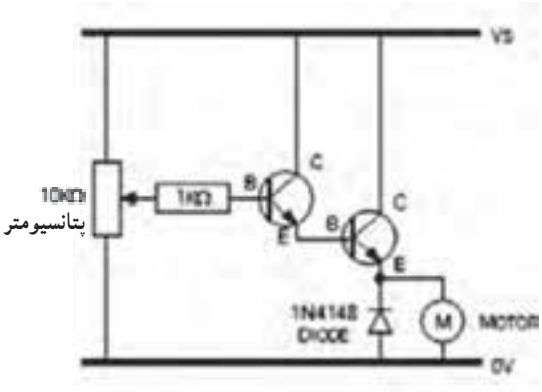
مثال ۱ (کاربردی)

از یک پتانسیومتر معمولی که یک مقاومت متغیر است نمی‌توان مستقیماً برای کنترل سرعت یک موتور استفاده کرد. علت این است که موتور مقدار زیادی جریان را از مدار دریافت می‌کند که می‌تواند به پتانسیومتر آسیب بزند. یک راه حل برای این مشکل این است که دامنهٔ کوچک جریانی را که از پتانسیومتر می‌گذرد می‌توان به اندازه‌ای تقویت کرد که موتور را راه اندازی کند. این تقویت می‌تواند توسط ترانزیستورها صورت بگیرد.

نکتهٔ آموزشی

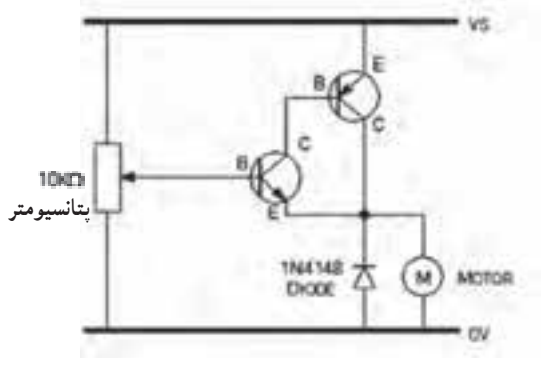
به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مدار نشان داده شده در شکل ۶ــ۴ یک پتانسیومتر را نشان می‌دهد که بین منبع تغذیه (V_S) و زمین مدار (ولتاژ صفر) به نحوی قرار گرفته است که ولتاژ قرار گرفته روی سر وسط آن همواره مقداری بین این دو حد ولتاژ است.



شکل ۶ــ۴

مقدار جریان اندکی که از سر وسط پتانسیومتر عبور می‌کند توسط دو ترانزیستور که در آرایش دارلینگتون استفاده شده‌اند تقویت می‌شود. به این طریق جریان نسبتاً زیادی که برای راه‌اندازی موتور مورد نیاز است توسط زوج دارلینگتون تأمین می‌شود. از آنجا که موتور یک بار سلفی است جریان بازگشتی تولید شده توسط آن می‌تواند به ترانزیستور صدمه بزند. بدین جهت یک دیود با موتور موازی می‌شود تا مانع ورود جریان بازگشتی به ترانزیستور شود. از مدار نشان داده شده در شکل ۶ــ۴ می‌توان در کاربردهای دیگری نیز استفاده کرد. برای مثال می‌توان از آن به عنوان یک دیمر که می‌تواند روشنایی لامپ را کنترل کند بهره جست.



شکل ۷ــ۴

یکی از معایب مدار شکل ۶ــ۴ تلفات ۰/۷ ولتی در پیوند بیس امیتر هر یک از ترانزیستورها است که موجب می‌شود حداکثر ولتاژ اعمالی به موتور برابر ۱.۴ ــ V_S ولت باشد. برای رفع این مشکل می‌توان از مدار نشان داده شده در شکل ۷ــ۴ استفاده کرد.

در این مدار از یک زوج دارلینگتون NPN مکمل استفاده شده است و به این ترتیب مقدار تلفات ولتاژ از ۱/۴ ولت به ۰/۷ ولت کاهش پیدا می‌کند.

۴ـ ۵ ـ تقویت‌کنندهٔ آبشاری (صفحهٔ ۱۱۱ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

☑ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱۰ـ۴(صفحهٔ ۱۱۲ از کتاب درسی)

۱ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ : زوج دارلینگتون دارای بهرهٔ جریان **بالا** و مقاومت ورودی **زیاد** است.

۲ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ :

$I_E \ \beta_1\beta_2 I_B \ ۸۰\times۲۰\times۱۰^{\mu A} \ ۱۶^{MA}$

لذا گزینهٔ ۴ صحیح است.

۳ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ : مدار نشان داده شده یک زوج دارلینگتون PNP است که در آن β برابر با β_2 β_1 است. از این‌رو گزینهٔ ۱ صحیح است.

۴ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ : فرکانس‌های بالا

۵ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ : زوج دارلینگتون یک تقویت‌کنندهٔ دو طبقه با کوپلاژ مستقیم است که دارای ضریب تقویت جریان بالا و مقاومت ورودی زیاد است.

۶ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ : در زوج دارلینگتون جریان نشتی ترانزیستور اوّل که در اثر حرارت تولید می‌شود روی نقطهٔ کار به شدت تأثیر می‌گذارد. جریان نشتی ترانزیستور اوّل توسط ترانزیستور دوم تقویت می‌شود و در خروجی، جریان ناخواستهٔ زیادی را ایجاد می‌کند. این جریان باعث گرم شدن بیشتر ترانزیستورها و افزایش بیشتر جریان نشتی می‌شود. برای رفع این مشکل از مدار شکل ۴۲ــ۲ کتاب درسی استفاده می‌شود که در آن R_E به نحوی محاسبه می‌شود که اگر تمام جریان نشتی از آن بگذرد ترانزیستور دوم روشن نشود.

۷ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ : از این تقویت‌کننده در فرکانس‌های بالا استفاده می‌شود.

۸ــ ۱۰ــ۴ــ پاسخ : برای محاسبهٔ قدرت تلف شده در ترانزیستور TR_2 بایستی حاصلضرب ولتاژ کلکتورــ امیتر و جریان کلکتور این ترانزیستور محاسبه شود. برای پیدا کردن جریان امیتر TR_2 می‌توان معادلهٔ ولتاژ در حلقهٔ متشکل از منبع تغذیه، مقاومت بیس TR_1 و مقاومت امیتر TR_2 را نوشت :

$۲۰ \ ۲/۲^{M\Omega} I_{B1} \ V_{BE1} \ V_{BE2} \ ۱/۲^{K\Omega} I_{E2}$

برای جریان امیتر TR_2 می‌توان نوشت : $I_{E2} \ \beta_2 I_{B2}, I_{B2} \ I_{E1} \ \beta_1 I_{B1} \Rightarrow I_{E2} \ \beta_1\beta_2 I_{B1}$

با جایگزینی مقدار محاسبه شده برای جریان امیتر TR_2 در معادلهٔ ولتاژ داریم :

$۲۰ \ ۲/۲^{M\Omega} I_{B1} \ V_{BE1} \ V_{BE2} \ ۱/۲^{K\Omega} \beta_1\beta_2 I_{B1}$

$۲۰ \ ۱/۴ \ I_{B1} (۲/۲^{M\Omega} \ (۲۵۰۰\times۱/۲))^K \Rightarrow I_{B1}$

$\frac{۱۸/۶}{۵/۲^{M\Omega}} \ ۳/۵۷۷^{uA} \Rightarrow I_{E2} \ ۲۵۰۰ I_{B1} \ ۸/۹۴^{mA}$

برای محاسبهٔ ولتاژ کلکتور ــ امیتر TR_2 باید معادلهٔ ولتاژ حلقهٔ خروجی تقویت‌کننده را نوشت :

$۲۰ \ V_{CE2} \ ۱/۲^{K\Omega} I_{E2} \Rightarrow V_{CE2} \ ۲۰ - (۱/۲^{K\Omega} \times ۸/۹۴^{mA}) \ ۹/۲۷^{V}$

$\Rightarrow P_{R2} \ ۹/۲۷^{V} \times ۸/۹۴^{mA} \ ۸۲/۸۷^{mW}$

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائهٔ آن به صورت سمینار

۱ــ مطالعه در مورد کاربردهای تقویت‌کننده‌های چند طبقه
۲ــ مقایسهٔ مزایا و معایب انواع راهکارهای کوپلاژ و ارائهٔ چند مثال عملی از کاربرد آن‌ها
۳ــ بررسی چند مدار عملی که در آن‌ها از ترانزیستور زوج دارلینگتون و یا تقویت‌کنندهٔ آبشاری استفاده شده است

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

اجرای نرم افزار

برای اجرای دقیق آموزش و عمق دادن به مفاهیم تشریح شده لازم است کلیه فرآیندهای آموزش که با استفاده از نرم افزار مولتی سیم قابل اجرا است را از قبل اجرا کنید و آن را برای هنرجویان در کلاس به نمایش درآورید، همچنین از آنان بخواهید که در خارج از ساعات کلاسی به اجرای موارد مطرح شده به‌صورت نرم‌افزاری بپردازند. اشاره‌ای هم داشته باشید به کتاب کارگاه الکترونیک عمومی که در آن اجرای عملی و نرم افزاری توصیه شده است. در کتاب آزمایشگاه مجازی جلد ۲ با کد ۴۶۶/۶ تمام مراحل اجرا شده و فایل‌های اجرا شده در لوح فشرده در ضمیمه کتاب وجود دارد.

فصل ۵

تقویت‌کننده‌های قدرت

هدف‌های فصل

دانشی	مهارتی	نگرشی
۱ــ یادگیری مفهوم اعوجاج در تقویت‌کننده‌های قدرت ۲ــ آشنایی با راهکارهای موجود برای مواجهه با اعوجاج تقاطعی ۳ــ آشنایی با چند نمونه از تقویت‌کننده‌های صوتی مدار مجتمع ۴ــ آشنایی با نحوهٔ عملکرد یک خنک کنندهٔ نوعی	۱ــ توانایی تحلیل نحوهٔ تقویت سیگنال در هر یک از کلاس‌های تقویت کنندگی ۲ــ توانایی مقایسهٔ ویژگی‌های کلاس‌های تقویت کنندگی مختلف ۳ــ توانایی انجام محاسبات مورد نیاز در ارتباط با توان و مقاومت حرارتی خنک کننده‌ها	۱ــ شناخت نقش ترانسفورماتور در کلاس‌های تقویت کنندگی مختلف ۲ــ درک رابطهٔ بین مدت زمان روشن بودن ترانزیستور و نحوهٔ بایاسینگ آن با راندمان تقویت‌کننده

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 تجدید نظر کنند. زمان بندی با توجه به بودجه‌بندی ارائه شده در کتاب الکترونیک عمومی ۲، سطح کلاس و نظر معلم انجام می‌شود.

سرفصل مطالب	هدف‌ها در قلمرو دانش، مهارت و نگرش	محتوا و فعالیت‌های یادگیری	روش‌های پیشنهادی برای ارزشیابی	ابزارهای اندازه گیری پیشنهادی	زمان پیشنهادی برای تدریس (ساعت)	توضیحات
مشخصات عمومی تقویت‌کننده‌های قدرت	آشنایی با عواملی که در به‌کارگیری یک تقویت‌کنندهٔ قدرت بایستی مورد توجه قرار بگیرند	بحث، مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	تشریحی	۰/۵	سؤال در مورد تأثیر هر یک از مشخصات ذکر شده بر کارایی تقویت‌کننده به صورت تشریحی
عوامل مهم در تقویت‌کننده‌های قدرت	آشنایی با عوامل مهم در تقویت‌کننده‌های قدرت	حل تمرین	مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۰/۵	سؤال در مورد عوامل اصلی در تقویت‌کننده‌های قدرت به صورت تشریحی. تعین راندمان تقویت‌کننده‌ها به‌صورت محاسباتی

کلاس‌های تقویت کنندگی	توانایی تحلیل و آشنایی با نحوهٔ عملکرد هر یک از کلاس‌های تقویت کنندگی و توانایی مقایسهٔ خصوصیات آن‌ها	بحث، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	تشریحی، محاسباتی، چند گزینه‌ای	۷	سؤال در مورد خصوصیات و نحوهٔ عمل هر یک از کلاس‌های تقویت کنندگی به صورت تشریحی. تعیین بازده تقویت کننده‌های مختلف در قالب سؤال‌های محاسباتی. پرسش در مورد ویژگی‌های تقویت کننده‌های مختلف در قالب سؤالات چند گزینه‌ای.
خنک کننده یا رادیاتور حرارت برای ترانزیستورهای قدرت	آشنایی با نقش خنک کننده در پایداری حرارتی ترانزیستور و توانایی انجام محاسبات توان مرتبط با آن	حل تمرین، مطالعه	تکوینی، مجموعی	تشریحی، محاسباتی	۲	طرح سؤالات تشریحی برای بررسی نقش توان تلفاتی و پایداری حرارتی در عملکرد مطلوب ترانزیستور. پرسش در مورد مقاومت حرارتی خنک‌کننده و توان تلفاتی در ترانزیستور در قالب سؤالات محاسباتی
تقویت کننده‌های قدرت یک تراشه (مجتمع)	آشنایی با چند نمونه از تقویت کننده‌های صوتی مدار مجتمع	بحث، مطالعه	تکوینی	تشریحی	۲	طرح سؤالات تشریحی در مورد ویژگی‌ها، ساختمان، کاربرد و چگونگی بکارگیری تقویت کننده‌های قدرت مجتمع در مدارهای مختلف در قالب سؤالات تشریحی

۵ـ۱ـ عوامل مهم در تقویت کننده‌های قدرت (صفحهٔ ۱۱۵ از کتاب درسی)

۵ـ۱ـ۱ـ بازده تقویت کننده

۵ـ۱ـ۲ـ پخش گرما

مباحث ۵ـ۱ و زیر مجموعه آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

۵ـ۲ـ کلاس‌های تقویت کنندگی

۵ـ۲ـ۱ـ تقویت کنندهٔ کلاس A (صفحهٔ ۱۱۶ از کتاب درسی)

۵ـ۲ـ۲ـ تقویت کنندهٔ کلاس B (صفحهٔ ۱۱۹ از کتاب درسی)

مباحث ۵ـ۲ و زیر مجموعه‌های آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

آزمونک ۱

چرا در ساختار تقویت کنندهٔ پوش ـ پول بایستی دو ترانزیستور کاملاً مشابه باشند؟

پاسخ: اگر ترانزیستورهای به‌کارگرفته شده در ساختار تقویت کننده مشابه یکدیگر نباشند دارای امپدانس خروجی متفاوت

خواهند بود و این باعث می‌شود که شکل موج خروجی تولید شده توسط آن‌ها با یکدیگر مشابه نبوده و دامنهٔ آن‌ها با یکدیگر متفاوت باشند. این به معنی تولید یک شکل موج نامتقارن در خروجی تقویت‌کننده است.

مثال ۱ (دانش افزایی) : این مثال دانش افزایی است. به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

☑ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۵ـ۵(صفحهٔ ۱۲۲ از کتاب درسی)

۱ــ۵ــ۵ــ پاسخ : بر اساس متن کتاب درسی، تقویت ولتاژ یا جریان همان تقویت توان است ولی منظور از تقویت‌کنندهٔ توان یا تقویت‌کنندهٔ قدرت، تقویت‌کننده‌ای است که بتواند توان قابل ملاحظه‌ای را به بار منتقل کند. لذاعبارت ذکر شده در این سؤال غلط است.

۲ــ۵ــ۵ــ پاسخ : صحیح

۳ــ۵ــ۵ــ پاسخ : بازده تقویت‌کنندهٔ کلاس A با کوپلاژ خازنی حداکثر **۲۵ درصد** و با کوپلاژ ترانسفورماتوری **۵۰ درصد** است.

۴ــ۵ــ۵ــ پاسخ : اعوجاج تقاطعی در تقویت‌کنندهٔ پوش ــ پول کلاس **B** ایجاد می‌شود.

۵ــ۵ــ۵ــ پاسخ : در یک تقویت‌کنندهٔ کلاس A جریان عبوری از کلکتور و منبع تغذیهٔ ترانزیستور همیشه ثابت است. بنابراین گزینهٔ ۱ صحیح است.

۶ــ۵ــ۵ــ پاسخ : همانطور که در شکل ۱۰ــ۵ از کتاب درسی نشان داده شده است جریانی که از منبع تغذیه کشیده می‌شود همانند گزینهٔ ۲ است.

۷ــ۵ــ۵ــ پاسخ : تغییر شکل موج یا اعوجاج کم، امپدانس خروجی کم، بهرهٔ جریان زیاد، راندمان بالا، مشخصهٔ فرکانسی خوب.

۸ــ۵ــ۵ــ پاسخ : حداکثر بازده این تقویت‌کننده در حالت ایده آل ۵۰ درصد است اما در عمل بازده آن از ۴۰ درصد تجاوز نمی کند.

۹ــ۵ــ۵ــ پاسخ : منظور از اعوجاج تقاطعی، شکل غیر خطی سیگنال خروجی در هنگام عبور از ولتاژ صفراست. اعوجاج تقاطعی ناشی از عدم سوئیچینگ کامل ترانزیستورها است به این معنی که یکی از ترانزیستورها کاملاً خاموش و دیگری کاملاً روشن نیست. در این حالت هر دو ترانزیستور خاموش یا هر دوی آن‌ها مقداری روشن هستند و بنابراین سیگنال خروجی به‌طور کامل سیگنال ورودی را دنبال نمی‌کند و اعوجاج تقاطعی رخ می‌دهد. برای پاسخ ملموس‌تر به این سؤال می‌توان از شکل موج خروجی کلاس‌های تقویت کنندگی مختلف و محل انتخاب نقطهٔ کار روی خط بار DC برای هر یک از آن‌ها استفاده کرد. به‌عنوان مثال می‌توان از تقویت‌کنندهٔ کلاس A که در سیگنال خروجی اعوجاجی ایجاد نمی کند نام برد. در این تقویت‌کننده با استفاده از بایاسینگ، نقطهٔ کار در وسط خط بار DC قرار گرفته و هر دو نیمهٔ سیگنال ورودی به‌طور کامل تقویت می‌شود. در حالی‌که در تقویت‌کنندهٔ کلاس B که از بایاسینگ استفاده نمی‌شود و هدایت ترانزیستورها وابسته به دامنهٔ سیگنال ورودی است، در هنگام گذر از ولتاژ صفر هر دو ترانزیستور خاموش بوده و در سیگنال خروجی اعوجاج پدید می‌آید.

۱۰ــ۵ــ۵ــ پاسخ : تعریف ضریب شایستگی و محاسبهٔ مقدار آن برای تقویت‌کنندهٔ کلاس A با کوپلاژ خازنی در بخش ۲ــ۳ــ۵ آمده است.

۵ــ۲ــ۳ــ تقویت‌کنندهٔ پوش ــ پول با ترانزیستورهای مکمل (صفحهٔ ۱۲۴ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

آزمونک۲

روش‌های اصلی برای تأمین ولتاژ بیس ترانزیستورها در تقویت‌کنندهٔ کلاس AB را نام ببرید و مناسب‌ترین روش را مشخص کنید؟

پاسخ : سه راهکار اصلی معرفی شده در کتاب عبارتند از ۱ــ استفاده از پتانسیومتر ۲ــ به‌کارگیری دو دیود سری و ۳ــ استفاده از رگولاتور ولتاژ. در این روش‌ها سعی می‌شود تا ترانزیستورها در آستانهٔ هدایت قرار گیرند. روش اوّل از این جهت مناسب نیست که مقداری از سیگنال ورودی صرف تأمین ولتاژ مورد نیاز برای روشن شدن دو ترانزیستور می‌شود و دامنهٔ اولیهٔ ولتاژ ورودی به بیس ترانزیستورها نمی‌رسد. در راهکار دوم ممکن است که ولتاژ دو سر ترانزیستورها دقیقاً برابر آنچه موردنظر است نباشد و با بیشتر شدن مجموع ولتاژها از ولتاژ آستانهٔ هدایت ترانزیستورها آن‌ها روشن شده و بازده مدار را به شدت کاهش می‌دهد. از اینرو سومین روش مناسب ترین شیوه برای بایاس ترانزیستورها است.

۵ــ۲ــ۴ــ تقویت‌کنندهٔ کلاس C (صفحهٔ ۱۳۱ از کتاب درسی) به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

۵ــ۲ــ۵ــ تقویت‌کنندهٔ کلاس D (صفحهٔ ۱۳۲ از کتاب درسی) به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مباحث ۵ـ۲ـ۴ و ۵ـ۲ـ۵ در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

۵ـ۳ـ خنک کننده یا رادیاتور حرارت برای ترانزیستورهای قدرت (صفحهٔ ۱۲۸ از کتاب درسی)

WWW

معرفی سایت : ویژگی‌های کلاس‌های تقویت‌کنندگی مختلف

۱ــ http: //www.duncanamps.com/technical/ampclasses.html

آزمونک۳

مزایای اصلی استفاده از خنک کننده در مدارهای تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری چیست؟

پاسخ : اوّلین مزیت استفاده از گرماگیر افزایش عمر ترانزیستور است و مزیت دوم آن این است که ترانزیستور می‌تواند در ناحیهٔ حداکثر توان کار کند.

آزمونک۴

چه عاملی باعث محدود شدن مصرف توان در ترانزیستور می‌شود؟

پاسخ : افزایش دمای پیوند کلکتور در ترانزیستور

☑ نکتهٔ آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

☑ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱۲ـ۵(صفحهٔ ۱۳۴ از کتاب درسی)

۱ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : صحیح

۲ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : غلط

۳ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : در مدار شکل ۴۲ـ۵ (از کتاب درسی) ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 دارای آرایش **کلکتور** مشترک و کلاس کار آن‌ها **B** است. پتانسیل نقطهٔ A در حالت سکون برابر با $\frac{V_{CC}}{2}$ است. زیرا کلکتورـ امیتر TR_1 و TR_2 به عنوان یک مقاومت بزرگ عمل می‌کنند.

۴ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : نقش مقاومت PR_2 در مدار شکل ۴۳ـ۵ (از کتاب درسی) تنظیم پتانسیل MN برابر ۱/۲ ولت است تا ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 در کلاس **AB** قرار گیرند.

۵ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : در این مدار تنها در اوّلین نیم سیکل از منبع تغذیه استفاده می‌شود و ولتاژ مورد نیاز TR_1 در نیم سیکل دوم توسط خازن تأمین می‌شود. چون در نیم سیکل دوم TR_1 قطع است و از منبع تغذیه جریانی کشیده نمی شود، گزینهٔ ۴ پاسخ صحیح است.

۶ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : از آنجا که در کلاس C ، ترانزیستور در کمتر از نیم تناوب هدایت می‌کند بازده آن از سایر کلاس‌های ذکر شده در سؤال بیشتر است و گزینهٔ ۴ پاسخ صحیح است.

۷ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : ترانزیستور TR_3 به عنوان رگولاتور، دو ترانزیستور TR_4 و TR_5 را در آستانهٔ هدایت قرار می‌دهد.

۸ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : با افزایش هدایت TR_4 ، جریان بیشتری از آن عبور می‌کند که با فرض ثابت بودن جریان عبوری از TR_5 این جریان اضافی از طریق نقطهٔ ۶ از مقاومت‌های R_4 و R_3 می‌گذرد. افزایش جریان عبوری از R_3 باعث افزایش ولتاژ امیتر TR_1 می‌شود. چون مقدار ولتاژ منبع تغذیه و مقاومت‌های بایاس TR_1 ثابت است مقدار ولتاژ بیس TR_1 ثابت است. لذا افزایش ولتاژ امیتر TR_1 باعث کاهش ولتاژ پیوند بیس ـ امیتر آن و کاهش جریان عبوری از TR_1 می‌شود و به دنبال آن جریان عبوری از TR_2 کم می‌شود. کاهش جریان TR_2 باعث کاهش جریان رسیده به بیس TR_4 و در نتیجه کاهش جریان عبوری از این ترانزیستور می‌شود و به‌این طریق از افزایش جریان TR_4 جلوگیری می‌شود.

۹ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : به دو روش می‌توان بازده یک تقویت‌کننده را افزایش داد. روش اوّل کاهش تلفات ترانزیستور از طریق کاهش جریان حالت سکون آن است. راهکار دوم کاهش زمان روشن بودن ترانزیستور است.

۱۰ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : توان خروجی، بهرهٔ ولتاژ، ولتاژ تغذیه، مقاومت ورودی و مشخصهٔ فرکانسی، مواردی است که در هنگام کار با این تراشه بایستی مد نظر قرار داد.

۱۱ـ۱۲ـ۵ـ پاسخ : برای یافتن ولتاژ نقطهٔ ۱ می‌توان از رابطهٔ تقسیم ولتاژ منبع تغذیهٔ ۳۰ ولتی بین مقاومت‌های R_1 و R_2 استفاده کرد :

$$V_1 = 30^V \times \frac{27^{K\Omega}}{27^{K\Omega} + 430^{K\Omega}} = 1/77^V$$

ولتاژ نقطهٔ ۲ برابر ولتاژ نقطهٔ ۱ منهای ولتاژ بیس ـ امیتر Q_1 است : V_2 $1/77^V - 0/7^V$ $1/07^V$

ولتاژ نقطهٔ ۳ برابر ولتاژ منبع تغذیه منهای ولتاژ بیس ـ امیتر Q_2 است : V_3 $30^V - 0/7^V$ $29/3^V$

برای یافتن ولتاژ نقاط ۴ و ۵ ابتدا باید ولتاژ نقطهٔ ۶ را یافت. ولتاژ نقطهٔ ۶ را می‌توان با استفاده از ولتاژ نقطهٔ ۲ و رابطهٔ تقسیم ولتاژ نقطهٔ ۶ بین مقاومت‌های R_3 و R_4 به دست آورد :

$$V_۲ = V_۶ \times \frac{R_۳}{R_۳ + R_۴} = V_۶ \times \frac{۱۰۰^{\Omega}}{۱۰۰^{\Omega} + ۱۴۰۰^{\Omega}} = ۱.۰۷^{V}$$

$$\Rightarrow V_{۶۶}\ \ ۱۵ \times ۱/۰۷^{v}\ \ ۱۶/۰۵^{v}$$

از آنجا که ولتاژ نقطهٔ ۶ بیشتر از $(V_{CC}/۲)$نخواهد شد و مدار فیدبک مانع از این افزایش ولتاژ می‌شود، برای نقطهٔ ۶ داریم $V_۶$ ۱۵. در صورتی که مقدار $V_۶$ را برابر $V_{cc}/۲$ یعنی ۱۵ ولت بگیریم، ولتاژ نقطه ۲ با صرف‌نظر کردن از جریان امیتر $TR_۱$ برابر با یک ولت می‌شود.

حال با استفاده از ولتاژ نقطهٔ ۶ می‌توان ولتاژ نقاط ۴ و ۵ را یافت (با صرف‌نظر کردن از افت ولتاژ روی مقاومت‌های $R_۸$ و $R_۹$) :

$V_۴\ \ ۰/۶^{v}\ \ V_۶\ \ ۰/۶^{v}\ \ ۱۵^{v}\ \ ۱۵/۶^{v}$

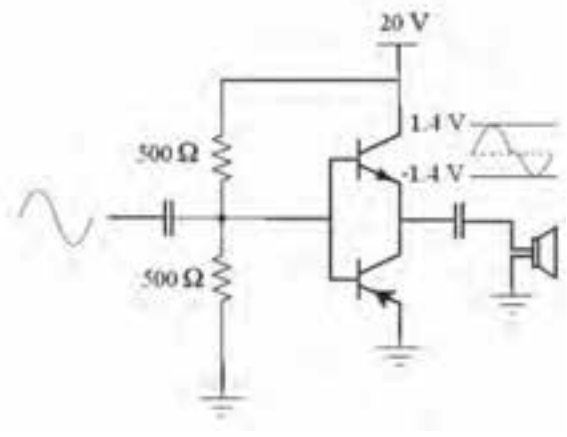
$V_۵\ \ V_۶\ \ ۰/۶^{v}\ \ ۱۵^{v}\ \ ۰/۶^{v}\ \ ۱۴/۴^{v}$

۱۲ــ۱۲ــ۵ــ پاسخ : با جایگذاری مقادیر داده شده در رابطهٔ زیر داریم :

$$P_D = \frac{T_J - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}} = \frac{(۲۰۰ - ۴۰)^{\circ}C}{(۰/۵ + ۰/۶ + ۱/۵)^{\circ}C/W} = ۶۱/۵۴^{W}$$

۱۳ــ۱۲ــ۵ــ پاسخ : عدد شایستگی برای تقویت‌کننده‌های قدرت به صورت نسبت حداکثر توان تلف شده در تراتزیستور به حداکثر توان AC انتقالی به بار تعریف می‌شود.

۱۴ــ۱۲ــ۵ــ پاسخ : همانطور که در شکل ۴۶ــ۵ کتاب درسی نشان داده شده است ولتاژ نقطهٔ E برابر ۱۰ ولت است. با اعمال تقسیم ولتاژ بین مقاومت‌های بایاس که دارای اندازهٔ برابر هستند ولتاژ بیس ترانزیستورها مساوی با هم و برابر ۱۰ ولت خواهد بود. در نتیجه تقویت‌کننده در کلاس B کار می‌کند. همانطور که در شکل ۱ــ۵ نشان داده شده است، دامنهٔ شکل موج خروجی در نتیجهٔ اعوجاج تقاطعی ۰/۶ ولت کمتر از دامنهٔ ورودی است.



شکل ۱۱ــ۵

۱۵ــ۱۲ــ۵ــ پاسخ : از آنجا که R_C R_E است دامنهٔ سیگنال ظاهر شده روی کلکتور $TR_۱$ با دامنهٔ سیگنال ورودی برابر است و بهرهٔ ولتاژ برابر واحد است. اما این سیگنال ۱۸۰ درجه اختلاف فاز با سیگنال ورودی دارد. چون بهرهٔ تقویت‌کنندهٔ کلکتور مشترک برابر واحد است دامنهٔ سیگنال روی امیتر $TR_۱$ با دامنهٔ سیگنال ورودی برابر است و این سیگنال نیز با سیگنال ورودی هم‌فاز است. سیگنال‌های ظاهر شده روی کلکتور و امیتر $Q_۱$ در شکل ۲ ــ ۵ نشان داده شده است.

ترانزیستورهای TR_2 و TR_3 یک تقویت‌کنندهٔ قدرت کلاس B را تشکیل می‌دهند. در این تقویت‌کننده، ترانزیستور TR_2 با نیم سیکل مثبت سیگنال روی کلکتور TR_1 و ترانزیستور TR_3 با نیم سیکل مثبت سیگنال روی امیتر TR_1 فعال می‌شود و از آنجا که این دو سیگنال ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند، ترانزیستورهای TR_2 و TR_3 به تناوب روشن شده و یک شکل موج سینوسی روی بار قرار خواهد گرفت. دو نکته را در مورد شکل موج خروجی (با توجه به شکل ۲ ــ۵) بایستی در نظر گرفت. نکتهٔ اوّل این است که ابتدا ترانزیستور TR_3 با نیم سیکل مثبت سیگنال روی امیتر TR_1 فعال می‌شود و از کلکتور TR_3 که دارای ۱۸۰ درجه اختلاف فاز با سیگنال بیس است برای سیگنال بار استفاده می‌شود. در مرحلهٔ بعدی، ترانزیستور TR_2 با نیم سیکل مثبت سیگنال روی کلکتور TR_1 فعال شده و از امیتر TR_2 که دارای یک سیگنال هم‌فاز با سیگنال بیس است برای سیگنال بار استفاده می‌شود. دومین نکته در مورد شکل موج بار بحث اعوجاج تقاطعی در تقویت‌کنندهٔ کلاس B است که در شکل ۲ــ۵ دامنهٔ شکل موج اولیه را به اندازهٔ ۰/۶ ولت کاهش داده است.

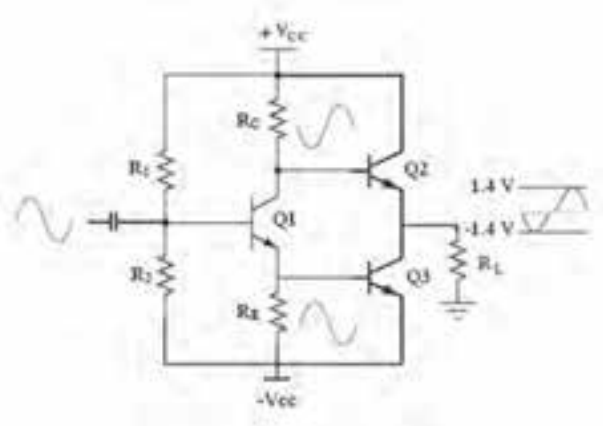
موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائهٔ آن به صورت سمینار

۱ــ بررسی چند مدار عملی که در آن از تقویت‌کنندهٔ کلاس B استفاده شده است.

۲ــ بررسی چند مدار عملی که در آن از تقویت‌کنندهٔ کلاس AB استفاده شده است.

۳ــ معرفی مختصر کلاس‌های تقویت کنندگی E و F .

۴ــ بررسی چند مدل رایج خنک کننده



شکل ۱۲ــ۵

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

اجرای نرم افزار

برای اجرای دقیق آموزش و عمق دادن به مفاهیم تشریح شده لازم است کلیه فرآیندهای آموزش که با استفاده از نرم افزار مولتی سیم قابل اجرا است را از قبل اجرا کنید و آن را برای هنرجویان در کلاس به نمایش درآورید، همچنین از آنان بخواهید که در خارج از ساعات کلاسی به اجرای موارد مطرح شده به صورت نرم افزاری بپردازند. اشاره‌ای هم داشته باشید به کتاب کارگاه الکترونیک عمومی که در آن اجرای عملی و نرم افزاری توصیه شده است. در کتاب آزمایشگاه مجازی جلد ۲ با کد ۴۶۶/۶ تمام مراحل اجرا شده و فایل‌های اجرا شده در لوح فشرده در ضمیمه کتاب وجود دارد.