

فصل ۴

تقویت کننده‌های چند طبقه



هدف‌های فصل

نگرشی	مهارتی	دانشی
۱- شناخت علل استفاده از تقویت کننده‌های چند طبقه با توجه به محدودیت‌های ساختارهای تقویت کننده‌های متداول	۱- توانایی محاسبه بهره تقویت کننده‌های چند طبقه به صورت بلوکی ۲- توانایی تشخیص وجود یا عدم وجود تطبیق امپدانس بین یک تقویت کننده و بار	۱- آشنایی با مباحث تطبیق امپدانس و کوپلاژ در تقویت کننده‌ها ۲- آشنایی با انواع مختلف کوپلاژ در ترانزیستورهای چند طبقه
۲- شناخت مشخصات و تفاوت‌های کوپلاژهای مختلف	۳- قابلیت تشخیص کوپلاژ مناسب با توجه به کاربرد مورد نیاز ۴- توانایی محاسبه نقطه کار ترانزیستورهای استفاده شده در تقویت کننده‌های چند طبقه در انواع کوپلاژ	۳- آشنایی با ترانزیستور زوج دارلینگتون و مدار تقویت کننده آبخاری ۴- فراگیری چگونگی استفاده از ترانسفورماتور با توجه به روابط حاکم بر آن

سرفصل‌ها و عناوین اصلی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مفاهیم اساسی فصل

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.

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 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 استفاده می‌کنند و معرفی تقویت‌کننده‌های چند طبقه به عنوان یک رهاکار مناسب	بحث، مطالعه	تکوینی	تشریحی	۲	برسش در مورد محدودیت‌های تقویت‌کننده‌های تک طبقه و چگونگی برطرف کردن آن‌ها با استفاده از تقویت‌کننده‌های چند طبقه.
بهره تقویت‌کننده‌های چند طبقه	توانایی محاسبه بهره تقویت‌کننده‌های چند طبقه به صورت بلوکی	حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی	۲	محاسبه بهره ولتاژ یا جریان تقویت‌کننده‌های چند طبقه و ثبات روابط استفاده شده برای محاسبه بهره 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	برسش در مورد ویژگی‌های هر یک از نوع کوپلاژها در قالب سؤالات تشریحی. محاسبه نقطه کار ترانزیستورها در مدار تقویت‌کننده‌های چند طبقه در قالب سؤالات محاسباتی.
زوج د رلینگتون	آشنایی با مزیت‌های زوج د رلینگتون و کاربردهای آن	مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی	۱/۵	محاسبه ضریب تقویت ترانزیستور زوج د رلینگتون
تقویت‌کننده آبخاری	آشنایی با مزیت‌ها و کاربرد تقویت‌کننده آبخاری	مطالعه، حل تمرین	تکوینی، مجموعی	محاسباتی	۱/۵	محاسبه نقطه کار ترانزیستورها در مدار تقویت‌کننده آبخاری.

۱-۴- پیشگفتار (صفحه ۹۶ از کتاب درسی)

آزمونک ۱

دلیل استفاده از تقویت کننده‌های چند طبقه را توضیح دهید.

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

۲-۴- ساختار تقویت کننده‌های چند طبقه (صفحه ۹۶ از کتاب درسی)

۱-۲-۴- تطبیق امپدانس

مباحث ۱-۴ و ۲-۴ و زیر مجموعه آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

آزمونک ۲

برای اتصال دو طبقه تقویت کننده به یکدیگر چه مسائلی باید مورد توجه قرار بگیرد؟

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

آزمونک ۳

برای اتصال یک بلندگو به خروجی یک تقویت کننده، کدامیک از آرایش‌های امپدانس 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 تقویت کننده امپدانس مشترک که دارای مقاومت خروجی بالا است تطبیق امپدانس مناسب و در نتیجه انتقال حداکثر توان ممکن به آن میسر نمی‌باشد. در این حالت تقویت کننده کلکتور مشترک که دارای امپدانس خروجی کم است گزینه مناسبی است.

۳-۴- اتصال تقویت کننده‌ها به یکدیگر (صفحه 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 اندازه کافی بزرگ انتخاب شود که بتوان آن را در حداقل فرکانس کاری تقویت کننده اتصال کوتاه فرض کرد. در غیر این صورت، امپدانس خازن قابل توجه خواهد بود و موجب افت سیگنال خروجی تقویت کننده اول و نرسیدن توان مورد نظر به تقویت کننده دوم خواهد شد.

آزمونک ۵

در تقویت کننده‌های 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 تقویت کننده از یکدیگر مجزا هستند و نقطه کار هر طبقه به طور مجزا محاسبه می‌شود.

آزمونک ۶

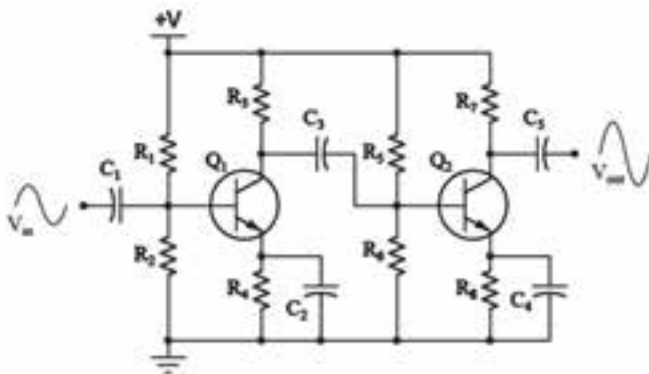
اگر دو تقویت کننده امیتر مشترک به یکدیگر کوپل شوند فاز سیگنال خروجی نسبت به ورودی چگونه است؟
 پاسخ: می‌دانیم که در تقویت کننده امیتر مشترک سیگنال ورودی با خروجی 180° درجه اختلاف فاز دارد. در یک تقویت کننده دو طبقه که از یک تقویت کننده امیتر مشترک به عنوان طبقه دوم استفاده می‌کند سیگنال خروجی طبقه اول در خروجی طبقه دوم با 180° درجه اختلاف فاز ظاهر می‌شود. در نتیجه در یک تقویت کننده 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 تقویت کننده‌هایی می‌تواند به طور مناسب مورد استفاده قرار بگیرد؟ چرا؟
 پاسخ: تقویت کننده‌های 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. به علاوه قدرت اعمال شده به بار به علت تلفات توان بر روی تعداد مقاومت‌های زیاد، کم است.

پرسش ۱

هدف



شکل ۴-۱

– بررسی دقیق نقش هر یک از قطعات به کار گرفته شده در یک تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ خازنی در مدار شکل ۴-۱ نقش هر قطعه را توضیح دهید.

پاسخ:

ابتدا نقش مقاومت‌ها در مدار بررسی می‌شوند. مقاومت‌های R_1 و R_2 در مدار مقسم ولتاژ برای تغذیه ترانزیستور Q_1 مورد استفاده قرار گرفته‌اند. R_3 به عنوان مقاومت بار Q_1 عمل می‌کند و R_4 در نقش فیدبک

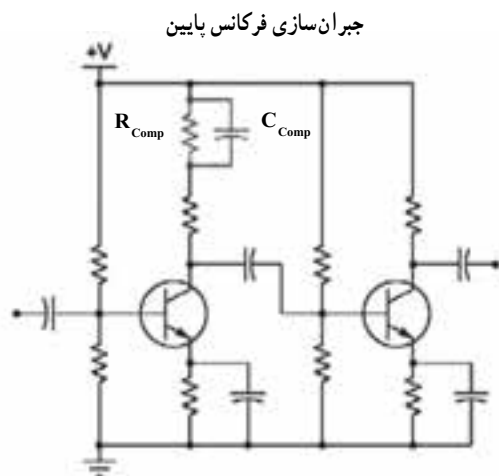
منفی و برای پایداری نقطه کار در مقابل تغییرات درجه حرارت به کار گرفته می‌شود. در ترانزیستور Q_2 نیز R_5 و R_6 همانند R_1 و R_2 در Q_1 در مدار تغذیه استفاده شده‌اند و R_7 و R_8 نیز به ترتیب به عنوان بار و برای پایداری حرارتی به کار گرفته شده‌اند.

خازن C_1 برای کوپلینگ سیگنال ورودی به Q_1 استفاده شده است و خازن C_2 ترانزیستور Q_1 را در حالت AC بای پس می‌کند و به این وسیله اثر منفی مقاومت R_3 بر بهره تقویت کننده خنثی می‌شود. از خازن C_3 به عنوان خازن کوپلاژ و برای اتصال دو طبقه تقویت کننده 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 طبقه اول تقویت کننده و ترانزیستور Q_2 دومین طبقه تقویت کننده را تشکیل می دهند.

پرسش ۲ (دانش افزایی)

هدف



شکل ۲-۴

– بررسی یک راهکار برای کم کردن تأثیر منفی یکی از محدودیت های روش کوپلاژ خازنی یکی از مشکلاتی که در هنگام استفاده از تقویت کننده های چند طبقه با کوپلاژ خازنی وجود دارد، پاسخ فرکانسی بد آن ها در فرکانس های پایین است، بدین معنی که با کاهش فرکانس سیگنال اعمال شده به مدار، امپدانس خازن های مدار افزایش یافته و باعث تضعیف سیگنال خروجی و کاهش بهره می شوند. یک راه برای حل این مشکل افزودن یک خازن در مسیر جریان کلکتور در طبقه اول تقویت کننده است (شکل ۲-۴). توضیح دهید که چگونه این جبران سازی خازنی به حل مشکل مذکور کمک می کند؟

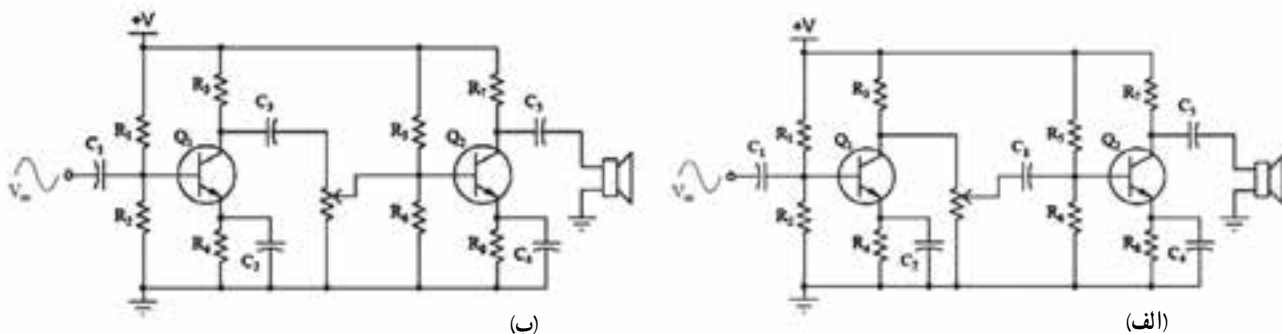
پاسخ: با موازی کردن خازن C_{comp} با مقاومت R_{comp} در کلکتور طبقه اول تقویت کننده، این خازن در حالت AC اتصال کوتاه شده و به جریان کلکتور اجازه نمی دهد که از مقاومت R_{comp} عبور کند. در نتیجه افت ولتاژ روی مقاومت کلکتور طبقه اول کاهش یافته و توان بیشتری به طبقه دوم خواهد رسید. در هنگام استفاده از خازن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

پرسش ۲ (دانش افزایی)

هدف

مطالعه چگونگی تأثیر پذیری نقطه کار ترانزیستورها در مدار تقویت کننده دو طبقه با استفاده از کوپلاژ خازنی برای تقویت یک سیگنال صوتی از یک تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ خازنی استفاده شده است و یک بلندگو در خروجی آن به کار گرفته شده است. برای تنظیم مقدار صوت از یک پتانسیومتر به دو روش مختلف که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است استفاده شده است. کدام یک از آرایش های ارائه شده مناسب تر است؟

پاسخ: همانطور که از شکل ۳-۴ مشخص است تقویت کننده های الف و ب کاملاً شبیه به هم هستند. تنها تفاوت آن ها نحوه استفاده از خازن کوپلاژ C_p است. در مدار الف این خازن به ترانزیستور Q_2 متصل است و سیگنال خروجی تقویت کننده طبقه اول را از پتانسیومتر دریافت می کند. در این مدار چون در حالت DC خازن C_p اتصال باز است دو طبقه تقویت کننده به صورت مجزا عمل کرده و مقدار مقاومت پتانسیومتر تأثیری بر نقطه کار ترانزیستور Q_2 ندارد. این در حالی است که در مدار ب چون C_p به ترانزیستور Q_2 متصل است و پتانسیومتر در مدار بایاس ترانزیستور Q_2 استفاده شده است، نقطه کار Q_2 به مقدار مقاومت پتانسیومتر وابسته است. در نتیجه پایداری مدار الف از ب بیشتر و آرایش الف مناسب تر است.



شکل ۳-۴

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 - یادگیری

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

آزمونک ۸

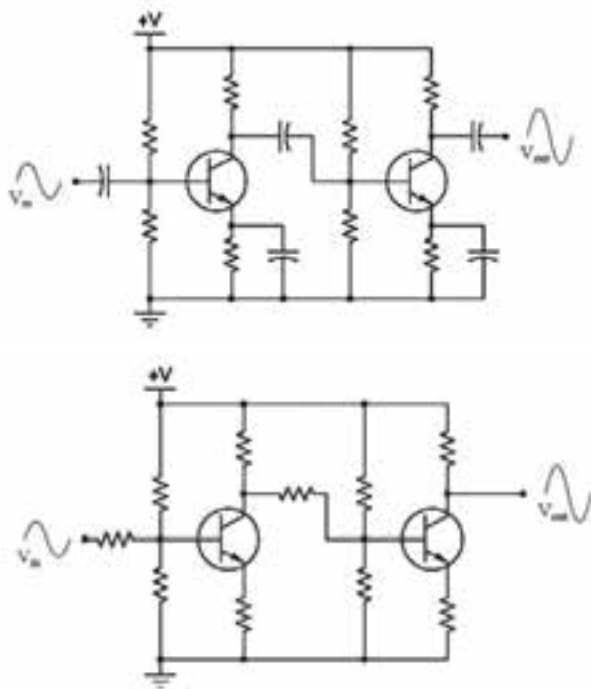
مزیت کوپلاژ ترانسفورماتوری بر کوپلاژ خازنی چیست؟
 پاسخ: از آنجا که افت توان در کوپلاژ ترانسفورماتوری کمتر از کوپلاژ خازنی است می‌توان از آن در تقویت‌کننده‌های با قدرت زیاد استفاده کرد.

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، عکس‌العمل خازنی و سلفی پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده در فرکانس‌های پایین را به نحو نامطلوبی تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ۴-۴

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

فرض کنید که دو تقویت کننده دو طبقه در اختیار است که دارای آرایش و قطعات مشابه می‌باشند (شکل ۴-۴). اگر در یکی از آن‌ها از کوپلاژ مستقیم و در دیگری از کوپلاژ خازنی استفاده شده باشد، کدام یک از آنها برای استفاده در مدار ولت متر DC مناسب تر 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 اندازه‌گیری ولتاژ DC که دارای فرکانس صفر است استفاده

نشود. چون در راهکار کوپلاژ مستقیم از خازن استفاده نمی‌شود می‌توان ولتاژهای با فرکانس‌های بسیار پایین یا صفر را (DC) اندازه‌گیری کرد، در حالی که تقویت کننده‌های چند طبقه با کوپلاژ خازنی برای سنجش ولتاژهای AC با فرکانس‌های نسبتاً زیاد مناسب هستند.

WWW

معرفی سایت: تطبیق امپدانس

۱- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/imped.html>

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

۲- <http://www.bcae1.com/trnimpmt.htm>

در بخشی از وب سایت فوق که به مبحث تطبیق امپدانس با استفاده از ترانسفورماتور می‌پردازد، می‌توان مقدار بار، نسبت دورهای اولیه و ثانویه ترانسفورماتور و توان بیشینه تقویت کننده 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 ۷-۴ (صفحه ۸۰۸ از کتاب درسی)

۱-۷-۴- پاسخ: برای انتقال حداکثر توان از یک طبقه تقویت کننده به طبقه دیگر باید امپدانس خروجی طبقه اول با امپدانس ورودی طبقه دوم برابر باشد.

۲-۷-۴- پاسخ: غلط

۳-۷-۴- پاسخ: کوپلاژ مستقیم در این حالت بهتر عمل می‌کند زیرا هم کوپلاژ خازنی و هم کوپلاژ ترانسفورماتوری در

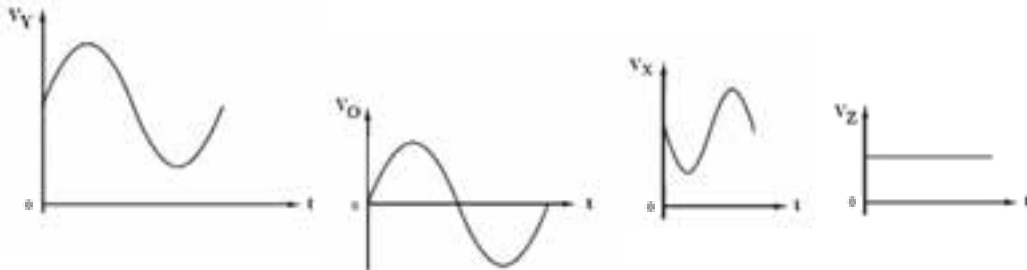
فرکانس پایین پاسخ فرکانسی نامناسبی دارند.

۴-۷-۴- پاسخ: در مدار ۴-۳۴ از کتاب درسی، در حالت AC خازن C_E اتصال کوتاه است و مقاومت R_{E1} را از مدار خارج می‌کند. اما مقاومت R_{E1} در مدار وجود دارد و یک سیگنال هم‌فاز با سیگنال ورودی بر روی آن سوار می‌شود که به خاطر وجود تغذیه DC دارای یک سطح ولتاژ بزرگ تر از صفر است. بنابراین گزینه ۳ پاسخ صحیح است.

۴-۷-۵- پاسخ: چگونگی اتصال دو طبقه تقویت کننده به یکدیگر را کوپلاژ می‌نامند که شامل سه نوع کوپلاژ خازنی، ترانسفورماتوری و مستقیم است.

۴-۷-۶- پاسخ: پاسخ به این سؤال در بخش ۴-۵-۶ از کتاب درسی آمده است.

۴-۷-۷- پاسخ: شکل موج نقاط خواسته شده در شکل ۴-۵ نشان داده شده است. شکل موج نقطه X همان شکل موج ورودی است که پس از عبور از خازن C_1 بر ولتاژ DC بیس سوار شده است. از آنجا که در حالت AC خازن C_2 اتصال کوتاه است امپدانس تنها دارای مؤلفه DC است که در شکل با V_Z نشان داده شده است. شکل موج نقطه Y که همان کلکتور ترانزیستور است سیگنال تقویت شده ورودی است که 180° درجه اختلاف فاز با سیگنال ورودی دارد. سیگنال ظاهر شده در نقطه Y پس از حذف مؤلفه DC اش توسط خازن C_3 ، در نقطه O موجی شبیه به آنچه در V_O نشان داده شده است را شکل می‌دهد.



شکل ۴-۵

۴-۷-۸- پاسخ: برای تطبیق امپدانس باید رابطه زیر بین امپدانس‌های ورودی و خروجی و نسبت دورهای ترانسفورماتور برقرار باشد:

$$\frac{Z_{in}}{Z_o} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{1 \angle 0^\circ}{24} = \left(\frac{1 \angle 0^\circ}{N_2}\right)^2 \Rightarrow N_2 = \sqrt{240000} \sim 155$$

۴-۷-۹- پاسخ: پاسخ این سؤال همانند پاسخ مثال ۴-۲ کتاب درسی است. اگرچه مقدار β ترانزیستورها در دو مدار متفاوت است اما چون از راهکار تغذیه سرخود که مستقل از β است برای بایاس ترانزیستورها استفاده شده است مقادیر ولتاژها در دو حالت یکسان است.

۴-۴- زوج دارلینگتون (صفحه 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 می توان دو ترانزیستور را به صورت زوج دارلینگتون استفاده کرد. به عنوان مثال می توان از این راهکار برای افزایش β ی ترانزیستورهای قدرت استفاده کرد.

📖 آزمونک ۱۲

در ترانزیستورهای زوج دارلینگتون چه عاملی و به چه صورت باعث ناپایداری نقطه کار ترانزیستور می شود؟
پاسخ: جریان ناشی ترانزیستور اول به این صورت باعث ناپایداری نقطه کار ترانزیستور زوج دارلینگتون می شود که با تقویت آن توسط ترانزیستور دوم، جریان ناخواسته زیادی تولید می شود.

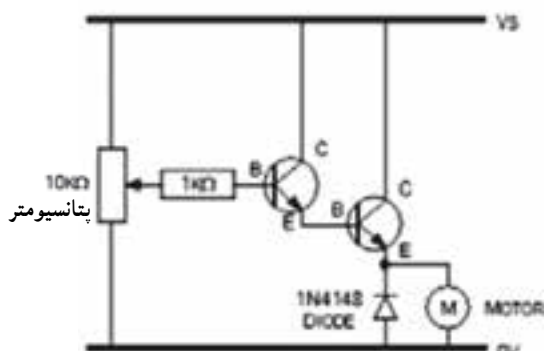
مثال ۱ (کاربردی)

از یک پتانسیومتر معمولی که یک مقاومت متغیر است نمی توان مستقیماً برای کنترل سرعت یک موتور استفاده کرد. علت این است که موتور مقدار زیادی جریان را از مدار دریافت می کند که می تواند به پتانسیومتر آسیب بزند. یک راه حل برای این مشکل این است که دامنه کوچک جریانی را که از پتانسیومتر می گذرد می توان به اندازه ای تقویت کرد که موتور را راه اندازی کند. این تقویت می تواند توسط ترانزیستورها صورت بگیرد.

☑ نکته آموزشی

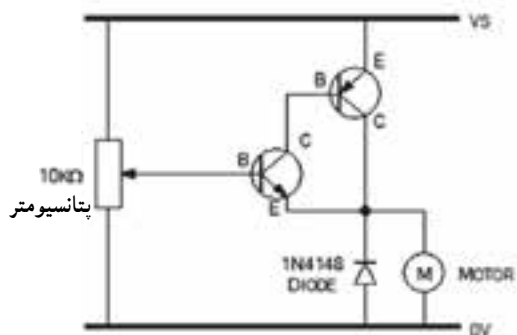
به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مدار نشان داده شده در شکل ۴-۶ یک پتانسیومتر را نشان می دهد 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 ۴-۶

مقدار جریان اندکی که از سر وسط پتانسیومتر عبور می کند توسط دو ترانزیستور که در آرایش دارلینگتون استفاده شده اند تقویت می شود. به این طریق جریان نسبتاً زیادی که برای راه اندازی موتور مورد نیاز است توسط زوج دارلینگتون تأمین می شود. از آنجا که موتور یک بار سلفی است جریان بازگشتی تولید شده توسط آن می تواند به ترانزیستور صدمه بزند. بدین جهت یک دیود با موتور موازی می شود تا مانع ورود جریان بازگشتی به ترانزیستور شود. از مدار نشان داده شده در شکل ۴-۶ می توان در کاربردهای دیگری نیز استفاده کرد. برای مثال می توان از آن به عنوان یک دیمر که می تواند روشنایی لامپ را کنترل کند بهره جست.



شکل ۴-۷

یکی از معایب مدار شکل ۴-۶ تلفات 0.7° ولتی در پیوند بیس امیتر هر یک از ترانزیستورها است که موجب می شود حداکثر ولتاژ اعمالی به موتور برابر $V_S - 1.4$ ولت باشد. برای رفع این مشکل می توان از مدار نشان داده شده در شکل ۴-۷ استفاده کرد.

در این مدار از یک زوج دارلینگتون NPN مکمل استفاده شده است و به این ترتیب مقدار تلفات ولتاژ از $1/4$ ولت به 0.7° ولت کاهش پیدا می کند.

۴-۵ - تقویت کننده آبشاری (صفحه ۱۱۱ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

✓ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱-۴ (صفحه ۱۱۲ از کتاب درسی)

۱-۴-۱۰-۱ پاسخ: زوج دارلینگتون دارای بهره جریان بالا و مقاومت ورودی زیاد است.

۲-۴-۱۰-۲ پاسخ:

$$I_E \beta_1 \beta_2 I_B \quad 80 \times 20 \times 10^{-6} \text{ A} \quad 16 \text{ mA}$$

لذا گزینه ۴ صحیح است.

۳-۴-۱۰-۳ پاسخ: مدار نشان داده شده یک زوج دارلینگتون PNP است که در آن β برابر با $\beta_1 \beta_2$ است. از این رو گزینه

۱ صحیح است.

۴-۴-۱۰-۴ پاسخ: فرکانس‌های بالا

۵-۴-۱۰-۵ پاسخ: زوج دارلینگتون یک تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم است که دارای ضریب تقویت جریان بالا

و مقاومت ورودی زیاد است.

۶-۴-۱۰-۶ پاسخ: در زوج دارلینگتون جریان نشستی ترانزیستور اول که در اثر حرارت تولید می‌شود روی نقطه کار به

شدت تأثیر می‌گذارد. جریان نشستی ترانزیستور اول توسط ترانزیستور دوم تقویت می‌شود و در خروجی، جریان ناخواسته زیادی را

ایجاد می‌کند. این جریان باعث گرم شدن بیشتر ترانزیستورها و افزایش بیشتر جریان نشستی می‌شود. برای رفع این مشکل از مدار

شکل ۲-۴۲ کتاب درسی استفاده می‌شود که در آن R_E به نحوی محاسبه می‌شود که اگر تمام جریان نشستی از آن بگذرد ترانزیستور

دوم روشن نشود.

۷-۴-۱۰-۷ پاسخ: از این تقویت کننده در فرکانس‌های بالا استفاده می‌شود.

۸-۴-۱۰-۸ پاسخ: برای محاسبه قدرت تلف شده در ترانزیستور TR_2 بایستی حاصلضرب ولتاژ کلکتور-امیتر و جریان

کلکتور این ترانزیستور محاسبه شود. برای پیدا کردن جریان امیتر TR_2 می‌توان معادله ولتاژ در حلقه متشکل از منبع تغذیه، مقاومت

بیس TR_1 و مقاومت امیتر TR_2 را نوشت:

$$20 \cdot \frac{2}{2} M\Omega I_{B1} \quad V_{BE1} \quad V_{BE2} \quad 1/2 K\Omega I_{E2}$$

$$I_{E2} \beta_1 I_{B2}, I_{B2} \quad I_{E1} \quad \beta_1 I_{B1} \Rightarrow I_{E2} \quad \beta_1 \beta_2 I_{B1}$$

برای جریان امیتر TR_2 می‌توان نوشت:

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

$$20 \cdot \frac{2}{2} M\Omega I_{B1} \quad V_{BE1} \quad V_{BE2} \quad 1/2 K\Omega \beta_1 \beta_2 I_{B1}$$

$$20 \cdot \frac{1}{4} I_{B1} (2/2 M\Omega (250 \cdot 10^{-6} \times 1/2))^K \Rightarrow I_{B1}$$

$$\frac{18/6}{5/2 M\Omega} \quad 3/577 \mu A \Rightarrow I_{E2} \quad 250 \cdot I_{B1} \quad 8/94 \text{ mA}$$

برای محاسبه ولتاژ کلکتور-امیتر TR_2 باید معادله ولتاژ حلقه خروجی تقویت کننده را نوشت:

$$20 \cdot V_{CE2} \quad 1/2 K\Omega I_{E2} \Rightarrow V_{CE2} \quad 20 - (1/2 K\Omega \times 8/94 \text{ mA}) \quad 9/27 \text{ V}$$

$$\Rightarrow P_{R2} \quad 9/27 \text{ V} \times 8/94 \text{ mA} \quad 82/87 \text{ mW}$$

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به صورت سمینار

- ۱- مطالعه در مورد کاربردهای تقویت کننده‌های چند طبقه
- ۲- مقایسه مزایا و معایب انواع راهکارهای کوپلاژ و ارائه چند مثال عملی از کاربرد آن‌ها
- ۳- بررسی چند مدار عملی که در آن‌ها از ترانزیستور زوج دارلینگتون و یا تقویت کننده آشناری 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 درآوردید، 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.

فصل ۵

تقویت کننده‌های قدرت



هدف‌های فصل

نگرشی	مهارتی	دانشی
۱- شناخت نقش ترانسفورماتور در کلاس‌های تقویت کننده‌ی مختلف	۱- توانایی تحلیل نحوه تقویت سیگنال در هر یک از کلاس‌های تقویت کننده‌ی تقویت کننده‌ی مختلف	۱- یادگیری مفهوم اعوجاج در تقویت کننده‌های قدرت
۲- درک رابطه بین مدت زمان روشن بودن ترانزیستور و نحوه بایاسینگ آن با راندمان تقویت کننده	۲- توانایی مقایسه ویژگی‌های کلاس‌های تقویت کننده‌ی مختلف	۲- آشنایی با راهکارهای موجود برای مواجهه با اعوجاج تقاطعی
	۳- توانایی انجام محاسبات مورد نیاز در ارتباط با توان و مقاومت حرارتی خنک کننده‌ها	۳- آشنایی با چند نمونه از تقویت کننده‌های صوتی مدار مجتمع
		۴- آشنایی با نحوه عملکرد یک خنک 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 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 اندازه‌گیری پیشنهادی	زمان پیشنهادی برای تدریس (ساعت)	توضیحات
مشخصات عمومی تقویت‌کننده‌های قدرت	آشنایی با عواملی که در به‌کارگیری یک تقویت‌کننده 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. تعیین راندمان تقویت‌کننده‌ها به صورت محاسباتی

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

۵-۱- عوامل مهم در تقویت‌کننده‌های قدرت (صفحه ۱۱۵ از کتاب درسی)

۵-۱-۱- بازده تقویت‌کننده

۵-۱-۲- پخش گرما

مباحث ۵-۱ و زیر مجموعه آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

۵-۲- کلاس‌های تقویت‌کنندگی

۵-۲-۱- تقویت‌کننده کلاس A (صفحه ۱۱۶ از کتاب درسی)

۵-۲-۲- تقویت‌کننده کلاس B (صفحه ۱۱۹ از کتاب درسی)

مباحث ۵-۲ و زیر مجموعه‌های آن در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

آزمونک ۱ 

چرا در ساختار تقویت‌کننده پوش - پول بایستی دو ترانزیستور کاملاً مشابه باشند؟
پاسخ: اگر ترانزیستورهای به کارگرفته شده در ساختار تقویت‌کننده 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 دامنه آن‌ها با یکدیگر متفاوت باشند. این به معنی تولید یک شکل موج نامتقارن در خروجی تقویت کننده است.

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

☑ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۵-۵ (صفحه ۱۲۲ از کتاب درسی)

۱-۵-۵-۱ پاسخ: بر اساس متن کتاب درسی، تقویت ولتاژ یا جریان همان تقویت توان است ولی منظور از تقویت کننده توان یا تقویت کننده قدرت، تقویت کننده‌ای است که بتواند توان قابل ملاحظه‌ای را به بار منتقل کند. لذا عبارت ذکر شده در این سؤال غلط است.

۲-۵-۵-۲ پاسخ: صحیح

۳-۵-۵-۳ پاسخ: بازده تقویت کننده کلاس A با کوپلاژ خازنی حداکثر ۲۵ درصد و با کوپلاژ ترانسفورماتوری ۵۰ درصد است.

۴-۵-۵-۴ پاسخ: اعوجاج تقاطعی در تقویت کننده پوش - پول کلاس B ایجاد می‌شود.

۵-۵-۵-۵ پاسخ: در یک تقویت کننده کلاس A جریان عبوری از کلکتور و منبع تغذیه ترانزیستور همیشه ثابت است. بنابراین گزینه ۱ صحیح است.

۶-۵-۵-۶ پاسخ: همانطور که در شکل ۱-۵ از کتاب درسی نشان داده شده است جریانی که از منبع تغذیه کشیده می‌شود همانند گزینه ۲ است.

۷-۵-۵-۷ پاسخ: تغییر شکل موج یا اعوجاج کم، امپدانس خروجی کم، بهره جریان زیاد، راندمان بالا، مشخصه فرکانسی خوب.

۸-۵-۵-۸ پاسخ: حداکثر بازده این تقویت کننده در حالت ایده آل ۵۰ درصد است اما در عمل بازده آن از ۴۰ درصد تجاوز نمی‌کند.

۹-۵-۵-۹ پاسخ: منظور از اعوجاج تقاطعی، شکل غیر خطی سیگنال خروجی در هنگام عبور از ولتاژ صفر است. 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 به طور کامل سیگنال ورودی را دنبال نمی‌کند و اعوجاج تقاطعی رخ می‌دهد. برای پاسخ ملموس تر به این سؤال می‌توان از شکل موج خروجی کلاس‌های تقویت کننده مختلف و محل انتخاب نقطه کار روی خط بار DC برای هر یک از آن‌ها استفاده کرد. به عنوان مثال می‌توان از تقویت کننده کلاس A که در سیگنال خروجی اعوجاجی ایجاد نمی‌کند نام برد. در این تقویت کننده با استفاده از بایاسینگ، نقطه کار در وسط خط بار DC قرار گرفته و هر دو نیمه سیگنال ورودی به طور کامل تقویت می‌شود. در حالی که در تقویت کننده کلاس B که از بایاسینگ استفاده نمی‌شود و هدایت ترانزیستورها وابسته به دامنه سیگنال ورودی است، در هنگام گذر از ولتاژ صفر هر دو ترانزیستور خاموش بوده و در سیگنال خروجی اعوجاج پدید می‌آید.

۱۰-۵-۵-۱۰ پاسخ: تعریف ضریب شایستگی و محاسبه مقدار آن برای تقویت کننده کلاس A با کوپلاژ خازنی در بخش ۲-۳-۵ آمده است.

۵-۲-۳-۵ تقویت کننده پوش - پول با ترانزیستورهای مکمل (صفحه ۱۲۴ از کتاب درسی)

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

آزمونک ۲

روش‌های اصلی برای تأمین ولتاژ بیس ترانزیستورها در تقویت‌کننده کلاس AB را نام ببرید و مناسب‌ترین روش را مشخص کنید؟
پاسخ: سه راهکار اصلی معرفی شده در کتاب عبارتند از ۱- استفاده از پتانسیومتر ۲- به‌کارگیری دو دیود سری و ۳- استفاده از رگولاتور ولتاژ. در این روش‌ها سعی می‌شود تا ترانزیستورها در آستانه هدایت قرار گیرند. روش اول از این جهت مناسب نیست که مقداری از سیگنال ورودی صرف تأمین ولتاژ مورد نیاز برای روشن شدن دو ترانزیستور می‌شود و دامنه اولیه ولتاژ ورودی به بیس ترانزیستورها نمی‌رسد. در راهکار دوم ممکن است که ولتاژ دو سر ترانزیستورها دقیقاً برابر آنچه مورد نظر است نباشد و با بیشتر شدن مجموع ولتاژها از ولتاژ آستانه هدایت ترانزیستورها آن‌ها روشن شده و بازده مدار را به شدت کاهش می‌دهد. از اینرو سومین روش مناسب‌ترین شیوه برای بایاس ترانزیستورها است.

- ۵-۲-۴- تقویت‌کننده کلاس C (صفحه ۱۳۱ از کتاب درسی) به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.
۵-۲-۵- تقویت‌کننده کلاس D (صفحه ۱۳۲ از کتاب درسی) به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

مباحث ۴-۲-۵ و ۵-۲-۵ در لوح فشرده ضمیمه کتاب آمده است.

۵-۳- خنک‌کننده یا رادیاتور حرارت برای ترانزیستورهای قدرت (صفحه ۱۲۸ از کتاب درسی)

WWW

معرفی سایت: ویژگی‌های کلاس‌های تقویت‌کنندگی مختلف

۱- <http://www.duncanamps.com/technical/ampclasses.html>

آزمونک ۳

مزایای اصلی استفاده از خنک‌کننده در مدارهای تقویت‌کننده ترانزیستوری چیست؟
پاسخ: اولین مزیت استفاده از گرماگیر افزایش عمر ترانزیستور است و مزیت دوم آن این است که ترانزیستور می‌تواند در ناحیه حداکثر توان کار کند.

آزمونک ۴

چه عاملی باعث محدود شدن مصرف توان در ترانزیستور می‌شود؟

پاسخ: افزایش دمای پیوند کلکتور در ترانزیستور

نکته آموزشی

به لوح فشرده ضمیمه کتاب مراجعه کنید.

✓ پاسخ به سؤالات الگوی پرسش ۱۲-۵ (صفحه ۱۳۴ از کتاب درسی)

۱-۱۲-۵- پاسخ : صحیح

۲-۱۲-۵- پاسخ : غلط

۳-۱۲-۵- پاسخ : در مدار شکل ۴۲-۵ (از کتاب درسی) ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 دارای آرایش کلکتور مشترک

و کلاس کار آن‌ها **B** است. پتانسیل نقطه A در حالت سکون برابر با $\frac{V_{CC}}{4}$ است. زیرا کلکتور-امیتر TR_1 و TR_2 به عنوان یک مقاومت بزرگ عمل می‌کنند.

۴-۱۲-۵- پاسخ : نقش مقاومت PR_2 در مدار شکل ۴۳-۵ (از کتاب درسی) تنظیم پتانسیل MN برابر $1/2$ ولت است تا ترانزیستورهای TR_1 و TR_2 در کلاس **AB** قرار گیرند.

۵-۱۲-۵- پاسخ : در این مدار تنها در اولین 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 نمی‌شود، گزینه ۴ پاسخ صحیح است.

۶-۱۲-۵- 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 گزینه ۴ پاسخ صحیح است.

۷-۱۲-۵- پاسخ : ترانزیستور TR_3 به عنوان رگولاتور، دو ترانزیستور TR_4 و TR_5 را در آستانه هدایت قرار می‌دهد.

۸-۱۲-۵- 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 نقطه 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 بیوند بیس - 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 به این طریق از افزایش جریان TR_4 جلوگیری می‌شود.

۹-۱۲-۵- پاسخ : به دو روش می‌توان بازده یک تقویت‌کننده را افزایش داد. روش اول کاهش تلفات ترانزیستور از طریق کاهش جریان حالت سکون آن است. راهکار دوم کاهش زمان روشن بودن ترانزیستور است.

۱۰-۱۲-۵- پاسخ : توان خروجی، بهره ولتاژ، ولتاژ تغذیه، مقاومت ورودی و مشخصه فرکانسی، مواردی است که در هنگام کار با این تراشه بایستی مد نظر قرار داد.

۱۱-۱۲-۵- پاسخ : برای یافتن ولتاژ نقطه ۱ می‌توان از رابطه تقسیم ولتاژ منبع تغذیه 3^0 ولتی بین مقاومت‌های R_1 و R_2

استفاده کرد :

$$V_1 = 3^0 \cdot V \times \frac{27K\Omega}{27K\Omega + 43^0K\Omega} = 1/77V$$

ولتاژ نقطه ۲ برابر ولتاژ نقطه ۱ منهای ولتاژ بیس - امیتر Q_1 است :

$$V_2 = 1/77V - 0/7V = 1/07V$$

ولتاژ نقطه ۳ برابر ولتاژ منبع تغذیه منهای ولتاژ بیس - امیتر Q_2 است :

$$V_3 = 3^0 \cdot V - 0/7V = 29/3V$$

برای یافتن ولتاژ نقاط ۴ و ۵ ابتدا باید ولتاژ نقطه ۶ را یافت. ولتاژ نقطه ۶ را می‌توان با استفاده از ولتاژ نقطه ۲ و رابطه تقسیم

ولتاژ نقطه ۶ بین مقاومت‌های R_3 و R_4 به دست آورد :

$$V_T = V_E \times \frac{R_T}{R_T + R_E} = V_E \times \frac{100 \Omega}{100 \Omega + 1400 \Omega} = 1/10 V^v$$

$$\Rightarrow V_{E6} = 15 \times 1/10 = 1.5 V^v$$

از آنجا که ولتاژ نقطه ۶ بیشتر از $(V_{CC}/2)$ نخواهد شد و مدار فیدبک مانع از این افزایش ولتاژ می‌شود، برای نقطه ۶ داریم $V_E = 1.5$. در صورتی که مقدار V_E را برابر $V_{CC}/2$ یعنی ۱۵ ولت بگیریم، ولتاژ نقطه ۲ با صرف نظر کردن از جریان امیتر TR_1 برابر با یک ولت می‌شود.

حال با استفاده از ولتاژ نقطه ۶ می‌توان ولتاژ نقاط ۴ و ۵ را یافت (با صرف نظر کردن از افت ولتاژ روی مقاومت‌های R_4 و R_8):

$$V_4 = 0.6 V^v \quad V_6 = 0.6 V^v \quad 15 V^v \quad 15/6 V^v$$

$$V_5 = 0.6 V^v \quad V_6 = 0.6 V^v \quad 15 V^v \quad 14/4 V^v$$

۱۲-۱۲-۵ پاسخ: با جایگذاری مقادیر داده شده در رابطه زیر داریم:

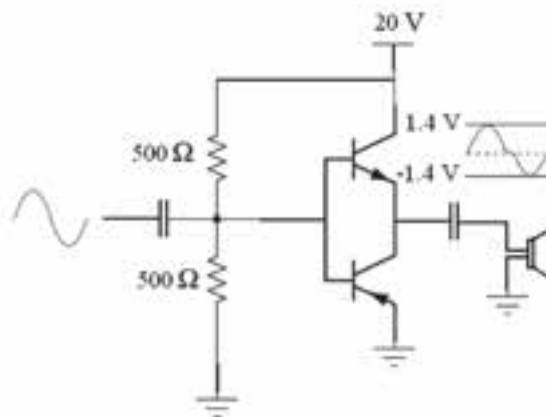
$$P_D = \frac{T_J - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CS} + \theta_{SA}} = \frac{(200 - 40)^\circ C}{(0.5 + 0.6 + 1/5)^\circ C/W} = 61.54 W$$

۱۳-۱۲-۵ پاسخ: عدد شایستگی برای تقویت کننده‌های قدرت به صورت نسبت حداکثر توان تلف شده در ترانزیستور

به حداکثر توان AC انتقالی به بار تعریف می‌شود.

۱۴-۱۲-۵ پاسخ: همانطور که در شکل ۴۶-۵ کتاب درسی نشان داده شده است ولتاژ نقطه E برابر ۱۰ ولت است. با

اعمال تقسیم ولتاژ بین مقاومت‌های بایاس که دارای اندازه برابر هستند ولتاژ بیس ترانزیستورها مساوی با هم و برابر ۱۰ ولت خواهد بود. در نتیجه تقویت کننده در کلاس B کار می‌کند. همانطور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است، دامنه شکل موج خروجی در نتیجه اعوجاج تقاطعی ۰/۶ ولت کمتر از دامنه ورودی است.

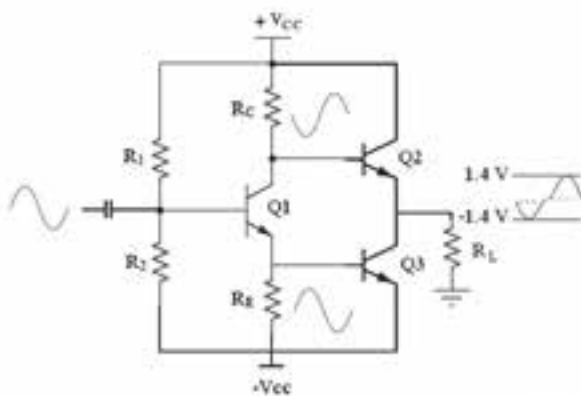


شکل ۵-۱۱

۱۵-۱۲-۵ پاسخ: از آنجا که $R_E = R_C$ است دامنه سیگنال ظاهر شده روی کلکتور TR_1 با دامنه سیگنال ورودی برابر

است و بهره ولتاژ برابر واحد است. اما این سیگنال 180° درجه اختلاف فاز با سیگنال ورودی دارد. چون بهره تقویت کننده کلکتور مشترک برابر واحد است دامنه سیگنال روی امیتر TR_1 با دامنه سیگنال ورودی برابر است و این سیگنال نیز با سیگنال ورودی هم فاز است. سیگنال‌های ظاهر شده روی کلکتور و امیتر Q_1 در شکل ۲-۵ نشان داده شده است.

ترانزیستورهای TR_2 و TR_3 یک تقویت کننده قدرت کلاس B را تشکیل می دهند. در این تقویت کننده، 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 می شود و از آنجا که این دو سیگنال 180° 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 ۲-۵) بایستی در نظر گرفت. نکته اول این است که ابتدا ترانزیستور TR_2 با نیم سیکل مثبت سیگنال روی امیتر TR_1 فعال می شود و از کلکتور TR_3 که دارای 180° درجه اختلاف فاز با سیگنال بیس است برای سیگنال بار استفاده می شود. در مرحله بعدی، ترانزیستور TR_3 با نیم سیکل مثبت سیگنال روی کلکتور TR_1 فعال شده و از امیتر TR_2 که دارای یک سیگنال هم فاز با سیگنال بیس است برای سیگنال بار استفاده می شود. دومین نکته در مورد شکل موج بار بحث اعوجاج تقاطعی در تقویت کننده کلاس B است که در شکل ۲-۵ دامنه شکل موج اولیه را به اندازه $1/6$ ولت کاهش داده است.



شکل ۱۲-۵

موضوعات پیشنهادی برای تحقیق و ارائه آن به

صورت سمینار

- ۱- بررسی چند مدار عملی که در آن از تقویت کننده کلاس B استفاده شده است.
- ۲- بررسی چند مدار عملی که در آن از تقویت کننده کلاس AB استفاده شده است.
- ۳- معرفی مختصر کلاس های تقویت کننده E و F.
- ۴- بررسی چند مدل رایج خنک کننده

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 در آورید، همچنین از آنان بخواهید که در خارج از ساعات کلاسی به اجرای موارد مطرح شده به صورت نرم افزاری بپردازند. اشاره ای 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 فایل های اجرا شده در لوح فشرده در ضمیمه کتاب وجود دارد.