بخش دوم

تقویت‌کننده‌ها

هدف کلی :

آشنایی با تقویت‌کننده‌های قدرت ، ترانزیستورهای اثر میدانی ، تقویت‌کننده‌های تفاضلی و عملیاتی

واحدکار	توانایی شماره	عنوان توانایی	زمان آموزش		
			نظری	عملی	جمع
U_0	۱۵	توانایی تجزیه و تحلیل و بررسی تقویت‌کننده‌های قدرت	۱۰	٤	۱٤
U_0	۱٦	توانایی بررسی ترانزیستورهای اثر میدانی	۱۰	۸	۱۸
U_0	۱۷	توانایی تجزیه و تحلیل و بررسی تقویت‌کننده‌های تفاضلی و عملیاتی	۸	۱۲	۲۰
		جمع کل	۲۸	۲٤	٥۲

فصل سوم

تجزیه و تحلیل و بررسی تقویت‌کننده‌های قدرت

هدف کلی :

بررسی و تحلیل تقویت کننده های ترانزیستوری قدرت

هدف های رفتاری :پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که :

۱- تقویت‌کننده کلاس A را شرح دهد.
۲- راندمان تقویت‌کننده کلاس B را نسبت به کلاس A مقایسه کند.
۳- عملکرد تقویت‌کننده کلاس AB را شرح دهد.
۴- ویژگی‌های تقویت‌کنندهٔ قدرت کلاس A از نوع ترانسفورماتوری را شرح دهد.
۵- چگونگی انتقال حداکثر توان از یک طبقهٔ تقویت کننده به طبقه بعدی را شرح دهد.
۶- عمل تطبیق ولتاژ بین چند طبقه تقویت‌کننده را شرح دهد.
۷- مزایای کوپلاژ خازنی را توضیح دهد.
۸- انواع کوپلاژهای بین طبقات تقویت کننده را نام ببرد.
۹- تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC را ببندد و بررسی کند.
۱۰- ویژگی‌های کوپلاژ ترانسفورماتوری را شرح دهد.
۱۱- تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری را ببندد و بررسی کند (مربوط به سایر استانداردها).
۱۲-مزایا و معایب اتصال دو طبقه تقویت‌کننده را به طور مستقیم به یکدیگر شرح دهد.
۱۳- مدار تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم را ببندد وبررسی کند (مربوط به سایر استانداردها) .
۱۴-تقویت کننده پوش – پول بدون ترانسفورماتور را مورد بررسی قرار دهد.
۱۵-عملکرد تقویت کننده پوش – پول مکمل را شرح دهد.
۱۶- کلیه‌ی اهداف رفتاری در حیطه عاطفی که در فصل اول کتاب به آن‌ها اشاره شده است را در این فصل نیز رعایت کند.

توانایی شماره پانزده	ساعت آموزش		
	نظری	عملی	جمع
	۸	۶	۱۴

پیش آزمون فصل ۳

۱- راندمان تقویت کنندهٔ کلاس A با کوپلاژ RC در ایده‌آل‌ترین حالت .....درصد می‌باشد.

الف) ۵۰ ب) ۲۵

ج) ۲۰ د) ۷۵

۲- در تقویت کنندهٔ کلاس..... فقط نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی تقویت می‌شود.

الف) A ب) B

ج) AB د) C

۳- در کوپلاژ دو یا چند طبقهٔ تقویت کننده ، با استفاده از خازن ، سیگنال‌های فرکانس کم تقویت نمی‌شود.

صحیح ❐ غلط ❐

۴- در کدام نوع کوپلاژ ، طبقات تقویت کننده از نظر ولتاژ و جریان DC مستقل از یکدیگر نیستند.

الف) مستقیم

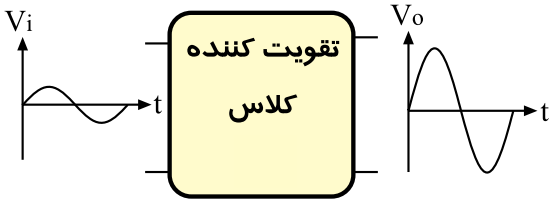
ب) خازنی

ج) ترانسفورماتوری

۵- امروزه در تقویت کننده‌های صوتی به ندرت از کوپلاژ..... استفاده می‌شود .

۶- برای انتقال حداکثر توان از طبقهٔ اول یک تقویت کننده به طبقهٔ دوم تقویت کننده ، چه شرایطی باید برقرار باشد ؟ توضیح دهید.

۷- تقویت کننده شکل زیر در چه کلاسی کار می‌کند ؟



الف) A ب) B

ج) C د) AB

۸- برای انتقال حداکثر جریان از طبقهٔ اول به طبقهٔ دوم باید $Z_{I۲} << Z_{O۱}$ باشد .

صحیح ❐ غلط ❐

۹- نحوهٔ اتصال دو طبقه تقویت کننده به یکدیگر را ..... بین دوطبقه می‌نامند .

۱۰- از مزایای کوپلاژ ..... این است که می‌تواند سیگنال‌های با فرکانس خیلی کم و حتی ولتاژ DC را تقویت کند.

۱۱- یکی از اشکالات ، تقویت کنندهٔ پوش – پول بدون ترانسفورماتور ، عدم تقارن دو نیم سیکل خروجی است .

صحیح ❐ غلط ❐

۲۱- تقویت کنندهٔ پوش – پول با ترانزیستورهای مکمل در کلاس B کار می‌کنند .

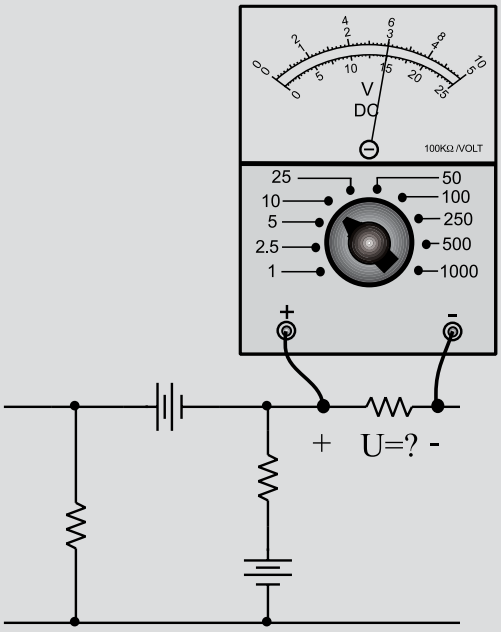
صحیح ❐ غلط ❐

۱۳- چگونگی عملکرد تقویت کنندهٔ پوش – پول با ترانزیستورهای مکمل را شرح دهید .

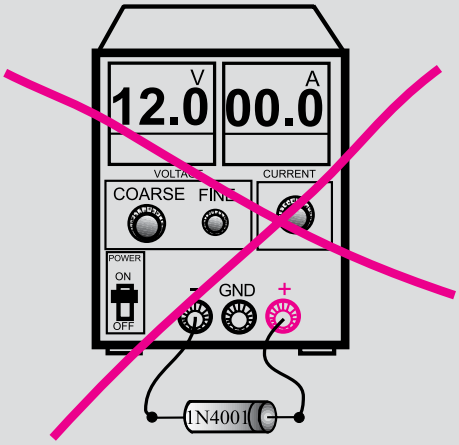
۱٤- چگونگی قرار دادن ترانزیستورهای مکمل را در کلاس AB شرح دهید.

نکات ایمنی فصل (۳)

۱- هنگام اندازه گیری ولتاژ ، ولت متر را به دو نقطه مورد نظر به صورت موازی ببندید.

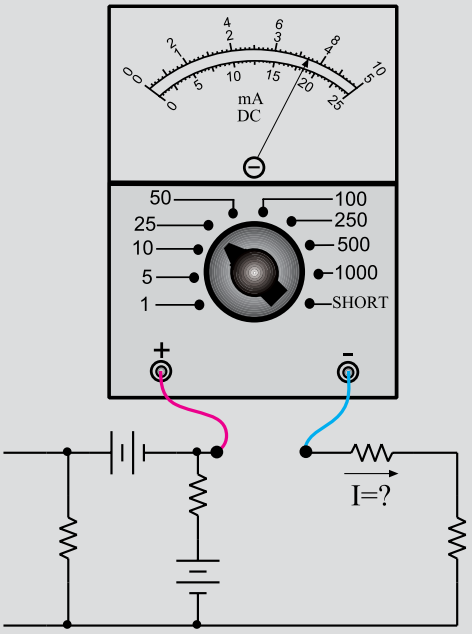


۲- هیـچ وقت یک قطعه نیمه‌هادی مانـند دیود را با منبع تغذیه به صورت موازی نبندید.

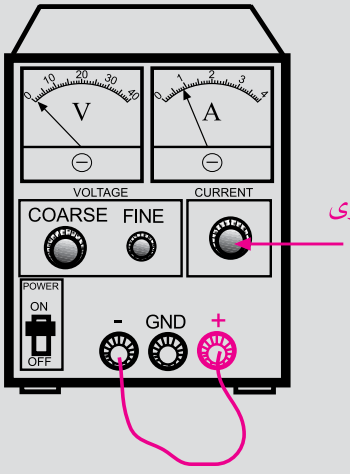


۳- قبـل از اتصال مدار به منبع تغذیه ، ابتدا ولتاژ خروجی را صفر کنید .

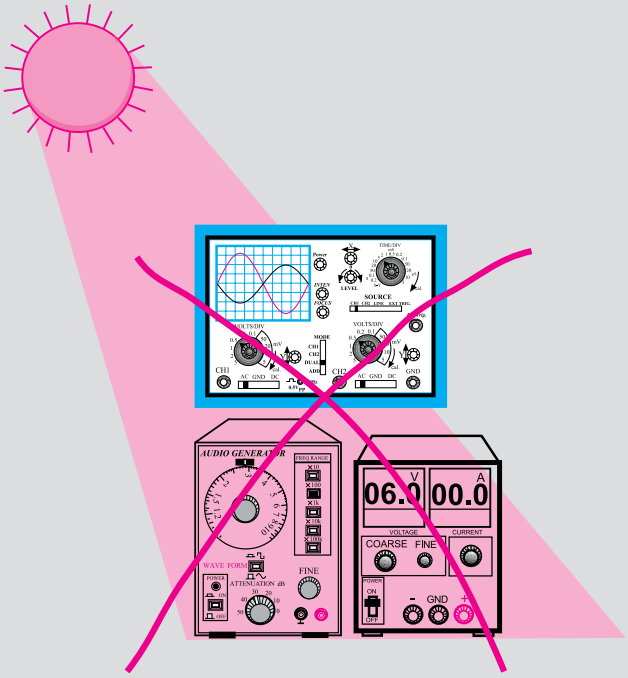
۴- هنگام اندازه گیری جریان در مدار ، آمپرمتر را با مدار به صورت سری ببندید.



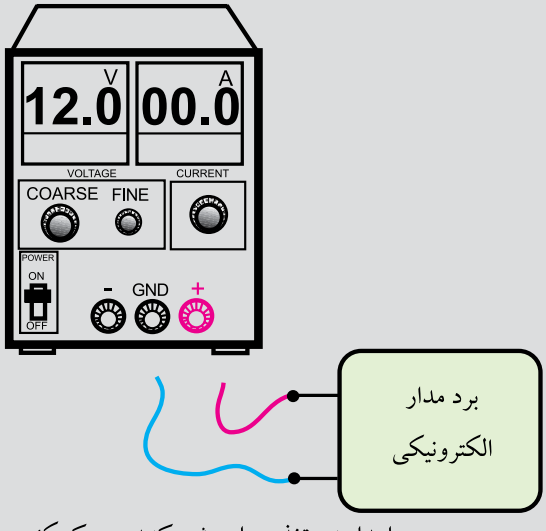
۵- اگـر منبع تغذیه که بـا آن کار می کنیـد دارای ولوم محدود کننده جریان است ، در آزمایش‌های این فصل جریان خروجـی را روی ۱۰۰ mA تنظیـم کنید . برای این کار ابتدا ولتاژ خروجی را روی صفر بگذارید سپس دو سر خروجی را اتصال کوتاه کنید . ولتاژ خروجی را کمی‌زیاد کنید تا جریان از ۱۰۰ mA تجاوز کند. با استفاده از ولوم Current limit جریان خروجی را روی ۱۰۰ mA تنظیم کنید.



۶- اسیلوسکوپ یا منبع تغذیه را در مجاورت وسایل گرمازا یا زیرنورآفتاب قرار ندهید.

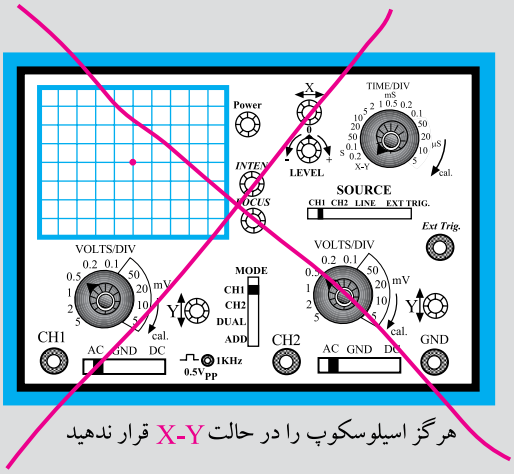


۷- قبل از وصل منبع تغذیه به مدارهای الکترونیکی ، ابتدا منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ خروجی آن را تنظیم کنید و سپس مدار را به منبع تغذیه وصل کنید.



ابتدا منبع تغذیه را روشن کنید و به کمک ولوم COARSE ولتاژ خروجی راتنظیم کنید سپس مدار را به آن اتصال دهید

۸- در اسیلوسکوپ کلید Y-X را برای کارهای معمولی هرگز فعال نکنید. زیرا در این حالت اشعه به صورت یک نقطه نورانی روی صفحه حساس ظاهر می‌شود و پوشش ماده فسفرسانس داخلی را در نقطه ای که تابیده شده است می‌سوزاند در این حالت آن نقطه برای همیشه روی صفحه حساس به صورت یک لکه سیاه دیده می‌شود.



هرگز اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار ندهید

۹- هنگام تعویض حوزه کار کلیدها و ولوم‌های موجود در اسیلوسکوپ خیلی با احتیاط عمل کنید زیرا این کلیدها خیلی حساس هستند و زود خراب می‌شوند .

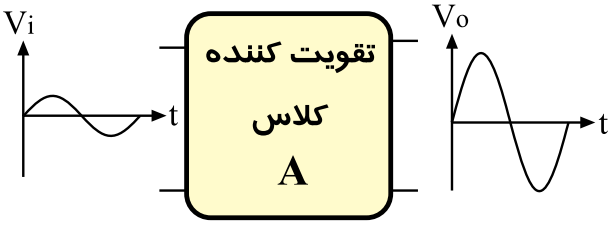
۱۰- هنگام حمل و نقل دستگاه‌های اندازه گیری مراقب باشید که به دستگاه ضربه وارد نشود.

۳-۱ کلاس تقویت‌کننده‌ها

هنگامی که یک سیگنال الکتریکی را به ورودی یک تقویت‌کننده می‌دهیم، متناسب با این که چه مقدار از یک سیکل کامل سیگنال متناوب ورودی تقویت می‌شود، تقویت‌کننده‌ها را دسته بندی می‌کنند و براساس آن کلاس‌های مختلف A، B، AB و C شکل می‌گیرد.

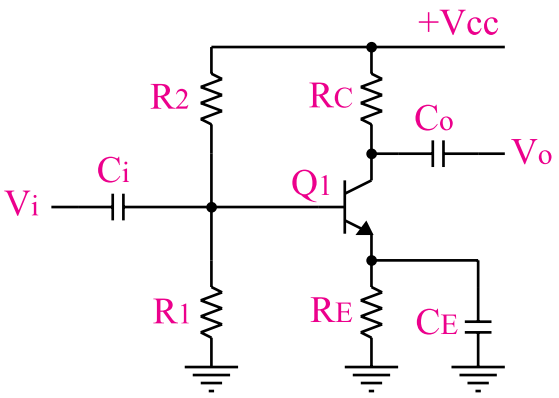
۳-۱-۱ تقویت‌کننده کلاس A

در تقویت‌کنندهٔ کلاس A، دامنهٔ سیگنال در تمامی‌سیکل به یک اندازه تقویت می‌شود، به عبارت دیگر دراین تقویت‌کننده هیچ قسمتی از یک سیکل کامل حذف نمی‌شود. بلوک دیاگرام تقویت‌کنندهٔ کلاس A در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱ سیگنال‌های ورودی و خروجی در تقویت‌کننده کلاس A

در شکل ۳-۲ یک نمونه تقویت‌کننده کلاس A نشان داده شده است.



شکل ۳-۲ تقویت کنندهٔ کلاس A

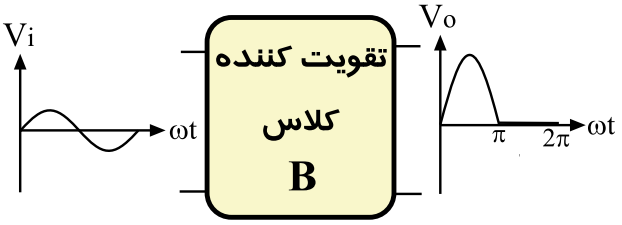
دراین گونه تقویت‌کننده‌ها معمولاً $V_{CE} = \frac{۱}{۲} V_{CC}$ انتخاب می‌شود. راندمان تقویت‌کننده کلاس A در عمل کمتر از ۲۰ درصد است. در ایده‌آل‌ترین حالت از نظر ریاضی ۲۵درصد می‌شود.

توجه داشته باشید که راندمان ۲۰ درصد برای تقویت کننده هایی است که روی کلکتور آن فقط بار اهمی وجود دارد.

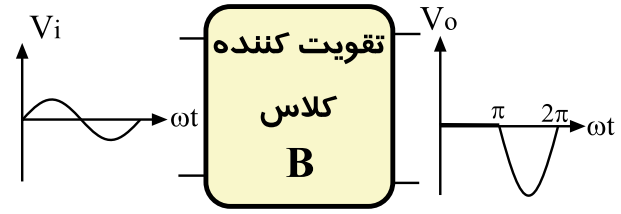
اکثر طبقات تقویت‌کننده‌های صوتی (به جز طبقه آخر) در کلاس A کار می‌کنند.

۳-۱-۲ تقویت‌کننده کلاس B

دراین تقویت‌کننده، نقطه کار ترانزیستور را طوری انتخاب می‌کنند که فقط نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی از سیگنال ورودی را تقویت کند. در شکل ۳-۳ بلوک دیاگرام این نوع تقویت‌کننده نشان داده شده است.

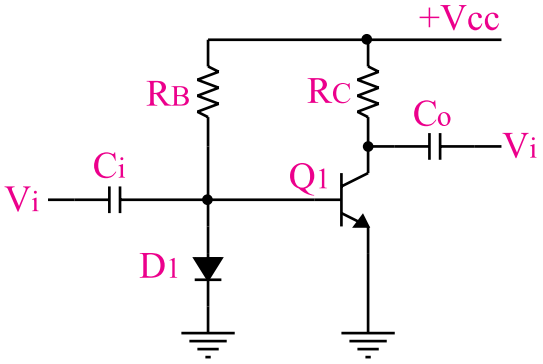


یا



شکل ۳-۳- بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس B

درشکل ۳-۴ یک نمونه تقویت‌کننده کلاس B را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۴ تقویت‌کننده کلاس B

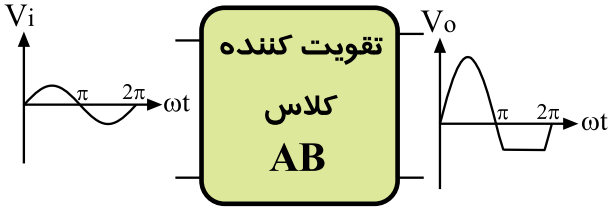
در تعاریف قدیمی ،تقویت‌کننده کلاس B را کم تر از نیم سیکل می‌دانستند.

راندمان تقویت‌کننده کلاس B بیشتر از ۵۰٪ است. این تقویت‌کننده را به عنوان تقویت‌کننده قدرت نیز به کار می‌برند.

در شکل ۳-۴ ، ترانزیستور در آستانه هدایت قرار دارد. با افزایش دامنه سیگنال ورودی ، ترانزیستور بیشترهادی می‌شود و جریان کلکتور آن افزایش می‌یابد . در نیم سیکل منفی ترانزیستور به حالت قطع می‌رود .

۳-۱-۳ تقویت‌کننده کلاس AB

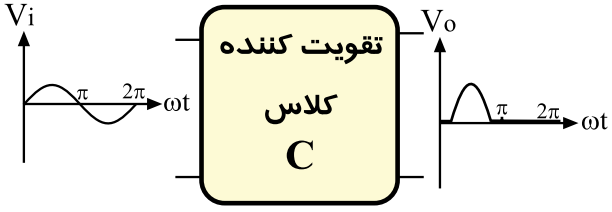
این تقویت‌کننده از نظر DC ، طوری بایاس می‌شود که شکل موج ورودی را بیشتر از ۱۸۰ درجه و کمتر از ۳۶۰ درجه تقویت می‌کند. در شکل ۳-۵ عملکرد این نوع تقویت‌کننده را مشاهده می‌کنید . بایاس این تقویت‌کننده مشابه کلاس A است با این تفاوت که مقادیر آن فرق می‌کند .



شکل ۳-۵ تقویت‌کننده کلاس AB

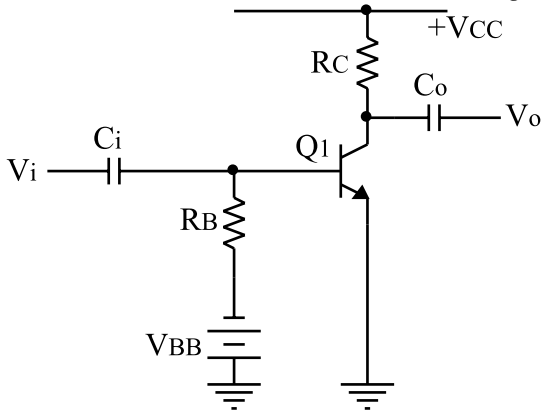
۳-۱-۴ تقویت‌کننده کلاس C

دراین نوع تقویت‌کننده ، فقط قسمت کمی‌از نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی تقویت می‌شود. در شکل ۳-۶ ، بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس C نشان داده شده است .



شکل ۳-۶ تقویت‌کننده کلاس C

در شکل ۳-۷ یک نمونه تقویت‌کننده بسیار ساده و ابتدایی کلاس C نشان داده شده است ، همان طور که در شکل می‌بینید ، بیس امیتر ترانزیستور به صورت معکوس بایاس شده است .

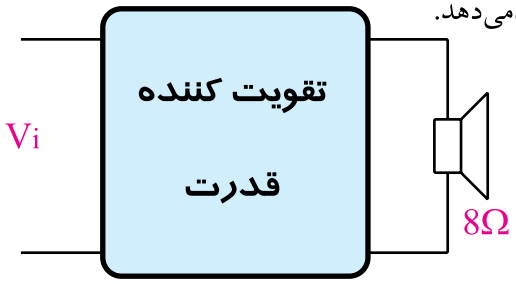


شکل ۳-۷ یک نمونه ساده تقویت‌کننده کلاس C

۳-۲ تقویت‌کننده‌ی قدرت کلاس A

همه‌ی تقویت‌کننده‌هایی که ولتاژ یا جریان یا هر دو را تقویت می‌کنند در واقع تقویت‌کننده توان هستند. منظور از تقویت‌کننده توان (قدرت) تقویت‌کننده‌هایی است که بتوانند توان قابل ملاحظه‌ای را به بار انتقال دهند. معمولاً تقویت‌کننده‌های قدرت تقویت جریان را بر عهده دارند.

شکل ۸-۳ بلوک‌دیاگرام تقویت‌کننده‌ی قدرت‌را نشان‌می‌دهد.

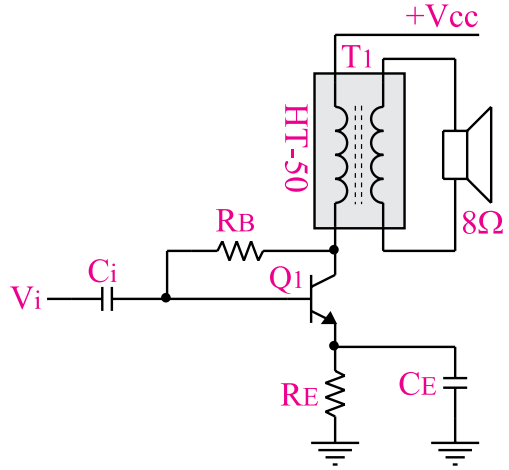


شکل ۸-۳ تقویت‌کننده قدرت معمولاً جریان را تقویت می‌کند .

تقویت‌کننده قدرت در انتهای تقویت‌کننده‌های صوتی قرار می‌گیرد و خروجی آن به بلندگو وصل می‌شود .

۳-۲-۱ تقویت‌کننده قدرت کلاس A ازنوع ترانسفورماتوری

تقویت‌کننده قدرت کلاس A معمولاً بدون ترانسفورماتور ساخته نمی‌شود ، زیرا راندمان آن خیلی کم است . در شکل ۹-۳ تقویت‌کننده قدرت کلاس A از نوع ترانسفورماتوری نشان داده شده است .



شکل ۹-۳ تقویت‌کننده قدرت کلاس A بااستفاده از ترانسفورماتور

در شکل ۱۰-۳ ترانسفورماتور، بلندگو را با تقویت‌کننده تطبیق می‌دهد، زیرا مقاومت اهمی‌بلندگو خیلی کم است و باید حداکثر توان به آن منتقل شود .

این تقویت‌کننده کاربرد زیادی ندارد و در گذشته در رادیوهای کوچک که با ولتاژ ۱/۵ تا ۳ ولت کار می‌کردند به عنوان تقویت‌کننده نهایی استفاده می‌شد.

راندمان این تقویت‌کننده کمتر از ۵۰درصد و بیشتر از ۲۵ درصد است .

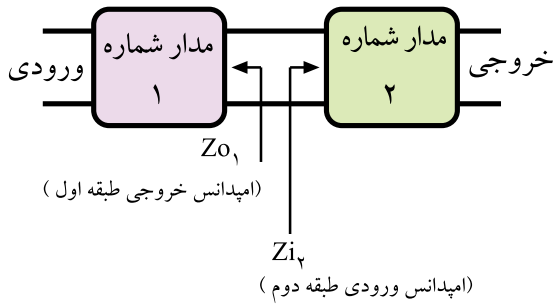
با استفاده از تقویت کننده‌ی کلاس A ترانسفورماتور فقط در مدارهایی که با ولتاژ ۱/۵ ولت و یا ۳ ولت، مانند رادیوی جیبی کوچک کار می‌کنند کاربرد دارد.

امروزه به دلیل استفاده از آی سی درگیرنده‌های رادیویی، این نوع تقویت‌کننده استفاده نمی‌شود.

۳-۳ انواع کوپلاژ در تقویت‌کننده‌ها

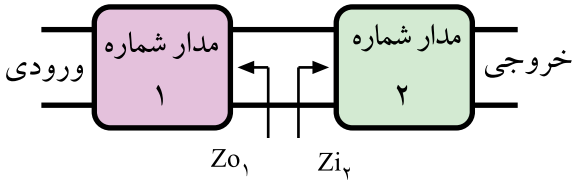
۳-۳-۱ یادآوری : اگر بخواهیم یک سیگنال الکتریکی را از یک مدار به مدار دیگری انتقال دهیم متناسب با انتقال حداکثر توان ، حداکثر ولتاژ یا حداکثر جریان که از مدار اول به مدار دوم انتقال می‌یابد، وضعیت امپدانس ورودی طبقه دوم و امپدانس خروجی طبقه اول باید در نظر گرفته شود. در هریک از حالات بالا شرایط امپدانس‌ها متفاوت است که به اختصار به شرح هریک می‌پردازیم .

الف : انتقال حداکثر توان : برای این که بتوانیم حداکثر توان را از طبقه اول به طبقه دوم انتقال دهیم، باید امپدانس خروجی طبقه اول با امپدانس ورودی طبقه دوم با هم برابر باشند. دراین حالت می‌گوییم در شرایط مدار تطبیق توان وجود دارد، شکل ۱۰-۳.



شکل ۱۰-۳ برای انتقال حداکثر توان باید $Z o_1 = Zi_2$ باشد.

ب : انتقال حداکثر ولتاژ : برای این که بتوانیم حداکثر ولتاژ را از طبقه اول (مدار ۱) به طبقه دوم (مدار ۲) انتقال دهیم باید امپدانس ورودی طبقه دوم به مراتب بیشتر از امپدانس خروجی طبقه اول باشد، ($Zi_2 >> ZO_1$) شکل ۱۱-۳ .

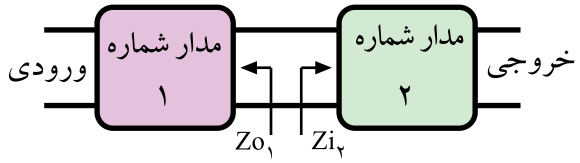


شکل ۱۱-۳ برای انتقال حداکثر ولتاژ باید $Zi_2 >> Zo_1$ باشد .

از نظر تئوری باید Zi_2 که امپدانس ورودی طبقه دوم است به سمت بی نهایت میل کند تا حداکثر ولتاژ به آن منتقل شود .

در این حالت می گوییم در مدار عمل تطبیق ولتاژ صورت گرفته است .

ج : انتقال حداکثر جریان : در یک مدار الکتریکی یا الکترونیکی برای این که بتوانیم حداکثر جریان را از طبقه اول به طبقه دوم انتقال دهیم ، باید امپدانس ورودی طبقه دوم به مراتب کمتر از امپدانس خروجی طبقه اول باشد، ($Zi_2 << ZO_1$) شکل ۱۲-۳.



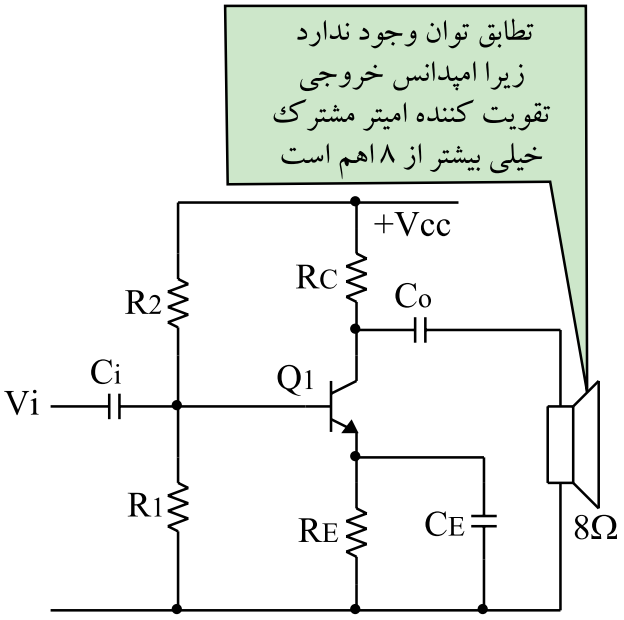
شکل ۱۲-۳ برای انتقال حداکثر جریان باید $Zi_2 << Zo_1$ باشد .

از نظر تئوری باید Zi_2 که امپدانس ورودی طبقه دوم است به سمت صفر میل کند تا حداکثر جریان به‌آن منتقل شود.

در این حالت می‌گوییم در مدار عمل تطبیق جریان صورت گرفته است.

۲-۳-۳ تقویت‌کننده‌های چندطبقه و کوپلاژبین آن‌ها

یک تقویت‌کننده یک طبقه مانند تقویت‌کننده امیتر مشترک نمی‌تواند بهره ولتاژ ، بهره جریان و بهره توان بسیار بالا را تولید کند. همچنین در مدارهایی مانند تطبیق توان بین بلندگو و خروجی یک تقویت‌کننده ، یا عمل تطبیق ولتاژ بین یک میکروفون و ورودی تقویت‌کننده‌های یک طبقه ، نمی‌تواند نیاز ما را برآورد کند، شکل ۱۳-۳ .



شکل ۱۳-۳ امپدانس خروجی تقویت‌کننده امیتر مشترک نسبتاً زیاد است لذا عمل تطبیق توان صورت نمی‌پذیرد.

بنابراین برای به دست آوردن مشخصه‌های موردنیاز در تقویت‌کننده‌ها ، به جای استفاده از یک طبقه تقویت‌کننده معمولاً دویا چند طبقه تقویت‌کننده یک طبقه را به دنبال هم وصل می‌کنند و ضریب تقویت را بالا می‌برند. بنابراین

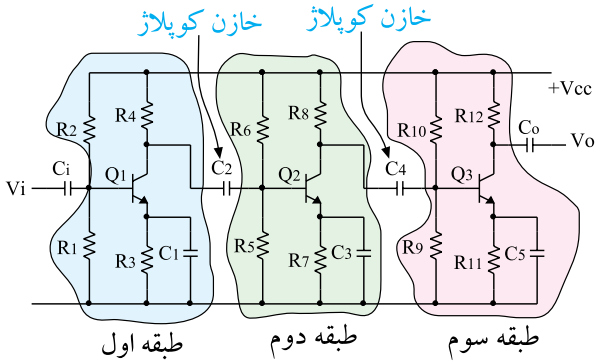
یک تقویت‌کننـده n طبقه از n طبقه تقویت‌کننده یک طبقه تشکیل می‌شود .

نحوه‌ی اتصال دو طبقه‌ی تقویت‌کننده به یک دیگر را کوپلاژ بین دوطبقه‌ی تقویت‌کننده می‌نامند.

در زیـر انـواع کوپلاژها بـه طور خلاصـه توضیح داده می‌شوند .

۳-۳-۳ کوپلاژ خازنی

اگر دو یا چند طبقه تقویت‌کننده را به کمک یک یا چند خازن به یکدیگر وصل کنیم، می‌گوییم کوپلاژ بین این دو یا چند طبقه تقویت‌کنندهٔ خازنی (RC) است. شکل ۱۴-۳ سه طبقه تقویت‌کنندهٔ را که از طریق کوپلاژ خازنی به یک دیگر متصل شده‌اند نشان می‌دهد .

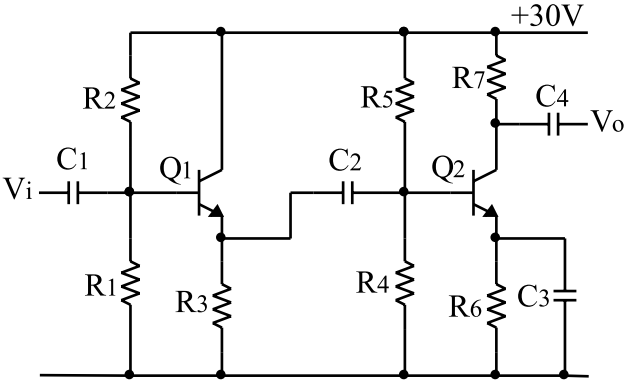


شکل ۱۴-۳ سه تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی

اتصـال دو یا چند طبقـه تقویت‌کننـده از طریق کوپلاژ خازنی به یک دیگر ، دارای مزایا ومعایبی اسـت که در ادامه به بررسی برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

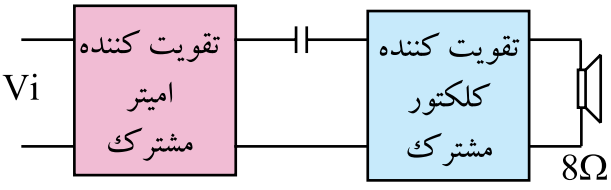
از مزایـای اتصال چند طبقـه تقویت‌کننده با اسـتفاده از کوپلاژ خازنی این است که طبقات از نظر مقادیر DC (نقطه کار ترانزیسـتور) کاملاً مسـتقل هستند و تغییر نقطه کار یک طبقه ، روی سایر طبقات اثر نمی‌گذارد .

طبقات یک تقویت‌کننده n طبقه می‌توانند از نوع کلکتور مشـترک ، بیس مشـترک و یا امیتر مشـترک و یا ترکیبی از ایـن نوع تقویت‌کننده‌ها باشـند. در شـکل ۱۵-۳ یک نمونه تقویت‌کننده دو طبقه که طبقه اول آن از نوع کلکتور مشترک و طبقه دوم آن از نوع امیتر مشترک است را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۵-۳ یک نمونه تقویت‌کننده دوطبقه که از تقویت‌کننده‌های کلکتور مشترک و امیتر مشترک تشکیل شده است .

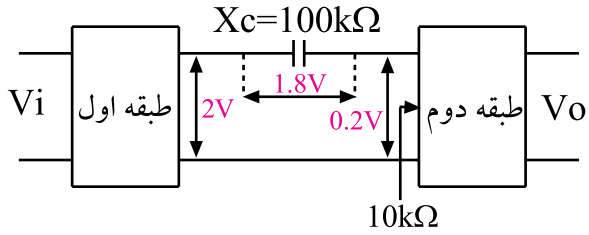
انتخـاب نوع تقویت‌کننده در تقویت‌کننده‌های چند طبقه بسـتگی به نیاز ما دارد . برای مثـال اگر بخواهیم یک بلندگو را بـه انتهـای تقویت‌کننده‌ای وصـل کنیم حتماً باید طبقه نهایـی تقویت‌کننده را کلکتور مشـترک انتخاب کنیم ، زیرا امپدانس خروجی آن کم است وبا توجه به کم بودن مقاومت اهمـی بلندگو، عمل تطبیـق توان در آن صـورت می‌گیرد، شکل ۱۶-۳.



شکل ۱۶-۳ تطبیق توان بلندگو و تقویت‌کننده کلکتور مشترک

از معایـب اتصال دو یـا چند طبقـه تقویت‌کننده به یک دیگر با استفاده از خازن ، تقویت نشدن سیگنال‌های فرکانس خیلی کم اسـت. زیرا در فرکانس‌های خیلـی کم ، امپدانس خازن بسـیار زیاد می‌شـود و افت ولتاژ دو سـر آن افزایش

می‌یابد،شکل ۱۷-۳.

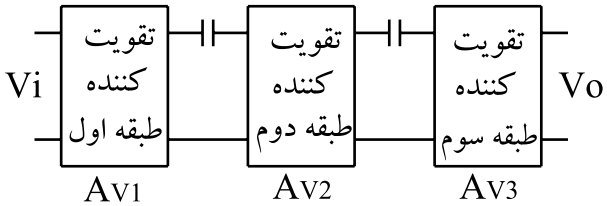


شکل ۱۷-۳ در فرکانس‌های خیلی کم مقدار X_C خیلی زیاد می‌شود وقسمت اعظم دامنه سیگنال دو سر آن افت می‌کند .

فرض کنیم مقدار X_C در یک فرکانس خاص (کم) ۱۰۰kΩ شود و دامنه سیگنال خروجی طبقه اول ۲ ولت و امپدانس ورودی طبقه دوم ۱۰KΩ باشد. در این حالت قسمت اعظم دامنه سیگنال خروجی (حدود ۹۰٪) در دو سر خازن افت می کند. با این وجود کوپلاژ RC یکی از رایج ترین انواع کوپلاژهاست.

هر تقویت‌کننده دارای بهره‌ی ولتاژی است که می‌توان با استفاده از روابط ریاضی یا ازطریق آزمایش آن را به دست آورد. وقتی دو یا چند طبقه تقویت‌کننده را به یک دیگر اتصال می‌دهیم ، بهره‌ی هر تقویت‌کننده ممکن است تغییر کند .بهره‌ی کل یک تقویت‌کنندهٔ n طبقه ، بعد از اتصال برابر با حاصل ضرب بهره‌های هر طبقه است، شکل ۱۸ -۳. اگر A_{V1} بهره ولتاژ طبقه اول A_{V2} بهره ولتاژ طبقه دوم و .... باشند بهره کل ولتاژ از رابطه زیر به دست می‌آید.

$A_V = A_{V1} . A_{V2} \cdots$



$A_V = A_{V1} \times A_{V2} \times A_{V3}$

شکل ۱۸-۳ بهره کل تقویت‌کننده n طبقه

A_{V1}،بهره‌ی ولتاژ طبقه‌ی اول درشرایطی است که دوطبقه به هم متصل شده‌اند.

۳-۴ آزمایش شماره ۱

تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC

زمان اجرا : ۳ ساعت آموزشی

۳-۴-۱ هدف آزمایش : بررسی عملی اتصال دو طبقه تقویت کننده با استفاده از خازن.

۳-۴-۲ تجهیزات، ابزار،قطعات و مواد موردنیاز:

ردیف	نام ومشخصات	تعداد/ مقدار
۱	منبع تغذیه ۱A و ۰-۲۵V	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۴	برد مدارچاپی مربوط به تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ خازنی	یک قطعه
۵	سیم رابط یک سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هفت رشته

۳-۴-۳ مراحل اجرای آزمایش:

- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق شهروصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه خروجی آن را روی صفر ولت بگذارید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.
- با استفاده از ولوم INTEN نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.
- کلید سلکتور TIME/DIV را روی ۰/۲ ms قرار دهید.

ولوم level را روی صفر بگذارید.

- ولوم Time variable را در حالت cal قراردهید.
- ولوم Volt variable هر دو کانال را در حالت cal بگذارید.

■ کلید AC-GND-DC مربوط به هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید.

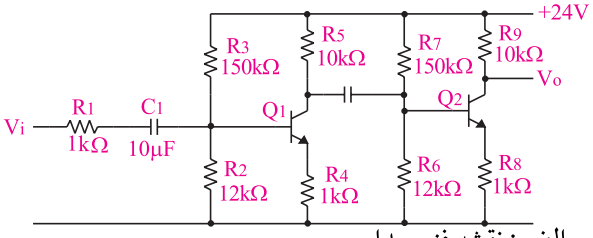
(۱) کانال Volt/Div = ۰/۵ V/Div

(۲) Volt/Div = ۲ V/Div

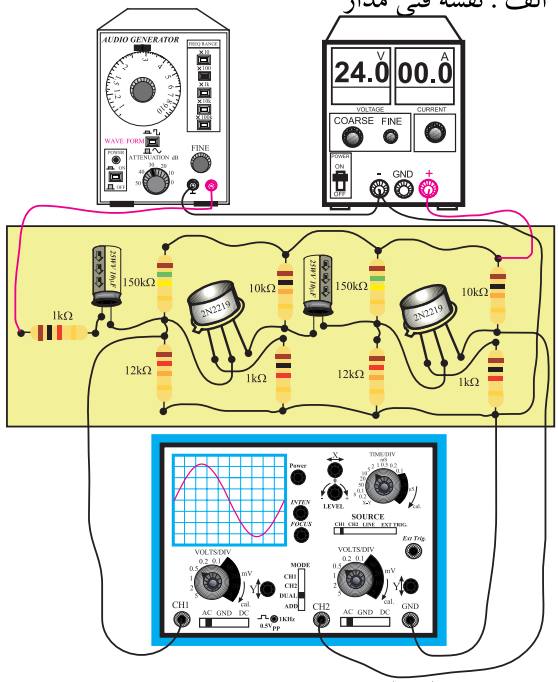
■ مدار شکل ۱۹-۳ را ببندیدو یا از برد مدارچاپی آماده آزمایش استفاده کنید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۲۴ ولت تنظیم کنید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی آن را در حالت سینوسی بگذارید و فرکانس آن روی ۱KHz تنظیم کنید. بعد از اتصال آن به مدار ، ولوم دامنه خروجی را طوری تنظیم کنید که دامنه ی شکل موج ظاهر شده روی کانال CH۱ برابر ۱ ولت شود .



الف : نقشه فنی مدار



ب : برد مدارچاپی

شکل ۱۹-۳ مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ خازنی

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید .

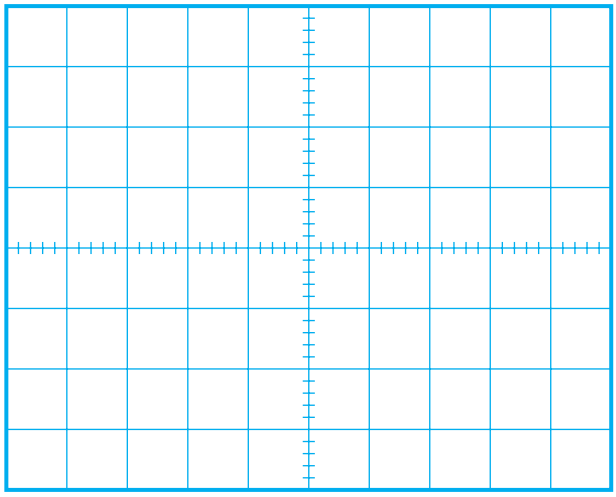
■ کلیدSOURCE اسیلوسکوپ را در حالت CH۱ بگذارید .

■ مکان صفر اشعه هر دو کانال را در مرکز تنظیم کنید.

■ کلید AC-GND-DC کانال CH۱ را در حالت AC قرار دهید.

■ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم را به کانال CH۱ وصل کنید و شکل موج خروجی را مشاهده کنید. در صورتی که شکل موج بریده شده بود ، دامنهٔ ورودی را کاهش دهید تا شکل موج خروجی به حالت طبیعی درآید.

■ شکل موج ظاهر شده مربوط به کانال CH۱ را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۲۰-۳ رسم کنید.



شکل ۲۰-۳ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده طبقه اول

Volts/ Div =.... V (CH۱)

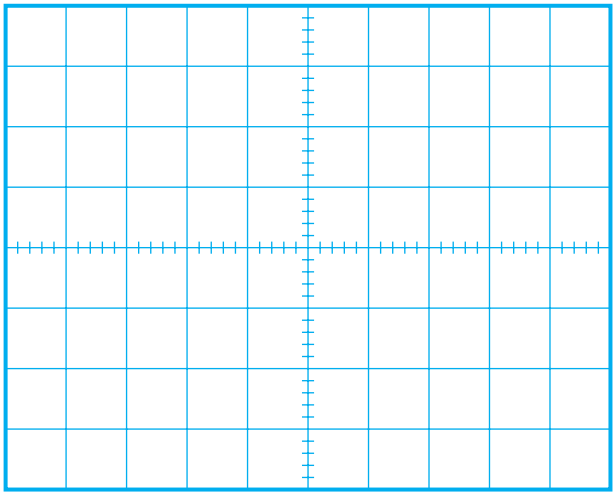
Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m =.....(V)

■ کلید AC-GND-DC کانال CH۲ را در حالت AC قراردهید.

■ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول را به کانال CH۲ را در حالت AC قرار دهید .

■ شکل موج ظاهر شده مربوط به کانال CH۲

(خروجی تقویت‌کننده طبقه اول) را در نمودار شکل ۲۱-۳ رسم کنید.



شکل ۲۱-۳ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده‌ی طبقه اول

Volts/ Div =..... V (CH۱)

Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m =.....(V)

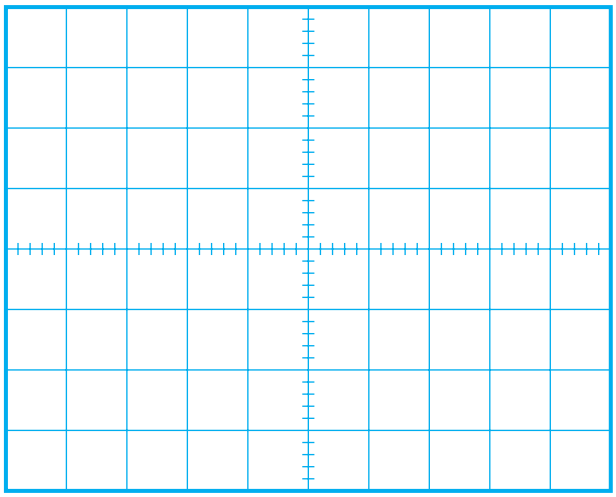
- مقدار V_m را برای CH۱ به دست آورید.
- بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه اول را از طریق زیر محاسبه کنید:

$$\text{بهره ولتاژ} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی طبقه اول}}{\text{دامنه سیگنال ورودی طبقه اول}} = \text{.....}$$

- اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی طبقه اول تقویت‌کننده را با مشاهده سیگنال ورودی و خروجی به طور تقریبی حدس بزنید و یادداشت کنید.

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی تقویت‌کننده = φ = ... درجه

- ورودی کانال CH۲ را به خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم وصل کنید.
- در صورتی که دامنه شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس مربوط به کانال CH۲ خیلی زیاد بود به آرامی حوزه کار کلید Volt/Div را زیاد کنید تا شکل موج کاملاً در کادر صفحه حساس قرار گیرد.
- شکل موج ظاهر شده را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۲۲-۳ رسم کنید..



شکل ۲۲-۳ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم

Volts/ Div =..... V (CH۲)

Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m =.....(V)

- مقدار V_m را برای کانال ۲ محاسبه کنید.
- بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده طبقهٔ دوم را با استفاده از رابطه زیر به دست آورید.

$$\text{بهره‌ی ولتاژطبقه دوم} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی طبقه دوم}}{\text{دامنه سیگنال ورودی طبقه دوم}}$$

- بهره ولتاژ کل را با استفاده از روابط زیر به دست آورید.

بهره ولتاژ کل = بهره ولتاژ طبقه اول × بهره ولتاژ طبقه دوم =

بهره ولتاژ کل = ... × ..... = ...

$$\text{بهره ولتاژ کل} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی طبقه دوم}}{\text{دامنه سیگنال ورودی طبقه اول}} = \text{.....}$$

■ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی طبقه اول یعنی شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس که مربوط به کانال CH۱ است و خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم را با مشاهده دو سیگنال به طور تقریبی اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی تقویت کننده دو طبقه = φ = ... درجه

سوال ۱- یک مزیت ویک عیب تقویت کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم را شرح دهید.

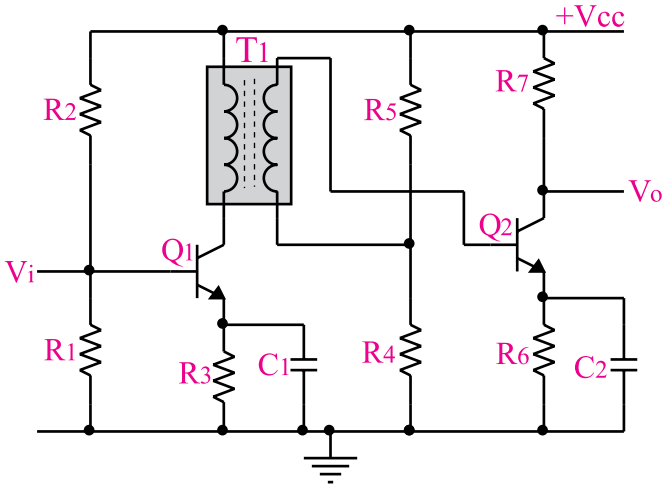
سوال ۲- در مدار شکل ۲۳-۳ ترانزیستور ۲N۲۹۰۵ به چه صورت (امیتر مشترک یا بیس مشترک یا کلکتور مشترک)قرار دارد؟چرا ؟توضیح دهید.

۳-۴-۴ نتایج آزمایش

آن چه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

۳-۵ - کوپلاژ ترانسفورماتوری

در کوپلاژ نوع ترانسفورماتوری ، اتصال بین دو طبقه تقویت‌کننده به کمک یک ترانسفورماتور انجام می‌شود. شکل ۳-۲۳ چگونگی اتصال دو طبقه تقویت‌کننده را به کمک یک ترانسفورماتور نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۳ چگونگی اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به یک دیگر به کمک یک ترانسفورماتور

در کوپلاژ ترانسفورماتوری ، طبقات از نظر ولتاژ وجریان DC کاملاً مستقل هستند و تغییرات مربوط به نقطه کار یکی از طبقات به طبقه قبلی و بعدی منتقل نمی‌شود.

اتصال دو یا چند طبقه تقویت‌کننده به کمک ترانسفورماتور در تقویت‌کننده‌هایی که از نظر امپدانس نمی‌توانند با یک دیگر تطابق داشته باشند به کار می‌رود.

لازم به یادآوری است که امروزه در تقویت‌کننده‌های صوتی به ندرت از این کوپلاژ استفاده می‌شود، زیرا حجم ترانسفورماتور زیاد است و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه نیست. ضمن این که در فرکانس‌های کم ، بهره ولتاژ تقویت‌کننده‌ها به شدت کاهش می‌یابد.به عبارت دیگر سیگنال‌های با فرکانس کم تقویت نمی‌شوند .

۳-۶- آزمایش شماره ۲

تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری

زمان اجرا: ۲ ساعت آموزشی

۳-۶-۱ هدف آزمایش : اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به کمک ترانسفورماتور

۳-۶-۲ تجهیزات، ابزار،قطعات و مواد موردنیاز:

ردیف	نام ومشخصات	تعداد/ مقدار
۱	منبع تغذیه ۱A و ۰-۲۵V	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۴	برد مدارچاپی مربوط به تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری	یک قطعه
۵	سیم رابط یک سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هفت رشته

۳-۶-۳- مراحل اجرای آزمایش:

- وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

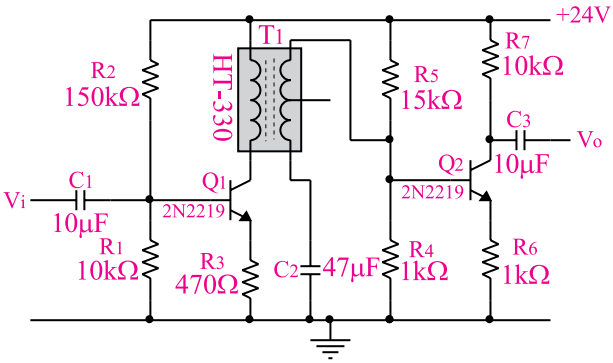
■ منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق شهروصل کنید.

■ منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه‌ی خروجی آن را روی صفر ولت بگذارید.

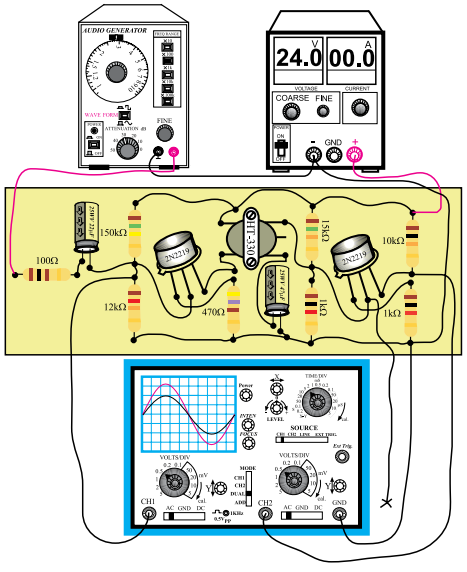
■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و مانند مرحله‌ی قبل تنظیم کنید.

■ مدار شکل ۲۴-۳ را ببندیدویا از برد مدارچاپی این آزمایش استفاده کنید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی را در حالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۱kHz تنظیم کنید و به مدار اتصال دهید. ولوم دامنه خروجی را طوری تنظیم کنید که دامنه شکل موج ظاهر شده روی کانال CH۱ برابر با ۰/۱ ولت شود.



الف : نقشه فنی مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتور



ب : برد مدارچاپی

شکل ۲۴-۳ مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۲۴ ولت تنظیم کنید.

کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید.

■ کلید Source اسیلوسکوپ را در حالت CH۱ قرار دهید.

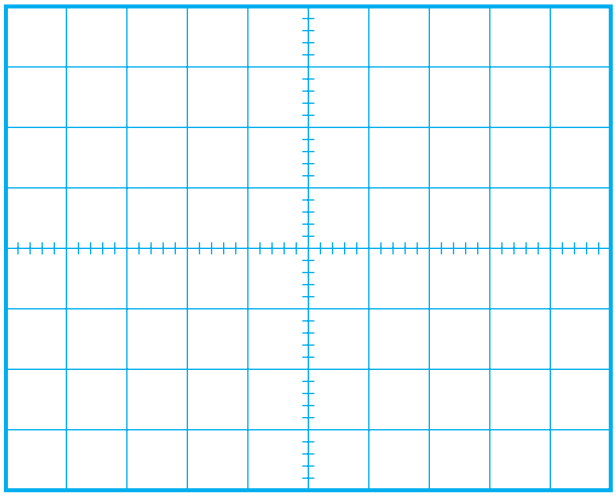
■ مکان صفر اشعه هر دو کانال را در مرکز تنظیم کنید.

■ کلید AC-GND-DC کانال CH۲را در حالت AC قرار دهید.

■ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم را به کانال CH۲ وصل کنید و شکل موج خروجی را مشاهده نمایید. درصورتی که خروجی دارای تغییر شکل است، دامنه ورودی را کاهش دهید تا شکل موج خروجی به حالت طبیعی درآید.

■ کلید AC-GND-DC کانال CH۱را در حالت AC قرار دهید.

■ شکل موج ظاهر شده را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۲۵-۳ رسم کنید.



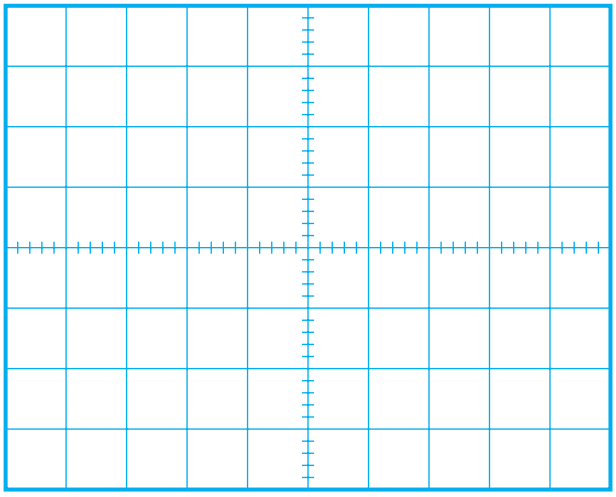
شکل ۲۵-۳ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/ Div =..... V (CH۱)

V_m را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m =.....(V)

■ خروجی تقویت‌کننده‌ی طبقه اول را به کانال CH۲ اسیلوسکوپ وصل کنید.

■ شکل موج ظاهر شده مربوط به CH۲ را با مقیاس مناسب در نمودار ۲۶-۳ رسم کنید.



شکل ۲۶-۳ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول

Volts/ Div =.... V (CH۲)

Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m =.....(V)

■ مقدار Vm را برای کانال ۱ و کانال ۲ محاسبه کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه اول را با استفاده از رابطه زیر به دست آورید.

A_{V_1} بهره ولتاژ = دامنه سیگنال خروجی طبقه اول / دامنه سیگنال ورودی طبقه اول =.....

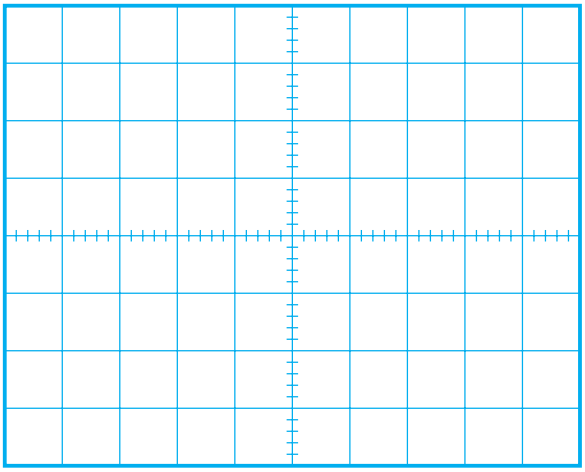
■ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی طبقه اول تقویت‌کننده را با مشاهده دو سیگنال ورودی و خروجی به‌طور تقریبی حدس بزنید و یادداشت کنید:

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی طبقه اول تقویت کننده = φ = ... درجه

■ ورودی کانال CH۲ را به خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم وصل کنید.

■ در صورتی که دامنه شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس مربوط به کانال CH۲ خیلی زیاد بود به آرامی حوزه کار کلید Volt/Div را زیاد کنید تا شکل موج کاملاً در کادر صفحه حساس قرار گیرد.

■ شکل موج ظاهر شده را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۲۷-۳ رسم کنید.



شکل ۲۷-۳ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده طبقه‌دوم

Volts/ Div = ... V (CH۲)

Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m =.....(V)

■ مقدار Vm را برای کانال ۲ محاسبه کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقهٔ دوم را با استفاده از رابطه زیر به دست آورید.

A_{V_2} بهره ولتاژطبقه دوم = دامنه سیگنال خروجی طبقه دوم / دامنه سیگنال ورودی طبقه دوم

■ بهره ولتاژ کل را با استفاده از روابط زیر به دست آورید.

بهره ولتاژ کل = $A_V = A_{V_1} \times A_{V_2}$

بهره ولتاژ کل = بهره ولتاژ طبقه اول × بهره ولتاژ طبقه دوم

بهره ولتاژکل = دامنه سیگنال خروجی طبقه دوم / دامنه سیگنال ورودی طبقه اول =.....

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی طبقه اول(شکل موج مربوط به کانال CH۱) و خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم را با مشاهده دو سیگنال به طور تقریبی اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

درجه ..... = φ = اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی تقویت کننده دو طبقه

سوال ۱- محدودیت‌های اتصال دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری را نام ببرید و به طور خیلی خلاصه توضیح دهید.

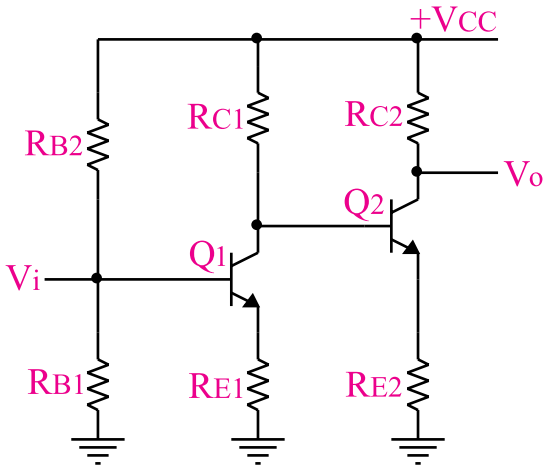
سوال ۲- چرا در عمل تعدادی از تقویت‌کننده‌ها را به دنبال هم قرار می‌دهند ؟ خیلی مختصر توضیح دهید.

۳-۶-۴ نتایج آزمایش

آن چه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

۳-۷ کوپلاژ مستقیم

در این نوع کوپلاژ ، دو طبقه تقویت‌کننده ، به صورت مستقیم به یک دیگر وصل می‌شوند. شکل ۲۸-۳، دو طبقه تقویت‌کننده که به صورت مستقیم به یک دیگر وصل شده‌اند را نشان می‌دهد، در این شکل ، هر دو طبقه تقویت‌کننده از نوع امیتر مشترک هستند زیرا در هر دو طبقه سیگنال ورودی به بیس داده شده است و سیگنال خروجی از کلکتور آن‌ها دریافت می‌شود .



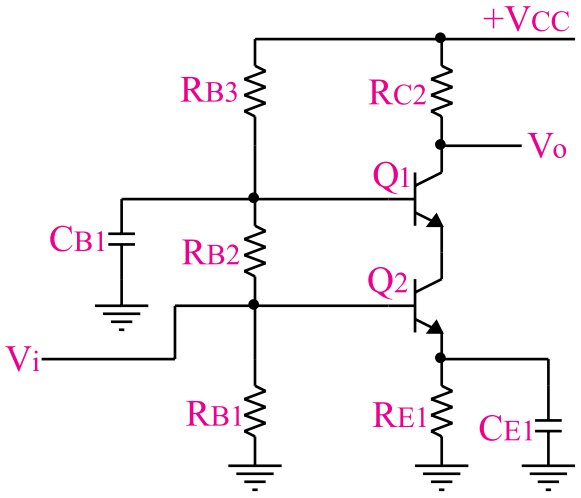
شکل ۲۸-۳ یک نمونه تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم

در تقویت‌کننده‌هایی که به صورت مستقیم به یک دیگر وصل می‌شوند ، طبقات تقویت‌کننده از نظر ولتاژ و جریان DC مستقل از یک‌دیگر نیستندوتغییرات نقطه کار یک طبقه روی نقاط کار سایر طبقات تقویت کننده اثر می‌گذارد. از مزایای کوپلاژ مستقیم این است که می‌تواند سیگنال‌های با فرکانس خیلی کم و حتی ولتاژ DC را تقویت کند .

امروزه در الکترونیک سعی می‌کنند تا حد امکان تقویت‌کننده‌ها را به صورت کوپلاژ مستقیم طراحی کنند، زیرا از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است و فرکانس‌های خیلی کم نیز به خوبی تقویت می‌شوند .

شکل ۲۹-۳ نمونه دیگری از دو تقویت‌کننده که به صورت مستقیم به یک دیگر متصل شده اند را نشان می‌دهد. در این تقویت‌کننده ترانزیستور Q_2 به صورت امیتر مشترک

و ترانزیستور Q_1 به صورت بیس مشترک در مدار بسته شده است. این تقویت‌کننده کاربرد زیادی در فرکانس‌های زیاد دارد.



شکل ۲۹-۳ یک تقویت‌کننده دو طبقه با استفاده از مدارهای امیتر مشترک و بیس مشترک

۳-۸- آزمایش شماره۳

تقویت‌کننده‌دوطبقه با کوپلاژ مستقیم

زمان اجرا : ۲ ساعت آموزشی

۳-۸-۱ هدف آزمایش : اتصال دو طبقه تقویت کننده به صورت مستقیم.

۳-۸-۲ تجهیزات، ابزار،قطعات‌و مواد موردنیاز:

ردیف	نام ومشخصات	تعداد/ مقدار
۱	منبع تغذیه ۱A و ۳۰V	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۴	برد مدارچاپی مربوط به تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم	یک قطعه
۵	سیم رابط یک سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هفت رشته

۳-۸-۳ مراحل اجرای آزمایش

وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

توجه داشته باشید که سیگنال خروجی طبقه اول به عنوان سیگنال ورودی طبقه دوم محسوب می شود. برای محاسبه بهره کل تقویت کننده می توانید یکی از دو روش زیر را به کار ببرید.

بهره ولتاژ طبقه دوم× بهره ولتاژ تقویت کننده طبقه اول= بهره کل

یا

$$\text{بهره ولتاژ کل} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی طبقه دوم}}{\text{دامنه سیگنال ورودی طبقه اول}}$$

■ منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.

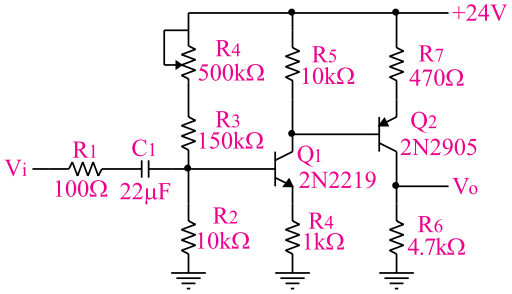
■ منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه خروجی آن را روی صفر ولت بگذارید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و مانند مرحله قبل آن را تنظیم کنید.

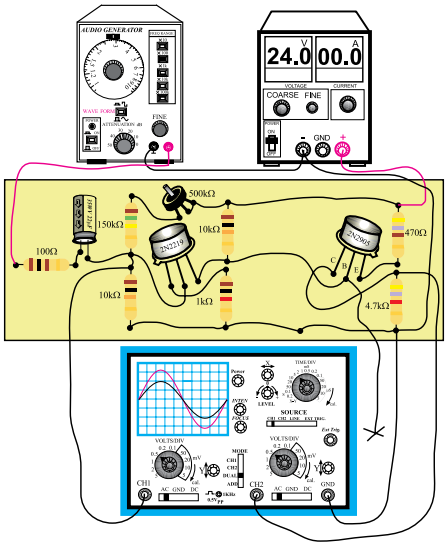
■ مدار شکل ۳۰-۳ را ببندید.و یا از برد مدار چاپی آمادهٔ این آزمایش استفاده کنید.

■ سیگنال ژانرتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی را در حالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۱kHz تنظیم کنید و به مدار اتصال دهید. ولوم دامنه خروجی را طوری تنظیم کنید که دامنه شکل موج ظاهر شده روی کانال CH۱ برابر با ۰/۱ ولت شود.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۲۴ ولت تنظیم کنید.



الف : نقشه فنی مدار تقویت‌کننده در طبقه با کوپلاژ مستقیم



ب : برد مدار چاپی تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم

شکل ۳۰-۳ مدار تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ مستقیم

■ کلید DC-GND-AC کانال CH۲ را در حالت AC قرار دهید.

■ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم را به کانال CH۲ وصل کنید و شکل موج خروجی را مشاهده نمایید. در صورتی که شکل موج خروجی تغییر کرده است ، دامنهٔ ورودی را کاهش دهید تا شکل موج خروجی به حالت طبیعی درآید.

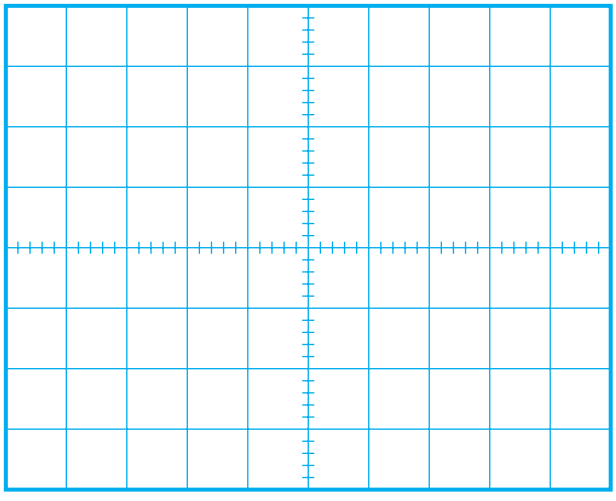
■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید.

■ کلید SOURCE اسیلوسکوپ را در حالت CH۱ بگذارید.

■ مکان صفر اشعه هر دو کانال را در مرکز تنظیم کنید.

■ کلید AC-GND-DC کانال CH۱ را در حالت AC قراردهید.

■ شکل موج ظاهر شده را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۳۱-۳ رسم کنید.



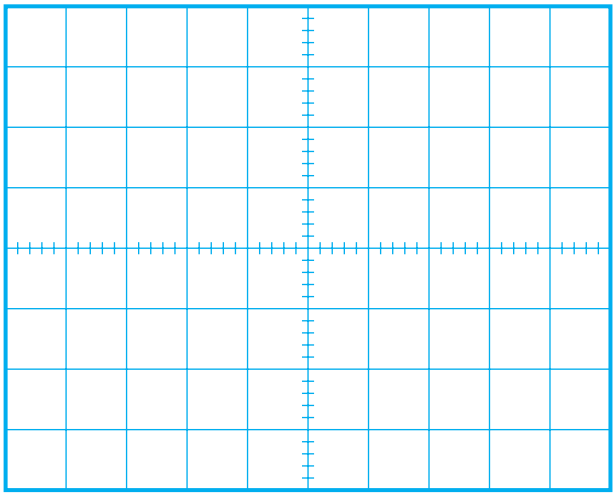
شکل ۳۱-۳ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts / Div = ...mv(CH۱)

Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m = ...(V)

■ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول را به کانال CH۲ اسیلوسکوپ وصل کنید.

■ شکل موج ظاهر شده مربوط به CH۲ که از خروجی تقویت‌کننده طبقه اول دریافت می‌شود را درنمودار شکل ۳-۳۲ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۳-۳۲ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول

Volt/ Div = ...V (CH۲)

Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m = ...(V)

■ مقدار V_m را از روی شکل‌های ۳-۳۱ و ۳-۳۲ محاسبه کنید.

ورودی طبقه اول = V_m .....

خروجی طبقه اول = V_m .....

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقهٔ اول را با استفاده از رابطه زیر به دست آورید.

بهره ولتاژطبقه اول = دامنه سیگنال خروجی طبقه اول / دامنه سیگنال ورودی طبقه اول

■ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی طبقه اول تقویت‌کننده را با مشاهده دو سیگنال ورودی و خروجی آن به طور تقریبی حدس بزنید و یادداشت کنید .

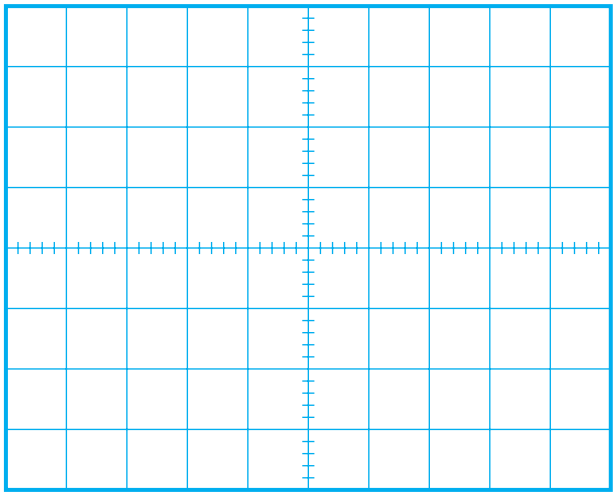
اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی تقویت‌کننده = φ = ... درجه

■ ورودی کانال CH۲ را به خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم وصل کنید.

■ درصورتی که دامنه شکل موج مربوط به کانال CH۲ خیلی زیاد است به آرامی‌رنج کلید Volt/Div را زیاد کنید تا شکل موج کاملاً در کادر صفحه اسیلوسکوپ قرار گیرد.

■ شکل موج ظاهر شده را در نمودار شکل ۳-۳۳ رسم کنید.

■ مقدار Vm را از روی نمودار شکل ۳-۳۳ محاسبه کنید.



شکل ۳-۳۳ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم

Volt/ Div =..... V (CH۲)

Vm را از روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m = ...(V)

بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده‌ی طبقه دوم را با استفاده از رابطه زیر به دست آورید.

بهره ولتاژ A_{V_2} = دامنه سیگنال خروجی طبقه دوم / دامنه سیگنال ورودی طبقه دوم = ...

بهره ولتاژ کل را با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنید.

بهره ولتاژ کل = $A_V = A_{V_1} \times A_{V_2}$

بهره ولتاژ کل = بهره ولتاژ طبقه اول × بهره ولتاژ طبقه دوم = ...×.....

بهره ولتاژ کل = دامنه سیگنال خروجی طبقه دوم / دامنه سیگنال ورودی طبقه اول = ...

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی طبقه اول (شکل مربوط بـــه کانال CH۱)و خروجی تقویت‌کننـــده طبقه دوم را با مشاهده دو سیگنال به طور تقریبی اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

اختـلاف فـاز ورودی و خروجی دوطبقه تقویت کننده امیترمشترک = φ = ... درجه

سـوال ۱- یک مزیت و یک عیب تقویت‌کننده‌ی دو طبقه با کوپلاژ مستقیم را شرح دهید.

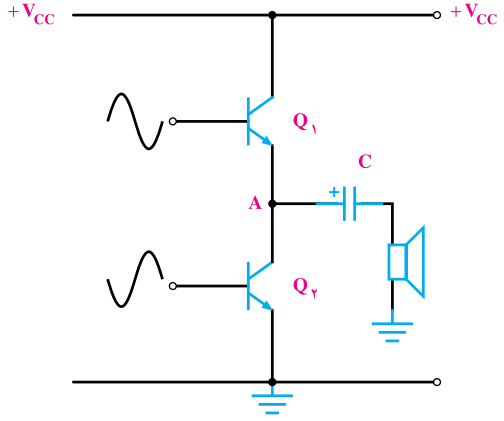
سوال ۲ - در مدار شکل ۳۰-۳ ترانزیستور ۲N ۲۹۰۵، به چه صورت (امیتر مشـــترک ، بیس مشـــترک یا کلکتور مشترک) به کار رفته است؟ چرا ؟ توضیح دهید.

۳-۸-۴ نتایج آزمایش

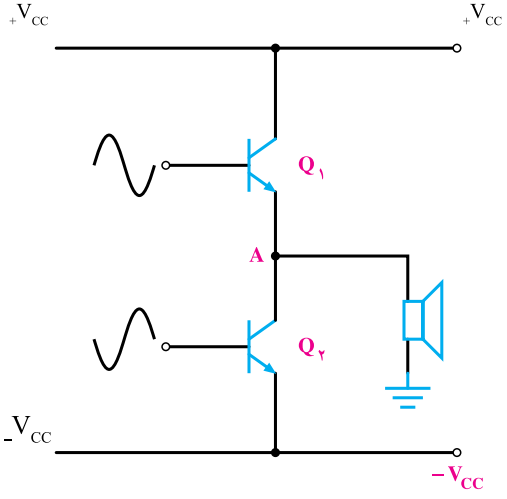
آن چه را که در ایـــن آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

۹-۳ تقویت‌کننده پوش-پول بدون ترانسفورماتور (Push Pull)

در شکل ۳۴-۳- الف و ب یک تقویت‌کننده‌ی پوش-پول بدون ترانسفورماتور نشان داده شده است.



الف- تقویت‌کننده با منبع تغذیه‌ی ساده

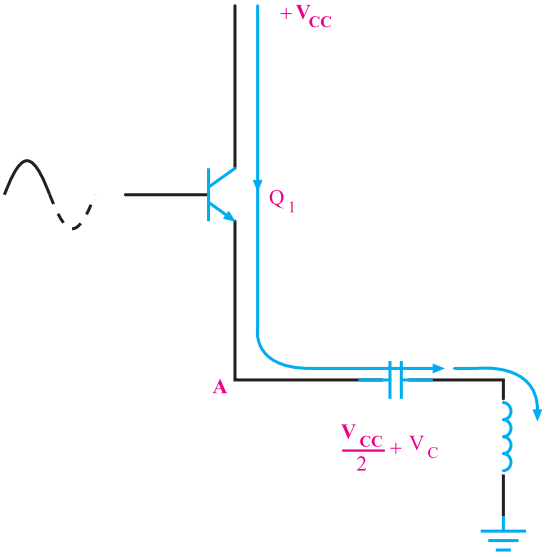


ب تقویت‌کننده با منبع تغذیه‌ی متقارن

شکل ۳۴-۳ تقویت‌کننده پوش – پول بدون ترانسفورماتور

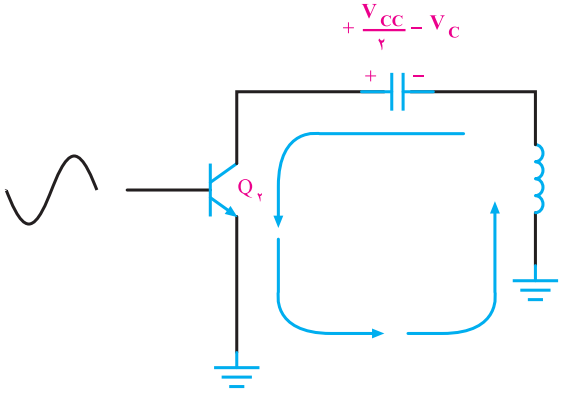
این تقویت کننده در کلاس B کار می‌کند. به ورودی هریک از ترانزیستورها، یک سیگنال سینوسی با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز وصل می‌شود. هنگامی که نیم سیکل مثبت به ترانزیستور Q_1 می‌رسد، خازن c توسط ترانزیستور Q_1 به اندازه $\frac{V_{CC}}{2}$ شارژ می‌شود ($V_A = \frac{V_{CC}}{2}$).

طبق شکل ۳۵-۳، مسیر جریان در نیم سیکل اول سیگنال ورودی (مثبت) که ترانزیستور Q_1 فعال است، از امیتر این ترانزیستور به سرمثبت خازن C وارد می‌شود و ولتاژ شارژ خازن را افزایش می‌دهد. سیگنال متناوب جریان از سیم پیچ بلندگو نیز می‌گذرد و در دو سر آن افت پتانسیلی متناسب بادامنهٔ ولتاژ ورودی به وجود می‌آورد.



شکل ۳۵-۳ مسیر جریان در نیم سیکل اول

در نیم سیکل دوم سیگنال ورودی، ترانزیستور Q_1 خاموش و ترانزیستور Q_2 روشن می‌شود. در این حالت چون منبع تغذیه از کلکتور Q_2 قطع می‌شود، تغذیهٔ این ترانزیستور توسط شارژ خازن c انجام می‌گیرد یعنی مسیر جریان از سر مثبت خازن به طرف کلکتور Q_2 است و از امیتر این ترانزیستور وارد سر پایین سیم پیچ بلند گو می‌شود. لذا در دو سر سیم پیچ بلندگو ولتاژی متناسب با ولتاژ ورودی افت می‌کند، شکل ۳۶-۳.



شکل ۳۶-۳ مسیر جریان در نیم پریود منفی سیگنال ورودی

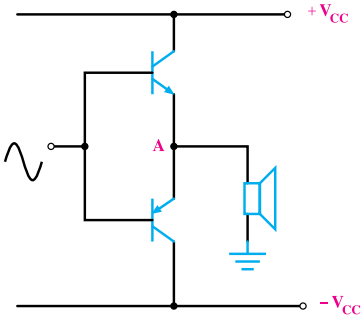
اگر به جای منبع تغذیه دوسر، از یک منبع تغذیه با

سروسط استفاده کنیم ، چنان چه نقطهٔ کار ترانزیستورها را طوری تنظیم کنیم که ولتاژ نقطه A مساوی صفرشود ، دیگر به خازن کوپلاژ نیازی نیست.یکی از اشکالات تقویت‌کننده پوش – پول بدون ترانسفورماتور ، عدم تقارن دونیم سیکل خروجی است.

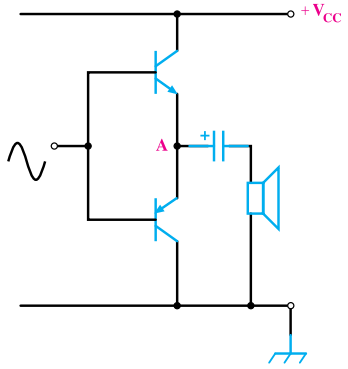
۳-۱۰ تقویت‌کننده پوش – پول با ترانزیستورهای مکمل (Complementary)

در طبقه‌ی پوش – پول، هر ترانزیستور در نیم سیکل از سیگنال ورودی هدایت می‌کند. در این تقویت‌کننده ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 باید به طور دقیق تنظیم شوند تا سیگنال خروجی کاملاً متقارن باشد . در تقویت‌کننده‌ی پوش–پول با ترانزیستورهای مکمل ، چون هر دو ترانزیستور به صورت کلکتور مشترک عمل می‌کنند مشخصات یکسانی دارند. لذا سیگنال خروجی کاملاً متقارن است .

در شکل ۳-۳۷ یک نوع تقویت‌کننده پوش – پول با ترانزیستورهای مکمل که در کلاس B کار می‌کنند نشان داده شده است .



الف)تقویت‌کننده با منبع تغذیه‌ی متقارن

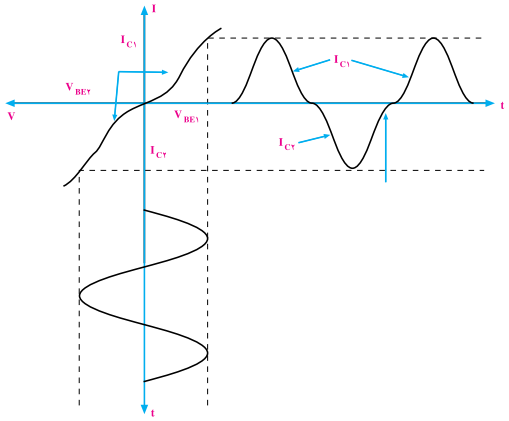


ب)تقویت‌کننده با منبع تغذیه‌ی ساده

شکل ۳-۳۷ تقویت‌کننده پوش – پول با ترانزیستورهای مکمل

در این مدار به جای دو ترانزیستور مشابه از دو ترانزیستور NPN و PNP استفاده شده است .

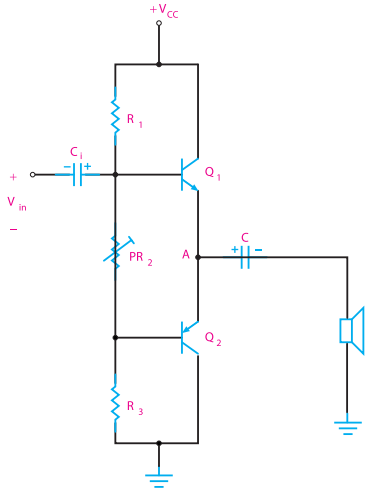
یکی از اشکالات کلاس B ، این است که قسمتی از سیگنال حذف می‌شود. زیرا در حالت عادی ولتاژ پایه بیس ترانزیستورها برابر صفر است، با ظاهر شدن سیگنال ورودی، ترانزیستور نمی‌تواند بلافاصله هدایت کند. بدین ترتیب سیگنال خروجی دارای اعوجاج تقاطعی می‌شود شکل ۳-۳۸.



شکل ۳-۳۸ سیگنال خروجی تقویت‌کننده پوش – پول مکمل کلاس B همراه با اعوجاج تقاطعی

برای برطرف کردن این عیب باید ترانزیستورهارا در کلاس AB بایاس کنیم . این کار را به روش‌های مختلف می‌توانیم انجام دهیم.

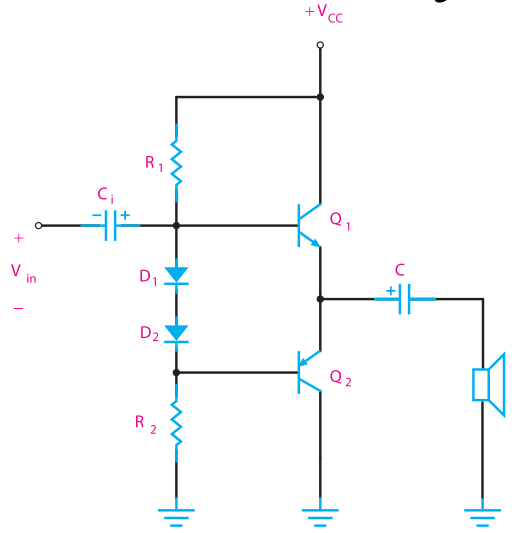
یک روش ساده برای قراردادن ترانزیستورها در آستانه هدایت در شکل ۳-۳۹ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۹ قراردادن ترانزیستورها در آستانهٔ هدایت با استفاده از مقاومت‌های مقسم ولتاژ

در ایـــن مدار ، پتانســیومتر PR_2 را می‌توانیم طوری تنظیم کنیم که افت پتانســیل دو ســر آن در حدود ۱/۲ ولت شود تا ترانزیستورها در آستانه‌ی هدایت قرار گیرند .

اشــکال این مدار در این اســت که مقداری از سیگنال ورودی در دو سر PR_2 افت می‌کند و باعث می‌شود سیگنال کم‌تری به بیس ترانزیســتور Q_2 برسد. روش دیگر اصلاح مداربه کاربردن دو دیود سری بین بیس‌های دو ترانزیستور مطابق شکل ۴۰-۳ است .



شکل ۴۰-۳ نمونه ای دیگر از چگونگی قراردادن تقویت‌کننده پوش- پول مکمل در کلاس AB

در این روش ، عیب مدار مقسم مقاومتی برطرف می‌شود اما ممکن است افت ولتاژ دو سردیودها به قدری زیاد شود که هر دو ترانزیســتور روشن شوند. در این صورت ، بازده مدار به شدت کاهش می‌یابد.

۳-۱۱ آزمایش شماره ۴

تقویت‌کننده پوش-پول بدون ترانسفورماتور

زمان اجرا : ۳ ساعت آموزشی

۳-۱۱-۱ هدف آزمایش:

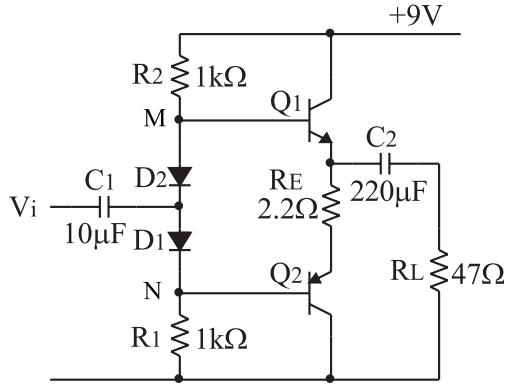
تعیین بهرهٔ ولتاژ و جریان مدار تقویت کنندهٔ قدرت بدون ترانسفورماتور

۳-۱۱-۲ تجهیزات، ابزار،قطعات و مواد موردنیاز:

ردیف	نام ومشخصات	تعداد/ مقدار
۱	منبع تغذیه ۱A و ۰-۲۵V	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۴	دیود ۱N۴۱۴۸	دوعدد
۵	ترانزیستورهای BC ۱۰۷ (npn) BC ۱۷۷ (pnp) یا ترانزیستورهای BC ۱۴۰ (npn) BC ۱۶۰ (pnp)	یک جفت
۶	مقاومت‌های ۱kΩ ($\frac{۱}{۲}$ وات)	دو عدد
۷	مقاومت‌های ۴۷kΩ،۲/۲kΩ	ازهرکدام یک عدد
۸	خازن ۱۰μF و ۲۲۰μF	ازهرکدام یک عدد
۹	سیم رابط معمولی	هشت رشته

۳-۱۱-۳ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۴۱-۳ را ببندید.



شکل ۴۱-۳- مدار تقویت‌کننده پوش- پول بدون ترانسفورماتور

■ مولتی متر را در حالت ولت‌متر قرار دهید .

■ قبل از اعمال سـیگنال متناوب ، پتانسـیل dc بین نقاط M و N را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

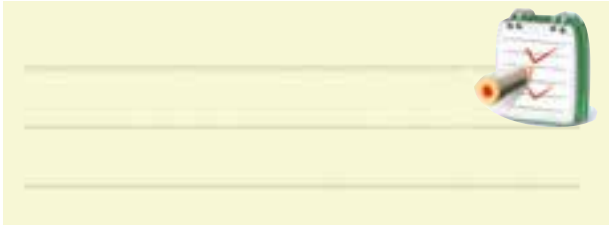
V_{MN} = ...

■ ولتاژ BE_1 و BE_2 را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

V_{BE1} = ...(v)

V_{BE2} = ...(v)

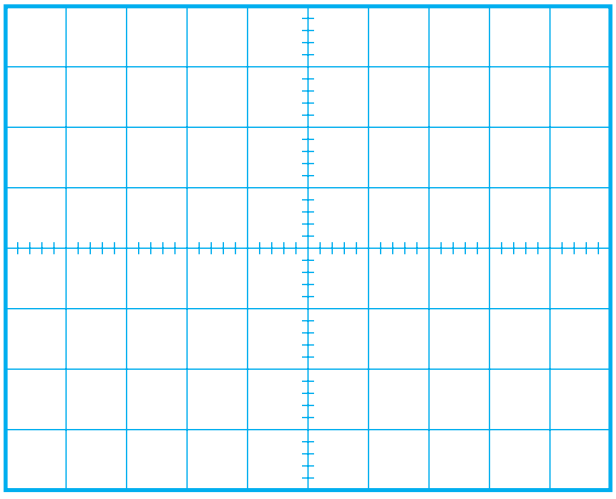
سوال ۱ : ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 در چه کلاسی کار می کنند ؟



■ سیگنال ژنراتور را روی یک موج سینوسی با فرکانس ۱kHz تنظیم کنید و به ورودی مدار متصل نمایید .

■ اسیلوسکوپ را به دو سر بار R_L وصل کنید و دامنهٔ سیگنال ورودی را به گونه ای تنظیم کنید که دامنهٔ سیگنال خروجی به حداکثر مقدار بدون اعوجاج برسد.

■ کانال CH۱ اسیلوسکوپ را به ورودی مدار وصل کنید وشکل موج ورودی را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۳-۴۲ رسم نمایید.



شکل ۳-۴۲ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/ Div = ... V (CH۱)

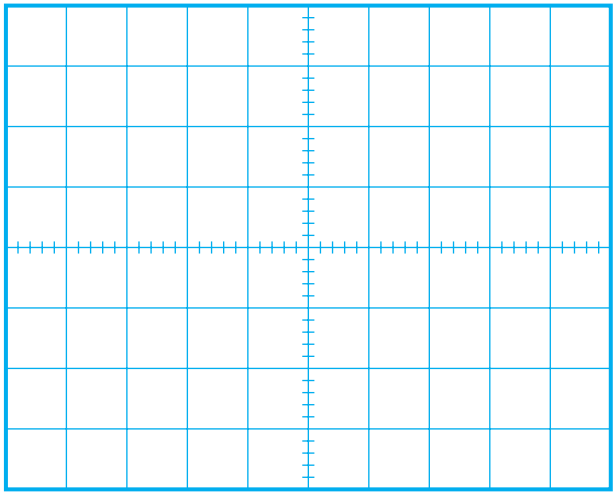
Vm رااز روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m = ...(V)

■ دامنه پیک تو پیک شکل موج ورودی را اندازه بگیرد و یادداشت کنید.

V_{inpp} = ...v

■ اسیلوسکوپ را به دو سر مدار R_L وصل کنید.

■ شکل موج خروجی مدار را با مقیاس مناسب در نموار شکل ۳-۴۳ رسم کنید.



شکل ۳-۴۳ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده

Volts/ Div = ...V (CH۱)

Vm رااز روی شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس به دست آورید. V_m = ...(V)

■ دامنه‌ی پیک تو پیک شکل موج خروجی را اندازه بگیرد و یادداشت کنید.

V_{OPP} = ...v

■ بهره‌ی ولتاژ تقویت‌کننده را از رابطه: $A_V = \frac{V_{Op-p}}{V_{inp-p}}$ به دست آورید و یادداشت کنید.

A_V = ...

سوال ۲: آیا تقویت‌کننده پوش – پول مکمل مورد آزمایش ، ولتاژ را نیز تقویت می‌کند ؟ توضیح دهید.

■ اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$\text{اختلاف فاز} = \varphi = \text{درجه} \ldots\ldots$$

■ مقاومت R_S مساوی $1k\Omega$ را هم با منبع ورودی سری کنید.

■ به وسیله اسیلوسکوپ دامنهٔ ولتاژ دو سر مقاومت R_S را اندازه بگیریدو یادداشت کنید.

$$V_{R_S} = \ldots\ldots(V)$$

■ با استفاده از رابطه زیر ، جریان ورودی مدار را محاسبه کنید.

$$I_S = \frac{V_{R_S}}{R_S} = \ldots\ldots mA$$

■ با توجه به دامنهٔ ولتاژ خروجی که در مراحل قبل به دست آوردید و با استفاده از رابطه زیر ، جریان بار را محاسبه کنید.

$$I_L = \frac{V_{op-p}}{R_L} = \ldots\ldots mA$$

■ مقدار بهره جریان را از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$A_L = \frac{I_L}{I_S} = \ldots\ldots$$

سوال ۳: آیا تقویت‌کننده پوش – پول مکمل مورد آزمایش ، جریان را تقویت می‌کند توضیح دهید.

۴-۱۱-۳ نتایج آزمایش

آن چه را که در این آزمایش فرا گرفته اید به اختصار شرح دهید.

آزمون پایانی فصل (۳)

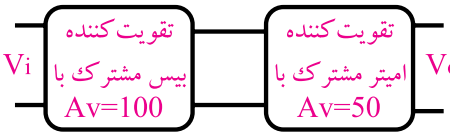
۱- در شکل ۴۴-۳ نسبت $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است ؟

الف) ۱۵۰

ب) ۳۰۰۰

ج) ۵۰۰۰

د) ۱۷۰



شکل ۴۴-۳

۲- در فرکانس‌های خیلی کم کدام کوپلاژ بین دو طبقه تقویت‌کننده مناسب تر است ؟

الف) خازنی

ب) مستقیم

ج) ترانسفورماتوری

۳- یکی ازاشکالات عمده اتصال دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم این است که ....

الف) تغییر نقطه کار یک ترانزیستور باعث تغییر نقطه کار ترانزیستور طبقه بعدی می‌شود.

ب) بهره‌ی ولتاژ آن خیلی کم است.

ج) فرکانس‌های کم به خوبی تقویت نمی‌شوند.

د) پهنای باند خیلی کم می‌شود.

۴- مزایا و معایب دوطبقه تقویت‌کننده به کمک خازن (کوپلاژ RC) را توضیح دهید.

۵- بهره‌ی کل ولتاژ در تقویت‌کننده چند طبقه چگونه به دست می‌آید؟ توضیح دهید.

۶- مزایا و معایب اتصال دو طبقه تقویت‌کننده توسط ترانسفورماتور (کوپلاژ ترانسفورماتوری) را توضیح دهید.

۷- مزایا ومعایب اتصال دو طبقه تقویت‌کننده که به صورت مستقیم به یکدیگر وصل شده اند (کوپلاژ مستقیم) را توضیح دهید .

۸- راندمان تقویت‌کننده کلاس B بیش تر از ۵۰ درصد است.

صحیح ❐ غلط ❐

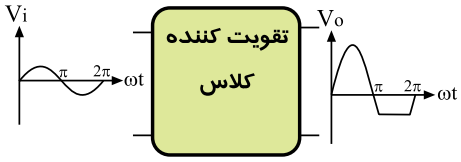
۹- بلوک تقویت کننده شکل ۴۵ - ۳در چه کلاسی کار می‌کند ؟

الف) A

ب) B

ج) C

د) AB

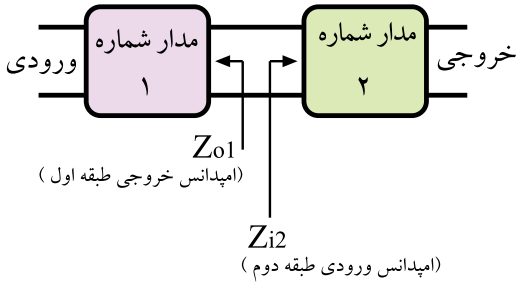


شکل ۴۵-۳

۱۰- در تقویت‌کننده کلاس .... فقط قسمت کمی‌از نیم سیکل تقویت می‌شود.

۱۱- طبق شکل ۴۶-۳امپدانس خروجی طبقه اول با

امپدانس ورودی طبقه دوم برابر است $(Zo_1 = Zi_2)$.دراین مدار انتقال حداکثر ..... صورت گرفته است.



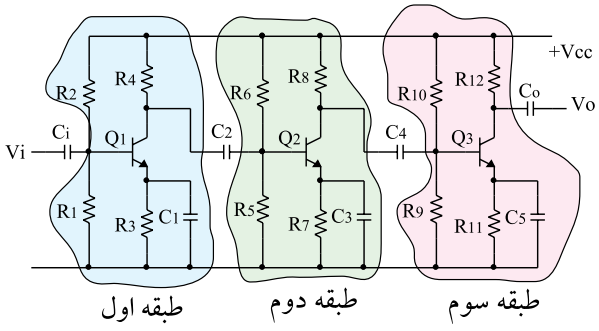
شکل ۳-۴۶

الف)توان

ب) ولتاژ

ج) جریان

۱۲- کوپلاژ بین طبقات در شکل ۳-۴۷ کوپلاژ ..... است .



شکل ۳-۴۷

۱۳- چگونگی عملکرد تقویت‌کننده پوش – پول بدون ترانسفورماتور را به طور کامل شرح دهید.