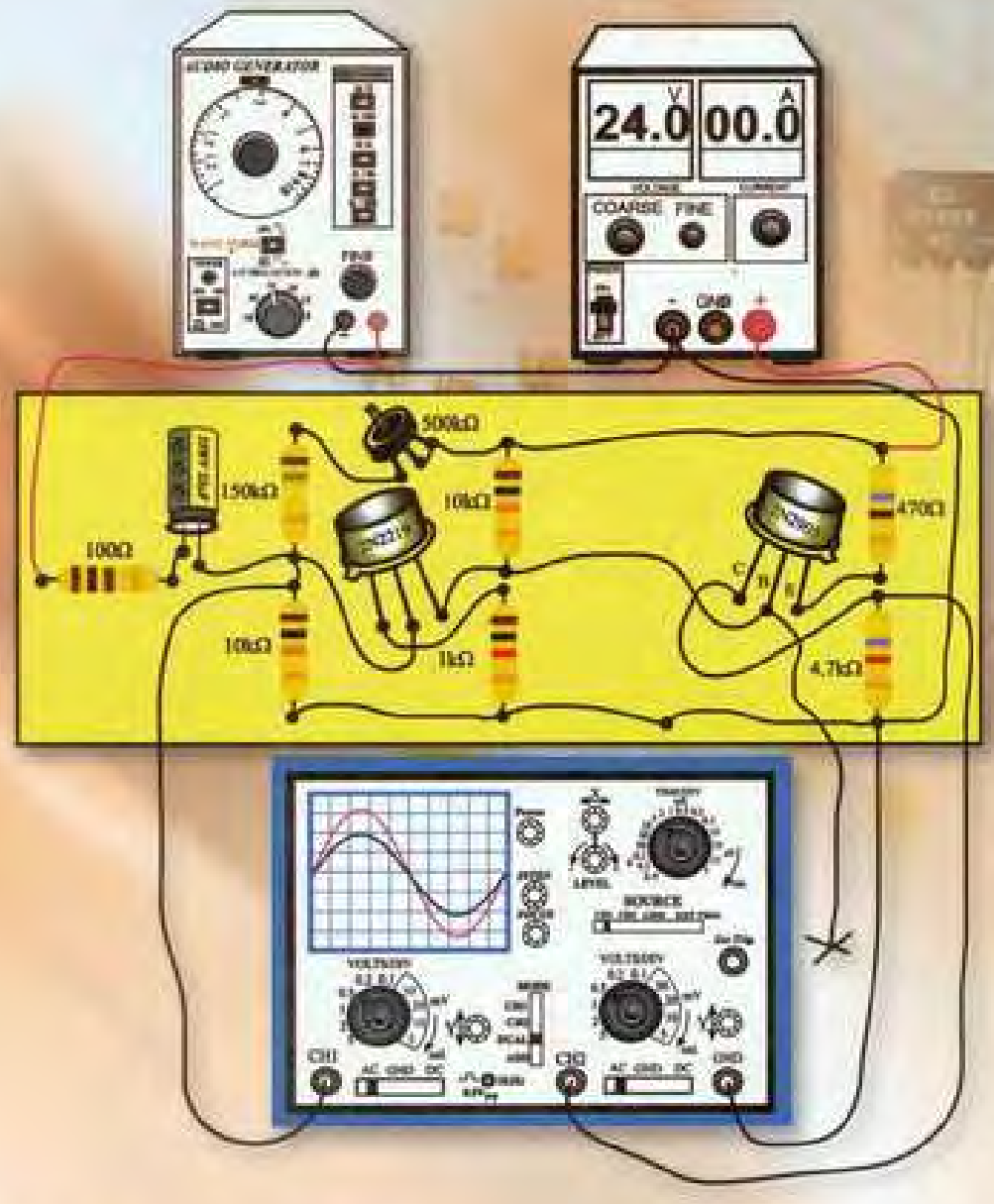
دیود ـ ترانزیستور

شاخه‌ی کاردانش (گروه تحصیلی برق)

رشته‌های مهارتی: تعمیر تلویزیون رنگی، الکترونیک صنعتی، کاربری کنترل‌کننده‌های منطقی (PLC)، تعمیر ماشین‌های اداری و تعمیر عمومی کامپیوتر



بسم الله الرحمن الرحیم

دیود ـ ترانزیستور

شاخه‌ی: کاردانش

زمینه‌ی: صنعت

گروه تحصیلی: برق

زیر گروه: الکترونیک

رشته‌های مهارتی: تعمیر تلویزیون رنگی، الکترونیک صنعتی، کاربری کنترل‌کننده‌های منطقی (PLC)، تعمیر ماشین‌های اداری و تعمیر عمومی کامپیوتر

شماره‌ی رشته‌های مهارتی: ۱ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱، ۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱، ۱، ۳ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱، ۳ ـ ۵ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱، ۱، ۷ ـ ۳ ـ ۲ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ ۱

کد رایانه‌ای رشته‌های مهارتی: ۹۳۸۱، ۹۳۸۲، ۹۵۲۵، ۹۷۸۴ و ۹۷۵۰

نام استاندارد مهارتی مبنا: الکترونیک کار عمومی

کد استاندارد متولی: ۵۱/۱۱ ـ ۸ و ۷۴

شماره‌ی درس: (نظری ۸۳۱۴/۴ و عملی ۸۳۱۵/۴)

۶۲۱ نظریان، فتح اله

/۳۸۱۵ دیود ـ ترانزیستور / مؤلف: فتح اله نظریان. ـ تهران: شرکت صنایع آموزشی وابسته به

د ۵۱۲ ن/ وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۸۳

۱۳۸۳ ۲۱۲ص.: مصور. ـ (شاخه‌ی کاردانش؛ شماره‌ی درس: نظری ۸۳۱۴/۴ و عملی ۸۳۱۵/۴)

متون درسی شاخه‌ی کاردانش، زمینه‌ی صنعت، گروه تحصیلی برق، زیر گروه الکترونیک، رشته‌های مهارتی تعمیر تلویزیون رنگی، الکترونیک صنعتی، کاربری کنترل‌کننده‌های منطقی (PLC)، تعمیر ماشین‌های اداری و تعمیر عمومی کامپیوتر.

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۱. دیودها. ۲. ترانزیستور. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش. ب. عنوان.

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را درباره‌ی محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شماره‌ی ۱۵/۲۸۷۴، دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایید.

پست الکترونیکی	Info@tvoccd.sch.ir
آدرس الکترونیکی	www.tvoccd.sch.ir

وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

مدیریت تألیف: مرکز برنامه‌ریزی آموزشی شرکت صنایع آموزشی

آماده‌سازی: ویراستار ـ تراژ پستور ۶۰۵/۶۰

مؤلف: مهندس فتح‌الله نظریان

ویراستار فنی: مهندس سید محمود صحرایی

ویراستار ادبی: ماهرخت خلیلی

امور آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

رسم: مهندس فتح‌الله نظریان

صفحه‌آرا: معصومه جهرمی اصفهانی

طراح جلد: علیرضا رضائی‌فر

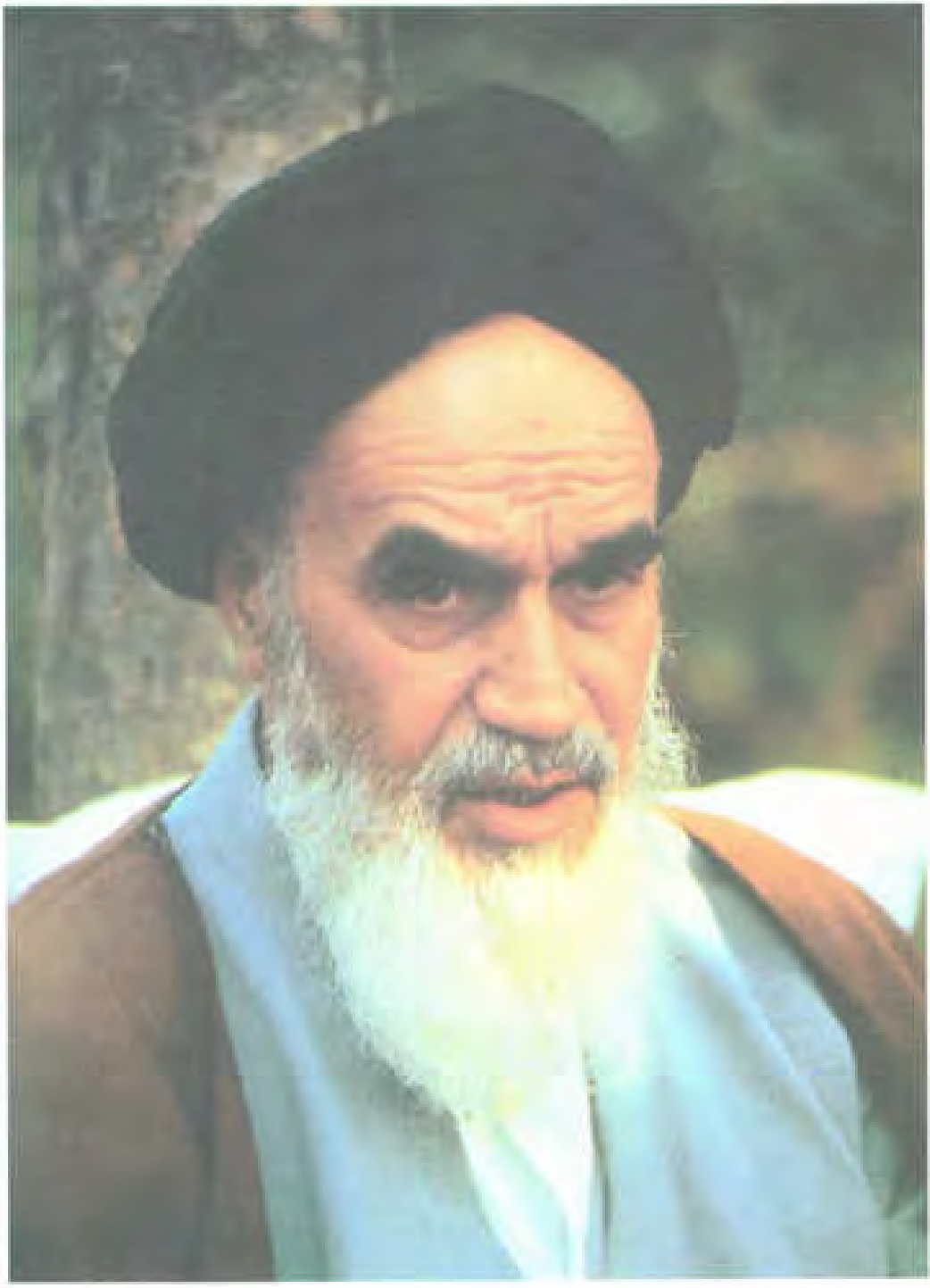
ناشر: شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش) ـ تهران: خیابان مخصوص گرج ـ بعد از کیلومتر ۷، ابتدای بزرگراه آزادگان به طرف جنوب، تلفن: ۴۵۲۴۴۴۴، دورنگار: ۴۵۰۳۷۷۰، صندوق پستی: ۱۳۲۹۵/۳۷۹

چاپخانه: ارشاد اسلامی

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۳۸۳

حق چاپ محفوظ است

شابک ۹-۱۲۶۹-۰۵-۹۶۴ ISBN 964-05-1269-9



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آیید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدّس سرّه الشّریف»

مقدمه‌ای بر چگونگی برنامه‌ریزی کتاب‌های پودمانی

برنامه‌ریزی تألیف «پودمان‌های مهارت» یا «کتاب‌های تخصصی شاخه‌ی کاردانش» بر مبنای استانداردهای کتاب «مجموعه برنامه‌های درسی رشته‌های مهارتی شاخه‌ی کاردانش، مجموعه نهم» صورت گرفته است. براین اساس ابتدا توانایی‌های هم‌خانواده (Harmonic Power) مورد مطالعه و بررسی قرارگرفته است. سپس مجموعه مهارت‌های هم‌خانواده به صورت واحدهای کار تحت عنوان (Unit) دسته‌بندی می‌شوند. در نهایت واحدهای کار هم خانواده با هم مجدداً دسته‌بندی شده و پودمان مهارتی (Modale) را تشکل می‌دهند.

دسته‌بندی «توانایی‌ها» و «واحدهای کار» توسط کمیسیون‌های تخصصی با یک نگرش علمی انجام شده است به گونه‌ای که یک سیستم پویا بر برنامه‌ریزی و تألیف پودمان‌های مهارت نظارت دائمی دارد.

به منظور آشنایی هر چه بیشتر مربیان، هنرآموزان و هنرجویان شاخه‌ی کاردانش و سایر علاقه‌مندان و دست‌اندرکاران آموزش‌های مهارتی با روش تدوین «پودمان‌های مهارت»، توصیه می‌شود الگوهای ارائه شده در نمون برگ‌های شماره (۱)، (۲) و (۳) مورد بررسی قرار گیرد. در ارائه دسته‌بندی‌ها، زمان مورد نیاز برای آموزش آن‌ها نیز تعیین می‌گردد. با روش مذکور یک «پودمان» به عنوان کتاب درسی مورد تأیید وزارت آموزش و پرورش در «شاخه‌ی کاردانش» چاپ سیاری می‌شود.

به‌طور کلی هر استاندارد مهارت به تعدادی پودمان مهارت (M_1 و M_2 و ...) و هر پودمان نیز به تعدادی واحد کار (U_1 و U_2 و ...) و هر واحد کار نیز به تعدادی توانایی ویژه (P_1 و P_2 و ...) تقسیم می‌شوند. نمون برگ شماره (۱) برای دسته‌بندی توانایی‌ها به‌کار می‌رود. در این نمون برگ مشاهده می‌کنید که در هر واحد کار چه نوع توانایی‌هایی وجود دارد. در نمون برگ شماره (۲) واحدهای کار مرتبط با پودمان و در نمون برگ شماره (۳) اطلاعات کامل مربوط به هر پودمان درج شده است. بدیهی است هنرآموزان و هنرجویان ارجمند شاخه کاردانش و کلیه عزیزانی که در امر توسعه آموزش‌های مهارتی فعالیت دارند، می‌توانند ما را در غنای کیفی پودمان‌ها که برای توسعه آموزش‌های مهارتی تدوین شده است رهنمون و یاور باشند.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های
فنی و حرفه‌ای و کاردانش

پیشگفتار

حمد و ستایش پروردگاری را که جای جای هستی را با آیات و جلوه‌های خویش پیراست، تا صاحبان خرد در آن اندیشه کنند.

هنرآموزان گرامی و فراگیران عزیز:

کتابی که اینک پیش رو دارید، یکی از کتاب‌های درسی نظام جدید آموزشی در شاخه کاردانش، زمینه صنعت می‌باشد که به کوشش شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش) تألیف و چاپ شده است. این شرکت در سال ۱۳۵۲ با هدف طراحی، تولید و تأمین تجهیزات آموزشی، کمک آموزشی، آزمایشگاهی و کارگاهی برای تمام مقاطع تحصیلی (از پیش‌دبستانی تا دانشگاه) تأسیس شده است. مهمترین رسالت شرکت، حمایت و پشتیبانی همه جانبه از آموزش کشور می‌باشد. از این‌رو از آغاز تأسیس تاکنون همواره با بهره‌گیری از آخرین دستاوردها و فناوری‌های کشورهای پیشرفته صنعتی اقدام به تولید بسیاری از تجهیزات آموزشی برای کلاس‌ها، آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌های مراکز آموزشی نموده است.

یکی دیگر از خدمات شرکت، همکاری با سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش برای تألیف و چاپ کتاب‌های درسی می‌باشد. در تألیف این کتاب نویسندگان و صاحب‌نظران آموزش‌های فنی‌وحرفه‌ای و مهارتی در نهایت صمیمیت، سرعت را یاری داده‌اند تا کتابی آسان، روان و خودآموز تهیه و در اختیار فراگیران قرار داده شود. شیوه نگارش این کتاب منطبق با شیوه آموزش مهارت بودمانی (Modular) می‌باشد. این شیوه آموزش مهارت، هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای پیشرفته صنعتی در حال اجرا می‌باشد.

امید است مدیران محترم مراکز آموزشی با تمام توان در جهت اجرای هر چه بهتر این شیوه نوین آموزش مهارت همت گمارند تا بتوانیم به کلیه اهداف آموزشی کتاب جامعه عمل بپوشانیم. با دستیابی به این اهداف آموزشی است که فراگیران عزیز می‌توانند در زمره صنعتگران خلاق و کارآفرین کشور عزیزمان قرار گیرند.

شرکت صنایع آموزشی
واحد تحقیقات و طرح و برنامه

مقدمه

به جرأت می‌توان گفت که پیشرفت علوم و تکنولوژی در تمامی زمینه‌ها در گرو پیشرفت الکترونیک است. صنعت الکترونیک در اوایل قرن نوزدهم با اختراع و ساخت اولین قطعه الکترونیکی یعنی لامپ دو قطبی با به عرصه وجود گذاشت و با اختراع قطعات دیگری مانند لامپ پروه و پنتود به پیشرفت خود ادامه داد. در اواخر سال ۱۹۴۷ با اختراع ترانزیستور، صنعت الکترونیک وارد مرحله جدیدی شد، زیرا ترانزیستور از نظر ابعاد بسیار کوچکتر، از نظر قیمت بسیار ارزان‌تر، ولتاژ کار خیلی کم و تلفات انرژی آن نیز خیلی کمتر از یک لامپ بود. از این رو بعد از ساخته شدن ترانزیستور رادیو و تلویزیون‌های سیاه و سفید و رنگی تمام ترانزیستوری ساخته شد. در این مقطع از زمان ابعاد دستگاه‌های صوتی و تصویری به شدت کاهش یافت. در دهه شصت قرن بیستم میلادی، با ساخت اولین مدار مجتمع (IC) صنعت الکترونیک به یک موفقیت بزرگ دست یافت. به طوری که حجم مدارهای الکترونیکی به طور قابل ملاحظه‌ای کوچک شد و به دلیل کاهش ابعاد مدارهای الکترونیکی، امکانات جدیدی روی دستگاه‌های صوتی، تصویری و مخابراتی اضافه شد. همچنین از نظر هزینه، قیمت دستگاه‌ها به شدت کاهش یافت، این روند تا حال نیز ادامه دارد.

امروزه به دلیل سهولت طراحی IC ها توسط کامپیوتر و در دسترس بودن امکانات طراحی برای همگان، تقریباً در همه دستگاه‌های الکترونیکی از مدارهای مجتمع (IC) استفاده می‌شود. به ندرت می‌توان دستگاهی الکترونیکی یافت که در آن از IC استفاده نشده باشد.

یک مدار مجتمع یا IC از عناصر ساده‌ای مانند مقاومت‌ها، دیودها، ترانزیستورهای معمولی و ترانزیستورهای با اثر میدان و ... تشکیل شده است. بنابراین در واقع یک IC یک مدار الکترونیکی است، برای یادگیری طرز کار و کاربرد یک مدار الکترونیکی، ابتدا باید طرز کار اجزای آن و همچنین مدارهای پایه الکترونیک را شناخت و مورد مطالعه قرار داد. در این پیمانه (M4) ضمن آشنایی با اجزا و بعضی از مدارهای پایه الکترونیک آشنا می‌شوید. در فصل اول این کتاب نیمه‌هادی‌های نوع P و N و اتصال PN یا دیود را می‌شناسید و به کمک تصاویر گویا می‌آموزید که چگونه یک دیود در بایاس موافق جریان را به راحتی از خود عبور می‌دهد و در جهت عکس (بایاس معکوس) جریان برق را از خود عبور نمی‌دهد. در ادامه با انواع دیود و کاربرد آن‌ها آشنا می‌شوید. همچنین به بحث در مورد مدارهای یکسوساز با استفاده از دیودها و صافی‌ها و رگولاتور ساده توسط دیود زنر می‌پردازید. در سرتاسر این پیمانه آموزشی با انجام کارهای عملی صحت مطالب را عملاً تجربه می‌کنید.

در فصل دوم ضمن با ترانزیستورهای معمولی، انواع بایاسینگ‌ها و همچنین تقویت‌کننده‌های پایه در الکترونیک (امیترمشترک، بیس مشترک و کلکتور مشترک) آشنا می‌شوید و با انجام آزمایش‌های مناسب با مطالب تئوریک، دقیقاً به مفهوم ترانزیستور و چگونگی تقویت سیگنال الکتریکی پی‌خواهید برد. همچنین در انتهای این فصل، قادر خواهید بود که مشخصات یک ترانزیستور معمولی را از کتاب‌های مرجع استخراج کنید.

در فصل سوم ابتدا مطالب مربوط به تقویت‌کننده‌های چند طبقه را فرا می‌گیرید، در ادامه نحوه اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به هم را مورد بحث قرار می‌دهید. همچنین اشاره‌ای به مزایا و معایب هر یک از روش‌های اتصال نیز خواهید داشت. در ادامه با انجام دو آزمایش مطالب تئوریک را در عمل می‌آزمایید.

در فصل چهارم این پیمانه، تقویت کننده‌های قدرت، کلاس انواع تقویت‌کننده‌ها، تقویت‌کننده تفاضلی و تقویت‌کننده دارلینگتون مورد بحث قرار می‌گیرد. بعد از هر مطلب تئوری، آزمایش مربوط به آن، پیش‌بینی شده است تا شما فراگیران ارجمند، مطالب را دقیقاً فراگیرید.

در فصل پنجم، شما ترانزیستور با اثر میدان را می‌شناسید. نحوه‌ی تقویت سیگنال الکتریکی با این نوع ترانزیستور را فرامی‌گیرید. انجام آزمایش‌های لازم در این زمینه به دانسته‌های شما غنیت می‌بخشد.

ضمن آرزوی موفقیت برای فراگیران ارجمند، انتظار دارم فراگیران مطالب این کتاب را با دقت فراگیرند تا ان‌شاءالله بعد از فارغ‌التحصیل شدن، بتوانند به سادگی جذب بازار کار شوند. امید است فراگیری و به کارگیری آن چه در این پیمانه آمده شما را در دانش فنی فعال در بازار کار رشته‌های حوزه‌ی این پیمانه یاری رساند.

از اعضای محترم کمیسیون تخصصی دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش آقایان مهندس سید محمود صموتی، مهندس شهراد نصیری سوادکوهی و خانم‌ها مهندس مهین طریقیان جولایی، مهندس فرنسه داودی لعل‌آبادی، خانم سهیلا ذوالفقاری و آقای علی علی مددی به خاطر همکاری و تلاش‌های صادقانه‌ای که در برنامه‌ریزی، ویراستاری و بهبود کیفی این کتاب داشته‌اند سپاسگزاری می‌نمایم.

با تشکر مؤلف

فهرست

عنوان — صفحه

فصل اول ــ دیود ۱
پیش‌آزمون (۱) ۳
۱ـ۱ـ دیود ۷
۱ـ۲ـ آزمایش شماره (۱) ـ منحنی مشخصه دیود ۲۱
۱ـ۳ـ انواع دیودها ۲۴
۱ـ۴ـ یکسو کننده‌ها با رکتی‌فایرها ۲۸
۱ـ۵ـ آزمایش شماره (۲) ـ یکسو کننده‌ها ۳۷
۱ـ۶ـ چند برابر کننده‌های ولتاژ ۴۳
۱ـ۷ـ آزمایش شماره (۳) ـ دوبرابر کننده ولتاژ ۴۴
۱ـ۸ـ دیود زنر ۴۷
۱ـ۹ـ آزمایش شماره (۴) ـ دیود زنر ۴۹
۱ـ۱۰ـ تنظیم کننده ولتاژ با استفاده از دیود زنر ۵۱
۱ـ۱۱ـ آزمایش شماره (۵) ـ تنظیم کننده ولتاژ ۵۲
۱ـ۱۲ـ مدار کلمپ ۵۲
۱ـ۱۳ـ مدار کلمپ یا مهارکننده ۵۲
۱ـ۱۴ـ آزمون پایانی عملی (۱) ۵۶
۱ـ۱۵ـ پرسش و تمرین (۱) ۵۷

فصل دوم ــ ترانزیستور ۵۸
پیش‌آزمون (۲) ۶۰
۲ـ۱ـ ساختمان و طرز کار ترانزیستور معمولی (BJT) ۶۲
۲ـ۲ـ آزمایش شماره (۱) ـ تشخیص پایه‌های ترانزیستور ۷۱
۲ـ۳ـ منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور ۷۳
۲ـ۴ـ آزمایش شماره (۲) ـ عملکرد ترانزیستور ۷۶
۲ـ۵ـ نام‌گذاری ترانزیستورها ۷۹
۲ـ۶ـ بایاسینگ ترانزیستور ۸۱
۲ـ۷ـ آزمایش شماره (۳) ـ ولتاژبندی یا بایاسینگ ترانزیستور ۸۳
۲ـ۸ـ نقطه کار و خط بار ترانزیستور ۸۵
۲ـ۹ـ نحوه تقویت در ترانزیستور ۸۶
۲ـ۱۰ـ مشخصات کلی و عمومی یک تقویت کننده‌ی ترانزیستوری ۸۷

۱۱ـ۲ـ تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک ۸۷
۱۲ـ۲ـ آزمایش شماره (۴) ـ تقویت‌کننده امیتر مشترک ۹۰
۱۳ـ۲ـ تقویت‌کننده بیس مشترک ۹۶
۱۴ـ۲ـ آزمایش شماره (۵) ـ تقویت کننده بیس مشترک ۹۷
۱۵ـ۲ـ تقویت‌کننده کلکتور مشترک ۱۰۱
۱۶ـ۲ـ آزمایش شماره (۶) ـ تقویت‌کننده کلکتور مشترک ۱۰۲
۱۷ـ۲ـ اثر دما بر نقطه کار ترانزیستور ۱۰۶
۱۸ـ۲ـ استخراج مشخصات ترانزیستورها از کتاب‌های مرجع ۱۰۶
۱۹ـ۲ـ آزمایش شماره (۷) ـ استخراج مشخصات ترانزیستورها از کتاب‌های مرجع ۱۰۸
۲۰ـ۲ـ آزمون پایانی عملی (۲) ۱۱۲
۲۱ـ۲ـ پرسش و تمرین (۲) ۱۱۶

فصل سوم ـ انواع کوپلاژ ۱۱۷
پیش‌آزمون (۳) ۱۱۸
۱ـ۳ـ انواع کوپلاژ ۱۲۲
۲ـ۳ـ کوپلاژ خازنی ۱۲۳
۳ـ۳ـ آزمایش شماره (۱) ـ تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC ۱۲۴
۴ـ۳ـ کوپلاژ ترانسفورماتوری ۱۳۰
۵ـ۳ـ آزمایش شماره (۲) ـ تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری ۱۳۱
۶ـ۳ـ کوپلاژ مستقیم ۱۳۶
۷ـ۳ـ آزمایش شماره (۳) ـ تقویت‌کننده دو طبقه با اتصال مستقیم ۱۳۷
۸ـ۳ـ آزمون عملی پایانی (۳) ۱۴۲
۹ـ۳ـ پرسش و تمرین (۳) ۱۴۳

فصل چهارم ـ عیب‌یابی تقویت‌کننده‌های صوتی ۱۴۴
پیش‌آزمون (۴) ۱۴۵
۱ـ۴ـ کلاس تقویت‌کننده‌ها ۱۵۰
۲ـ۴ـ تقویت کننده قدرت کلاس A ۱۵۱
۳ـ۴ـ آزمایش شماره (۱) ـ تقویت‌کننده قدرت کلاس A با ترانسفورماتور ۱۵۳
۴ـ۴ـ مدار جدا کننده فاز ۱۵۶
۵ـ۴ـ آزمایش شماره (۲) ـ جداکننده فاز ۱۵۸
۶ـ۴ـ مدار معکوس‌کننده فاز ۱۶۳
۷ـ۴ـ آزمایش شماره (۳) ـ مدار معکوس کننده فاز ۱۶۴
۸ـ۴ـ مدار تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع پوش ـ پول ۱۶۹

۹ـ۴ـ آزمایش شماره (۴) ـ تقویت‌کننده قدرت (پوش ـ پول) ۱۷۰
۱۰ـ۴ـ تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع کامپلی ـ متناری ۱۷۵
۱۱ـ۴ـ آزمایش شماره (۵) ـ تقویت کننده قدرت (کامپلی متناری) ۱۷۶
۱۲ـ۴ـ تقویت‌کننده با استفاده از زوج دارلینگتون ۱۸۱
۱۳ـ۴ـ تقویت‌کننده تفاضلی ۱۸۲
۱۴ـ۴ـ آزمایش شماره (۶) ـ تقویت‌کننده صوتی ۱۸۳
۱۵ـ۴ـ آزمون پایانی عملی (۴) ۱۸۹
۱۶ـ۴ـ پرسش و تمرین (۴) ۱۹۱

فصل پنجم ـ ترانزیستور با اثر میدان ۱۹۲
پیش‌آزمون (۵) ۱۹۳
۱ـ۵ـ ترانزیستور با اثر میدان یا FET ۱۹۷
۲ـ۵ـ آزمایش شماره (۱) ـ بررسی عملکرد ترانزیستور JFET ۲۰۲
۳ـ۵ـ آزمایش شماره (۲) ـ منبع جریان با استفاده از ترانزیستور اثر میدانی ۲۰۵
۴ـ۵ـ آزمایش شماره (۳) ـ تقویت‌کننده سورس مشترک ۲۰۷
۵ـ۵ـ آزمون پایانی عملی (۵) ۲۱۱
۶ـ۵ـ پرسش و تمرین (۵) ۲۱۲

پاسخ‌نامه سؤالات چهارگزینه‌ای پیش آزمون ۲۱۳

منابع مورد استفاده ۲۱۴

هدف کلی

ایجاد توانایی در شناخت قطعات نیمه‌هادی از قبیل دیود، ترانزیستور، ترانزیستور با اثر میدان مدارهای مجتمع و مدارهای ساده مرتبط با آن از قبیل یکسوسازها و تقویت‌کننده‌ها

واحد (پوتیت)	عنوان توانایی	شماره توانایی	ساعت نظری	ساعت عملی	جمع
۱/۱۰	توانایی بررسی خصوصیت دیودها	۲۰	۱۰	۸	۱۸
	توانایی محاسبه و بررسی خصوصیات دیود زنر	۲۱	۶	۶	۱۲
۱/۱۱	توانایی بررسی خصوصیات و منحنی مشخصه ترانزیستورها	۲۲	۶	۴	۱۰
	توانایی بایاس کردن و بررسی تقویت‌کننده‌های CC،CE و CB	۲۳	۱۰	۸	۱۸
	توانایی استفاده از برگ مشخصات ترانزیستورها	۲۴	۲	۲	۴
۱/۱۲	توانایی کوپلاژ RC، ترانسفورماتوری مستقیم و بررسی منحنی پاسخ فرکانسی	۲۵	۴	۶	۱۰
۱/۱۳	توانایی بررسی و عیب‌یابی طبقات مختلف تقویت کننده صوتی	۲۶	۱۰	۱۲	۲۲
۱/۱۴	توانایی بررسی، اندازه‌گیری پارامترهای D و S و G	۲۷	۴	۶	۱۰
جمع کل			۵۲	۵۲	۱۰۴

فصل اول

دیود

هدف کلی

شناخت انواع دیودها و کاربرد آن‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

۱ـ تفاوت بین نیمه‌هادی‌ها، عایق‌ها و هادی‌ها را شرح دهد.

۲ـ نیمه‌هادی‌های نوع P و N را توضیح دهد.

۳ـ اتصال PN را شرح دهد.

۴ـ منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود را رسم کند.

۵ـ مشخصات دیودها را شرح دهد.

۶ـ منحنی مشخصه دیودها را به‌دست آورد.

۷ـ انواع دیودها را نام ببرد.

۸ـ کاربرد دیودهای نوردهنده (LED) را بیان کند.

۹ـ راجع به انواع دیودهای نوردهنده توضیح دهد.

۱۰ـ مدار یکسو کننده نیم موج را رسم کند.

۱۱ـ طرز کار مدار یکسو کننده نیم موج را شرح دهد.

۱۲ـ مقدار متوسط ولتاژ خروجی یکسو کننده نیم‌موج را محاسبه کند.

۱۳ـ مدار یکسو کننده تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط را رسم کند.

۱۴ـ طرز کار مدار یکسو کننده تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط را شرح دهد.

۱۵ـ مدار یکسو کننده تمام موج (پل) را رسم کند.

۱۶ـ طرز کار یکسو کننده تمام موج (پل) را شرح دهد.

۱۷ـ نقش صافی‌ها در یکسو کننده‌ها را شرح دهد.

۱۸ـ طرز کار دو برابرکننده ولتاژ را شرح دهد.

۱۹ـ شکل موج ولتاژ خروجی یکسو کننده نیم‌موج بکفاژه را بدون صافی خازنی و با صافی خازنی را مشاهده و اندازه‌گیری کند.

۲۰ـ شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج یکفاز پل، بدون صافی خازنی و با صافی خازنی را مشاهده و اندازه‌گیری کند.

۲۱ـ ولتاژ خروجی یک مدار دو برابرکننده ولتاژ را اندازه‌گیری کند.

۲۲ـ طرز کار دیود زنر را شرح دهد.

۲۳ـ منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود زنر را با استفاده از روش نقطه‌یابی به دست آورد.

۲۴ـ کاربرد دیود زنر در مدارهای الکترونیکی را شرح دهد.

۲۵ـ یک مدار تنظیم کننده ولتاژ (رگولاتور) ساده را با استفاده از دیود زنر بررسی کند.

۲۶ـ کاربرد دیود زنر را در مدارهای محدودکننده‌ی دامنه شرح دهد.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱۶	۱۴	۳۰

پیش‌آزمون (۱)

۱ـ آمپرمتر در مدار به صورت ..... قرار می‌گیرد.

الف ـ □ سری　　ب ـ □ موازی

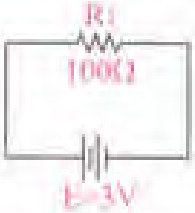
۲ـ توان تلف شده در مقاومت R از کدام رابطه به دست می‌آید؟

الف ـ □ RI^2　　ب ـ □ $U.I$　　ج ـ □ $\frac{U^2}{R}$　　د: □ هر سه مورد

۳. در شکل مقابل مقاومت معادل از دو نقطه A و B چند اهم است؟

الف ـ □ ۴۰　　ب ـ □ ۳۰　　ج ـ □ ۲۵　　د: □ ۲۰

۴ـ انرژی تلف شده در مقاومت Ω ۱۰۰ شکل مقابل در مدت ۳ دقیقه چند ژول است؟

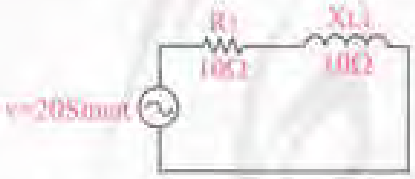


الف ـ □ ۱۸/۲　　ب ـ □ ۱۸۲　　ج ـ □ ۱۶/۲　　د: □ ۱۶۲

۵ـ کدام میکروفون نیاز به منبع تغذیه ندارد؟

الف ـ □ زغالی　　ب ـ □ دینامیکی　　ج ـ □ خازنی　　د: □ هر سه مورد

۶ـ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در مدار زیر چند درجه است؟



الف ـ □ ۴۵　　ب ـ □ ۳۰　　ج ـ □ ۹۰　　د: □ ۰

۷ـ در ترانسفورماتور زیر، اگر بخواهیم ولتاژ خروجی ۱۲ ولت باشد تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه، چند دور باید باشد؟

الف ـ □ ۶۰۰ ب ـ □ ۶۰ ج ـ □ ۵۰۰ د : □ ۵۰

۸ـ ناخالصی به کار برده شده در نیم هادی نوع P، چند ظرفیتی است؟

الف ـ □ ۳ ب ـ □ ۴ ج ـ □ ۵ د : □ ۶

۹ـ شرط هدایت یک دیود کدام است؟

الف ـ □ ولتاژ آند به اندازه‌ی ۰/۶ ولت از کاتد بیشتر باشد.

ب ـ □ جریان در مدار به اندازه‌ی کافی وجود داشته باشد.

ج ـ □ فقط کافی است ولتاژ آند به اندازه‌ی ۰/۶ ولت مثبت‌تر باشد؟

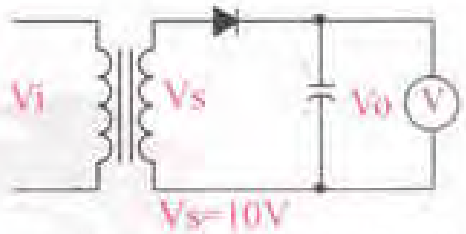
د : □ موارد الف و ب

۱۰ـ شکل مقابل نماد کدام نوع دیود است؟

الف ـ □ LED ب ـ □ خازنی ج ـ □ اتصال نقطه‌ای

د : □ شاتکی

۱۱ـ در شکل زیر V_o چند ولت است؟



افت ولتاژ دو سر دیود ۰/۶ ولت است.

الف ـ □ ۱۰ ب ـ □ ۹/۴ ج ـ □ ۱۲/۱ د : □ ۱۳/۵

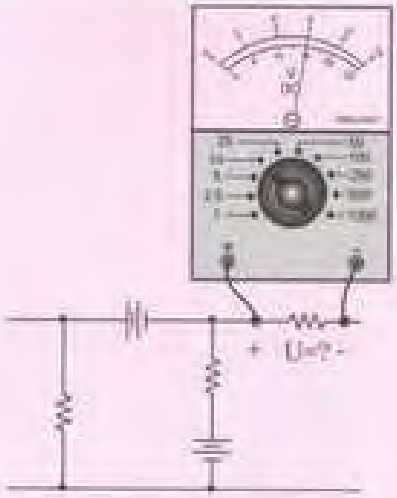
۱۲ـ یک دیود زنر ۱۰ ولتی با توان ۰/۵ وات، حداکثر چند میلی‌آمپر جریان را می‌تواند تحمل کند؟

الف ـ □ ۵ ب ـ □ ۵۰ ج ـ □ ۱۰۰ د : □ ۲۰۰

۱۳ـ یک مدار دو برابر کننده ولتاژ ساده را رسم کنید و طرز کار آن را توضیح دهید.

نکات ایمنی (۱)

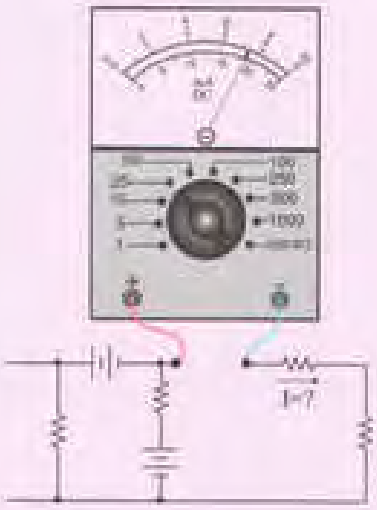
۱ـ هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، ولت‌متر را به دو نقطه موردنظر به صورت موازی ببندید.



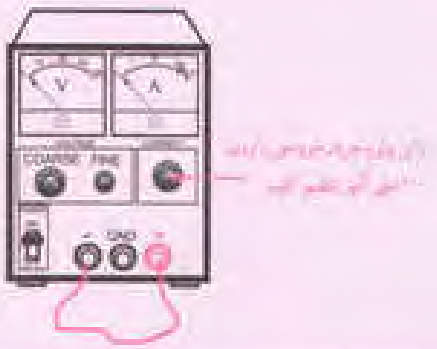
۲ـ هیچ وقت یک قطعه نیمه‌هادی مانند دیود را با منبع تغذیه به صورت موازی نبندید.

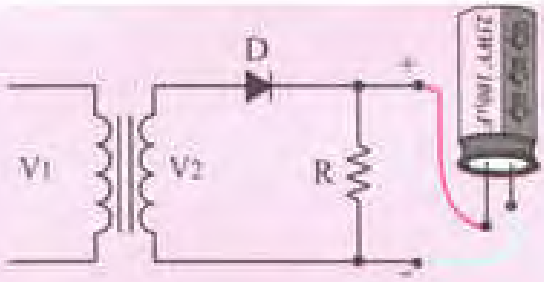
۳ـ قبل از اتصال مدار به منبع تغذیه، ابتدا ولتاژ خروجی را صفر کنید.

۴ـ هنگام اندازه‌گیری جریان در مدار، آمپرمتر را با مدار به صورت سری ببندید.



۵ـ اگر منبع تغذیه‌ای که با آن کار می‌کنید دارای امکانات Limit Current است، جریان خروجی را حداکثر به ۱۰۰mA محدود کنید.





۶ــ هنگام اتصال خازن الکترولیتی به خروجی یکسو کننده‌ها، حتماً قطب مثبت را به قطب مثبت خروجی منبع تغذیه و قطب منفی را به قطب منفی یکسو کننده وصل کنید.

در صورت اتصال خازن الکترولیتی به صورت معکوس به منبع ولتاژ، خازن منفجر می‌شود.

۷ــ هنگام اتصال دیود به مدار، کاتد و آند آن را از قبل شناسایی کنید. معمولاً روی کاتد یک علامت به صورت یک حلقه رنگی یا یک نقطه و ... می‌گذارند.

۸ــ سیم‌های رابط را محکم ببندید تا در اثر لرزش یا برخورد دست قطع نشوند.

۱ــ۱ــ دیود[1]

۱ــ۱ــ۱ــ ساختمان اتمی نیمه‌هادی‌ها: اجسام موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند.

الف : هادی‌ها

ب : عایق‌ها

ج : نیمه هادی‌ها

هادی‌ها اجسامی هستند که جریان برق را به راحتی از خود عبور می‌دهند مانند مس، آلومینیوم، سایر فلزات و بعضی از اسیدها.

عایق‌ها اجسامی هستند که جریان برق را به سادگی از خود عبور نمی‌دهند مانند شیشه، انواع پلاستیک‌ها، هوا و ...

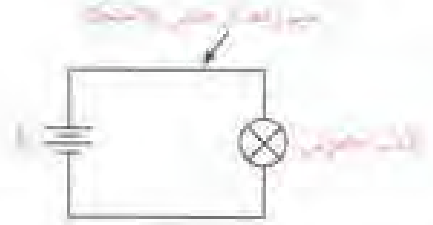
بین عایق‌ها و هادی‌ها اجسامی وجود دارند که نه مانند یک هادی به سادگی جریان برق را از خود عبور می‌دهند و نه مانند یک عایق جریان برق را از خود نمی‌دهند.

به این اجسام، نیمه‌هادی[2] می‌گویند. مهم‌ترین نیمه‌هادی‌هایی که در صنعت الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرد سیلیکون و ژرمانیوم است. تمامی نیمه‌هادی‌ها در آخرین لایه‌ی اتم خود، چهار الکترون دارند. در شکل (۳ــ۱) ساختمان اتمی سیلیکون و ژرمانیوم نشان داده شده است.

وقتی اتم‌های ژرمانیوم و یا سیلیکون در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و به صورت مولکول در می‌آیند، با یکدیگر پیوند اشتراکی (کووالانسی) تشکیل می‌دهند. یعنی الکترون‌های لایه‌ی آخر خود را به اشتراک می‌گذارند. بنابراین در حالت عادی می‌توان مولکول سیلیکون یا ژرمانیوم را به صورت یک جسم هشت ظرفیتی در نظر گرفت. در شکل (۴ــ۱) پیوند اشتراکی اتم‌های سیلیکون نشان داده شده است.

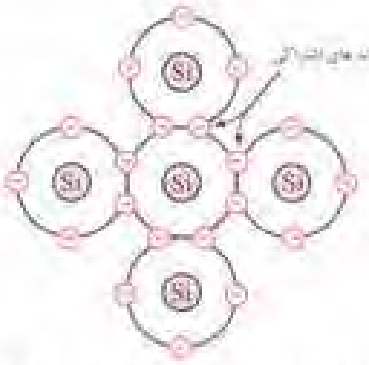
پیوندهای تشکیل شده (پیوندهای اشتراکی) در سیلیکون یا ژرمانیوم در دمای صفر درجه کلوین (تقریباً ۲۷۳ــ درجه سلسیوس) کاملاً محکم هستند زیرا هیچ گونه انرژی خارجی وجود ندارد که قادر باشد این پیوندها را بشکند. ولی در دمای اتاق

شکل ۱ــ۱ــ یک سیم مسی هادی است و جریان برق را به راحتی از خود عبور می‌دهد و باعث روشن‌شدن لامپ می‌گردد.



شکل ۲ــ۱ــ سیم پلاستیکی (مانند طناب) عایق است و جریان برق را از خود عبور نمی‌دهد و در نتیجه لامپ روشن نمی‌شود.

شکل ۳ــ۱ــ ساختمان اتمی نیمه هادی‌های سیلیکون و ژرمانیوم



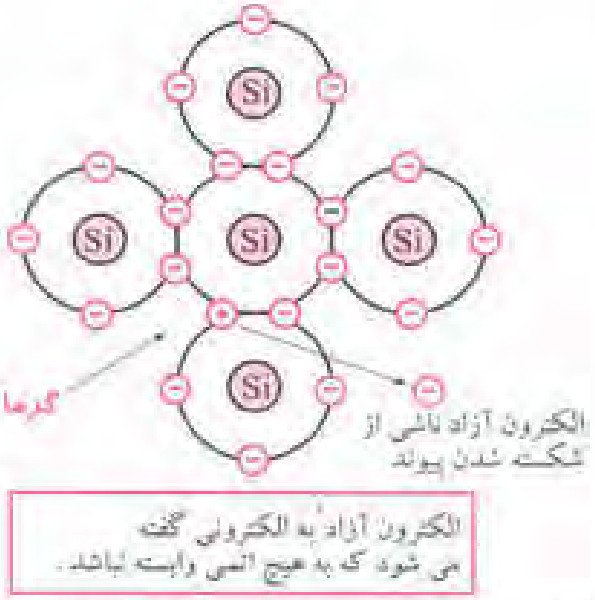
شکل ۴ــ۱ــ پیوند اشتراکی اتم‌های سیلیکون

۱ــ Diode

۲ــ Semiconductor

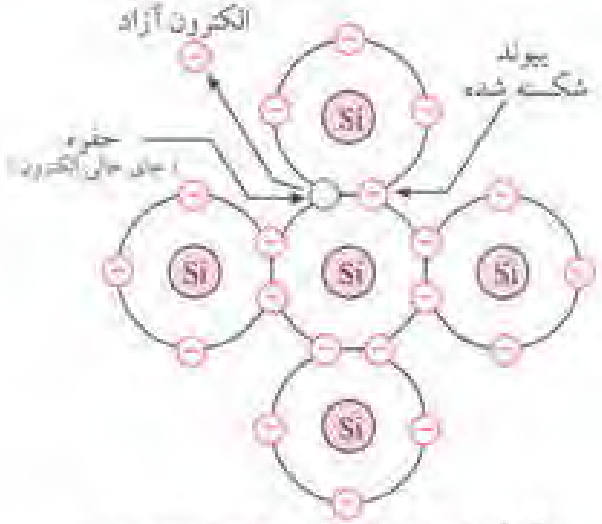
(۲۷درجه سلسیوس یا ۳۰۰ درجه کلوین) تعدادی از پیوندها می‌شکنند. به ازای شکست هر پیوند یک الکترون آزاد می‌شود.

شکل (۵ـ۱) یک پیوند شکسته شده را نشان می‌دهد که یک الکترون آزاد را بوجود آورده است.



شکل ۵ـ۱ـ در اثر شکسته‌شدن یک پیوند، یک الکترون آزاد بوجود آمده است.

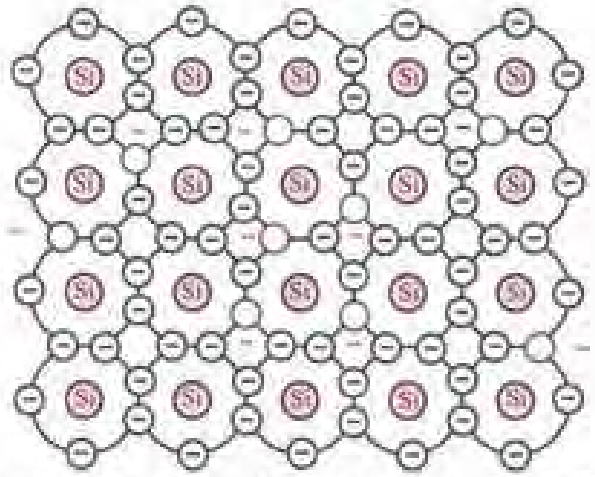
وقتی یک پیوند شکسته می‌شود، یک الکترون آزاد می‌شود. جای خالی الکترون را حفره[۱] می‌گویند شکل (۶ـ۱).



شکل ۶ـ۱ـ جای خالی الکترون حفره نامیده می‌شود.

هرقدر انرژی خارجی بیشتری مانند حرارت به اتم داده شود، پیوندهای بیشتری شکسته می‌شوند و الکترون‌های زیادتری را آزاد می‌کنند.

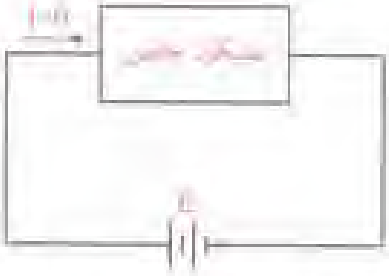
عبور جریان برق از یک جسم به تعداد الکترون‌های آزاد آن جسم بستگی دارد. بنابراین ژرمانیوم یا سیلیکون خالص در



شکل ۷ـ۱ـ در اثر اعمال حرارت به قطعه سیلیکون، پیوندهای بیشتری می‌شکنند.

۱ـ Free Electron ۲ـ Hole

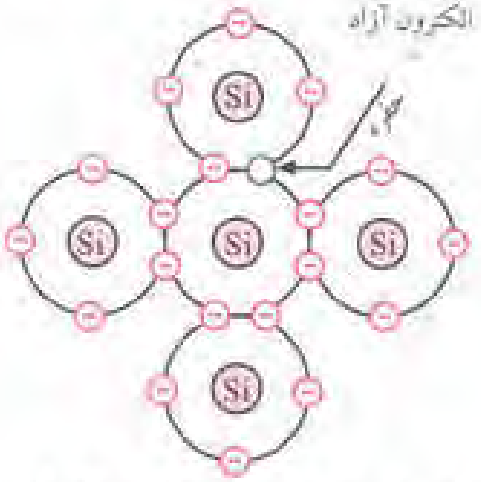
صفر درجه کلوین که هیچ الکترون آزادی ندارند، عایق محسوب می‌شوند. ولی در دمای اتاق (۳۰۰ درجه کلوین) که تعدادی از پیوندهای آن می‌شکنند و در اثر شکستن پیوندها تعدادی الکترون آزاد به وجود می‌آیند، کمی هادی می‌شوند. بنابراین سیلیکون یا ژرمانیوم خالص در دمای اتاق عایق مطلق نیستند و اگر در یک مدار الکتریکی با منبع تغذیه E قرار بگیرند جریان کمی از خود عبور می‌دهند.



شکل ۸ـ۱ـ یک قطعه سیلیکون خالص در دمای صفر درجه کلوین هیچ الکترون آزادی ندارد و جریان برق را هدایت نمی‌کند.

لازم به یادآوری است که حفره (جای خالی الکترون) را می‌توان به عنوان یک بار مثبت در نظر گرفت زیرا قادر است الکترون را جذب کند در عمل وقتی تعدادی پیوند می‌شکنند الکترون‌های آزاد دائماً با حفره‌ها ترکیب می‌شوند.

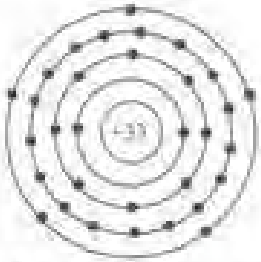
پس اندازه‌ی هدایت الکتریکی یک قطعه نیمه‌هادی خالص متناسب با درجه حرارت تغییر می‌کند.



شکل ۹ـ۱ـ حفره را می‌توان به منزله‌ی یک بار الکتریکی مثبت فرض کرد زیرا الکترون را به سمت خود جذب می‌کند.

۲ـ۱ـ۱ـ نیمه هادی‌های نوع N و P

۱ـ۲ـ۱ـ۱ـ نیمه هادی نوع N: اگر به یک قطعه نیمه‌هادی خالص سیلیکون، یک اتم پنج ظرفیتی مانند آرسنیک به عنوان ناخالصی اضافه کنیم، چهار الکترون مدار خارجی اتم آرسنیک با چهار الکترون مجاور اتم‌های سیلیکون پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند و الکترون پنجم آرسنیک به هیچ یک از اتم‌ها وابسته نیست. در حقیقت اتم پنجم به عنوان الکترون آزاد محسوب می‌شود. شکل (۱۱ـ۱) اتم آرسنیک را در بین اتم‌های سیلیکون نشان می‌دهد. این قطعه سیلیکون ناخالص دارای یک الکترون اضافه است چون بار الکتریکی الکترون منفی است پس این قطعه سیلیکون ناخالص دارای بار الکتریکی منفی است. به نیمه‌هادی‌هایی که ناخالصی پنج ظرفیتی به آن اضافه شده باشد، **نیمه‌هادی نوع N** (Negative ـ منفی) می‌گویند.



شکل ۱۰ـ۱ـ ساختمان اتمی آرسنیک (آرسنیک در مدار خارجی خود پنج اتم دارد)

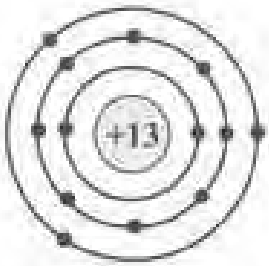
شکل ۱۱ـ۱ـ سیلیکون ناخالص شده

از طرف دیگر چون اتم آرسنیک یک الکترون از دست داده است لذا دارای بار الکتریکی مثبت است، بنابراین یک قطعه نیمه‌هادی نوع N را می‌توان به صورت شکل (۱۲ـ۱) نشان داد.

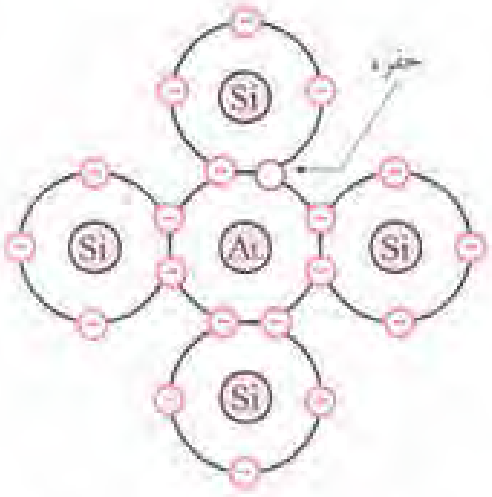
لازم به یادآوری است که میزان ناخالصی نوع N، تقریباً یک اتم آرسنیک در مقابل 10^8 اتم سیلیکون است.

شکل ۱۲ـ۱ـ نیمه‌هادی نوع N

۲ـ۲ـ۱ـ۱ـ نیمه‌هادی نوع P: اگر به یک قطعه نیمه هادی خالص سیلیکون یا ژرمانیوم، یک اتم سه ظرفیتی مانند آلومینیوم به عنوان ناخالصی اضافه کنیم، سه الکترون مدار خارجی اتم آلومینیوم با سه الکترون مجاور اتم‌های سیلیکون پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند. در محل پیوند چهارم بین اتم‌های آلومینیوم و سیلیکون یک حفره (جای خالی الکترون) به‌وجود می‌آید. شکل (۱۲ـ۱) اتم آلومینیوم را در بین اتم‌های سیلیکون نشان می‌دهد.



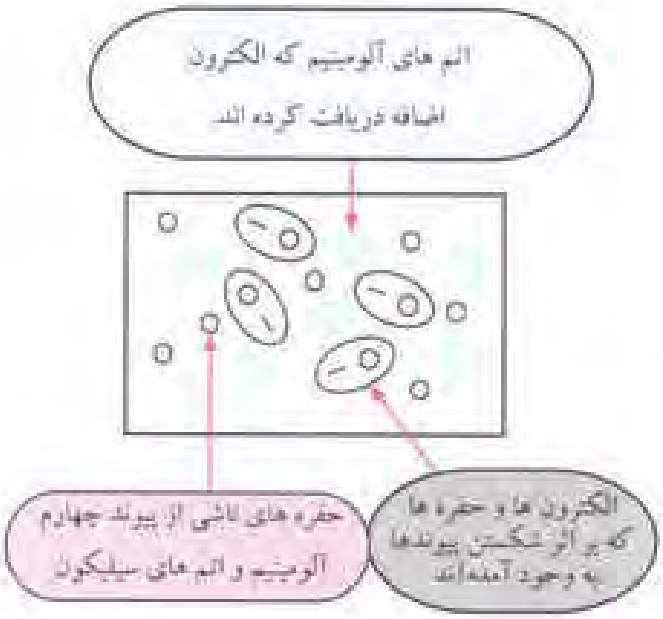
شکل ۱۳ـ۱ـ ساختمان اتمی آلومینیوم



شکل ۱۴ـ۱ ـ سه الکترون مربوط به آلومینیوم با سه اتم سیلیکون پیوند اشتراکی تشکیل داده‌اند و یک حفره در محل پیوند چهارم به‌وجود آمده است.

چون این قطعه سیلیکون ناخالص شده، یک الکترون کم دارد پس بارالکتریکی آن مثبت است. به نیمه هادی‌هایی که ناخالصی سه ظرفیتی شده باشند، نیمه‌هادی نوع P (Positive ــ مثبت) می‌گویند.

چون در محل پیوند چهارم اتم آلومینیوم با اتم سیلیکون، یک حفره به‌وجود آمده است و الکترون‌های ناشی از شکسته‌شدن پیوندهای دیگر، این حفره را پر می‌کنند، لذا بارالکتریکی اتم آلومینیوم منفی می‌شود. یک قطعه نیمه‌هادی نوع P را می‌توان به صورت شکل (۱۵ــ۱) نشان داد.

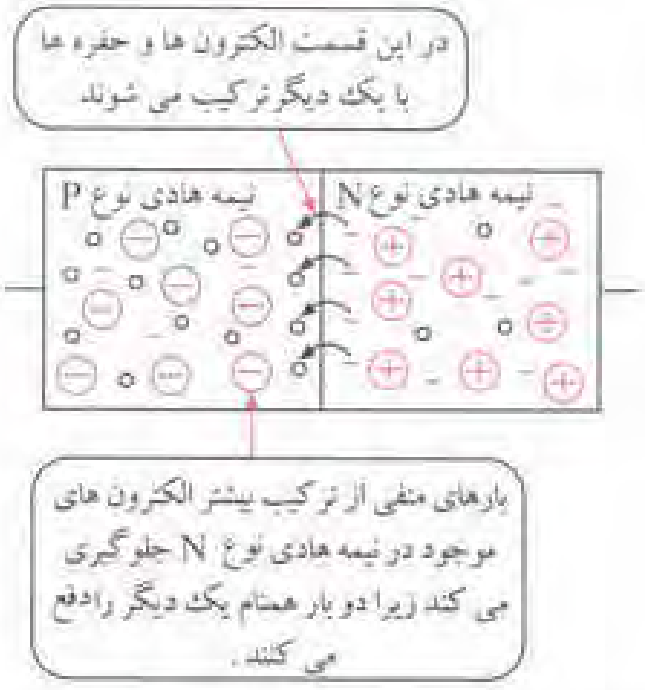


شکل ۱۵ــ۱ــ نیمه هادی نوع P

۳ــ۱ــ۱ــ اتصال PN[1] (دیود): اگر یک قطعه نیمه‌هادی نوع P و یک قطعه نیمه‌هادی نوع N را به یک‌دیگر بچسبانیم، یک اتصال PN (دیود) به وجود می‌آید. شکل (۱۶ــ۱) اتصال PN یا دیود را نشان می‌دهد.

شکل ۱۶ــ۱ــ اتصال PN یا دیود

نیمه‌هادی نوع N الکترون‌های اضافی و نیمه‌هادی نوع P حفره‌های اضافی دارد. هنگام اتصال دو نیمه‌هادی P و N به یک‌دیگر در مرز اتصال، الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N با حفره‌های موجود در نیمه‌هادی نوع P ترکیب می‌شوند و یک لایه بسیار نازک عاری از الکترون و حفره به وجود می‌آورند. به این لایه، لایه‌ی سد می‌گویند (شکل‌های ۱۷ــ۱ و ۱۸ــ۱).



شکل ۱۷ــ۱ــ ترکیب الکترون‌ها و حفره‌ها در مرز اتصال نیمه‌هادی N و P

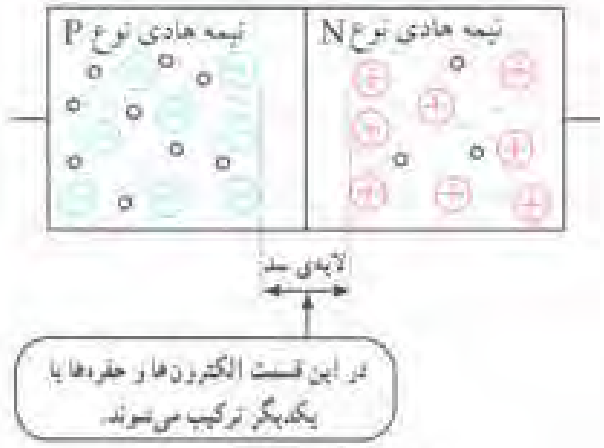
۱ــ PN (Inverse)

به خاطر بارهای مثبت و منفی به‌وجود آمده در اثر ناخالصی‌های عناصر پنج و سه ظرفیتی، در دو سمت لایه‌ی سد، یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) حدود ۰/۶ ولت ظاهر می‌شود.

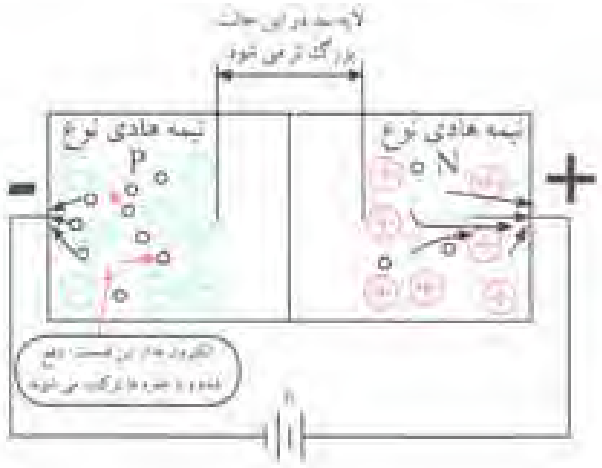
به اتصال PN دیود می‌گویند.

خواص اتصال PN: اگر نیمه‌هادی نوع N را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی نوع P را به قطب منفی باتری وصل کنیم، الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N به سمت قطب مثبت حرکت می‌کنند و حفره‌های موجود در نیمه‌هادی نوع P جذب قطب منفی می‌شوند.

باید توجه داشت که حفره‌ها حرکت نمی‌کنند زیرا جای خالی الکترون‌ها هستند و هنگامی که الکترون‌ها توسط قطب منفی رانده و با حفره‌ها ترکیب می‌شوند تشابه زیادی به حرکت حفره‌ها به سمت قطب منفی دارد.

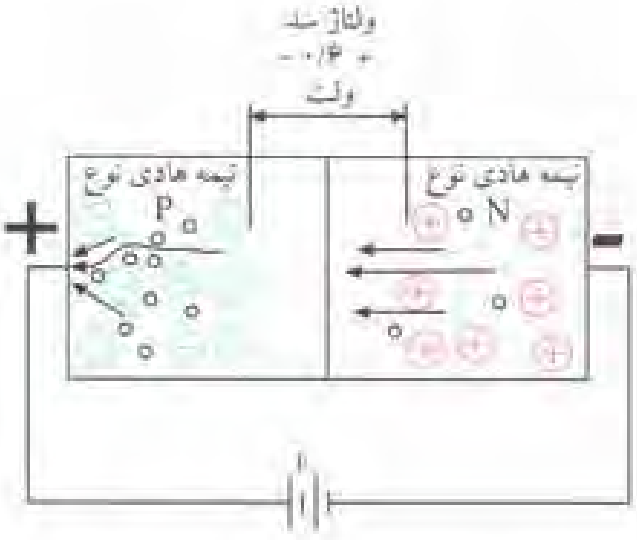


شکل ۱۸ـ۱ـ نمایش لایه‌ی سد



شکل ۱۹ـ۱ـ اتصال نیمه‌هادی نوع P به قطب منفی و نیمه هادی نوع N به قطب مثبت

بنابراین در این حالت در مدار یا در اتصال PN الکترون‌ها حرکت نمی‌کنند و در مدار جریان برقرار نمی‌شود.شکل(۱۹ـ۱). هرقدر ولتاژ منبع بزرگ‌تر باشد ضخامت لایه‌ی سد افزایش می‌یابد. حال اگر مانند شکل (۲۰ـ۱) نیمه‌هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه نوع N را به قطب منفی اتصال دهیم، چون دو بار هم نام یکدیگر را دفع و دو بار غیرهم نام یکدیگر را جذب می‌کنند، لذا قطب منفی منبع، الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی نوع N را دفع و قطب مثبت باتری الکترون‌ها را که دارای بار الکتریکی منفی هستند جذب می‌کند. اگر ولتاژ باتری بیشتر از ۰/۶ ولت باشد، این ولتاژ بر ولتاژ سد غلبه می‌کند و آن را می‌شکند. با شکستن لایه‌ی سد الکترون‌های رانده شده از قطب منفی باتری در درون نیمه‌هادی نوع N، از سد عبور کرده و جذب قطب مثبت باتری می‌شوند، بدین ترتیب جریان در مدار برقرار می‌شود.



شکل ۲۰ـ۱ـ اتصال نیمه‌هادی نوع P به قطب مثبت و نیمه هادی نوع N به قطب منفی

اتصال PN را دیود می‌نامند و با علامت قراردادی شکل (۲۱ـ۱) نشان می‌دهند. پایه اتصال داده شده به نیمه‌هادی نوع P را آند و پایه اتصال داده شده به نیمه‌هادی نوع N را کاتد نام‌گذاری می‌کنند. در شکل (۲۲ـ۱) نمونه‌هایی از دیود نشان داده شده است.

شکل ۲۱ـ۱ـ علامت قراردادی دیود

شکل ۲۲ـ۱ـ نمونه‌هایی از انواع دیودها

نکته‌ی مهم

یک دیود هنگامی هدایت می‌کند که دو شرط زیر برقرار باشند.

الف: ولتاژ آند تقریباً ۰/۶ ولت بیشتر از ولتاژ کاتد باشد.

ب: مقدار جریان در مدار به اندازه کافی باشد.

اتصال دیود یا هر قطعه الکترونیکی دیگر را به ولتاژ DC بایاس[1] می‌گویند.

در مورد دیود دو نوع بایاس موافق[2] و بایاس مخالف[3] داریم که در شکل (۲۳ـ۱) نشان داده شده است. بایاس موافق را مستقیم و بایاس مخالف را معکوس نیز می‌گویند.

دیود در بایاس موافق قرار گرفته است
لذا در مدار جریان برقرار است.

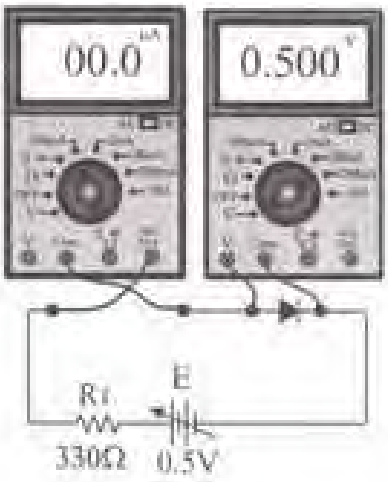
دیود در بایاس مخالف قرار گرفته است
لذا در مدار جریان برابر صفر است.

شکل ۲۳ـ۱ـ بایاسینگ دیود

۱ـ Bias ۲ـ Forward Bias ۳ـ Reverse Bias

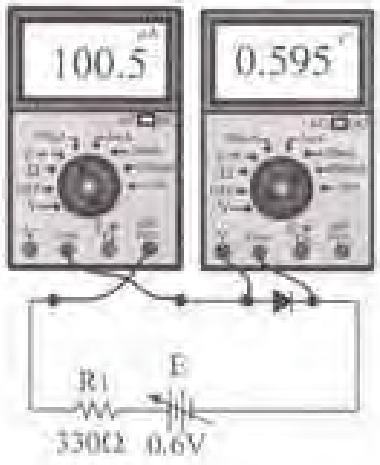
۲ـ۱ـ۱ـ منحنی مشخصه و مدار معادل دیود منحنی مشخصه دیود:

اگر یک دیود از جنس سیلیکون[1] را مانند شکل (۲۲ـ۱ـ الف) در بایاس مستقیم قراردهیم و ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر ولت تنظیم کنیم، جریانی از مدار عبور نمی‌کند و میلی‌آمپرمتر صفر را نشان می‌دهد.

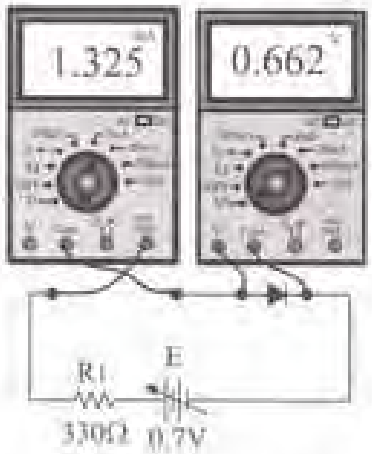


شکل ۲۲ـ۱ـ الف

حال اگر ولتاژ منبع تغذیه را به آرامی زیاد کنیم مادامی که ولت‌متر کمتر از ۰/۵ ولت را نشان می‌دهد، میلی‌آمپرمتر همچنان جریان صفر میلی‌آمپر را نشان خواهد داد، چنانچه ولتاژ را کمی از نیم ولت بیشتر کنیم، میلی‌آمپرمتر باز هم جریان خیلی کمی را نشان می‌دهد شکل (۲۲ـ۱ـ ب) اگر به افزایش ولتاژ ادامه دهیم مثلاً حدود ۰/۱ ولت به آن بیفزاییم، ناگهان میلی آمپرمتر جریان زیادی را نشان می‌دهد شکل (۲۲ـ۱ـ ج).



شکل ۲۲ـ۱ـ ب



شکل ۲۲ـ۱ـ ج ـ اگر ولتاژ E بیشتر از ۰/۵ ولت باشد جریانی در مدار عبور می‌کند.

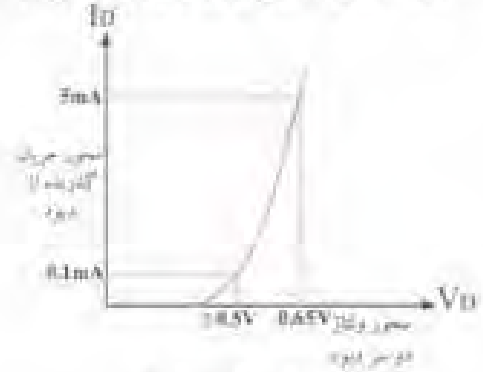
۱ـ امروزه تقریباً تمامی دیودهای موجود در بازار سیلیکونی هستند.

در صورتی که مراحل بالا را برای ولتاژهای مختلف تکرار کنیم و به ازای هر ولتاژ دو سر دیود، (مثلاً ۰/۱، ۰/۲ و ... ولت) جریان گذرنده از دیود را در جدول یادداشت کنیم (شکل ۲۵ـ۱ـ الف) می‌توانیم منحنی مشخصه دیود را در محورهای مختصات رسم کنیم، شکل (۲۵ـ۱ـ ب)، به منحنی شکل (۲۵ـ۱ـ ب) منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود می‌گویند این منحنی را معمولاً کارخانه سازنده دیود در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. از منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود می‌توانیم مقدار جریان عبوری از دیود را به ازای ولتاژهای مختلف به دست آوریم.

هم‌چنین می‌توانیم به ازای عبور مقدار مشخصی جریان از دیود، افت ولتاژ دو سر آن را مشخص کنیم.

$V_D(V)$	$I_D(mA)$

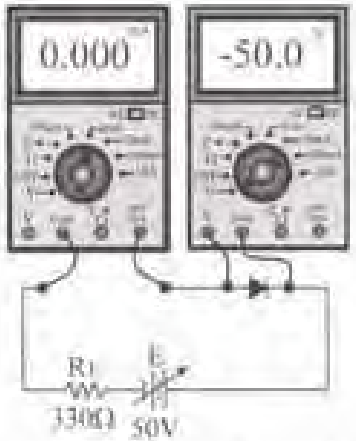
الف - جدول مقادیر جریان و ولتاژ دو سر دیود



ب - منحنی مشخصه دیود

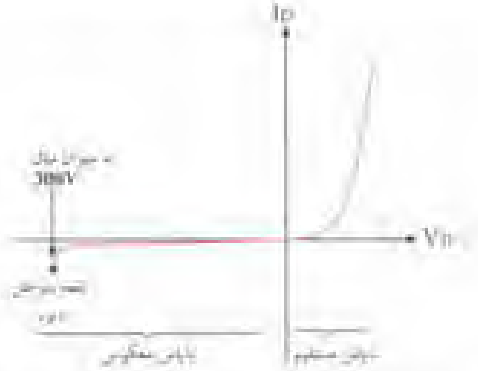
شکل ۲۵ـ۱

اگر مدار شکل (۲۶ـ۱) را ببندیم و ولتاژ منبع تغذیه را زیاد کنیم، حتی به ۵۰ ولت برسانیم، میلی‌آمپرمتر عبور هیچ جریانی را نشان نمی‌دهد[1]. حال اگر ولتاژ را خیلی‌زیاد کنیم دیود[2] ناگهان فاذی شده و می‌سوزد.



شکل ۲۶ـ۱ـ مدار به دست آوردن منحنی مشخصه دیود در بایاس معکوس

شکل (۲۷ـ۱) منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود هنگامی که دیود در بایاس مستقیم و در بایاس معکوس، قرار دارد نشان می‌دهد.



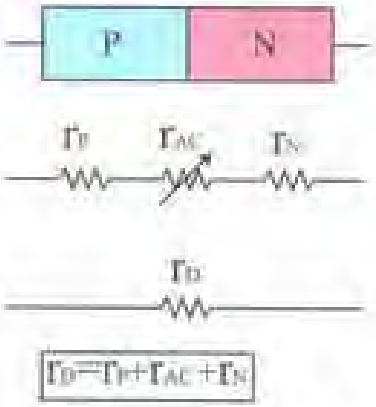
شکل ۲۷ـ۱ـ منحنی مشخصه دیود در بایاس موافق و مخالف

۱ـ در حالت معکوس جریان بسیار کمی در دیود عبور می‌کند که بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است.

۲ـ دیودهای معمولی در ولتاژ معکوس می‌سوزد ولی دیودهای مخصوصی وجود دارند که فقط در مقابل ولتاژ معکوس می‌شکنند، به این دیودها دیود زنر می‌گویند.

مدار معادل دیود: برای یک دیود معمولی می‌توان یک مدار معادل رسم کرد.

با توجه به شکل (۲۸ـ۱)، نیمه‌هادی نوع P دارای مقاومت اهمی r_P، نیمه‌هادی نوع N دارای مقاومت اهمی r_N، لایه‌ی سد نیز دارای یک مقاومت اهمی است که آن را با r_{AC} نشان می‌دهند. مجموعه این مقاومت‌ها را r_D می‌نامند.



شکل ۲۸ـ۱ـ مقاومت معادل دیود

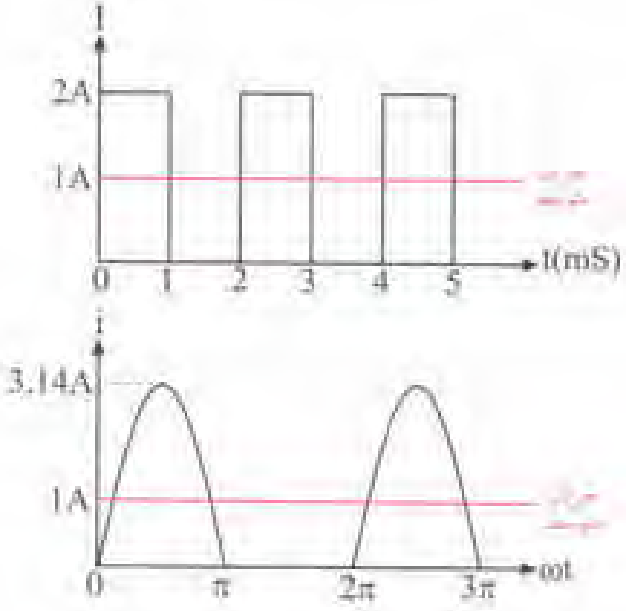
در دیود علاوه بر مقاومت‌ها، ولتاژ لایه‌ی سد نیز وجود دارد. از طرفی چون دیود فقط در یک جهت جریان را از خود عبور می‌دهد لذا می‌توان مدار معادل شکل (۲۹ـ۱) را در مورد دیود به کار برد.

ولتاژ سد برای دیود ژرمانیوم تقریباً ۰/۲ ولت است
ولتاژ سد برای دیود سیلیکون تقریباً ۰/۶ ولت است

شکل ۲۹ـ۱ـ مدار معادل دیود

۵ـ۱ـ۱ـ مشخصات دیودها: هر دیود تعداد زیادی مشخصه الکتریکی دارد. معمولاً در کاربردهای عمومی تعدادی از این مشخصه‌ها استفاده نمی‌شود. در ادامه به بررسی چند مشخصه مهم و پرکاربرد دیود می‌پردازیم.

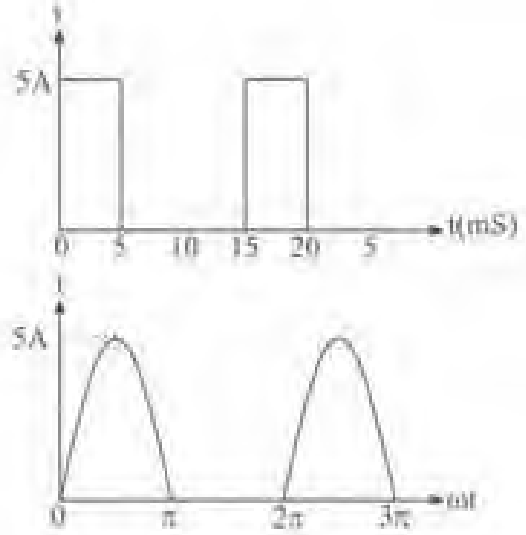
الف ـ مشخصه‌های جریان: مشخصه‌های جریان، مقادیری از انواع جریان‌ها هستند که در پایاس موافق دیود مطرح می‌شوند. کارخانه‌ی سازنده حداکثر مقدار مجاز آن‌ها را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد. اگر مقداری که به دیود اعمال می‌شود بیشتر از مقادیر اعلام شده توسط کارخانه‌ی سازنده باشد، احتمال آسیب‌دیدن دیود زیاد است. مهم‌ترین مشخصه‌های جریان به شرح زیر است.



شکل ۳۰ـ۱ـ نمایش جریان متوسط دیود (I_d)

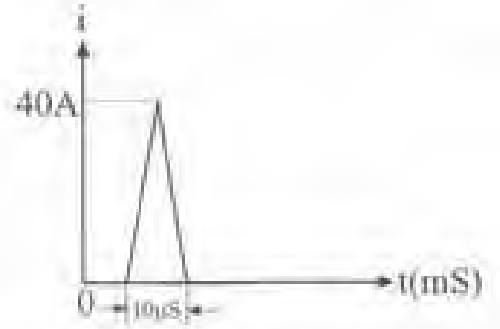
جریان متوسط (I_d): جریان متوسط همان جریان DC است که آمپرمتر DC آن را نشان می‌دهد. به عنوان مثال در شکل (۳۰ـ۱) جریان متوسط برابر یک آمپر است.

جریان ماکزیمم (I_M): حداکثر جریانی است که دیود می‌تواند در فواصل ۱۰ms تحمل کند. در حقیقت I_M ماکزیمم جریان تکراری است در شکل (۳۱ـ۱) ماکزیمم جریان برابر 5A است.



شکل ۳۱ـ۱ـ نمایش جریان ماکزیمم دیود (I_M)

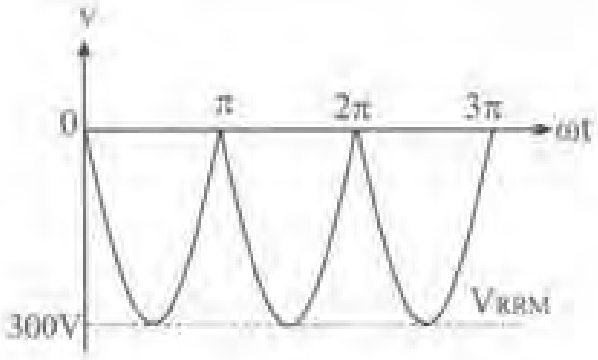
ماکزیمم جریان لحظه‌ای غیرتکراری I_{FSM}[1]: این جریان تکراری نیست و در فاصله مدت زمان معین فقط دیود می‌تواند برای یک‌بار تحمل کند. چنانچه این جریان چند بار پشت سرهم به دیود اعمال شود، دیود می‌سوزد شکل (۳۲ـ۱).



شکل ۳۲ـ۱ـ نمایش ماکزیمم جریان لحظه‌ای غیرتکراری I_{FSM}

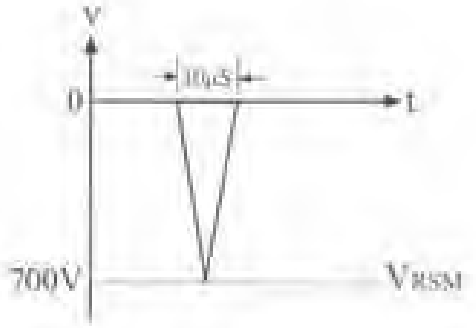
ب ـ مشخصه‌های ولتاژ: مشخصه‌های ولتاژ مقادیری از انواع ولتاژها هستند که در بایاس مخالف (معکوس) دیود مطرح می‌شوند. کارخانه‌های سازنده، حداکثر مقدار مجاز این ولتاژها را در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهند. اگر مقادیری که عملاً به دیود اعمال می‌شود بیشتر از مقادیر اعلام شده توسط کارخانه‌ی سازنده باشد احتمال آسیب دیدن دیود زیاد است. مهم‌ترین مشخصه‌های ولتاژ به شرح زیر است.

ماکزیمم ولتاژ معکوس تکراری (V_{RRM}): حداکثر ولتاژی است که دیود می‌تواند به صورت تکراری مانند شکل (۳۳ـ۱) در بایاس معکوس تحمل نماید.



شکل ۳۳ـ۱ـ نمایش ماکزیمم ولتاژ معکوس تکراری دیود (V_{RRM})

۱ـ IFSM= Forward Surge Current جریان ضربه‌ای مستقیم



شکل ۳۴ـ۱ـ تمایش ولتاژ ماکزیمم معکوس غیر تکراری (V_{RSM} [1])

ماکزیمم ولتاژ معکوس غیر تکراری (V_{RSM} [1]): حداکثر ولتاژی است که دیود می‌تواند به صورت غیرتکراری در بایاس معکوس تحمل کند. در صورت تکرار این ولتاژ در فواصل زمانی کم، دیود می‌سوزد شکل (۳۴ـ۱).

۶ـ۱ـ۱ـ نام‌گذاری دیودها: برای نام‌گذاری دیودها سه روش مهم وجود دارد. ممکن است بعضی از کارخانه‌ها از این سه روش تبعیت نکنند و نام‌گذاری مخصوص خود را داشته باشند. این سه روش عمومی عبارتند از:

الف: روش ژاپنی

ب: روش اروپایی

ج: روش امریکایی

الف ـ روش ژاپنی: در این روش از پیش‌وند 1S و تعدادی شماره، که به‌دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود شکل (۳۵ـ۱). در این شیوه نام‌گذاری نوع دیود، جنس دیود و سایر مشخصات آن را نمی‌توان از شماره دیود به دست آورد. برای این منظور با مراجعه به کاتالوگ‌های مربوطه امکان دسترسی به مشخصات دیود وجود دارد.

شکل ۳۵ـ۱ـ یک نمونه دیود که به شیوه ژاپنی نام‌گذاری شده است.

ب ـ روش اروپایی: در روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰ تمامی دیودها را با پیش‌وند OA و تعدادی شماره مشخص می‌کردند مانند OA۳۴ شکل (۳۶ـ۱). از سال ۱۹۶۰ به بعد روش نام‌گذاری در اروپا تغییر کرد، به این ترتیب که دیودهایی را که بیشتر در مدارهای رادیو و تلویزیون به کار می‌روند با دو حرف و سه شماره، دیودهای خاصی را با سه حرف و دو شماره نام‌گذاری کردند. سیستم دو حرفی و سه شماره‌ای که امروزه نیز استفاده می‌شود به شرح زیر است.

شکل ۳۶ـ۱ـ نحوه نام‌گذاری دیودها به روش اروپایی قبل از سال ۱۹۶۰

حرف اول: جنس نیمه‌هادی به کار رفته در دیود را مشخص می‌کند. اگر حرف اول A باشد جنس دیود ژرمانیوم و اگر B باشد سیلیکون است.

حرف دوم: یکی از حروف زیر است که نوع دیود را مشخص می‌کند.

شکل ۳۷ـ۱ـ نحوه نام‌گذاری دیودها به روش جدید. جنس دیود سیلیکون و نوع آن یکسوکننده قدرت است.

۱ ـ V_{RSM} = Voltage Reverse Surge Maximum ماکزیمم ولتاژ معکوس ضربه‌ای

A : دیود معمولی یکسو کننده

B : دیود واراکتور

Y : دیود یکسو کننده قدرت

Z : دیود زنر

بعد از دو حرف، سه شماره می‌آید که با مراجعه به جدول می‌توان سایر مشخصات الکتریکی دیود را از روی کاتالوگ کارخانه‌ی سازنده به‌دست آورد. شکل‌های (۳۷ـ۱) و (۳۸ـ۱) و (۳۹ـ۱).

شکل ۳۸ـ۱ـ دیود واراکتور از جنس زرمانیوم

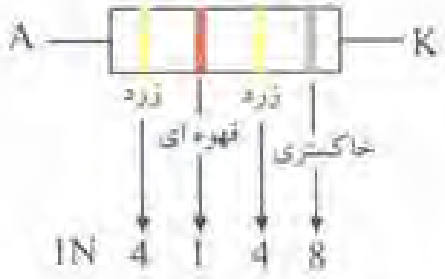
شکل ۳۹ـ۱ـ دیود زنر از جنس سیلیکون ۳/۹ ولتی

ج ـ روش امریکایی: در این روش از پیش‌وند 1N استفاده می‌شود و به دنبال آن معمولاً یک شماره چهار رقمی می‌آید. با مراجعه به جدول مشخصات دیودها می‌توان از روی شماره‌ی چهار رقمی به نوع دیود و مشخصات آن پی برد شکل (۴۰ـ۱).

شکل ۴۰ـ۱ـ نحوه نام‌گذاری دیودها به روش امریکایی

در بعضی از دیودها، به جای شماره چهار رقمی، از چهار حلقه رنگی استفاده می‌شود. در این صورت دیگر پیشوند 1N را روی دیودها نمی‌نویسند. ارقام رنگی به شرح جدول شکل ۴۱ـ۱ و مشابه کد رنگی مقاومت‌ها است.

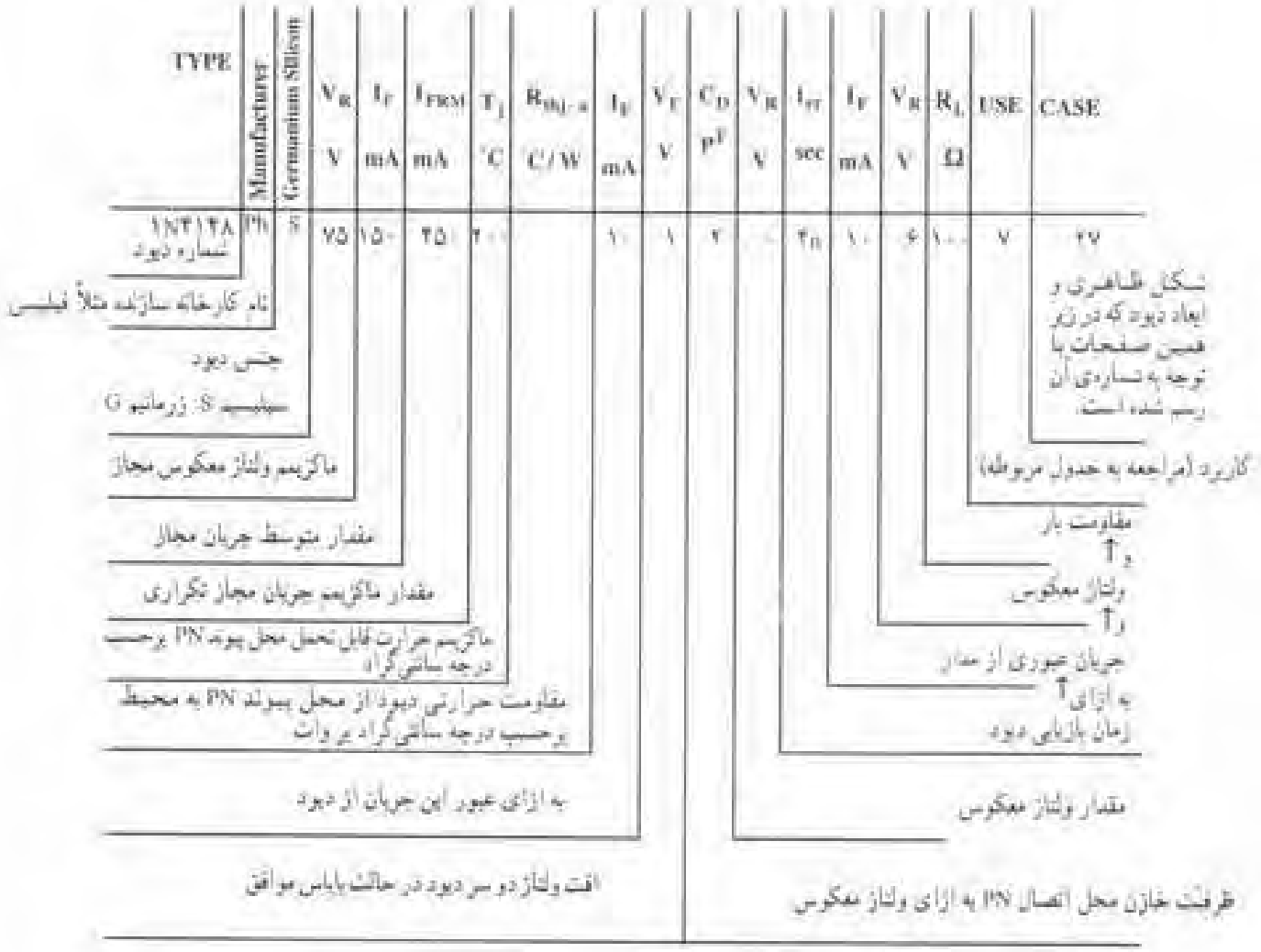
رنگ	شماره	رنگ	شماره
مشکی	۰	آبی	۶
قهوه‌ای	۱	بنفش	۷
قرمز	۲	خاکستری	۸
نارنجی	۳	سفید	۹
زرد	۴		
سبز	۵		



شکل ۴۱ـ۱ـ نحوه شماره‌گذاری دیودها با استفاده از حلقه‌های رنگی

۷ـ۱ـ۱ـ نحوه استخراج مشخصات دیودها از کتاب‌های مرجع: کتاب‌های مختلفی در زمینه ارائه مشخصات دیودها چاپ شده است. این کتاب‌ها در بازار به فراوانی یافت می‌شوند. با توجه به شماره دیود و مراجعه به کتاب می‌توان اطلاعات مربوط به دیود را به دست آورد. در جدول ۱ـ۱ یک نمونه از این جدول مشخصات دیودها آمده است.

جدول ۱ ـ ۱


TYPE
Manufacturer
Germanium Silicon
V_R V
I_F mA
I_{FRM} mA
T_j °C
$R_{th(j-a)}$ °C/W
I_R mA
V_F V
C_D pF
V_R V
t_{rr} sec
I_F mA
V_R V
R_L Ω
USE
CASE
۱N۴۱۴۸
شماره دیود
نام کارخانه سازنده مثلاً فیلیپس
جنس دیود
سیلیسیم S: ژرمانیم G
ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز
مقدار متوسط جریان مجاز
مقدار ماکزیمم جریان مجاز تکراری
ماکزیمم حرارت قابل تحمل محل پیوند PN برحسب درجه سانتی گراد
مقاومت حرارتی دیود از محل پیوند PN به محیط برحسب درجه سانتی گراد بر وات
به ازای عبور این جریان از دیود
افت ولتاژ دو سر دیود در حالت بایاس موافق
ظرفیت خازن محل اتصال PN به ازای ولتاژ معکوس
مقدار ولتاژ معکوس
زمان بازیابی دیود
به ازای I_F
جریان عبوری از مدار
به ازای V_R
ولتاژ معکوس
مقاومت بار
کاربرد (مراجعه به جدول مربوطه)
شکل ظاهری و ابعاد دیود که در زیر همین صفحات با توجه به شماره‌ی آن رسم شده است.
۲۷ ۷ ۱۰۰ ۶ ۱۰ ۴۰ ۲ ۱ ۱ ۷۵ ۱۵۰ ۲۵۰ ۲۰۰ ۱۰

۴ــ۱ــ آزمایش شماره (۱) : منحنی مشخصه دیود

هدف آزمایش: به دست‌آوردن منحنی مشخصه دیود به کمک ولت‌متر و آمپرمتر

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود یکسو کننده معمولی را به کمک ولت‌متر و آمپرمتر

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

به دست می‌آورید. برای این کار ولتاژ DC را در مراحل مختلف مطابق جدول (۳ــ۱) به مدار می‌دهید، سپس جریان عبوری از مدار را در هر مرحله توسط میلی‌آمپرمتر اندازه می‌گیرید و آن را در جدول (۳ــ۱) یادداشت می‌کنید. در نهایت با استفاده از مقادیر به‌دست آمده در جدول، منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود را رسم می‌کنید.

نکته مهم

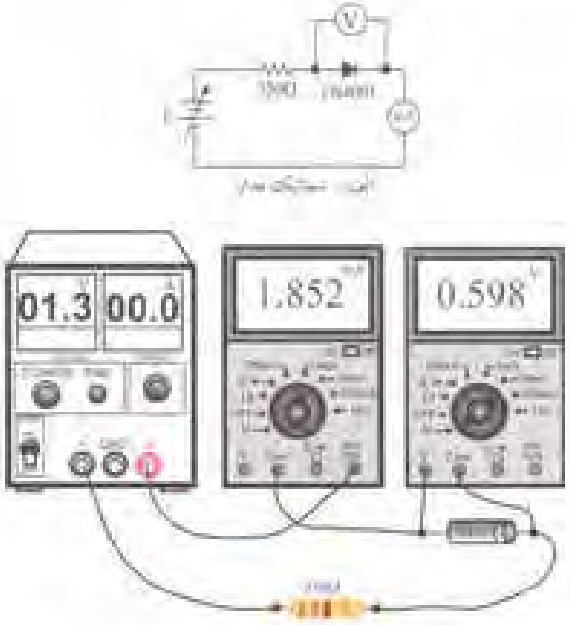
برای تغییر ولتاژها به مقدار کم در حد کسری از ولت از ولوم FINE روی منابع تغذیه استفاده کنید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ــ آوومتر دیجیتالی	دو دستگاه
۲ــ دیود 1N4001	یک عدد
۳ــ مقاومت 100Ω	یک عدد
۴ــ منبع تغذیه 0-15V	یک دستگاه
۵ــ سیم رابط یک سر گیره سوسماری	شش رشته
۶ــ سیم رابط دو سرگیره سوسماری	دو رشته

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را روی صفر ولت قرار دهید.
- رنج جریان آوومتری را که به عنوان میلی‌آمپرمتر در نظر می‌گیرید روی 2mA بگذارید.
- رنج ولتاژ آوومتری را که به عنوان ولت‌متر در نظر می‌گیرید، روی ۲ ولت قرار دهید.
- مدار شکل (۴۲ــ۱) را ببندید.



شکل ۴۲ــ۱ــ مدار مربوط به دست آوردن منحنی مشخصه دیود در بایاس موافق

■ هنگامی که ولت‌متر صفر ولت را نشان می‌دهد، جریان میلی‌آمپر را بخوانید و در جدول (۲ـ۱) در مقابل صفر ولت یادداشت کنید.

■ با ولوم FINE ولتاژ منبع تغذیه را زیاد کنید تا ولت‌متر ۰/۱ ولت را نشان دهد. در این حالت جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد بخوانید و در جدول (۲ـ۱) مقابل عدد ۰/۱ ولت یادداشت کنید.

■ ولتاژ را به صورت مرحله‌ای طبق جدول ۲ـ۱ به ترتیب زیاد کنید و در هر مرحله جریان عبوری از مدار را از روی میلی‌آمپرمتر بخوانید و در جدول (۲ـ۱) مقابل ولتاژ مربوطه یادداشت کنید.

جدول ۲ـ۱

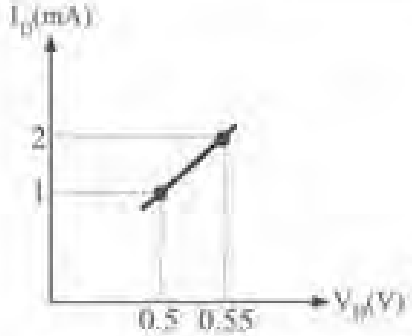
ولتاژ دو سر دیود V_D بر حسب ولت	جریان گذرنده از دیود I_D بر حسب mA
۰/۱	
۰/۱۵	
۰/۲	
۰/۲۵	
۰/۳	
۰/۳۵	
۰/۴	
۰/۴۵	
۰/۵	
۰/۵۲۵	
۰/۵۵۰	
۰/۵۷۵	
۰/۶	
۰/۶۲۵	
۰/۶۵	
۰/۶۷۵	
۰/۷	

با توجه به جدول (۲ـ۱)، هریک از نقاط مربوط به ولتاژ و جریان را به‌صورت مختصات یک نقطه در شکل (۴۴ـ۱) مشخص کنید. برای انجام این کار می‌توانید از مثال داده شده در زیر استفاده کنید. پس از مشخص کردن نقاط، آن‌ها را به یکدیگر وصل کنید تا منحنی مشخصه ولت آمپر دیود رسم شود.

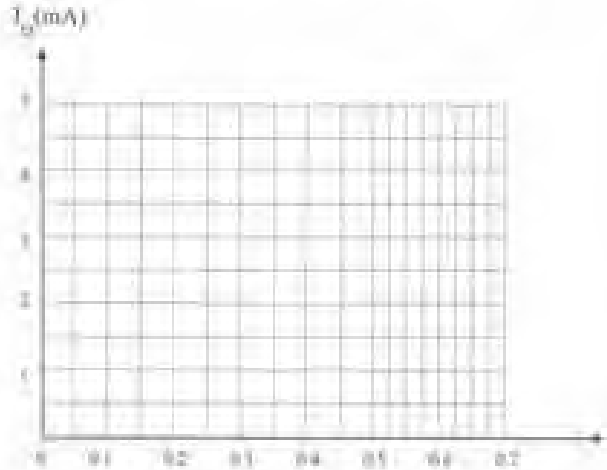
مثال: اگر قسمتی از جدول به صورت زیر باشد:

V_D	I_D
۰/۵	۱mA
۰/۵۵	۲mA

این مقادیر روی محورهای مختصات به‌صورت شکل (۴۳ـ۱) رسم می‌شود.



شکل ۴۳ـ۱ـ نحوه‌ی رسم منحنی مشخصه دیود در بایاس موافق



شکل ۴۴ـ۱

سؤال (۱)ـ در مدار شکل (۴۲ـ۱) نقش مقاومت ۳۳۰Ω چیست؟ توضیح دهید.

سؤال (۲)ـ یکی از کاربردهای متحنی رسم شده در شکل (۴۴ـ۱)، را توضیح دهید.

> درصورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱و۲ پاسخ دهید یا سست به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۲ـ۱ـ۱) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

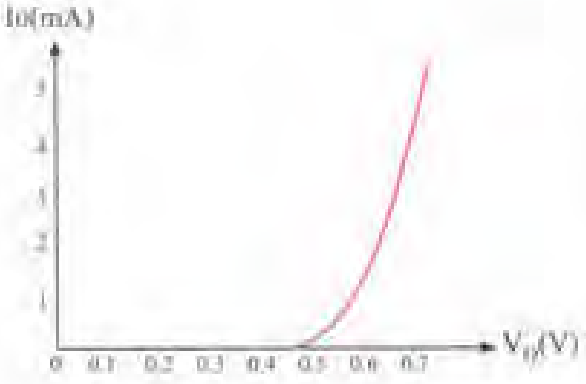
خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ با توجه به منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیود شکل (۴۵ـ۱)، چرا در ولتاژ ورودی کمتر از ۰/۵ ولت، جریان دیود تقریباً صفر است؟

۲ـ اگر ولتاژ دوسر دیود را مستقیماً به منبع تغذیه وصل کنیم و ولتاژ را زیاد کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟

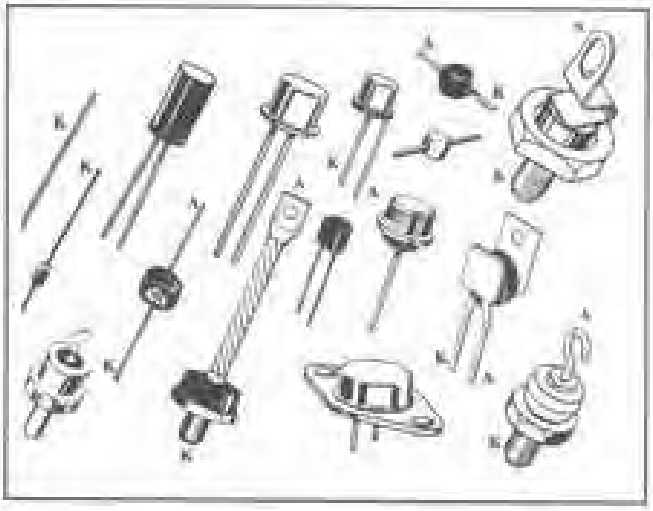


شکل ۴۵ـ۱ـ منحنی مشخصه دیود

۳ـ۱ـ انواع دیودها

به کمک تیمه‌هادی‌های نوع P و N می‌توان انواع دیودها را با کاربردهای ویژه ساخت. در ادامه بحث بعضی از این دیودها را به اختصار مورد بررسی قرار می‌دهیم. یادآور می‌شود که دیود زنر یکی از دیودهای پرکاربرد در الکترونیک است که به‌طور جداگانه و نسبتاً کامل مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱ـ۳ـ۱ـ دیود یکسوکننده معمولی: این دیود برای یکسوسازی یا یک‌طرفه کردن ولتاژهای متناوب (معمولاً سینوسی) به‌کار می‌رود. این دیودها برای جریان‌های متوسط (۱) حدود ۵۰ mA تا ۸ A ساخته می‌شوند. دیودهای یکسوکننده معمولی فقط می‌توانند در محدوده فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز کار کنند. برای یکسوسازی در فرکانس‌های بالا باید از دیودهای سریع استفاده کنیم. دیودهای سریع گران‌قیمت هستند و در بازار به سادگی یافت نمی‌شوند. در شکل (۴۶ـ۱) نمونه‌هایی از دیودهای یکسوکننده معمولی نشان داده شده‌اند.



شکل ۴۶ـ۱ـ نمونه‌هایی از دیودهای معمولی یکسوکننده در اندازه‌های مختلف

۲ـ۳ـ۱ـ دیود اتصال نقطه‌ای: این دیود برای یکسوسازی ولتاژ متناوب در فرکانس‌های خیلی زیاد ساخته می‌شود. جنس این دیود ژرمانیوم است و برای آشکارسازی امواج دریافت شده در رادیو و تلویزیون به‌کار می‌رود. شکل ظاهری این دیود با سایر دیودها فرق چندانی ندارد ولی سابقاً بدنه‌ی آن‌ها را شیشه‌ای می‌ساختند. این دیودها جریان بسیار کمی را می‌توانند تحمل کنند شکل (۴۷ـ۱).

شکل ۴۷ـ۱ـ یک نمونه دیود اتصال نقطه‌ای

۳ـ۳ـ۱ـ دیود خازنی: وقتی یک اتصال PN (دیود) در بایاس معکوس قرار می‌گیرد یک لایه‌ی سد یعنی لایه‌ای که هیچ بار الکتریکی و یا الکترون در آن وجود ندارد، بین دو سطح تیمه‌های نوع P و N به‌وجود می‌آید شکل (۴۸ـ۱). هرقدر ولتاژ معکوس بیشتر باشد عرض لایه‌ی سد نیز بیشتر می‌شود شکل (۴۹ـ۱). بنابراین با تغییرات ولتاژ معکوس دوسر خازن عرض لایه‌ی سد نیز تغییر می‌کند. این حالت را می‌توان به عنوان یک خازن متغیر درنظر گرفت. دو تیمه هادی نوع P و N به‌عنوان دو جوشن خازن و لایه‌ی سد به‌عنوان دی‌الکتریک خازن عمل می‌کنند.

شکل ۴۸ـ۱ـ اتصال PN در بایاس معکوس

شکل ۴۹ـ۱ـ هرقدر ولتاژ معکوس دوسر دیود بیشتر باشد عرض لایه‌ی سد نیز بیشتر می‌شود.

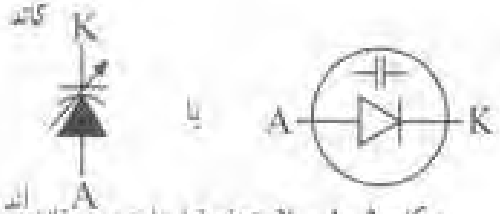
بنابراین دیود خازنی با واراکتور[1] و یا واری‌کپ[2] یک اتصال PN است که در حالت معکوس به کار می‌رود. با تغییر ولتاژ معکوس دوسر این نوع دیود، ظرفیت خازنی آن تغییر می‌کند. ظرفیت دیودهای خازنی از محدوده‌ی پیکوفاراد (PF) است و آن را با نماد شکل (۵۰ـ۱) نمایش می‌دهند.

۴ـ۳ـ۱ـ دیود شاتکی[3]: دیودهای معمولی اتصال PN نمی‌توانند خیلی سریع قطع و وصل شوند. برای بالا بردن سرعت قطع و وصل در یک دیود، به‌عنوان مثال چند میلیارد بار در ثانیه، از دیودهای شاتکی استفاده می‌کنند. دیودهای شاتکی از نیمه‌هادی و فلز ساخته می‌شوند و به علت قابلیت هدایت الکتریکی زیاد فلز، زمان تأخیر این نوع دیودها بسیار کم است. علامت قراردادی این دیود در شکل (۵۱ـ۱) نشان داده شده است.

۵ـ۳ـ۱ـ دیود نوردهنده (LED[4]): LED ها، دیودهای مخصوصی هستند که اگر در بایاس موافق (مستقیم) قرار گیرند و جریان حدود ۲ تا ۲۰ میلی‌آمپر از آن‌ها عبور کند، از خود نور ساطع می‌کنند. در شکل (۵۲ـ۱) دو نمونه دیود LED (کوچک و بزرگ) نشان داده شده است. ساختمان داخلی یک LED، از یک اتصال PN و یک لعکاس دهنده نور تشکیل شده است. در شکل (۵۳ـ۱) ساختمان داخلی یک LED را مشاهده می‌کنید.

نور ساطع شده از LED ها، به رنگ‌های قرمز، زرد، سبز و آبی است. شکل فیزیکی قسمت نوردهنده این دیودها را به‌صورت نیم‌کروی، مربعی و مثلثی می‌سازند. از دیودهای LED به‌عنوان لامپ سیگنال در مدارها و دستگاه‌های الکترونیکی استفاده می‌شود. در شکل (۵۴ـ۱) نمونه‌هایی از انواع LED ها نشان داده شده‌اند.

دیود نوردهنده را با علامت قراردادی شکل (۵۵ـ۱) نشان می‌دهند.



شکل ۵۰ـ۱ـ علامت‌های قراردادی دیود خازنی

شکل ۵۱ـ۱ـ علامت قراردادی دیود شاتکی

شکل ۵۲ـ۱ـ یک نمونه LED

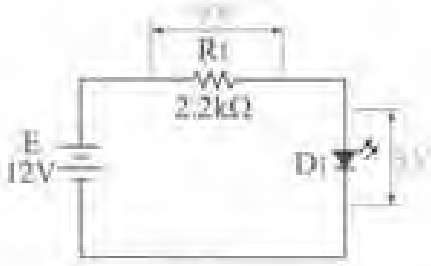
شکل ۵۳ـ۱ـ ساختمان داخلی یک LED

شکل ۵۴ـ۱ـ نمونه‌هایی از انواع LED

شکل ۵۵ـ۱ـ علامت قراردادی دیود نوردهنده

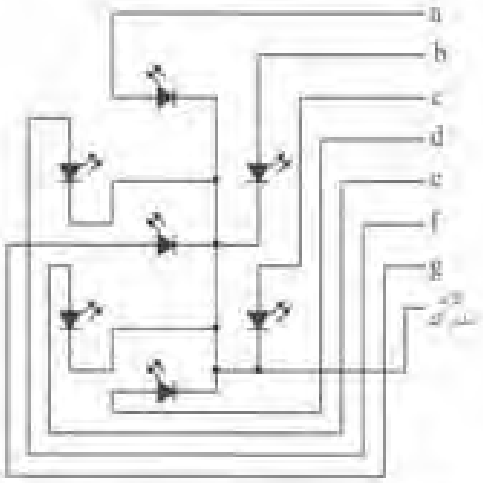
۱ـ Varactor ۲ـ Varicap ۳ـ Schottky
۴ـ LED = Light Emitting Diode

هنگام عبور جریان از LED ، ولتاژی معادل ۱/۷ تا ۲/۴ ولت دوسر LED افت می‌کند. مقدار دقیق افت ولتاژ بستگی به مقدار جریانی دارد که از دیود عبور می‌کند.



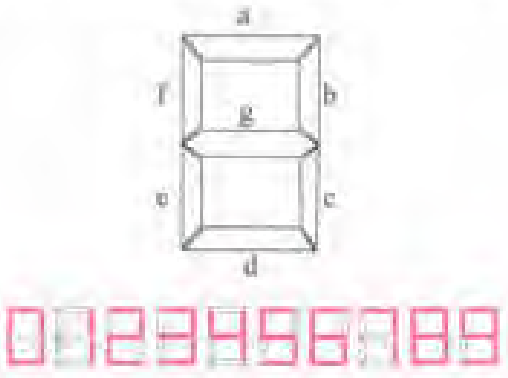
شکل ۵۶ـ۱ـ نمایش افت ولتاژ در دوسر LED

یکی دیگر از موارد کاربرد دیود نوردهنده، نمایش الفبای عددی شامل اعداد از صفر تا نه است. برای این‌منظور یک قطعه الکترونیکی متشکل از هفت عدد دیود نوردهنده، مطابق شکل (۵۷ـ۱) می‌سازند. با خاموش و روشن کردن قطعات مختلف به سادگی می‌توان اعداد صفر تا نه را روی نمایشگر به‌وجود آورد. به این قطعه الکترونیکی سون ـ سگمنت[1] می‌گویند.



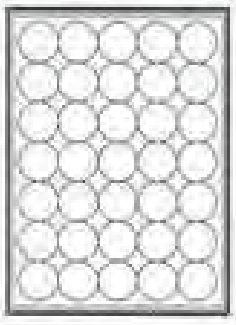
شکل ۵۷ـ۱ـ ساختمان داخلی سون ـ سگمنت (کاتد مشترک)

در شکل (۵۸ـ۱) شکل ظاهری قطعه سون ـ سگمنت نشان داده شده است. در شکل (۵۸ـ۱) اگر فقط دیودهای b و c روشن شوند عدد یک و اگر قطعات a، b، g، e و d روشن شوند عدد دو نمایش داده می‌شود. سون ـ سگمنت‌ها را به‌صورت آند مشترک و کاتد مشترک می‌سازند.



شکل ۵۸ـ۱ـ شکل ظاهری سون ـ سگمنت

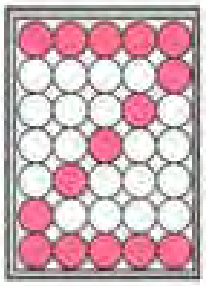
قطعه دیگری نیز شامل ۳۵ عدد دیود نوردهنده ساخته شده که به صفحه نمایش ماتریسی معروف است. با این نمایشگر ماتریسی می‌توان اعداد وحروف الفبا را نشان داد. در شکل (۵۹ـ۱) این



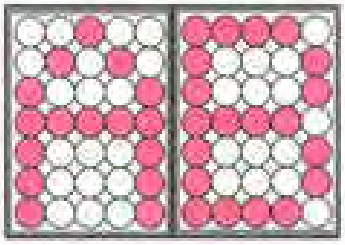
شکل ۵۹ـ۱

۱ ـ Seven segment

نمایشگر را مشاهده می‌کنید. در شکل (۶۰ـ۱) چگونگی نمایش Z نشان داده شده است. با قراردادن چند عدد صفحه نمایش ماتریسی کنار یک‌دیگر می توان متنی را نشان داد. در شکل (۶۱ـ۱) حروف AB به کمک صفحه نمایش ماتریسی نشان داده شده‌اند.

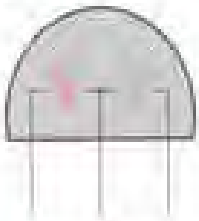


شکل ۶۰ـ۱ـ نمایش حرف Z



شکل ۶۱ـ۱ـ صفحه نمایش ماتریسی

به تازگی LED های دو رنگ نیز به بازار عرضه شده‌اند. این نوع LED ها، در حقیقت دو عدد LED مجزا معمولاً به رنگ سبز و قرمز است که مانند شکل (۶۲ـ۱) در داخل یک قطعه معمولی جاسازی شده‌اند. این نوع دیودها دارای سه پایه هستند که یکی از پایه‌ها مشترک بوده و دو پایه دیگر، هرکدام مربوط به یکی از دیودهاست.



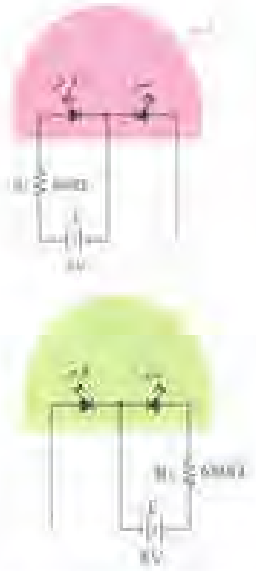
شکل ۶۲ـ۱ـ LED دو رنگ

در شکل (۶۳ـ۱) نحوه روشن شدن LED به رنگ قرمز و سبز را مشاهده می‌کنید.

اگر هردو دیود را همزمان روشن کنیم، ترکیب نور سبز و قرمز بوده، یعنی تقریباً نارنجی را خواهیم داشت.

تمرین: مداری رسم کنید که توسط آن بتوانید نور نارنجی تولید کند.

راهنمایی: از شکل ۶۳ـ۱ کمک بگیرید.

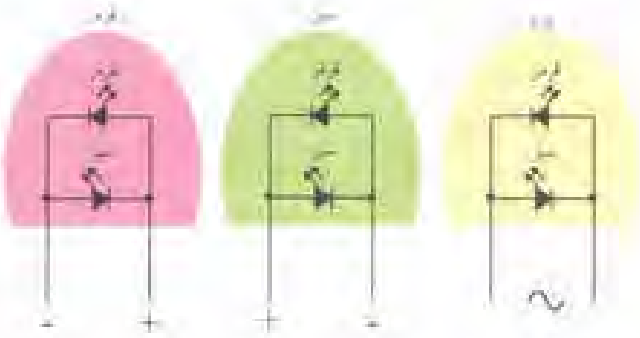


شکل ۶۳ـ۱ـ نحوه‌ی روشن شدن LED به رنگ قرمز و سبز

نوع دیگری از LED ها وجود دارند که دوپایه هستند و سه‌رنگ مختلف تولید می‌کنند. شکل (۶۴ـ۱) ساختمان داخلی این دیود را نشان می‌دهد.

شکل ۶۴ـ۱ـ ساختمان داخلی LED دو پایه سه رنگ

در شکل (۶۵ـ۱) نحوه تولید نور به رنگ‌های قرمز، سبز و نارنجی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۶۵ـ۱ـ نحوه روشن شدن LED به رنگ‌های قرمز، سبز و نارنجی

به تازگی دیودهای دیگری به نام Ultra Bright LED ساخته شده‌اند که میزان نوردهی آن‌ها فوق‌العاده زیاد و ده‌ها برابر یک LED معمولی است. این دیودها فعلاً به رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می‌شوند. در شکل (۶۶ـ۱) یک نمونه از این دیودها نشان داده شده‌اند.

شکل ۶۶ـ۱ـ یک نمونه LED با نور فوق‌العاده زیاد

از این دیودها اگر جریان ۲۰ mA بگذرد، نور بسیار زیادی از خود تولید می‌کنند. در جدول (۳ـ۱) افت ولتاژ دوسر دیودها به ازای عبور جریان ۲۰ mA آورده شده است.

جدول ۳ـ۱

رنگ نور منتشر شده	ولتاژ DC موافق V_F برحسب ولت	
	نامی	حداکثر
آبی	۳/۵	۴
سبز	۳/۵	۴
قرمز	۲	۲/۵
شرایط	$I_F = 20mA$	

۴ـ۱ـ یکسوکننده‌ها یا رکتی‌فایرها[1]

۱ـ۴ـ۱ـ یکسوکننده نیم‌موج: یک دیود هنگامی هدایت می‌کند که دوشرط زیر در آن برقرار باشد.

الف: ولتاژ آند تقریباً ۰/۷ ولت مثبت‌تر از ولتاژ کاتد باشد.

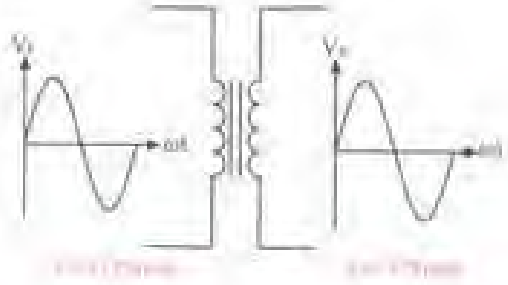
ب: جریان عبوری از مدار به اندازه کافی باشد.

در شکل (۶۷ـ۱) هر دو دیود هدایت می‌کنند زیرا در هردو دیود ولتاژ آند تقریباً ۰/۷ ولت مثبت‌تر از کاتد است.

شکل ۶۷ـ۱ـ اگر ولتاژ آند تقریباً ۰/۷ ولت مثبت‌تر از کاتد باشد دیود هدایت می‌کند.

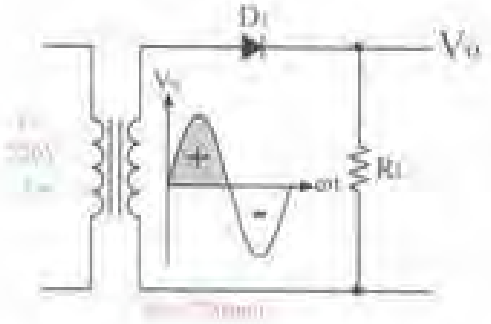
۱ـ Rectifiers

یک ترانسفورماتور قادر است ولتاژ موجود مثلاً ولتاژ برق شهر یعنی ۲۲۰ ولت را به ولتاژ مورد نیاز مثلاً ۱۲ ولت تبدیل کند. اگر به مدار اولیه ترانسفورماتور یک شکل موج سینوسی اعمال کنیم در مدار ثانویه آن نیز شکل سینوسی دریافت می‌کنیم شکل (۶۸ـ۱).



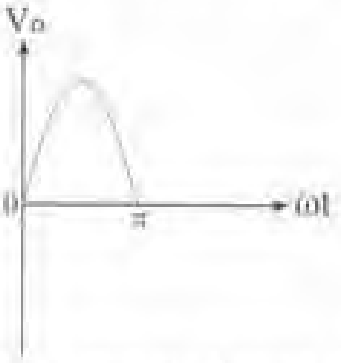
شکل ۶۸ـ۱ـ ترانسفورماتور

در مدار شکل (۶۹ـ۱)، در نیم سیکل مثبت برای دیود شرایط هدایت وجود دارد لذا در نیم‌سیکل مثبت دیود هدایت می‌کند. در هنگام هدایت دیود، افت ولتاژی معادل ۰/۷ ولت در دوسر آن به‌وجود می‌آید.



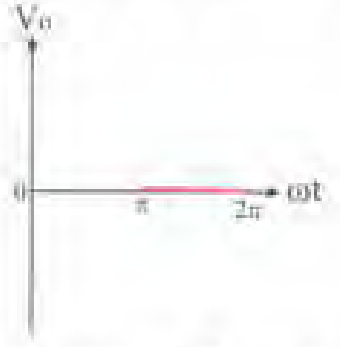
شکل ۶۹ـ۱ـ در نیم سیکل مثبت دیود هدایت می‌کند.

در تحلیل مدارهای ساده دیودی مانند یکسوسازها، اغلب از این ۰/۷ ولت صرف‌نظر می‌کنند و هنگام هدایت دیود آن را اتصال کوتاه و مشابه یک کلید بسته درنظر می‌گیرند. شکل (۷۰ـ۱)، شکل موج ولتاژ خروجی مدار یکسوساز را در شرایطی که دیودهادی می‌شود نشان می‌دهد.



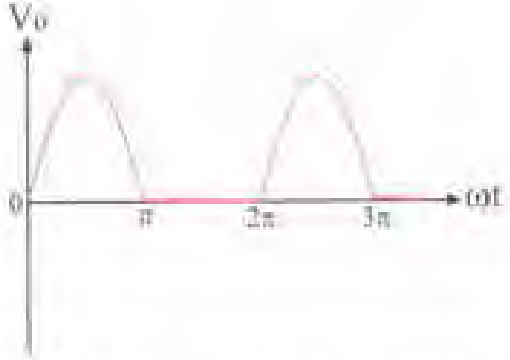
شکل ۷۰ـ۱ـ شکل ولتاژ خروجی در نیم سیکل مثبت

در نیم‌سیکل منفی، دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد، لذا هدایت نمی‌کند و جریان در مدار صفر است. بنابراین $V_o = R.i = R \times 0 = 0V$ می‌شود. در شکل (۷۱ـ۱) شکل موج



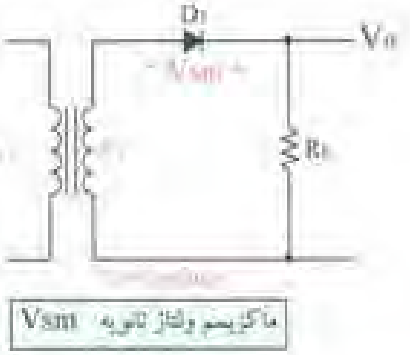
شکل ۷۱ـ۱ـ شکل ولتاژ خروجی در نیم سیکل منفی

ولتاژ خروجی یکسوساز در نیم‌سیکل منفی (از π تا ۲π) نشان داده شده است. شکل موج ولتاژ خروجی این مدار مانند شکل (۷۲ـ۱) می‌باشد.



شکل ۷۲ـ۱ـ شکل ولتاژ خروجی مدار شکل ۶۹ـ۱

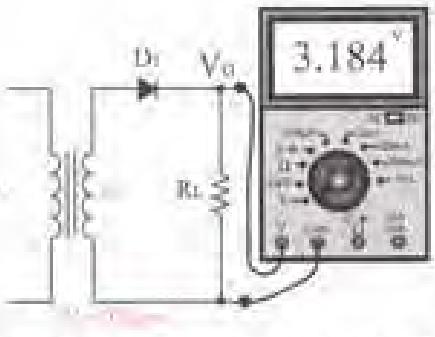
حداکثر ولتاژی که در بایاس مستقیم (۰٫۷) دوسر دیود افت می‌کند حدود یک ولت است و در بایاس معکوس میزان افت ولتاژ دوسر دیود برابر با ماکزیمم ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور می‌شود، لذا هنگام انتخاب دیود باید این نکته را مدنظر قرار دهیم شکل (۷۳ـ۱).



شکل ۷۳ـ۱ـ افت ولتاژ در جهت معکوس در دو سر دیود

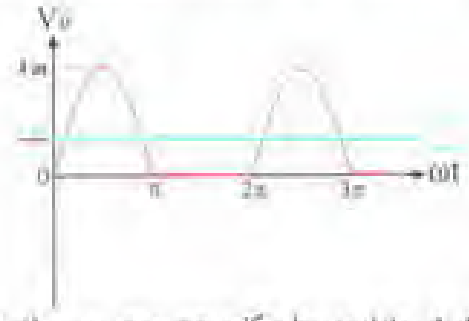
به مدار شکل (۶۹ـ۱)، یکسوکننده نیم‌موج می‌گویند.

اگر یک ولت‌متر DC را به خروجی مدار شکل (۶۹ـ۱) ببندیم، ولت‌متر DC ، مقدار متوسط ولتاژ را نشان می‌دهد شکل (۷۴ـ۱).



شکل ۷۴ـ۱ـ از افت ولتاژ دوسر دیود صرف‌نظر شده است.

مقدار متوسط یک موج سینوسی که به‌صورت نیم‌موج یکسو شده است برابر $V_{av} = V_{DC} = \frac{V_m}{\pi}$ است شکل (۷۵ـ۱).

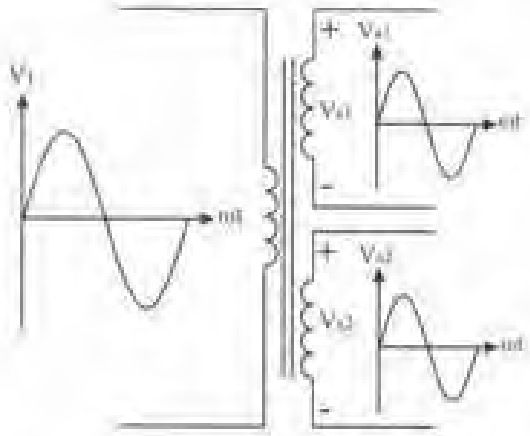


شکل ۷۵ـ۱ـ مقدار متوسط شکل موج نیم‌موج سینوسی از رابطه $\frac{V_m}{\pi}$ به‌دست می‌آید.

۲ـ۴ـ۱ـ یکسوکننده تمام موج

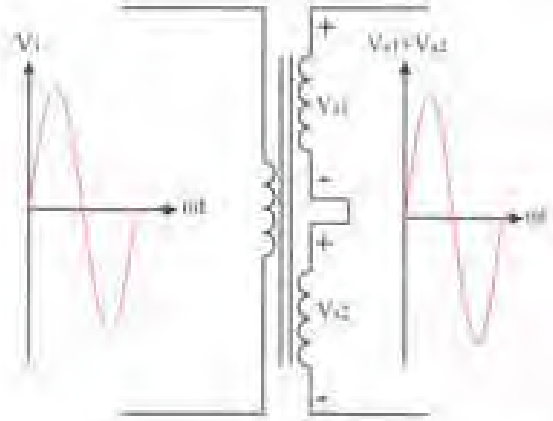
ـ یکسوکننده تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط: اگر یک ترانسفورماتور دارای دو سیم‌پیچ ثانویه باشد، در خروجی دو ولتاژ مجزا داریم. این دو ولتاژ می‌توانند با یک‌دیگر برابر یا نابرابر باشند این امر به تعداد دورهای سیم‌پیچ ثانویه بستگی دارد.

فرض کنید یک ترانسفورماتور دو سیم‌پیچ ثانویه مجزا با دورهای برابر دارد، در این‌صورت دو شکل موج سینوسی مجزا و با دامنه‌های برابر در خروجی‌های ترانسفورماتور وجود خواهد داشت. در شکل (۷۶ـ۱) این شکل موج‌ها نشان داده شده‌اند. علامت‌های «+» و «-» روی شکل مربوط به قطب ولتاژهای لحظه‌ای در نیم‌سیکل مثبت است. توجه داشته باشید در نیم‌سیکل منفی علامت‌ها عوض می‌شوند.



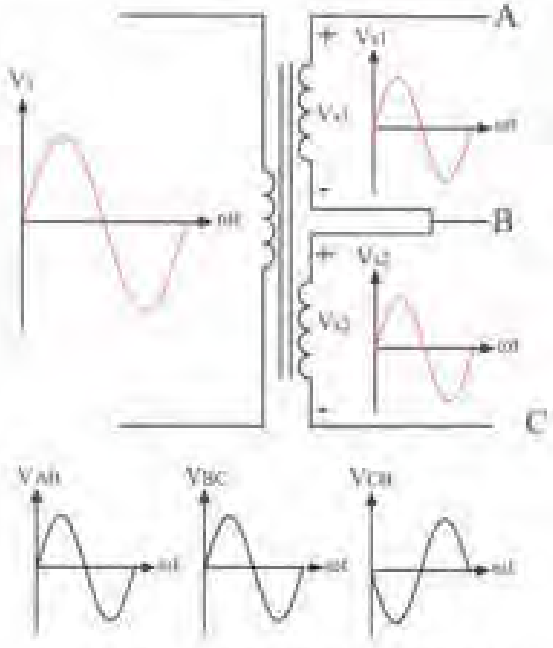
شکل ۷۶ـ۱ـ ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ ثانویه مجزا

اگر انتهای یک سیم‌پیچ ثانویه را به ابتدای سیم‌پیچ دیگر وصل کنیم، دو سیم‌پیچ با یک‌دیگر سری می‌شوند و ولتاژ خروجی دو برابر ولتاژ یکی از سیم‌پیچ‌ها خواهد شد، شکل (۷۷ـ۱).

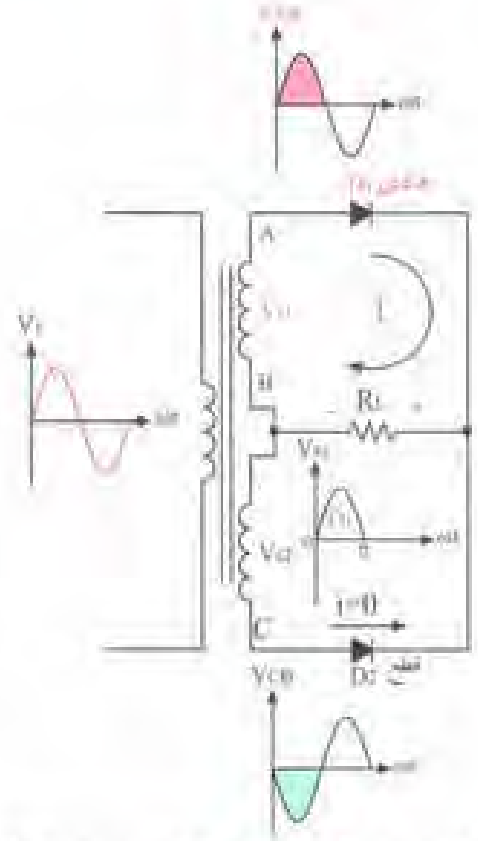


شکل ۷۷ـ۱ـ اتصال سری در سیم‌پیچ ثانویه در ترانسفورماتور

اگر محل اتصال دو سیم‌پیچ را به عنوان سر مشترک بین دو سیم‌پیچ انتخاب کنیم، شکل ولتاژ نقاط A، B و C به‌صورت شکل (۷۸ـ۱) درمی‌آید.

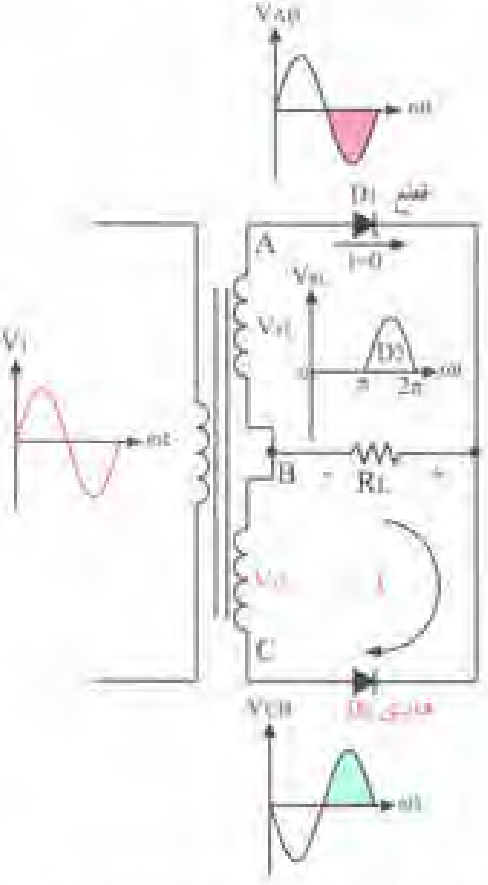


شکل ۷۸ـ۱ـ نمایش ترانسفورماتور با ثانویه سه‌سر



شکل ۷۹ـ۱ـ در نیم‌سیکل مثبت دیود D_1 هادی و دیود D_2 قطع است

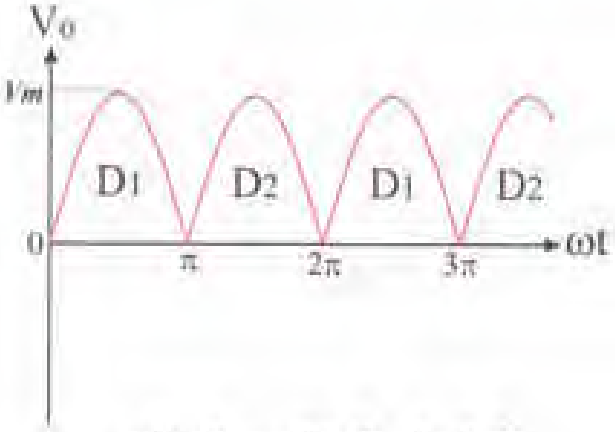
اگر مدار شکل (۷۹ـ۱) را ببندیم، در نیم‌سیکل مثبت دیود D_1 هادی می‌شود و دیود D_2 در بایاس معکوس قرار می‌گیرد. بنابراین شکل موج ولتاژ دوسر مقاومت اهمی در نیم‌سیکل مثبت تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دوسر ثانویه ترانسفورماتور است.



شکل ۸۰ـ۱ـ در نیم‌سیکل منفی، دیود D_1 قطع و دیود D_2 هادی می‌شود

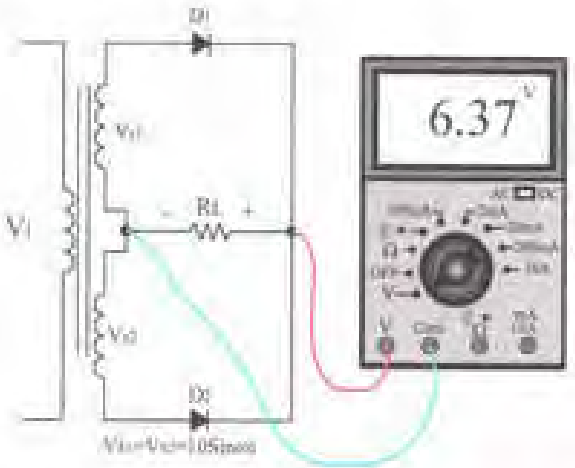
در نیم‌سیکل منفی، دیود D1 قطع و دیود D2 هادی می‌باشد، لذا شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در نیم‌سیکل منفی، تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دوسر ثانویه ترانسفورماتور (V_{sec}) می‌شود. در شکل (۸۰ـ۱) شکل موج ولتاژ دوسر مقاومت یا V_0 در فاصله π تا ۲π (نیم‌سیکل منفی) نشان داده شده است.

شکل ولتاژ دوسر مقاومت اهمی در یک سیکل کامل به‌صورت شکل (۸۱ـ۱) درمی‌آید.



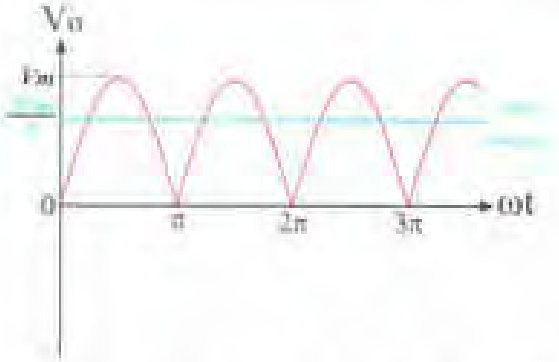
شکل ۸۱ـ۱ـ شکل ولتاژ دوسر مقاومت اهمی

اگر یک ولت‌متر DC به دوسر بار (مقاومت اهمی) وصل کنیم، ولت‌متر DC مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسو شده را نشان می‌دهد شکل (۸۲ـ۱).



شکل ۸۲ـ۱ـ نحوه‌ی اندازه‌گیری ولتاژ DC موج سینوسی یکسو شده تمام موج

مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسو شده به‌صورت تمام موج برابر با $\frac{۲V_m}{\pi}$ است شکل (۸۳ـ۱).



شکل ۸۳ـ۱ـ مقدار متوسط شکل موج یکسو شده سینوسی تمام‌موج برابر $\frac{۲V_m}{\pi}$ است.

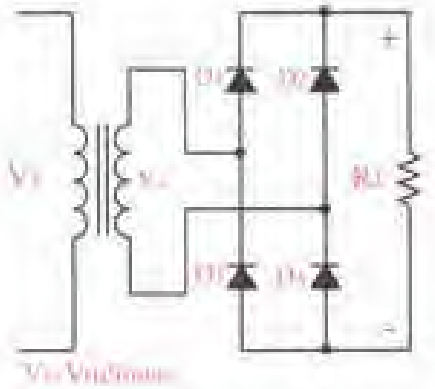
به یکسوکننده فوق، یکسوکننده تمام موج می‌گویند.

موارد زیر را به‌خاطر داشته باشید

الف: در یکسوکننده تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط جریان گذرنده از هر دیود برابر $I_D = \frac{۱}{۲} I_L$ است.

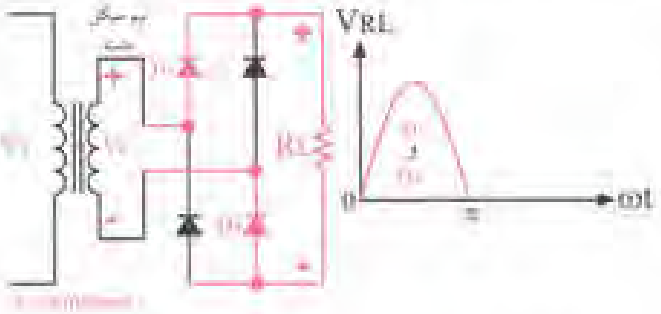
ب: ولتاژ معکوس دوسرهر دیود برابر $۲V_m$ می‌باشد.

ـ یکسوکننده پل گرتز یک فاز (پل دیودی): یکسوکننده پل گرتز یک‌فاز، مطابق شکل (۸۴ـ۱) از چهار عدد دیود تشکیل می‌شود.



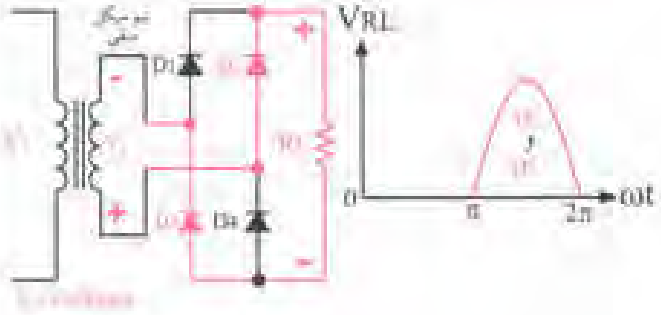
شکل ۸۴ـ۱ـ یکسوکننده تمام موج (پل گرتز یک‌فاز)

در نیم‌سیکل مثبت دیودهای D_1 و D_3 هدایت می‌کنند و دیودهای D_2 و D_4 در حالت قطع هستند، زیرا هر دو در بایاس معکوس قرار می‌گیرند. شکل موج ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل مثبت، در شکل (۸۵ـ۱) نشان داده شده است.



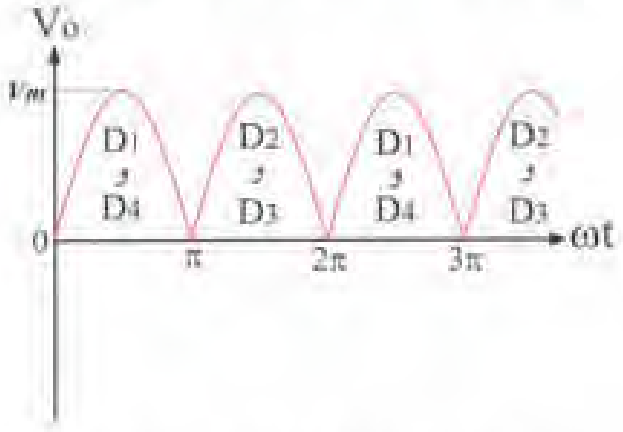
شکل ۸۵ـ۱ـ هدایت دیودهای D_1 و D_3 در یکسوساز پل

در نیم‌سیکل منفی، دیودهای D_2 و D_4 هدایت می‌کنند و دیودهای D_1 و D_3 در بایاس معکوس قرار می‌گیرند. شکل موج ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل منفی را در شکل (۸۶ـ۱) ملاحظه می‌کنید.



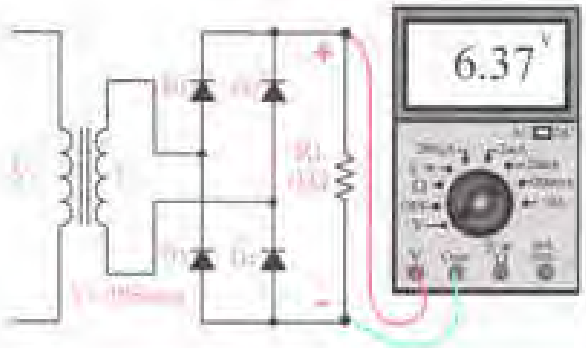
شکل ۸۶ـ۱ـ هدایت دیودهای D_2 و D_4 در یکسوساز پل

در شکل (۸۷ـ۱) شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده پل گرتز یک‌فاز نشان داده شده است.



شکل ۸۷ـ۱ـ شکل موج خروجی یکسوساز پل

مقدار متوسط ولتاژ یکسوشده، برابر با $V_{DC} = V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi}$ است. در شکل (۸۸ـ۱) اگر از افت ولتاژ دوسر دیودها صرف‌نظر کنیم، ولت‌متر مقدار متوسط ولتاژ یعنی $V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2\times10}{\pi} = 6/377$ را نشان می‌دهد.



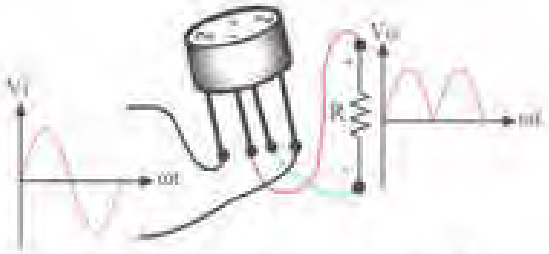
شکل ۸۸ـ۱ـ ولت‌متر DC مقدار متوسط ولتاژ یکسوشده را نشان می‌دهد.

نکات مهم

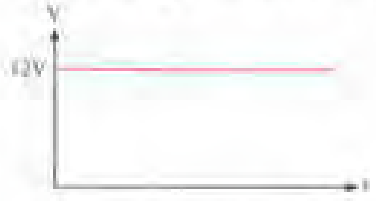
- در یکسوکننده پل گرتز یک‌فازه، جریان هر دیود برابر با نصف جریان مصرف‌کننده (بار) یعنی $I_D = \frac{1}{2}I_L$ است.
- حداکثر ولتاژ معکوسی که در دوسر هر دیود در یکسوساز گرتز می‌افتد برابر با V_m است.

معمولاً چهار عدد دیودی را که به‌صورت پل بسته می‌شوند، به‌صورت یک قطعه یکپارچه می‌سازند. در شکل (۸۹ـ۱) یک نمونه از این نوع پل دیودها نشان داده شده است. این قطعه دارای چهار پایه است. دو پایه آن را با علامت «~» مشخص می‌کنند که ولتاژ متناوب را به این دو پایه می‌دهند و دو پایه دیگر پل خروجی ولتاژ یکسوشده است که آن را با علامت «+» (قطب مثبت) و علامت «-» (قطب منفی) مشخص می‌کنند و از این دو پایه ولتاژ خروجی یکسو یافت است شکل (۹۰ـ۱).

شکل ۸۹ـ۱ـ یک نمونه پل دیود



شکل ۹۰ـ۱ـ نحوه اتصال پل دیود در مدارات



شکل ۹۱ـ۱ـ ولتاژ ثابت

۳ـ۴ـ۱ـ صافی‌ها: مدارهای الکترونیکی معمولاً به ولتاژ نسبتاً ثابتی مانند شکل (۹۱ـ۱) نیاز دارند.

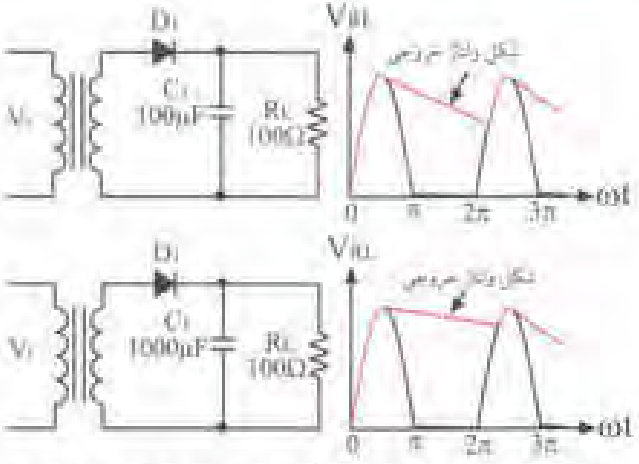
شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده‌های نیم‌موج و تمام موج یک‌فازه دارای نوسان‌هایی است که مقدار ولتاژ آن در نقاط $\omega t = \pi$ و $\omega t = 2\pi$ و ... به صفر می‌رسد شکل (۹۲ـ۱).

الف ـ شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده نیم موج

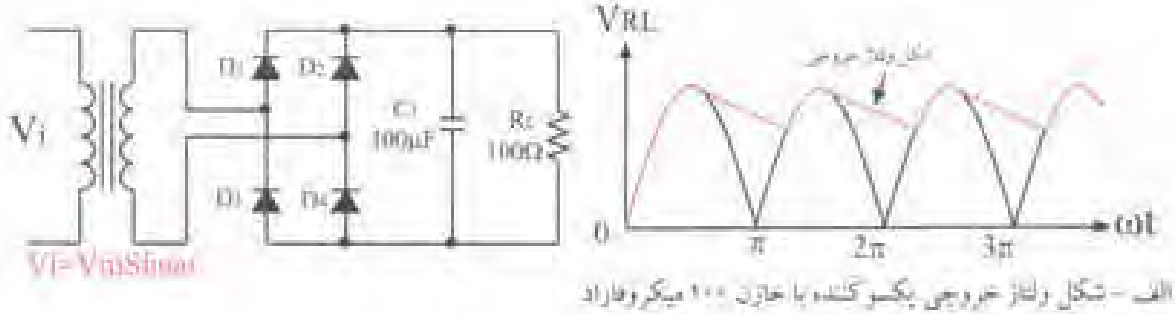
ب ـ شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج

شکل ۹۲ـ۱ـ شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده‌های نیم‌موج و تمام‌موج

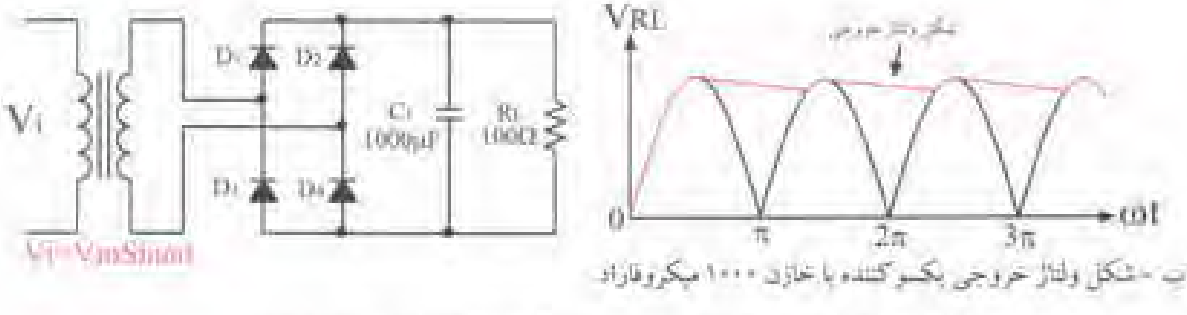
برای تبدیل ولتاژ ضربان‌دار خروجی یکسو کننده‌ها به ولتاژ ثابت از یک خازن که با بار موازی می‌شود استفاده می‌کنند. این مدار برای توان‌های کم به‌کار می‌رود شکل (۹۳ـ۱). هرقدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل ولتاژ خروجی صاف‌تر (ثابت‌تر) می‌شود شکل‌های (۹۴ـ۱و۹۵ـ۱).



شکل ۹۳ـ۱ـ هرقدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل ولتاژ خروجی صاف‌تر می‌شود.



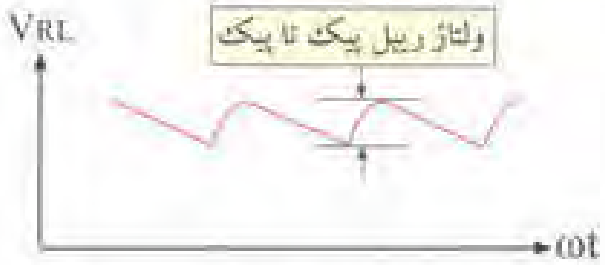
الف ـ شکل ولتاژ خروجی یکسو کننده با خازن ۱۰۰ میکروفاراد



ب ـ شکل ولتاژ خروجی یکسو کننده با خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد

شکل ۹۴ـ۱ـ هرقدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل ولتاژ خروجی صاف‌تر می‌شود.

انتخاب مقدار دقیق ظرفیت خازن بستگی به مقدار ولتاژ ریپل[1] یا ضربان قابل قبول در مدارهای الکترونیکی دارد. لازم به یادآوری است که برای کم کردن دامنه ولتاژ ریپل، از مدارهای دیگر الکترونیکی به نام رگولاتورها استفاده می‌کنند.



شکل ۹۵ـ۱ـ شکل ولتاژ خروجی یکسو کننده همراه با خازن صافی

۱ ـ Ripple

نکته‌ی خیلی مهم

گرچه هرقدر ظرفیت خازن را زیاد کنیم ولتاژ خروجی یکسوکننده‌ها صاف‌تر (دایت‌تر) می‌شود ولی جریان لحظه‌ای دیود نیز به شدت افزایش می‌یابد و گاهی ممکن است دیود را بسوزاند.

۵ـ۱ـ آزمایش شماره (۲): یکسوکننده‌ها

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

هدف‌های آزمایش

الف: مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام‌موج یک‌فازه بدون صافی خازنی و با صافی خازنی.

ب: مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج یک‌فازه (پل) بدون صافی خازنی و باصافی خازنی.

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش ابتدا یک یکسوکننده تمام‌موج یک‌فازه را می‌بندید. سپس ورودی آن را به ثانویه ترانسفورماتور ۲۲۰/۹۷ و خروجی آن را به اسیلوسکوپ اتصال می‌دهید تا شکل موج خروجی را مشاهده کنید. در همین حال به کمک یک ولت‌متر DC مقدار متوسط ولتاژ را نیز اندازه می‌گیرید و سپس مقدار اندازه‌گیری شده را با رابطه‌ی $V_{av} = \frac{V_m}{\pi}$ مقایسه می‌کنید. در ادامه آزمایش یک خازن ۴۷۰ میکروفارادی را با مقاومت اهمی (بار) به‌صورت موازی می‌بندید و شکل ولتاژ خروجی را همراه با صافی می‌بینید و در قسمت سوم آزمایش با استفاده از چهار دیود معمولی (۱N۴۰۰۷) یک پل یکسوکننده پل را می‌بندید و بعد از اتصال ورودی آن به ثانویه ترانسفورماتور، خروجی آن را به اسیلوسکوپ وصل می‌کنید تا شکل ولتاژ خروجی را مشاهده کنید. به‌طور همزمان با استفاده از ولت‌متر DC ، مقدار متوسط ولتاژ DC را اندازه می‌گیرید و با مقادیر به‌دست آمده در حالت یکسوکننده تمام‌موج مقایسه می‌کنید. در ادامه یک خازن ۴۷۰ میکروفارادی را با مقاومت اهمی (بار) موازی می‌کنید و ولتاژ خروجی یکسوکننده پل را به همراه با صافی خازنی می‌بینید. هدف نهایی این آزمایش تسلط شما به بستن یکسوکننده‌ها و صافی خازنی و اندازه‌گیری ولتاژ DC است.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱ـ اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲ـ ترانسفورماتور ۲۲۰/۹۷	یک عدد
۳ـ مقاومت ۱۰۱۸۵Ω	یک عدد
۴ـ خازن ۴۷۰μF/۳۵V	یک عدد
۵ـ دیود ۱N۴۰۰۷	چهار عدد
۶ـ سیم رابط دوسر گیره سوسماری	شش رشته
۷ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری	شش رشته
۸ـ آومتر دیجیتالی	یک دستگاه

مراحل اجرای آزمایش

موضوع الف: مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج یک‌فازه بدون صافی خازنی و با صافی خازنی.

■ وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.

■ مدار شکل (۹۶ـ۱) را ببندید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

■ با ولوم‌های INTEN و FOCUS اشعه را نازک و با نور کافی تنظیم کنید.

■ کلید سلکتور MODE را در حالت CH۱ بگذارید.

■ کلید سلکتور SOURCE را در حالت Line بگذارید.

■ کلید سلکتور Volts/Div کانال CH۱ را روی ۵ ولت بگذارید.

■ کلید سلکتور Time/Div را روی ۲ ms بگذارید.

■ کلید AC-GND -DC را درحالت GND بگذارید.

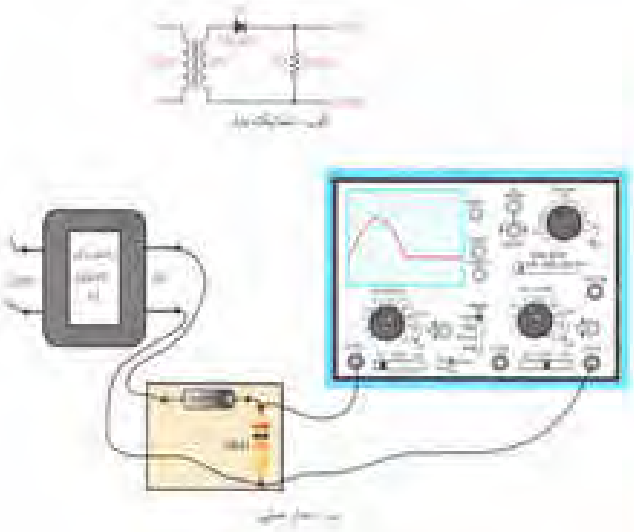
■ به کمک ولوم V/Position خط اشعه را در وسط صفحه تنظیم کنید.

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق ۲۲۰ ولت وصل کنید.

■ کلید AC - GND-DC اسیلوسکوپ را به حالت DC تغییر دهید.

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس را در شکل (۹۷ـ۱) با مقیاس متناسب رسم کنید.

■ دامنه سیگنال نشان داده شده روی صفحه حساس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



شکل ۹۶ـ۱ـ مدار آزمایش

شکل ۹۷ـ۱

$$\text{دامنه سیگنال} = V \qquad \text{مقدار متوسط} = \frac{\text{دامنه سیگنال}}{\pi} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{V}{۳/۱۴} = V$$

■ اولیه ترانسفورماتور را از برق شهر جدا کنید.

■ اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید (خاموش نکنید).

■ تنظیم‌های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر ندهید.

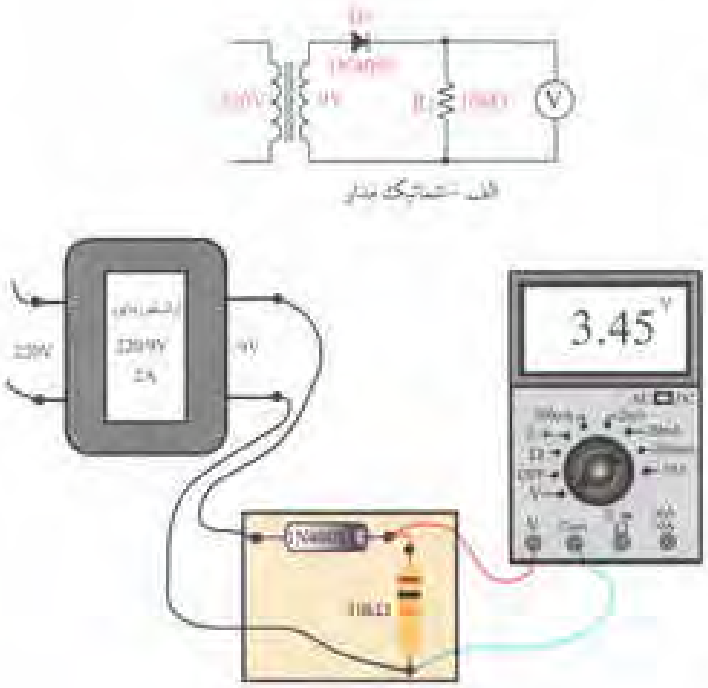
■ یک ولت‌متر DC به دوسر مقاومت ببندید و رنج ولت‌متر را روی ۲۰ ولت بگذارید (شکل ۹۸ـ۱).

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط به برق شهر وصل کنید.

■ ولتاژی را که ولت‌متر DC نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید. ولت‌متر DC مقدار متوسط ولتاژ را نشان می‌دهد.

V	= ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد.

سؤال: آیا مقداری را که ولت‌متر نشان می‌دهد با مقداری که از طریق محاسبه (مقدار متوسط) به‌دست آورده‌اید برابر است؟ توضیح دهید.



الف ـ شماتیک مدار

ب ـ مدار عملی

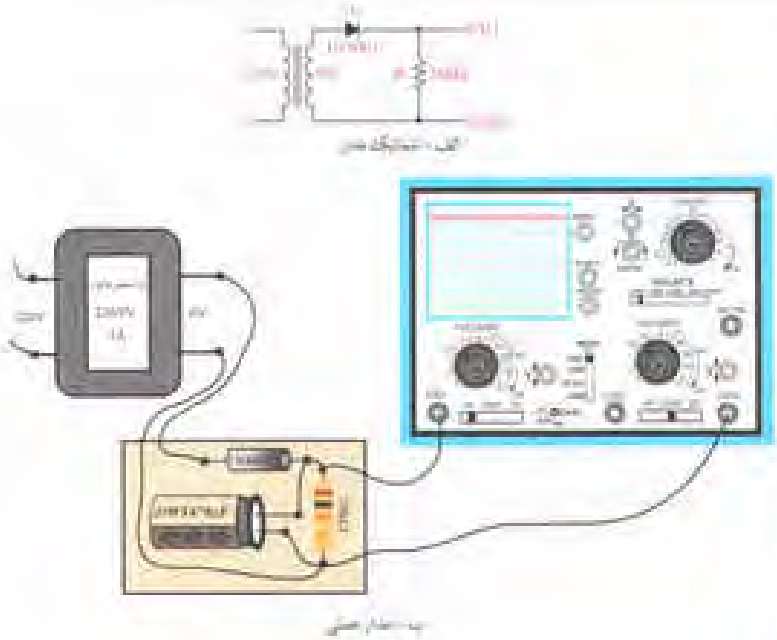
شکل ۹۸ـ۱

در صورتی که نتوانستید به سؤال قوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱ـ۴ـ۱) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ مدار شکل (۹۹ـ۱) را ببندید.

■ ورودی ترانسفورماتور را به ولتاژ برق شهر وصل کنید.

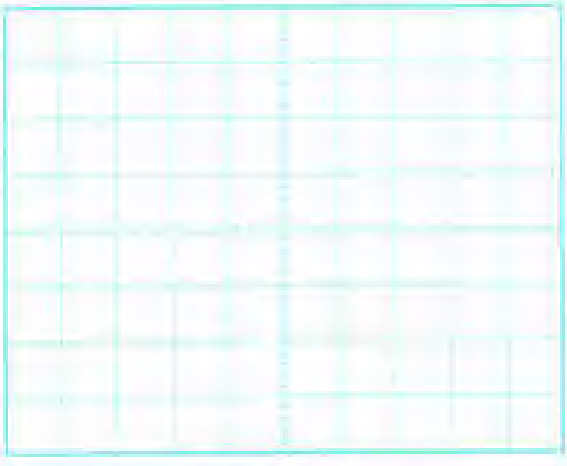
■ موج نشان داده شده روی صفحه حساس را در شکل (۱۰۰ـ۱) با مقیاس مناسب رسم کنید.



الف ـ شماتیک مدار

ب ـ مدار عملی

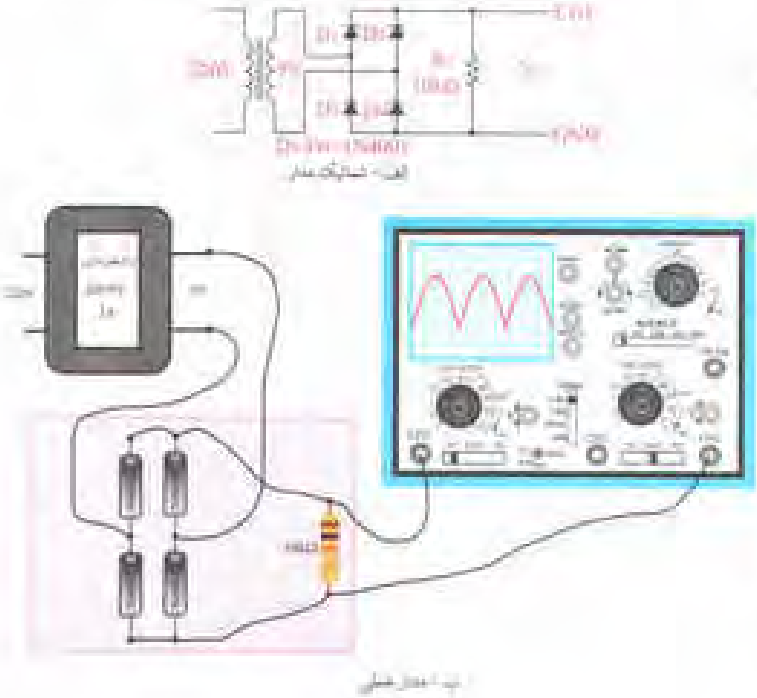
شکل ۹۹ـ۱



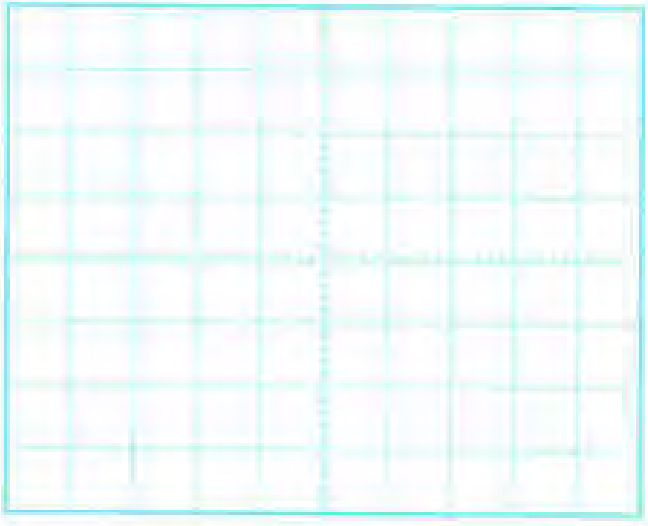
شکل ۱۰۰ـ۱

سؤال: خازن ۴۷۰ میکروفاراد چه نقشی در شکل موج ولتاژ خروجی دارد؟ با توجه به شکل (۱ـ۱۰۰) توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱ـ۲ـ۱) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.



شکل ۱ـ۱۰۱



شکل ۱ـ۱۰۲

موضوع ب: مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسو کننده تمام موج یک‌فاز (پل) بدون صافی خازنی و با صافی خازنی

- مدار شکل (۱ـ۱۰۱) را ببندید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.
- با ولوم‌های INTEN و FOCUS اسمه را کاملاً نازک (باریک) و با نور کافی تنظیم کنید.
- کلید سلکتور MODE را در حالت CH ۱ بگذارید.
- کلید سلکتور SOURCE را در حالت CH ۱ بگذارید.
- کلید سلکتور Volt/Div را روی ۵ ولت قرار دهید.
- کلید سلکتور Time/Div را روی ۲ ms قرار دهید.
- کلید AC-GND-DC را درحالت GND قرار دهید و خط صفر را درست در وسط صفحه حساس تنظیم کنید.
- ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق ۲۲۰ ولت وصل کنید.
- کلید AC - GND-DC را به حالت DC تغییر دهید.
- شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس اسیلوسکوپ را با مقیاس مناسب در شکل (۱ـ۱۰۲) رسم کنید.
- دامنه سیگنال نشان داده شده روی صفحه حساس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید:

دامنه‌ی سیگنال = V

$$\text{مقدار متوسط} = \frac{\text{دامنه سیگنال} \times ۲}{\pi} = \frac{۲V_m}{\pi} = \frac{۲ \times \quad}{۳/۱۴} = V$$

■ اولیه ترانسفورماتور را از برق جدا کنید.

■ اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید (خاموش نکنید).

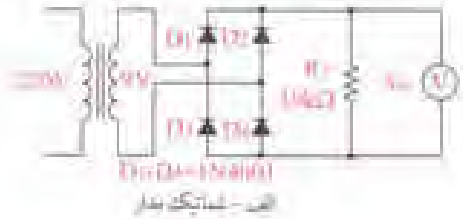
■ تنظیم‌های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر ندهید.

■ یک ولت‌متر DC را به دوسر مقاومت ۱ kΩ ببندید و رنج آن را روی ۲۰ ولت DC قرار دهید. (شکل ۱۰۳ـ۱)

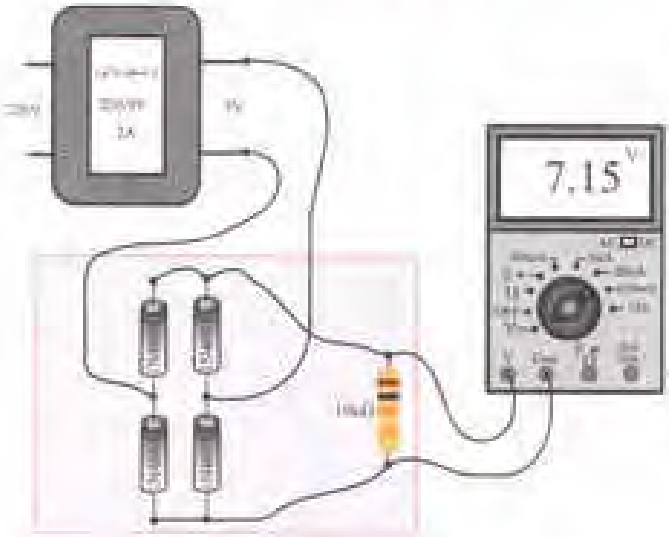
■ ورودی ترانسفورماتور را به برق شهر وصل کنید.

■ ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

سؤال: آیا مقداری که ولت‌متر DC نشان می‌دهد با مقداری که از طریق محاسبه به‌دست آورده‌اید برابر است؟ توضیح دهید.



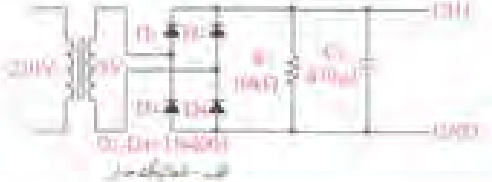
الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۰۳ـ۱ـ مدار آزمایش

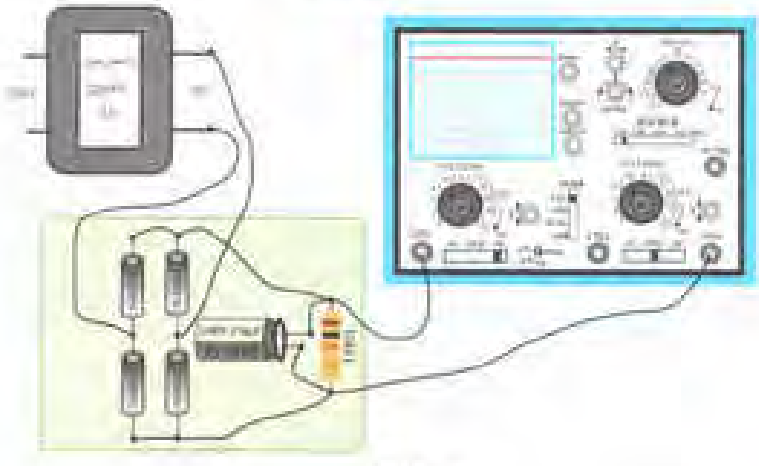
در صورتی که نتوانستید به سؤال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۲ـ۲ـ۱) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.



الف ـ شماتیک مدار

■ مدار شکل (۱۰۴ـ۱) را ببندید.

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۰۴ـ۱ـ مدار آزمایش

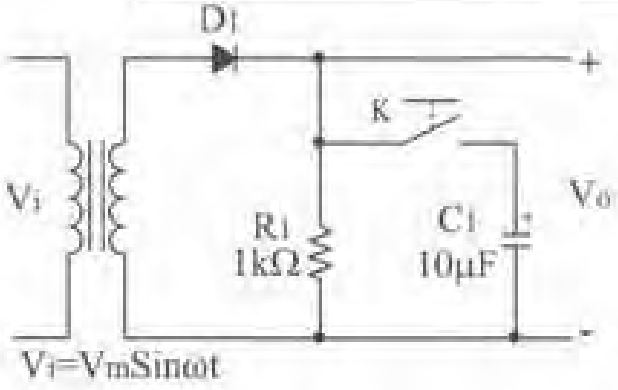
■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل (۱۰۵ـ۱) رسم کنید.

شکل ۱۰۵ـ۱

سؤال: چرا با موازی کردن خازن به دوسر بار، شکل موج ولتاژ خروجی به صورت یک خط درآمده است؟ توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۳ـ۴ـ۱) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای فصل اول آزمون پایانی عملی (۱) خودآزمایی شماره (۱) مراجعه کنید.



شکل ۱۰۶ـ۱

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

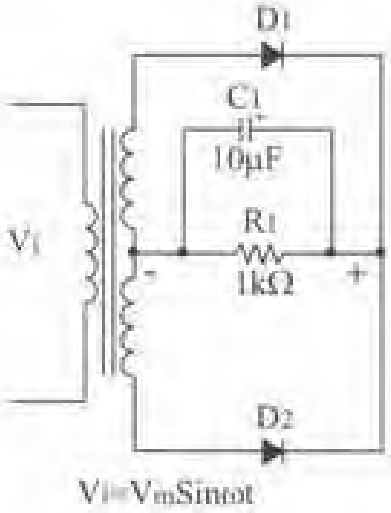
نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ در شکل (۱۰۶ـ۱)، اگر کلید k بسته شود، مقدار متوسط ولتاژ خروجی ..... می‌شود.

الف: □ کم ب: □ زیاد

۲ـ در مدار شکل (۱۰۷ـ۱)، اگر ظرفیت خازن را خیلی افزایش دهیم، چه اشکالی در مدار به‌وجود می‌آید؟ شرح دهید.

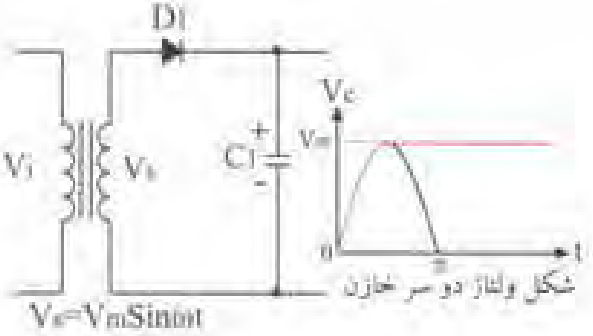


شکل ۱۰۷ـ۱

۶ــ۱ــ چند برابرکننده‌های ولتاژ

به کمک ترانسفورماتور، دیودها و خازن‌ها می‌توان مقدار ولتاژ را دو و یا چند برابر کرد. **توجه داشته باشید که افزایش ولتاژ به کمک مدارهای چند برابر کننده، فقط برای جریان‌های بسیار کم امکان‌پذیر است.**

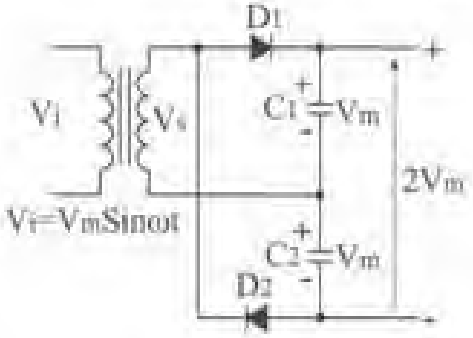
در شکل (۱۰۸ــ۱)، در نیم‌سیکل مثبت، وقتی دیود هادی شد (ولت ۰/۷ ≥ V_s) خازن شروع به شارژ شدن می‌کند و تقریباً تا پیک ولتاژ (V_m) شارژ می‌شود. هنگامی که ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور اندکی از V_m کمتر می‌شود، چون ولتاژ کاتد دیود (ولتاژ دوسر خازن) برابر با V_m است لذا دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد و قطع می‌شود. بنابراین چون خازن نمی‌تواند تخلیه شود ولتاژ دوسر آن ثابت و برابر با V_m باقی می‌ماند.



شکل ولتاژ دو سر خازن

شکل ۱۰۸ــ۱ــ خازن به اندازه تقریباً V_m شارژ می‌شود و ولتاژ دوسر آن ثابت می‌ماند.

در شکل (۱۰۹ــ۱) یک مدار دوبرابر کننده ولتاژ با استفاده از یک ترانسفورماتور، دو عدد دیود و دو عدد خازن نشان داده شده است.

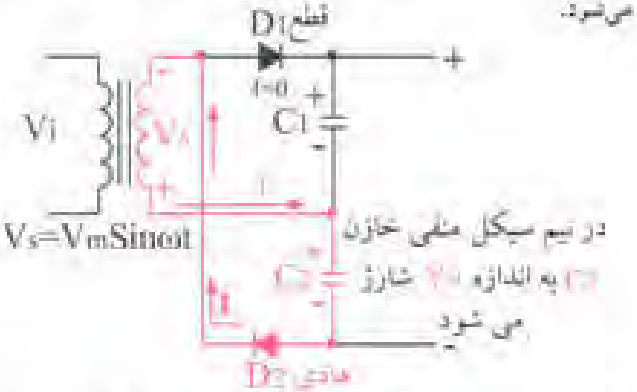


شکل ۱۰۹ــ۱ــ یک نمونه دوبرابر کننده ولتاژ

طرز کار مدار به این صورت است که در نیم‌سیکل مثبت دیود D۱ در بایاس موافق و دیود D۲ در بایاس مخالف قرار می‌گیرند. لذا دیود D۱ هادی شده و خازن C۱ تا مقدار تقریباً V_m شارژ می‌شود شکل (۱۱۰ــ۱).

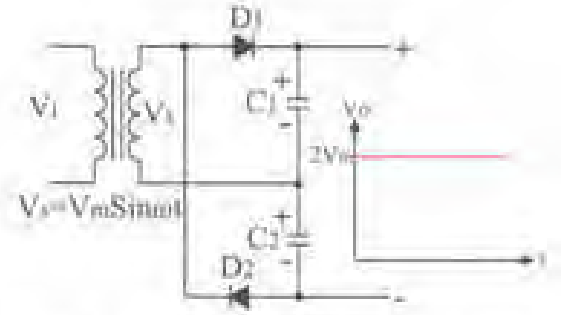
شکل ۱۱۰ــ۱ــ در نیم‌سیکل مثبت خازن C_1 تا مقدار تقریباً V_m شارژ می‌شود.

در نیم‌سیکل منفی دیود D۲ در بایاس موافق و دیود D۱ در بایاس مخالف قرار می‌گیرد. لذا دیود D۲ هادی می‌شود و خازن C۲ را تقریباً تا مقدار V_m (ولتاژ پیک) شارژ می‌کند شکل (۱۱۱ــ۱).



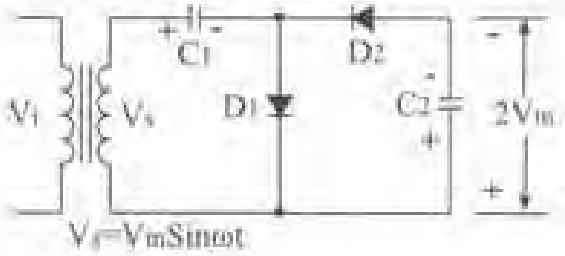
شکل ۱۱۱ــ۱ــ در نیم‌سیکل منفی خازن C_2 تا مقدار تقریباً V_m شارژ می‌شود.

با توجه به شکل (۱۱۲ـ۱) ولتاژ بین نقاط A و B برابر با $2V_m$ یعنی $V_{C1}+V_{C2}=2V_m$ می‌شود.



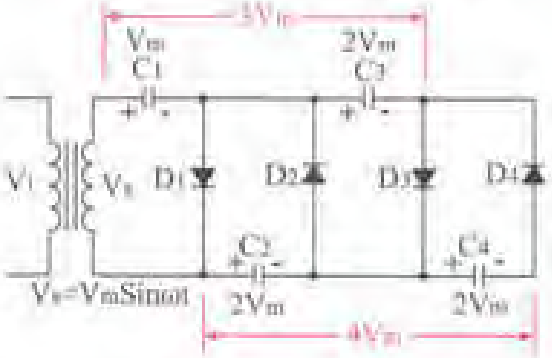
شکل ۱۱۲ـ۱ـ شکل موج ولتاژ خروجی در یک دوبرابر کننده ولتاژ

به کمک مدار شکل (۱۱۳ـ۱) نیز می‌توان ولتاژ را دوبرابر کرد.



شکل ۱۱۳ـ۱ـ یک مدار دوبرابر کننده ولتاژ

به کمک مدار شکل (۱۱۴ـ۱) می‌توان مقدار ولتاژ را به سه یا چهار و یا چند برابر ولتاژ ماکزیمم ثانویه ترانسفورماتور رسانده، با اضافه کردن متوالی تعداد دیودها و خازن‌ها امکان ولتاژ به مقدار بیشتر نیز وجود دارد.



شکل ۱۱۴ـ۱ـ مدار چهار برابرکننده ولتاژ

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۷ـ۱ـ آزمایش شماره (۳): دوبرابر کننده ولتاژ

هدف آزمایش: بستن یک نمونه مدار دو برابر کننده ولتاژ و اندازه‌گیری ولتاژ خروجی آن.

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش یک مدار دو برابر کننده ولتاژ را می‌بندید و سیم ورودی آن را به ثانویه ترانسفورماتور ۲۲۰/۹۷ وصل می‌کنید در نهایت با اندازه‌گیری ولتاژ دوسر هریک از خازن‌ها و اندازه‌گیری ولتاژ کل، عملاً به‌طرز کار یک نمونه دوبرابر کننده ولتاژ پی می‌برید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱ـ آومتر دیجیتالی	یک دستگاه
۲ـ ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۳ـ دیود ۱N۴۰۰۸	دو عدد
۴ـ خازن ۴۷۰μF/۳۵V	دو عدد
۵ـ سیم رابط دوسر گیره سوسماری	شش رشته
۶ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری	شش رشته

مراحل اجرای آزمایش

■ وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.

■ مدار شکل (۱۱۵ـ۱) را ببندید.

■ رنج ولت‌متر DC را روی ۲۰۰ ولت قرار دهید.

■ با احتیاط کامل ورودی ترانسفورماتور را به برق ۲۲۰ ولت وصل کنید.

■ ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

V_{C_1} = ولتاژ دوسر خازن C_1	V

■ ولت‌متر را از دوسر خازن C_1 جدا کنید و به دوسر خازن C_2 وصل کنید و ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد قرائت و یادداشت کنید.

V_{C_2} = ولتاژ دوسر خازن C_2	V

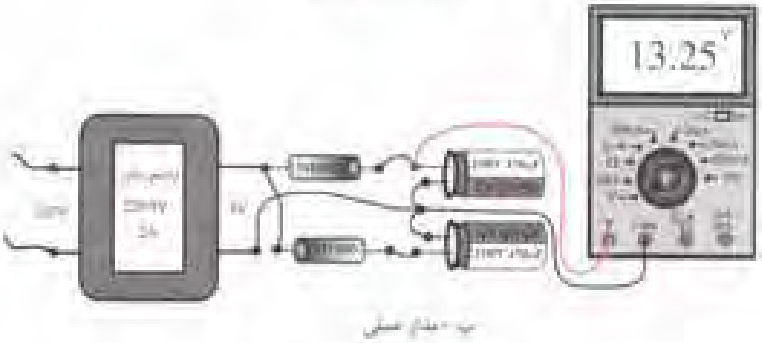
■ ولت‌متر را ازدوسر خازن C_2 جدا کنید و ولتاژ بین نقاط A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

V_{AB} = ولتاژ خروجی دو برابر کننده ولتاژ	V

■ ولت متر را از نقاط A و B جدا کنید.

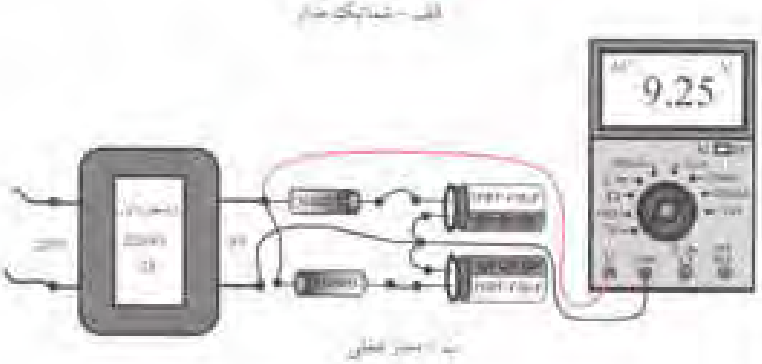
■ حوزه کار ولت متر را روی حالت AC روی ۲۰ V قرار دهید و ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور را اندازه بگیرید (شکل ۱۱۶ـ۱) و یادداشت کنید.

V_{eff} = ولتاژی را که ولت‌متر AC نشان می‌دهد	V
$V_m = \sqrt{2}V_{eff} = 1/41 \times$ =	V



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۱۵ـ۱ـ مدار آزمایش



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۱۶ـ۱ـ مدار آزمایش دوبرابر کننده ولتاژ

سؤال ۱ــ آیا ولتاژ دوسر هر خازن به اندازه V_m است یا کمتر؟ چرا؟ توضیح دهید.

سؤال ۲ــ آیا V_{AB} دقیقاً برابر با $(V_{D_1} + V_{D_2})$ است؟ چرا؟ توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال‌های (۱) و (۲) پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۶ــ۱) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

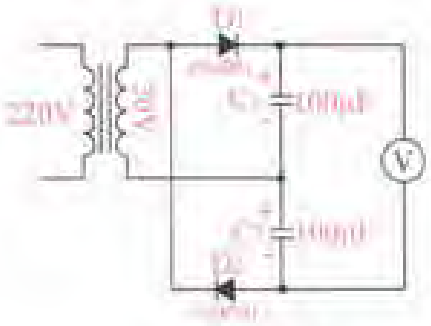
برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای فصل اول آزمون پایانی عملی (۱) خودآزمایی شماره (۲) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ــ در شکل (۱۱۷ــ۱) ولت‌متر DC چند ولت را نشان می‌دهد؟



الف - شماتیک مدار

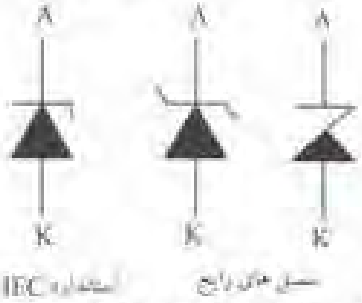
شکل ۱۱۷ــ۱

۸ـ۱ـ دیود زنر[1]

۱ـ۸ـ۱ـ ساختمان دیود زنر: دیود زنر یک اتصال PN است که در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسو کننده عمل می‌کند. در بایاس مخالف تحت ولتاژ خاصی که آن را ولتاژ زنر می‌نامند دیود ناگهان هادی شده و جریان را از خود عبور می‌دهد و ولتاژ دوسر آن تقریباً ثابت می‌ماند. در شکل (۱۱۸ـ۱) ساختمان داخلی دیود زنر و در شکل (۱۱۹ـ۱) یک نمونه دیود زنر را مشاهده می‌کنید. زنر (Zener) نام دانشمندی است که اولین بار درسال ۱۹۳۴ این پدیده جالب را اختراع کرد. با تغییر میزان ناخالصی در نیمه‌هادی‌های نوع P و N می‌توان ولتاژ هادی شدن دیود زنر را در بایاس معکوس تعیین کرد. جنس نیمه‌هادی به‌کار برده شده در دیود زنر سیلیکون است. دیود زنر را با علامت قراردادی شکل (۱۲۰ـ۱) نشان می‌دهند.

شکل ۱۱۸ـ۱ـ ساختمان داخلی دیود زنر

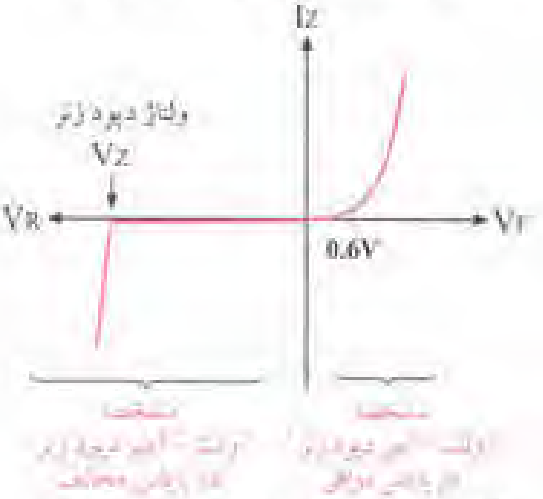
شکل ۱۱۹ـ۱ـ یک نمونه دیود زنر



شکل ۱۲۰ـ۱ـ علامت‌های قراردادی دیود زنر

۲ـ۸ـ۱ـ منحنی مشخصه «ولت ـ آمپر» دیودزنر: دیودزنر در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسو کننده است پس منحنی مشخصه «ولت ـ آمپر» آن در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی است.

در بایاس مخالف، دیود در ولتاژ زنر هادی می‌شود و پس از هادی شدن ولتاژ دو سر آن ثابت می‌ماند، بنابراین منحنی مشخصه ولت ـ آمپر دیودزنر مانند شکل (۱۲۱ـ۱) است.

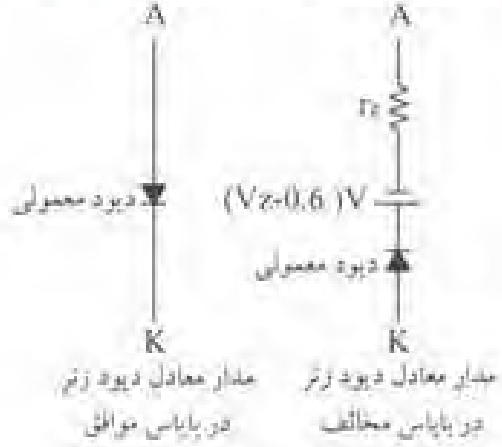


شکل ۱۲۱ـ۱ـ منحنی مشخصه «ولت ـ آمپر» دیودزنر

۳ـ۸ـ۱ مدار معادل دیودزنر: عملکرد یک دیودزنر را می‌توان به‌صورت مدار الکتریکی شکل (۱۲۲ـ۱) نشان داد.

اگر دیودزنر در بایاس موافق قرار گیرد یعنی ولتاژ آند آن مثبت‌تر از کاتد باشد، دیودزنر مانند یک دیود معمولی عمل می‌کند. برای این منظور می‌توان در مدار معادل دیود D۱ را در نظر گرفت.

اگر دیودزنر در بایاس مخالف قرار گیرد یعنی ولتاژ کاتد مثبت‌تر از آند باشد و ولتاژ بایاس معکوس کمی از ولتاژ زنر بیشتر شد دیودزنر هادی شده و ولتاژ دو سر آن ثابت باقی می‌ماند. در مدار معادل دیود D۲ که همان دیود زنر در بایاس معکوس است هنگامی هدایت می‌کند که ولتاژ کاتد به اندازه V_z از آند بیشتر باشد. بعد از هدایت ولتاژ دو سر آن تقریباً برابر با V_z ثابت باقی می‌ماند.



شکل ۱۲۲ـ۱ـ مدار معادل یک دیودزنر

۱ـ Zener

۴ـ۸ـ۱ـ ولتاژ و توان دیودزنر: معمولاً ولتاژ شکست دیودهای زنر را با استاندارد E۲۴ می‌سازند و هر دیودزنر برای توان خاصی ساخته می‌شود.

در جدول (۴ـ۱) رایج‌ترین توان‌های دیودزنر که ۰/۵W، ۱/۳W و ۵W است را با توجه به ولتاژهای مناسب با این توان‌ها مشخص شده‌اند. یادآور می‌شود دیودهایی با توان ۱W و ۲W و ۱۰W نیز ساخته می‌شوند.

در مدارهای الکتریکی دیودهای زنر ۰/۵ وات بیشترین کاربرد را دارند. امروزه دیودهای زنر با توان‌های زیاد مثلاً بالای یک وات، کاربرد کمتری دارند. به‌جای دیودهای زنر توان بالا قطعات ترکیبی الکترونیکی دیگری ساخته شده‌اند که عملکرد بسیار بهتری از دیودهای زنر دارند. در یک دیود زنر رابطه زیر همیشه برقرار است.

$$P_z = V_z . I_z \quad و \quad I_z = \frac{P_z}{V_z}$$

بنابراین با توجه به توان دیودزنر و ولتاژ زنر، ماکزیمم جریان مجاز دیودزنر قابل محاسبه است. در مدارهای الکترونیکی باید به‌این مسئله توجه کرد.

$$P_z = 5W$$

$$V_z = 6/2V$$

$$I_z = \frac{P_z}{V_z} = \frac{5W}{6/2} = 0/806A = 806mA$$

ماکزیمم جریان مجاز دیودزنر برابر ۸۰۶ میلی‌آمپر است.

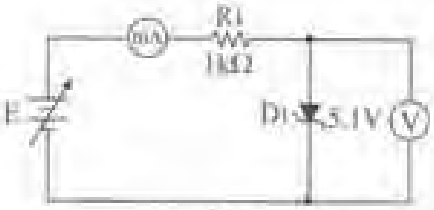
جدول ۴ـ۱

توان زنر									
۰/۵W			۱/۳W				۵W		
۱۵V	۶/۲V	۴/۷V	۹۲V	۲۷V	۱۱V	۴/۷V	۱۰۰V	۵/۱V	ولتاژ زنر
۱۶V	۶/۸V	۴/۱V	۸۸V	۳۰V	۱۲V	۵/۱V	۲۰۰V	۵/۶V	
۱۸V	۷/۵V	۳/۳V	۷۵V	۳۳V	۱۳V	۵/۶V		۶/۲V	
۲۰V	۸/۲V	۳/۶V	۱۰۰V	۳۶V	۱۵V	۶/۲V		۶/۸V	
۲۴V	۹/۱V	۳/۹V	۲۰۰V	۳۹V	۱۶V	۶/۸V		۱۰V	
۲۷V	۱۰V	۴/۳V		۴۳V	۱۸V	۷/۵V		۱۱V	
۳۰V	۱۱V	۴/۷V		۴۷V	۲۰V	۸/۲V		۱۲V	
	۱۲V	۵/۱V		۵۱V	۲۲V	۹/۱V		۱۵V	
	۱۳V	۵/۶V		۵۶V	۲۴V	۱۰V		۲۰V	

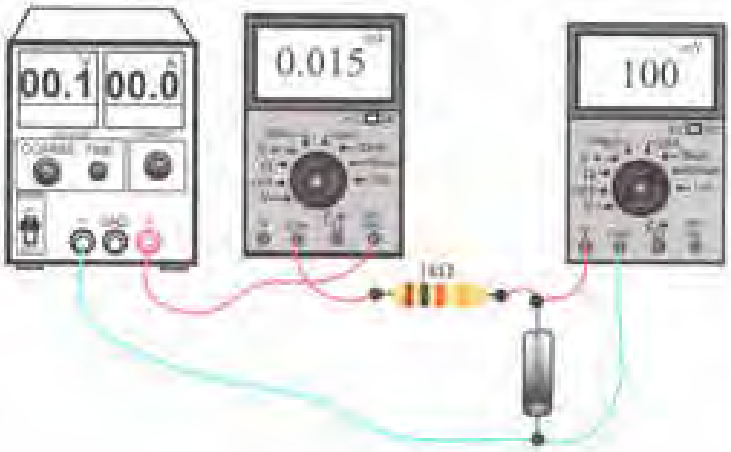
۹ـ۱ـ آزمایش شماره (۴): دیودزنر

هدف آزمایش: به‌دست آوردن منحنی مشخصه «ولت‌ـ‌آمپر» دیودزنر با استفاده از روش نقطه‌یابی.

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش ابتدا مدار مورد آزمایش را می‌بندید و ولتاژ ورودی را به‌صورت پله‌ای مطابق جدول تنظیم می‌کنید و جریان مدار را در هر یک از ولتاژهای تنظیم شده اندازه می‌گیرید و در جدول مربوطه می‌نویسید. سپس جای آند و کاتد دیودزنر را عوض می‌کنید تا بتوانید منحنی مشخصه «ولت ـ آمپر» دیود را در بایاس معکوس به‌دست آورید. در این حالت نیز ولتاژ ورودی را به صورت پله‌ای و مطابق جدول تنظیم می‌کنید و جریان مدار را در هر یک از ولتاژهای تنظیم‌شده اندازه می‌گیرید و در جدول مربوطه یادداشت می‌کنید. در ادامه آزمایش با استفاده از مقادیر به‌دست آمده در جدول‌ها نقاط مختلف را روی محورهای مختصات مشخص می‌کنید و آن نقاط را به یک‌دیگر اتصال می‌دهید تا منحنی مشخصه‌ی «ولت ـ آمپر» دیودزنر به‌دست آورید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۲۳ـ۱ـ مدار آزمایش

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ دیودزنر ۵/۱V/۱/۵W	یک عدد
۲ـ مقاومت ۱kΩ	یک عدد
۳ـ آومتر دیجیتالی	دو دستگاه
۴ـ منبع تغذیه ۱۵V/۱A	یک دستگاه
۵ـ سیم رابط دو سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۶ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل موردنیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را به برق وصل کنید و آن را روشن کنید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی صفر ولت تنظیم کنید.
- مدار شکل (۱۲۳ـ۱) را ببندید.
- حوزه کار میلی‌آمپرمتر DC را روی ۲۰mA بگذارید.
- حوزه کار ولت‌متر DC را روی ۲۷ قرار دهید.
- ولتاژ منبع تغذیه را زیاد کنید به‌طوری که ولت‌متر ۰/۱

ولت را نشان دهد. برای این کار از ولوم Fine استفاده کنید. در این ولتاژ جریان میلی‌آمپرمتر را بخوانید و در جدول (۵ـ۱) یادداشت کنید.

■ ولتاژ را مطابق جدول (۵ـ۱) افزایش دهید و در هر مرحله افزایش، جریان را بخوانید و در جدول (۵ـ۱) یادداشت کنید تا جدول تکمیل شود.

جدول ۵ـ۱

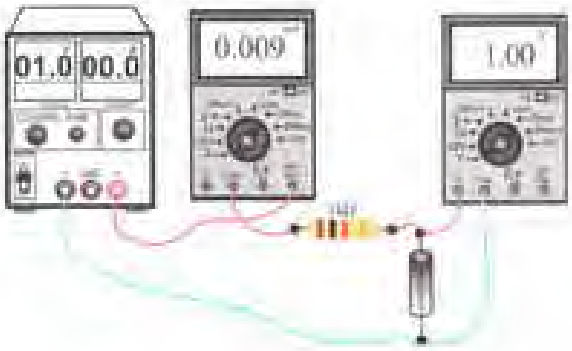
I_F	V_F ولتاژ دو سر دیودزنر در بایاس موافق
	۰/۱
	۰/۲
	۰/۳
	۰/۴
	۰/۵
	۰/۵۵
	۰/۶
	۰/۶۵
	۰/۷

الف ـ شماتیک مدار

■ مدار را مطابق شکل (۱۲۴ـ۱) تغییر دهید.

■ حوزه کار میلی‌آمپرمتر را روی ۲۰mA یگذارید.

■ حوزه کار ولت‌متر را روی ۲۰V قرار دهید.



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۲۴ـ۱ـ مدار آزمایش

■ ولتاژ منبع تغذیه را افزایش دهید تا ولت‌متر ۱ ولت را نشان دهد در این ولتاژ جریان میلی‌آمپرمتر را بخوانید و در جدول (۶ـ۱) یادداشت کنید.

■ ولتاژ را مطابق جدول (۶ـ۱) افزایش دهید و در هر مرحله جریان را بخوانید و در جدول (۶ـ۱) یادداشت کنید تا جدول تکمیل شود.

جدول ۶ـ۱

I_R	V_R ولتاژ دو سر دیودزنر در بایاس معکوس
	۱
	۲
	۳
	۴
	۴/۵
	۴/۶
	۴/۷
	۴/۸
	۴/۹
	۵
	۵/۱
	۵/۲
	۵/۳
	۵/۴

■ با استفاده از مقادیر به‌دست آمده در جداول (۵ـ۱) و (۶ـ۱) نقاط را روی محورهای مختصات داده شده در شکل (۱۲۵ـ۱) مشخص کنید.

■ نقاط به‌دست آمده روی شکل (۱۲۵ـ۱) را به هم وصل کنید تا منحنی مشخصه ولت‌ـآمپر دیودزنر به‌دست آید.

■ مقدار V_Z را در جریان ۵mA، از روی منحنی مشخصه‌ی «ولت ـ آمپر» دیودزنر به‌دست آورید و یادداشت کنید:

$V_Z =$ V

۱ـ Range

نکته مهم: معمولاً ولتاژ دیودزنر را در جریان $I_z = 5mA$ اندازه می‌گیرند تا به مقدار واقعی نزدیک باشند.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ چرا دیودزنر را به عنوان یکسوکننده معمولی مورد استفاده قرار نمی‌دهند؟ توضیح دهید.

۱۰ـ۱ـ تنظیم‌کننده[1] ولتاژ با استفاده از دیودزنر

وقتی دیودزنر در بایاس معکوس به کار می‌رود و ولتاژ بایاس معکوس آن از ولتاژ زنر بیشتر می‌شود، دیودزنر هدایت می‌کند و ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

از این خاصیت دیودزنر برای تنظیم ولتاژ و ثابت نگه‌داشتن ولتاژ استفاده می‌شود. شکل (۱۲۶ـ۱) یک نمونه تنظیم‌کننده ولتاژ ساده را به کمک دیودزنر نشان می‌دهد. در مدار شکل ۱۲۶ـ۱، رابطه زیر همواره برقرار است.

$$V_i = V_R + V_z \qquad (1)$$

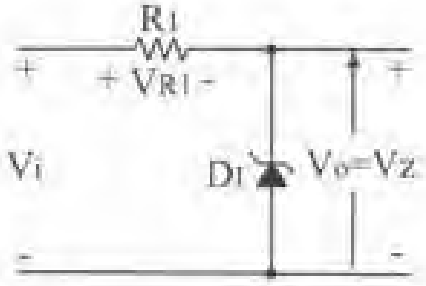
در رابطه (۱)، مقدار V_z تقریباً ثابت است. حال اگر V_i افزایش یابد V_R نیز زیاد می‌شود و اگر V_i کم شود V_R نیز کم می‌شود، بنابراین تغییرات ولتاژ ورودی به V_R منتقل می‌شود (شکل ۱۲۷ـ۱).

$$V_i^{\uparrow} = V_R^{\uparrow} + V_{z_{(ثابت)}}$$

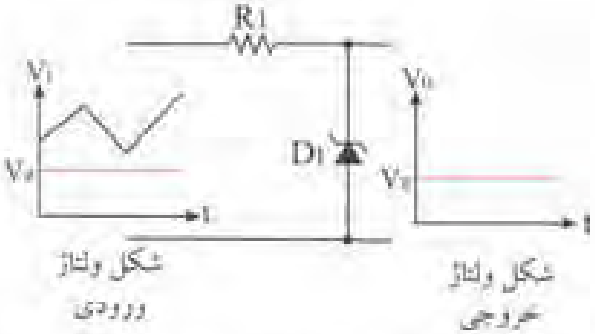
$$V_{i_\downarrow} = V_{R_\downarrow} + V_{z_{(ثابت)}}$$

مقدار R یعنی مقاومت سری شده با دیودزنر را باید طوری محاسبه کنیم که در بدترین حالت که ماکزیمم ولتاژ ورودی وجود دارد جریان دیودزنر از مقدار $I_z = \frac{P_z}{V_z}$ بیشتر نشود.

شکل ۱۲۵ـ۱ـ نمودار برای رسم منحنی مشخصه دیودزنر



شکل ۱۲۶ـ۱ـ یک تنظیم‌کننده ولتاژ نسبتاً ساده.



شکل ۱۲۷ـ۱ـ تغییرات ولتاژ ورودی خیلی کم به خروجی منتقل می‌شود.

۱ـ مدار تنظیم‌کننده ولتاژ را رگولاتور Regulator نیز می‌نامند.

۱۱ــ۱ــ آزمایش شماره (۵): تنظیم کننده ولتاژ

مدت زمان انجام آزمایش ۴ ساعت

هدف آزمایش: بررسی و آزمایش مدار تنظیم کننده ولتاژ (رگولاتور) ساده با استفاده از دیودزنر.

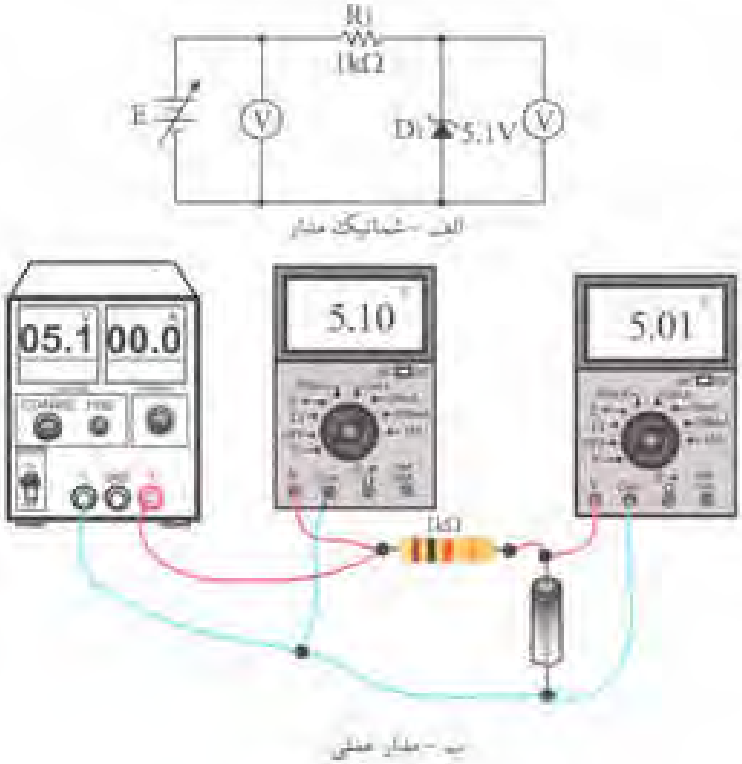
شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما یک مدار تنظیم کننده ولتاژ با استفاده از دیودزنر را مطابق شکل ۱۲۸ــ۱ می‌بندید. سپس ورودی این تنظیم کننده ولتاژ را به منبع تغذیه DC وصل می‌کنید و ولتاژ ورودی را مطابق جدول (۷ــ۱) تغییر می‌دهید. در هر مرحله تغییر ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی را اندازه می‌گیرید و در جدول یادداشت می‌کنید. در نهایت با مراجعه به جدول، درمی‌یابید که به‌ازای تغییرات زیاد ولتاژورودی، در خروجی رگولاتور ولتاژ تغییرات بسیار کم تمده به‌وجود می‌آید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ــ آومتر دیجیتالی	دو دستگاه
۲ــ منبع تغذیه ۰ــ۲۰V	یک دستگاه
۳ــ مقاومت ۱kΩ	یک عدد
۴ــ دیودزنر ۵/۱V	یک عدد
۵ــ سیم رابط دو سر گیره سوسماری	چهار رشته
۶ــ سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل موردنیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را روشن کنید.
- ولتاژ خروجی را روی ۵ ولت تنظیم کنید.
- مدار شکل (۱۲۸ــ۱) را ببندید.
- رنج ولت‌مترها را روی AUTO و یا ۲۰V قرار دهید.



الف ــ شماتیک مدار

ب ــ مدار عملی

شکل ۱۲۸ــ۱ــ مدار آزمایش

■ ولتاژ خروجی را (به‌ازای $V_i = 5^V$) بخوانید و در جدول (۷ـ۱) یادداشت کنید.

■ ولتاژ ورودی را اندکی افزایش دهید تا ولت‌متر (V_i) مقدار ۶ ولت را نشان دهد. در این حالت ولتاژ V_o را ازطریق ولت‌متر بخوانید و در جدول (۷ـ۱) مقابل $V_i = 6V$ یادداشت کنید.

■ با افزایش ولتاژ ورودی مطابق جدول (۷ـ۱) ولتاژهای خروجی را متناظر با ورودی‌های مختلف اندازه بگیرید و در جدول (۷ـ۱) بنویسید تا جدول تکمیل شود.

جدول ۷ـ۱

ولتاژ خروجی $V_o(V)$	ولتاژ ورودی $V_i(V)$
	۵
	۶
	۷
	۸
	۹
	۱۰
	۱۱
	۱۲
	۱۳
	۱۴
	۱۵

با یک نگاه به جدول (۷ـ۱) درمی‌یابیم که به ازای تغییرات زیاد ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی، چندان تغییر نکرده است و می‌توان گفت ولتاژ خروجی تقریباً ثابت باقی مانده است.

نکته مهم

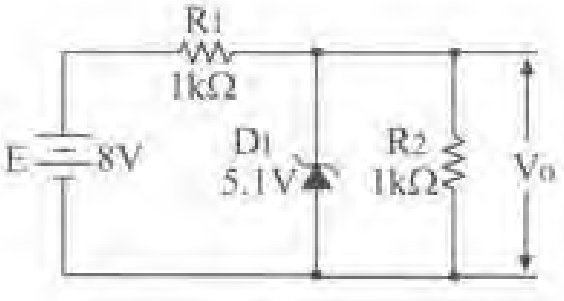
معمولاً به خروجی رگولاتوری که فقط از یک دیودزنر تشکیل شده باشد بار متغیر وصل نمی‌کنند. لذا با توجه به بار ثابت (R_L) مقاومت سری شده با دیودزنر (R) را طوری محاسبه می‌کنند که اولاً ولتاژ خروجی بیشتر از ولتاژ دیودزنر شود تا دیود هدایت کند و ولتاژ خروجی را ثابت نگه دارد. ثانیاً توان تلف شده در دیودزنر از مقدار مجاز نیز بیشتر نشود.

در قسمتی از این رگولاتور در جریان‌های مصرفی کمتر از ۱۰۰mA استفاده می‌شود.

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای مطالب فصل اول آزمون پایانی عملی (۱) خودآزمایی شماره (۳۱) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.



شکل ۱۲۹ـ۱

آزمون

۱ـ در شکل (۱۲۹ـ۱)، V_o چند ولت است؟

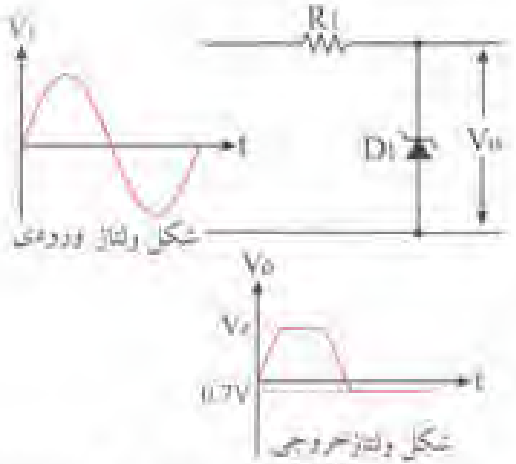
۱۲ـ۱ـ مدار کلیپر

با استفاده از دیودزنر به کمک دیودزنر می‌توان مداری ساخت که دامنه سیگنال‌های ورودی را محدود کند. شکل (۱۳۰ـ۱) یک مدار محدودکننده ساده را نشان می‌دهد.

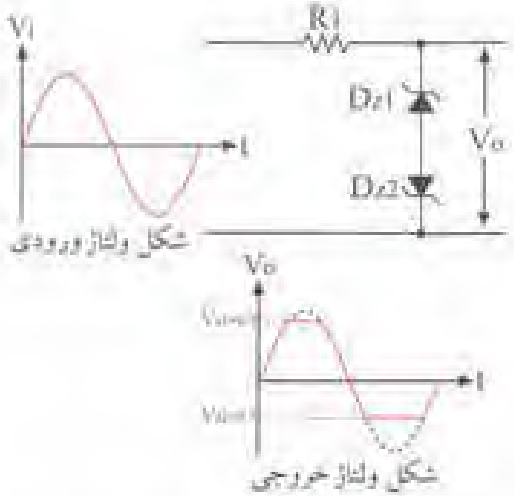
با توجه به شکل (۱۳۰ـ۱) در نیم‌سیکل مثبت مادامی که دامنه سیگنال ورودی به V_z نرسیده است دیود زنر قطع است و ولتاژ ورودی و خروجی با یک‌دیگر برابرند، ($V_i = V_o$) و به مجرد این‌که دامنه ولتاژ ورودی به اندازه کمی بیشتر از V_z شد دیود هادی می‌شود و ولتاژ دو سر آن ثابت باقی می‌ماند در ادامه نیم سیکل به محض اینکه ولتاژ ورودی کمتر از V_z شود، دیود قطع شده و $V_o = V_i$ می‌شود. در نیم سیکل منفی اگر دامنه ولتاژ به ۰/۷ ولت برسد دیود هادی می‌شود و ولتاژ دو سر آن که در حقیقت همان ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل منفی است روی ۰/۷ ولت ثابت باقی می‌ماند.

اگر بخواهیم دامنه سیگنال ورودی را در هر دو نیم سیکل‌های مثبت و منفی روی دامنه دلخواه محدود کنیم، می‌توانیم مدار شکل (۱۳۱ـ۱) را به کار ببریم.

در مدار شکل (۱۳۱ـ۱) در نیم سیکل مثبت دامنه ورودی در حد ($V_{z1} + ۰/۷$) و در نیم سیکل منفی دامنه ورودی در حد ($V_{z2} + ۰/۷$) محدود می‌شود.



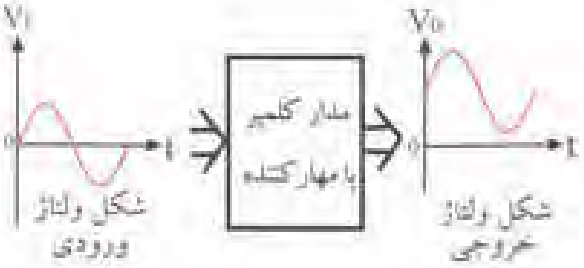
شکل ۱۳۰ـ۱ـ یک مدار محدودکننده دامنه در نیم سیکل مثبت V_z و در نیم سیکل منفی ۰/۷ ولت



شکل ۱۳۱ـ۱ـ محدودکننده دامنه به کمک دیودزنر

۱۳ـ۱ـ مدار کلمپر[1] یا مهارکننده

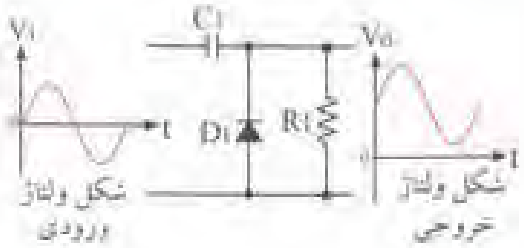
در مدار کلمپر یا مهارکننده، به سیگنال ورودی مؤلفه ولتاژ DC اضافه می‌شود. به عبارت دیگر، به کمک مدار کلمپر می‌توان سیگنال را در جهت عمودی جابجا کرد. در شکل (۱۳۲ـ۱)



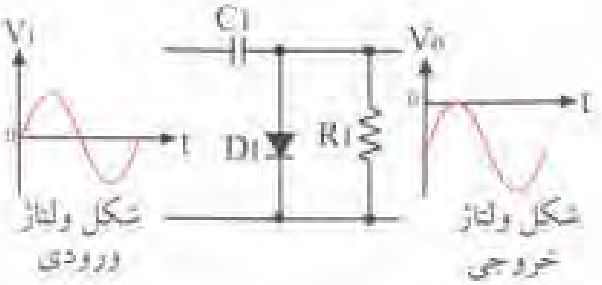
شکل ۱۳۲ـ۱ـ عملکرد مدار کلمپر

۱ـ Clamper

عملکرد مدار کلمپر نشان داده شده است. به کمک خازن و دیود می‌توان یک مدار کلمپر ساخت. در شکل‌های (۱۳۳ـ۱) و (۱۳۴ـ۱) دو نمونه مدار کلمپر ساده نشان داده شده‌اند.



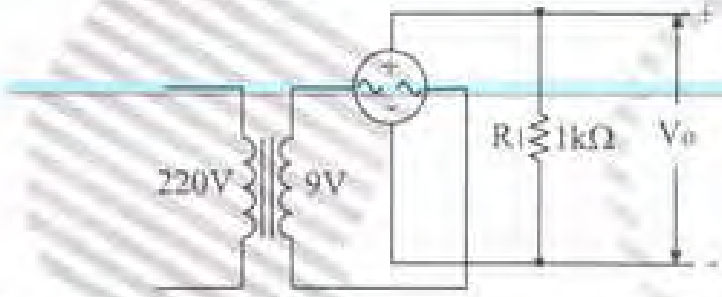
شکل ۱۳۳ـ۱ـ یک نمونه مدار کلمپر که سیگنال را در جهت عمودی (مثبت) جابجا می‌کند.



شکل ۱۳۴ـ۱ـ یک نمونه مدار کلمپر که سیگنال را در جهت عمودی (منفی) جابجا می‌کند.

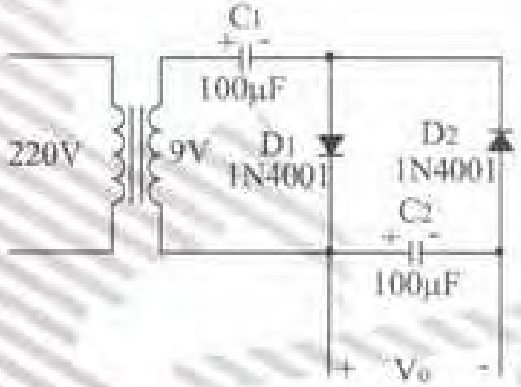
۱۴ـ۱ـ آزمون پایانی عملی (۱)

۱ـ یک مدار یکسوکننده تمام موج یک‌فازه (پل) را با استفاده از یک پل دیود مانند شکل (۱۳۵ـ۱) ببندید و ولتاژ خروجی آن را با ولت‌متر DC اندازه بگیرید.



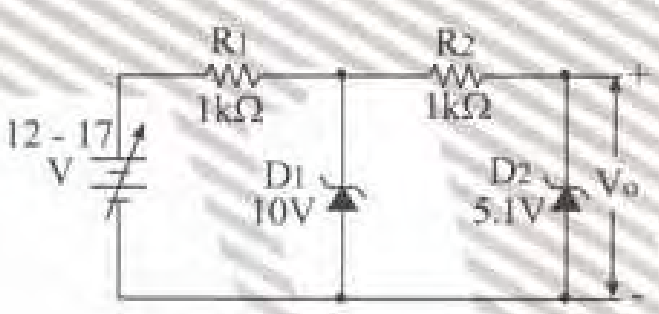
شکل ۱۳۵ـ۱ـ مدار یکسوکننده تمام موج به کمک پل دیود

۲ـ شکل (۱۳۶ـ۱) یک نمونه دیگر مدار دو برابر کننده ولتاژ است. در صورت داشتن امکانات آن را ببندید و V_o را اندازه بگیرید.



شکل ۱۳۶ـ۱ـ مدار دو برابرکننده ولتاژ

۳ـ مدار شکل (۱۳۷ـ۱) را ببندید و ولتاژ ورودی را از ۱۲ ولت به ۱۷ ولت تغییر دهید و میزان تغییر ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



شکل ۱۳۷ـ۱ـ مدار تحدیدکننده

۱۵ـ۱ـ پرسش و تمرین (۱)

۱ـ نیمه هادی‌های نوع P و N را چگونه می‌سازند؟ شرح دهید.

۲ـ در یک قطعه سیلیکون خالص، حفره چگونه به‌وجود می‌آید؟ شرح دهید.

۳ـ در یک اتصال PN چگونه در یک جهت جریان را به راحتی از خود عبور می‌دهد و در جهت دیگر جریان را به راحتی از خود عبور نمی‌دهد؟

۴ـ تعداد حفره‌های نیمه هادی نوع P..... نیمه هادی نوع N است.

الف: □ بیشتر از ب: □ کمتر از ج: □ مساوی د: □ دو برابر

۵ـ دیود ۱N۴۰۰۷ چه مشخصاتی دارد؟ (با استفاده از جدول، مشخصات را استخراج کنید)

۶ـ فرق بین دیود ضانکی و دیود معمولی را شرح دهید؟

۷ـ چگونه یک دیود نورده‌نده (LED) با دو پایه می‌تواند سه نوع نور تولید کند؟

۸ـ یک مدار یکسوکننده تمام موج با ترانسفورماتور سر وسط را رسم کنید و طرز کار آن را توضیح دهید.

۹ـ یک مدار یکسوکننده تمام موج (پل) را رسم کنید و طرز کار آن را شرح دهید.

۱۰ـ یک مدار دو برابرکننده ولتاژ را رسم کنید و طرز کار آن را توضیح دهید.

۱۱ـ ولتاژهای دیودزنر را معمولاً در کدام استاندارد می‌سازند؟

۱۲ـ چگونه می‌توان با استفاده از دیودزنر یک رگولاتور ولتاژ ساده ساخت؟

۱۳ـ چگونه می‌توان با استفاده از دیودهای زنر دامنه سیگنال‌ها را محدود کرد؟

فصل دوم

ترانزیستور

هدف کلی

شناخت ترانزیستور و کاربرد آن در مدارها به‌عنوان تقویت‌کننده.

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

۱ـ ساختمان ترانزیستور را شرح دهد.

۲ـ فرق ترانزیستورهای PNP و NPN را شرح دهد.

۳ـ از روی علامت قراردادی ترانزیستور، نوع PNP و NPN را تشخیص دهد.

۴ـ منحنی مشخصه‌های ترانزیستور را نام ببرد.

۵ـ طرز کار یک ترانزیستور را شرح دهد.

۶ـ مشخصات یک ترانزیستور را از کتاب‌های مرجع و یا کاتالوگ‌های مربوطه استخراج کند.

۷ـ با اهم‌متر دیجیتالی نوع ترانزیستور و پایه‌های ترانزیستور را تشخیص دهد.

۸ـ تغییرات جریان بیس روی جریان کلکتور را اندازه‌گیری کند.

۹ـ روش‌های نام‌گذاری ترانزیستورها را شرح دهد.

۱۰ـ ولتاژ بندی (بایاس کردن) ترانزیستور را شرح دهد.

۱۱ـ ولتاژ و جریان DC (نقطه کار) یک ترانزیستور را اندازه بگیرد.

۱۲ـ نقطه کار و خط بار ترانزیستور را شرح دهد.

۱۳ـ چگونگی استفاده از ترانزیستور را به‌عنوان تقویت‌کننده توضیح دهد.

۱۴ـ مشخصات کلی یک تقویت‌کننده را نام ببرد.

۱۵ـ تقویت‌کننده امیتر مشترک را رسم کند و سیگنال‌های ورودی و خروجی آن را مشخص کند.

۱۶ـ تقویت ولتاژ در تقویت‌کننده امیتر مشترک را با خازن بای‌پاس (By pass) و بدون خازن بای‌پاس عملاً تجربه کند.

۱۷ـ تقویت‌کننده بیس مشترک را رسم و سیگنال‌های ورودی و خروجی آن را مشخص کند.

۱۸ـ تقویت ولتاژ در تقویت‌کننده بیس مشترک را عملاً اندازه بگیرد.

۱۹ـ تقویت‌کننده کلکتور مشترک را رسم کند و سیگنال‌های ورودی و خروجی آن را مشخص کند.

۲۰ـ تقویت ولتاژ در تقویت‌کننده کلکتور مشترک را عملاً اندازه بگیرد.

۲۱ـ اثرات دما بر نقطه کار ترانزیستور را شرح دهد.

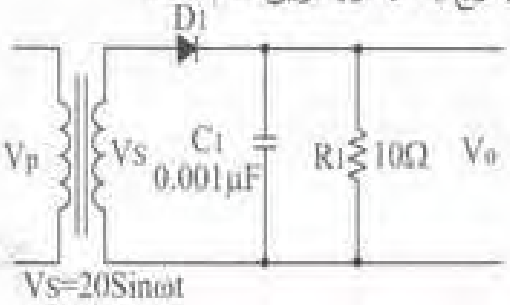
ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱۸	۱۴	۳۲

پیش‌آزمون (۲)

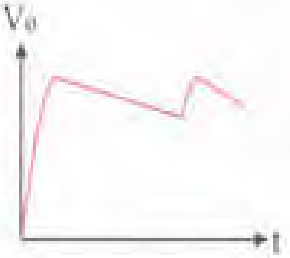
۱ـ (با توجه به جدول ۴۱ـ۱) کدام ولتاژ دیودزنر استاندارد است؟

الف: □ ۵/۱ ب: □ ۵/۲ ج: □ ۵/۳ د: □ ۵/۴

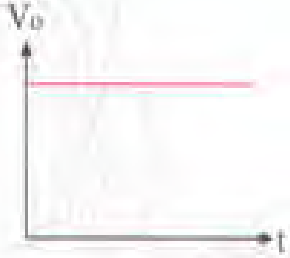
۲ـ در شکل زیر، شکل موج V_0 به‌طور تقریبی کدام است؟



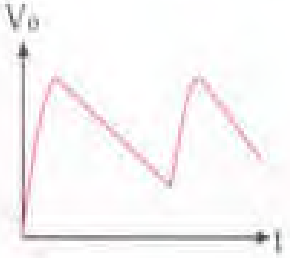
الف: □



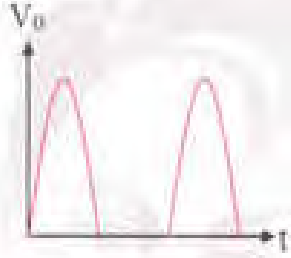
ب: □



ج: □



د: □



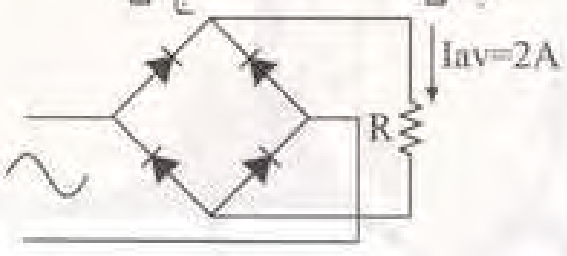
۳ـ در مدارهای مختلف دیود زنر در بایاس ..... و دیود نوردهنده (LED) در بایاس ..... به‌کار می‌رود.

الف: □ مستقیم ـ معکوس ب: □ معکوس ـ مستقیم

ج: □ معکوس ـ معکوس د: □ مستقیم ـ مستقیم

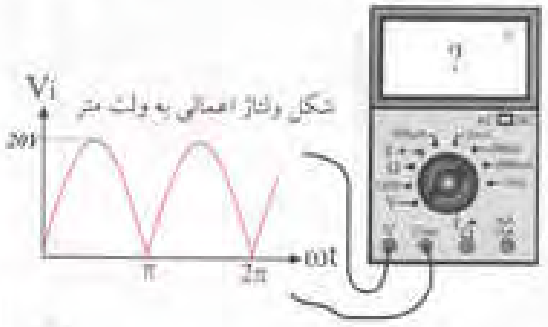
۴ـ در شکل زیر دیودها را چند آمپری باید انتخاب کنیم؟

الف: □ ۰/۵ ب: □ ۱ ج: □ ۲ د: □ ۴



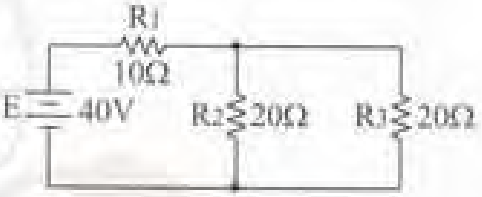
۵ـ در شکل زیر ولت‌متر دیجیتالی چند ولت ولتاژ را نشان می‌دهد؟

الف: □ $\frac{۲۰}{\pi}$ ب: □ ۲۰π ج: □ $\frac{۴۰}{\pi}$ د: □ ۴۰π



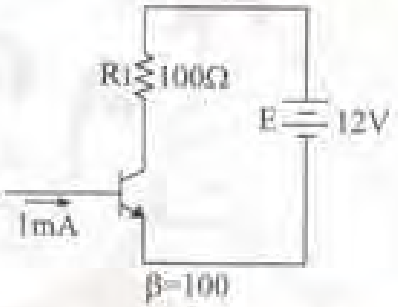
۶ـ در شکل زیر انرژی تلف شده در مقاومت ۱۰Ω در مدت ۱۰۰ ثانیه چند ژول است؟

الف: □ ۱۰۰۰ ب: □ ۲۰۰۰ ج: □ ۳۰۰۰ د: □ ۴۰۰۰



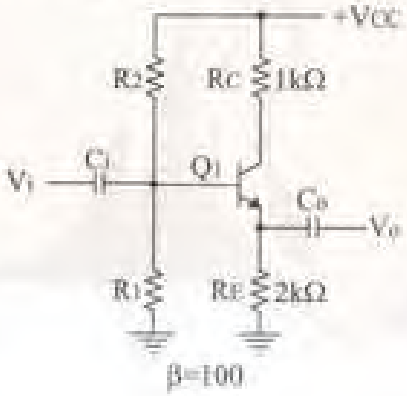
۷ـ در شکل زیر افت ولتاژ در سر مقاومت ۱۰۰Ω چند ولت است؟

الف: □ ۱۰ ب: □ ۸ ج: □ ۶ د: □ ۴



۸ـ در شکل زیر نسبت ($\frac{V_o}{V_i}$) کدام است؟

الف: □ یک ب: □ کمتر از یک ج: □ دو د: □ ده



۹ـ یکی از مشخصه‌های خوب تقویت‌کننده پس مشترک نسبت به تقویت‌کننده امیترمشترک و کلکتور مشترک با یک شماره ترانزیستور کدام است؟

الف: □ امپدانس ورودی بیشتر　　ب: □ بهره ولتاژ بیشتر

ج: □ بهای باند بیشتر　　د: □ هر سه مورد

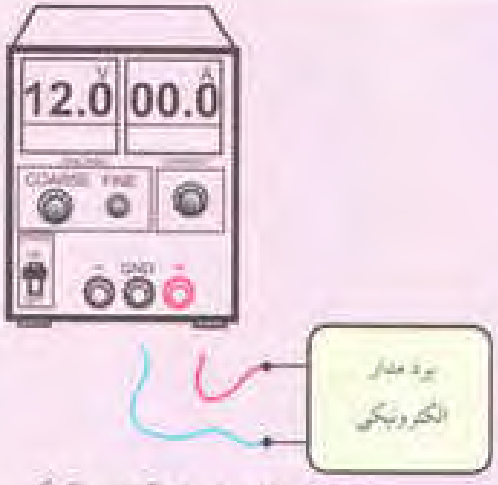
۱۰ـ در کدام تقویت‌کننده بین سیگنال ورودی و سیگنال تقویت شده، اختلاف فاز ۱۸۰ درجه به‌وجود می‌آید؟

الف: □ امیترمشترک　　ب: □ کلکتور مشترک　　ج: □ بیس مشترک　　د: □ هر سه مورد

۱۱ـ نحوه تقویت شدن یک سیگنال الکتریکی را در یک تقویت‌کننده امیترمشترک به کمک منحنی‌های مشخصه ترانزیستور شرح دهید.

نکات ایمنی (۲)

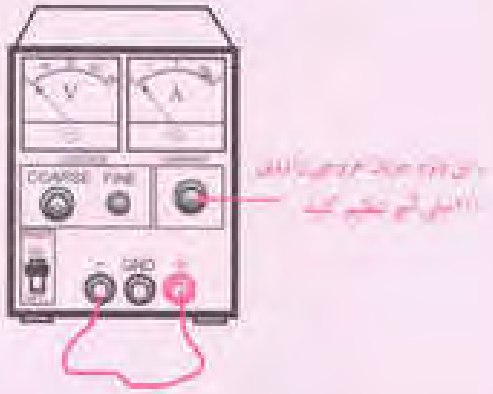
۱ـ قبل از وصل منبع تغذیه به مدارهای الکترونیکی، ابتدا منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ خروجی آن را تنظیم کنید و سپس مدار را به منبع تغذیه وصل کنید.



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

۲ـ اسیلوسکوپ یا منبع تغذیه را در مجاورت وسایل گرمازا یا زیر نور آفتاب قرار ندهید.

۳ـ اگر منبع تغذیه‌ای که با آن کار می‌کنید دارای ولوم محدودکننده جریان است، در آزمایش‌های این فصل جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید. برای این کار ابتدا ولتاژ خروجی را روی صفر ولت بگذارید، سپس دو سر خروجی را اتصال کوتاه کنید. ولتاژ خروجی را کمی زیاد کنید تا جریان از ۱۰۰mA تجاوز کند. با استفاده از ولوم Limit Current جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید.



۴ـ کلیدها و ولوم‌های روی اسیلوسکوپ خیلی ظریف هستند. هنگام کار با اسیلوسکوپ در صورت نیاز به تغییر، کلیدها را خیلی آرام تغییر دهید.

قابل توجه همکاران ارجمند

با توجه به اینکه مدت اختصاص داده شده به کار عملی در این فصل محدود می‌باشد، ضروری است برای آزمایش‌های این فصل در هنرستان‌ها براساس هر آزمایش یک برد مدار چاپی آماده تهیه شود و در اختیار هنرجویان قرار گیرد تا هنرجویان بدون بستن تک تک اجزای مدار بتوانند همه‌ی آزمایش‌ها را انجام دهند و نتیجه آن را مشاهده کنند.

۱ـ۲ـ ساختمان و طرز کار ترانزیستور معمولی (BJT)

یک ترانزیستور معمولی، از سه قطعه نیمه هادی نوع P و N تشکیل شده است. نحوه‌ی قرار گرفتن نیمه هادی‌های نوع P و N در کنار یک‌دیگر به دو صورت زیر می‌تواند باشد. هر دو نوع ترانزیستور در عمل ساخته می‌شوند.

الف : یک قطعه نیمه هادی نوع N در وسط و دو قطعه نیمه هادی نوع P در دو طرف آن

ب : یک قطعه نیمه هادی نوع P در وسط و دو قطعه نیمه هادی نوع N در دو طرف آن

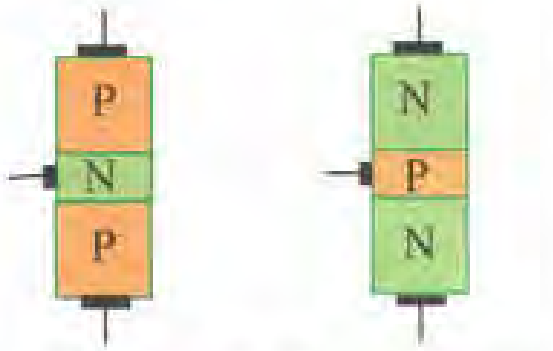
در شکل (۱ـ۲) ساختمان داخلی هر دو نوع ترانزیستور نشان داده شده است.

ترانزیستوری که از دو قطعه نیمه هادی نوع P و یک قطعه نیمه هادی نوع N ساخته شده باشد ترانزیستور PNP و ترانزیستوری که حاوی دو قطعه نیمه هادی نوع N و یک قطعه نیمه هادی نوع P است، ترانزیستور NPN نامیده می‌شود.

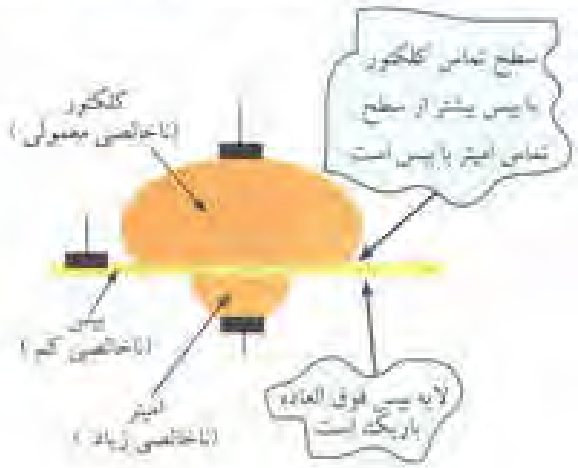
پایه‌های ترانزیستور را امیتر، بیس و کلکتور می‌نامند. از نظر ناخالصی، لایه امیتر بیشترین ناخالصی و لایه بیس کمترین ناخالصی را دارد. از نظر ابعاد فیزیکی کلکتور دارای بیشترین ابعاد و لایه بیس کمترین ابعاد را دارد. در شکل (۲ـ۲) ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی نشان داده شده است.

پایه کلکتور را با حرف C، پایه بیس را با حرف B و پایه امیتر را با حرف E نشان می‌دهند (شکل ۳ـ۲).

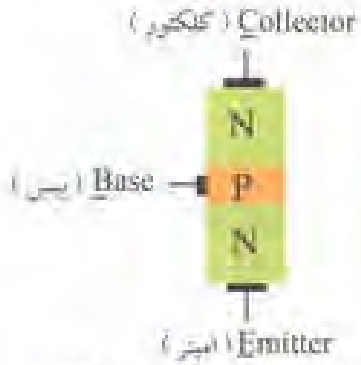
در شکل (۴ـ۲)، علامت‌های قراردادی ترانزیستورهای PNP و NPN نشان داده شده است.



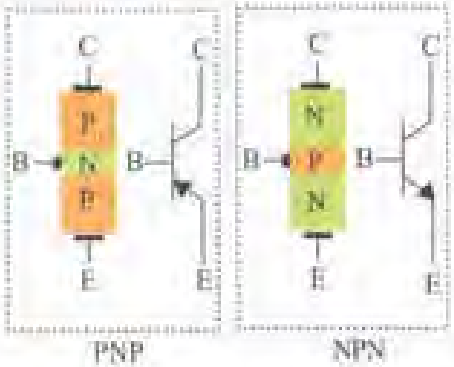
شکل ۱ـ۲ـ نحوه‌ی قرار گرفتن نیمه هادی‌های نوع N و P در ترانزیستور



شکل ۲ـ۲ـ مقایسه ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی



شکل ۳ـ۲ـ نام پایه‌های ترانزیستور



شکل ۴ـ۲ـ علامت قراردادی ترانزیستورهای PNP و NPN

در شکل (۵ـ۲)، نمونه‌هایی از انواع ترانزیستورها را مشاهده می‌کنید.

شکل ۵ـ۲ـ نمونه‌هایی از انواع ترانزیستورها

برای بررسی طرز کار ترانزیستور، به شکل (۶ـ۲) توجه کنید. منبع ۰/۷ ولتی باعث می‌شود که دیود پیش امیتر، کاملاً در حالت هدایت قرار گیرد. در این شرایط منبع ولتاژ سینوسی با دامنه ۰/۱ ولت می‌تواند جریان سینوسی با دامنه تقریبی ۱۰mA را در مدار به‌وجود آورد.

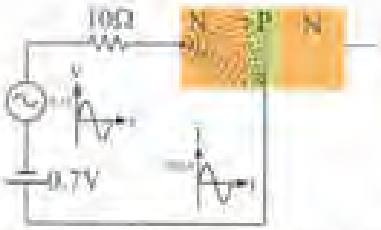
$$I=\frac{V}{R}=\frac{0/1V}{10\Omega}=0/01A=10mA$$

اگر بتوانیم به هر طریقی این جریان سینوسی با دامنه‌ی تقریبی ۱۰mA را از یک مقاومت ۱۰۰۰Ω عبور دهیم در دو سر این مقاومت ولتاژ سینوسی با دامنه تقریبی ده ولت به‌وجود می‌آید. زیرا:

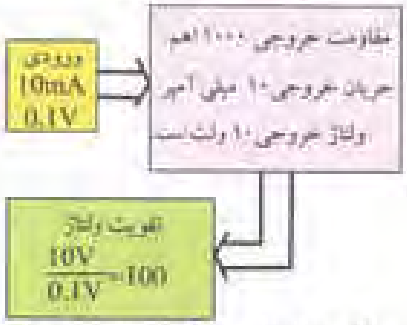
$$V=R_2I=1000\times10\times10^{-3}=10V$$

اگر ولتاژ دو سر مقاومت را ولتاژ خروجی و سیگنال سینوسی با دامنه ۰/۱ ولت را ولتاژ ورودی درنظر بگیریم می‌توانیم بگوییم که دامنه ولتاژ سینوسی به اندازه $\frac{10V}{0/1V}=100$ برابر تقویت شده است.

ترانزیستور دقیقاً همین کار را انجام می‌دهد: **یعنی جریان تولیدی در یک مدار را به مدار دیگری بامقاومت بیشتر انتقال می‌دهد.**



الف – عبور جریان سینوسی از لایه PN ترانزیستور با دامنه ۱۰ میلی آمپر

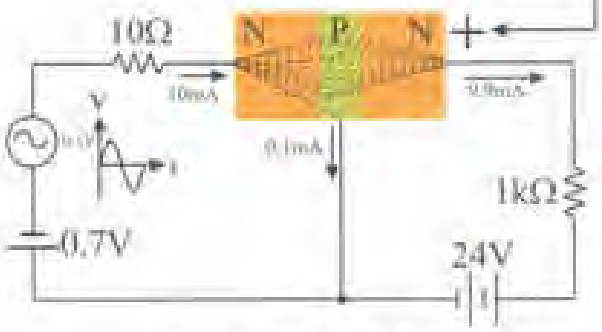


ب – اگر جریان ۱۰ میلی آمپر از مقاومت ۱۰۰۰ اهمی عبور کند افت ولتاژ دو سر آن ۱۰ برابر سیگنال ورودی می‌شود

شکل ۶ـ۲ـ نحوه تقویت در ترانزیستور

برای این منظور، اتصال بین کلکتور و بیس را با ولتاژ زیاد به‌صورت معکوس بایاس می‌کنیم. در این صورت الکترون‌ها (جریان الکتریکی) از نیمه‌هادی نوع N به نیمه هادی نوع P وارد می‌شوند تا مسیر جریان را ببندند. از طرفی چون ناخالصی نیمه هادی نوع P خیلی کم است الکترون‌ها در نیمه هادی نوع P با حفره‌ها ترکیب نمی‌شوند از طرف دیگر چون لایه بیس خیلی نازک است و پتانسیل کلکتور با قطب مثبت نیز زیاد است لذا کلکتور تقریباً بیش از ۹۵٪ الکترون‌ها را می‌رباید. با توجه به این که مدار الکتریکی باید بسته شود لذا این جریان در شکل (۷ـ۲) از مقاومت ۱kΩ عبور می‌کند و جریان بسیار کمی نیز از طریق پایه بیس مدار خود را می‌بندد.

ولتاژ زیاد و مثبت باعث می‌شود که الکترون های داخل بیس به طرف کلکتور جذب شوند



شکل ۷ـ۲ـ عملکرد ترانزیستور

بنابراین ترانزیستور جریانی را که به واسطه یک مقاومت کم در یک مدار تولید شده است می‌تواند از مدار دیگری با مقاومت بیشتر عبور دهد. نام ترانزیستور نیز از همین عملکرد آن انتخاب شده است.

Transfer resistor

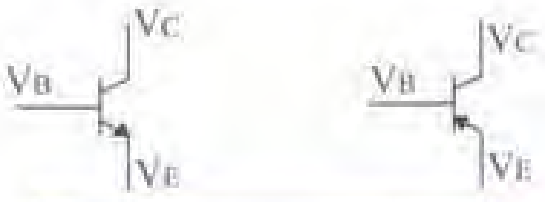
Transistor

جریانی که از هر پایه ترانزیستور عبور می‌کند به نام همان پایه نام‌گذاری می‌کنند. مثلاً جریانی که از بیس عبور می‌کند را I_B می‌نامند. در شکل (۸ـ۲) نام‌گذاری جریان پایه‌های ترانزیستورهای PNP و NPN نشان داده شده است.

شکل ۸ـ۲ـ رابطه بین جریان‌ها در ترانزیستور

در هر ترانزیستور تحت هر شرایطی رابطه $I_E = I_C + I_B$ صادق است.

ولتاژ هر پایه را نسبت به زمین و یا نسبت به هر مرجع دیگری را با حرف V و نام پایه مورد نظر نشان می‌دهند. مثلاً V_B پتانسیل (ولتاژ) پایه کلکتور نسبت به زمین است. در شکل (۹ـ۲) ولتاژ نقاط مختلف یک ترانزیستور نسبت به زمین نشان داده شده است.



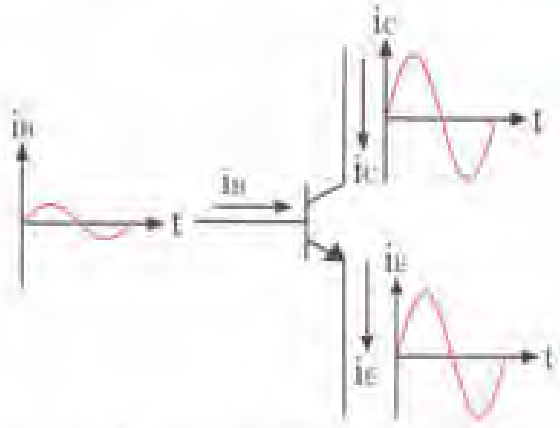
V_B ☛ یعنی ولتاژ بیس نسبت به زمین

شکل ۹ـ۲ـ ولتاژ هر پایه ترانزیستور نسبت به زمین

ولتاژ بین دو پایه ترانزیستور را با حرف V نشان می‌دهند و به دنبال آن نام دو پایه را مشخص می‌کنند. مثلاً V_{BE} ولتاژ بین پایه بیس و امیتر است. توجه داشته باشید که پایه بیس در این نام‌گذاری برای ترانزیستور موردنظر مثبت‌تر در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۱۰ـ۲) نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌ها نشان داده شده است.

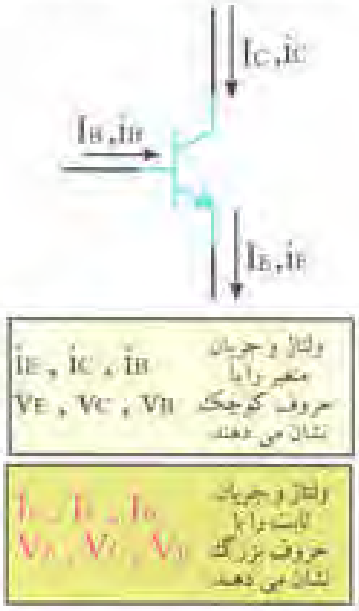
شکل ۱۰ـ۲ـ نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌ها

در یک ترانزیستور، تغییرات جریان بیس، باعث تغییرات بیشتر جریان در کلکتور می‌شود شکل (۱۱ـ۲). به عنوان مثال اگر جریان بیس به اندازه یک میلی‌آمپر تغییر کند، تغییرات جریان در کلکتور ممکن است به ۱۰۰ میلی‌آمپر برسد. در یک ترانزیستور، جریان‌ها و ولتاژهای متغیر یا متناوب (AC) را با حروف کوچک (i و v) و ولتاژها و جریان‌های ثابت را با حروف بزرگ (I و V) مشخص می‌کنند (شکل ۱۲ـ۲).



شکل ۱۱ـ۲ـ تغییرات جریان بیس باعث تغییر جریان کلکتور می‌شود.

برای تشخیص پایه‌های ترانزیستور و همچنین نوع ترانزیستور (PNP یا NPN) می‌توان به کاتالوگ ترانزیستور مراجعه کرد. همچنین به کمک آومتر دیجیتالی یا عقربه‌ای نیز می‌توان نوع ترانزیستور (PNP یا NPN) و پایه‌های آن را تشخیص داد. در ادامه نحوه تشخیص نوع ترانزیستورها و پایه‌های آن به کمک آومتر دیجیتالی توضیح داده می‌شود.



شکل ۱۲ـ۲ـ نحوه‌ی نام‌گذاری جریان‌ها و ولتاژهای متناوب و ثابت در ترانزیستور

۱ـ۱ـ۲ـ تشخیص پایه‌ها و نوع ترانزیستور: در آوومترهای دیجیتالی، قسمتی برای آزمایش یک اتصال PN وجود دارد. در شکل (۱۳ـ۲) یک نمونه آوومتر دیجیتالی که دارای این امکان است را مشاهده می‌کنید. اگر کلید سلکتور اصلی آوومتر در مقابل علامت ⊶|▷ (دیود) قرار گیرد در دو سر ترمینال خروجی com و ترمینالی که علامت ⊶|▷ روی آن قرار دارد ولتاژی بین ۱/۵ تا ۳ ولت (بسته به نوع آوومتر) ظاهر می‌شود. در این حالت **صفحه نمایش آوومتر در هر لحظه ولتاژ بین این دو ترمینال را نشان می‌دهد.** اگر این دو ترمینال اتصال کوتاه شوند صفحه نمایش، ولتاژ صفر ولت را نشان می‌دهد. حال اگر یک دیود را مطابق شکل (۱۴ـ۲) به آوومتر وصل کنیم، اگر دیود سالم باشد ولتاژی در حدود ۰/۷ ولت در دو سر آن افت می‌کند. این افت ولتاژ روی صفحه نمایش (Display) آوومتر نشان داده می‌شود.

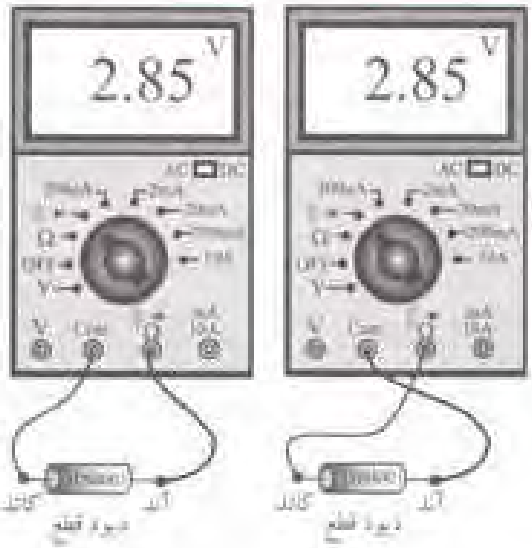
شکل ۱۲ـ۲ـ آوومتر دیجیتالی

شکل ۱۴ـ۲ـ اگر دیود سالم باشد ولتاژ دو سر آن ۰/۷ ولت خواهد شد.

اگر دیود اتصال کوتاه شده باشد (سوخته باشد) ولتاژ دو سر آن صفر ولت می‌شود و صفر روی صفحه نمایش ظاهر می‌شود. در شکل (۱۵ـ۲) دیودی که به آوومتر وصل شده سوخته است. بنابراین روی صفحه نمایش آوومتر ولتاژ صفر ولت نشان داده می‌شود.

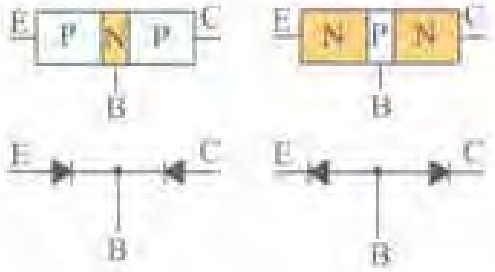
شکل ۱۵ـ۲ـ اگر دیود اتصال کوتاه باشد ولتاژ دو سر آن صفر ولت خواهد شد.

اگر دیود سوخته دارای مدار باز باشد یعنی قسمت P و N کاملاً از یک دیگر جدا شده باشند، یا این‌که دیود را برعکس به اومتر وصل کنیم (شکل ۱۶ـ۲)، چون جریانی از دیود عبور نمی‌کند ولتاژ دو ترمینال خروجی آن، بین ۱٫۵ تا ۳ ولت خواهد شد. با این شیوه می‌توان به سلامت یک اتصال PN پی برد.



شکل ۱۶ـ۲ـ اگر دو سر دیود باز باشد جریانی از دیود عبور نمی‌کند.

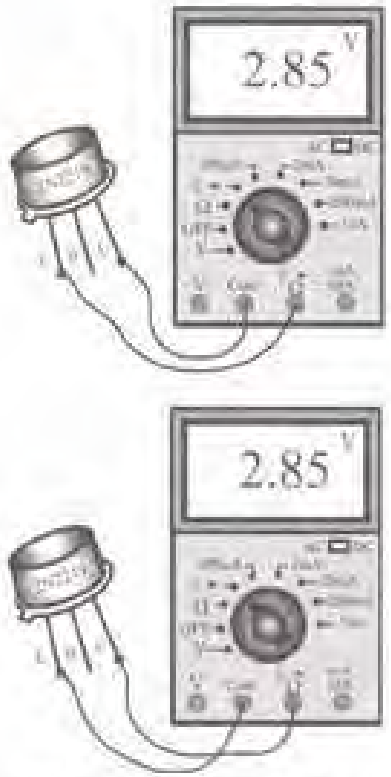
یک ترانزیستور را می‌توان به صورت دو اتصال PN نمایش داد. در شکل (۱۷ـ۲)، مدار معادل دو اتصال PN برای ترانزیستورهای PNP و NPN نشان داده شده است.



شکل ۱۷ـ۲ـ معادل دیودی ترانزیستور PNP و NPN

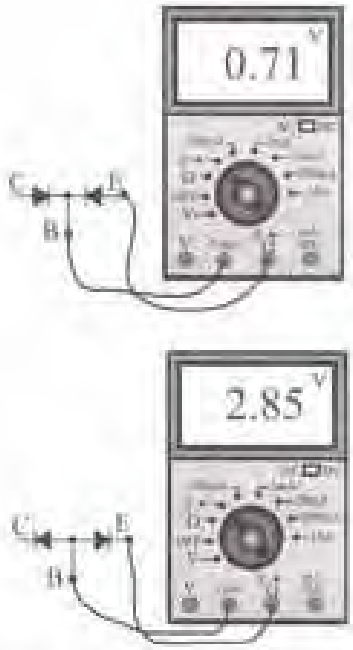
برای تشخیص نوع ترانزیستور (PNP یا NPN) و نوع پایه‌های آن، می‌توانیم از آومتر دیجیتالی به صورت زیر استفاده کنیم.

پایه‌های کلکتور و امیتر در هیچ جهتی از خود جریان عبور نمی‌دهند، بنابراین در یک ترانزیستور، ابتدا دو پایه‌ای را که در هیچ جهتی از خود جریان عبور نمی‌دهند تشخیص می‌دهیم شکل (۱۸ـ۲). این دو پایه یکی کلکتور و دیگری امیتر است و پایه سوم نیز پایه فرض سالم بودن ترانزیستور قطعاً پیس است.



شکل ۱۸ـ۲ـ نحوه تشخیص پایه‌های امیتر و کلکتور

در مرحله بعد پایه بیس را به ترمینال خروجی COM و یکی از پایه‌های دیگر را به ترمینال خروجی ⊣◀ وصل می‌کنیم. اگر بر روی صفحه نمایش عددی بین ۰/۵ تا ۰/۷ نمایان شد ترانزیستور از نوع PNP است و اگر آوومتر ولتاژ مدار باز را نشان داد (۱/۵ تا سه ولت ـ بستگی به نوع آوومتر) ترانزیستور از نوع NPN است (شکل ۱۹ـ۲).



شکل ۱۹ـ۲ـ نحوه تشخیص ترانزیستور PNP و NPN به کمک آوومتر دیجیتالی

برای تشخیص پایه‌های کلکتور و امیتر، سعی می‌کنیم پایه بیس و امیتر یا کلکتور را به کمک ولتاژ خروجی دو سر آوومتر، در بایاس مستقیم قرار دهیم. چون مقاومت اهمی بین بیس و کلکتور از مقاومت اهمی بین بیس و امیتر کمتر است. لذا بین بیس و پایه‌ی دیگری که ولتاژ کمتری در آن‌ها افت کند آن پایه کلکتور است. تفاوت ولتاژ بسیار کم و در حدود چند صد هزارم ولت است.

به کمک اهم‌متر عقربه‌ای نیز می‌توان پایه‌های ترانزیستور را تشخیص داد. برای این کار از مقاومت اهمی بین پایه‌ها استفاده می‌کنیم. اگر دیود سوخته باشد مقاومت اهمی دو سر آن در هر دو جهت صفر است یا بی‌نهایت و اگر دیود سالم باشد مقاومت اهمی آن در بایاس مخالف خیلی زیاد ولی در بایاس موافق تقریباً محدود است. در بیشتر آوومترهای عقربه‌ای ساده (غیرالکترونیکی) ترمینال (−) قطب مثبت ولتاژ خروجی آوومتر است و ترمینال (+) قطب منفی آن را تشکیل می‌دهد (شکل ۲۰ـ۲).

الف ـ آوومتر دیجیتالی

ب ـ آوومتر عقربه‌ای

شکل ۲۰ـ۲ـ نحوه تشخیص پایه‌های کلکتور، بیس و امیتر ترانزیستور با استفاده از آوومتر

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۲ــ۲ــ آزمایش شماره (۱) : تشخیص پایه‌های ترانزیستور

هدف آزمایش: تشخیص نوع PNP یا NPN ترانزیستور و مشخص کردن پایه‌ها با استفاده از آومتر دیجیتالی.

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور را مشاهده می‌کنید. ابعاد و اندازه پایه‌های آن‌ها را به خاطر می‌سپارید و شماره روی ترانزیستورها را می‌خوانید. سپس با استفاده از آومتر دیجیتالی و انجام یک آزمایش ساده به نوع ترانزیستور از نظر PNP یا NPN پی می‌برید. در ادامه آزمایش پایه‌های بیس ـ کلکتور و امیتر را با استفاده از مولتی‌متر عقربه‌ای و دیجیتالی تشخیص می‌دهید. یادآور می‌شود که برای پی‌بردن به‌نوع ترانزیستور و تشخیص پایه‌های آن می‌توان به کتاب مشخصات ترانزیستورها مراجعه کرد.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ــ آومتر دیجیتالی	یک دستگاه
۲ــ آومتر عقربه‌ای	یک دستگاه
	(در صورت موجود بودن)
۳ــ ترانزیستور 2SA۹۵۰	یک عدد
۴ــ ترانزیستور 2N۳۰۵۵	یک عدد
۵ــ سیم رابط یک سر گیره سوسماری	دو رشته

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- کلید سلکتور آومتر دیجیتالی را روی حالت «))» قرار دهید.
- پایه‌های ترانزیستور را به‌صورت دلخواه شماره‌گذاری کنید.

■ ترانزیستور را مطابق شکل (۲۱ـ۲) به اُوومتر اتصال دهید.

■ مراقب باشید هنگام اندازه‌گیری ولتاژ دست‌های شما با قسمت فلزی پروب تماس نداشته باشد.

■ ولتاژهای خواسته شده را هنگام اتصال ترانزیستور به اُوومتر، از روی صفحه نمایش اُوومتر بخوانید و در جدول ۱ـ۲ یادداشت کنید.

■ مقادیر ولتاژها را تا ۳ رقم اعشار بنویسید.

شکل ۲۱ـ۲ـ مدار آزمایش هنگام اندازه‌گیری V_{12}

جدول ۱ـ۲

شماره ترانزیستور	
V_{12} =	
V_{13} =	
V_{23} =	
V_{21} =	
V_{31} =	
V_{32} =	

توجه داشته باشید که منظور از ولتاژ V_{12}، اختلاف پتانسیل پایه ۱ و پایه ۲ است. به عبارت دیگر باید پایه ۱ را به ترمینال خروجی ⊙)) وصل کنید و پایه ۲ را به پایه مشترک یا ترمینال Com. منظور از ولتاژ V_{21} این است که پایه ۲ به ترمینال خروجی ⊙)) و پایه ۱ به پایه مشترک وصل شود.

سؤال ۱: با توجه به مقادیر ولتاژ به‌دست آمده بین پایه‌ها، نوع ترانزیستور و پایه‌های آن را مشخص کنید.

نوع ترانزیستور ⟸ [ ]

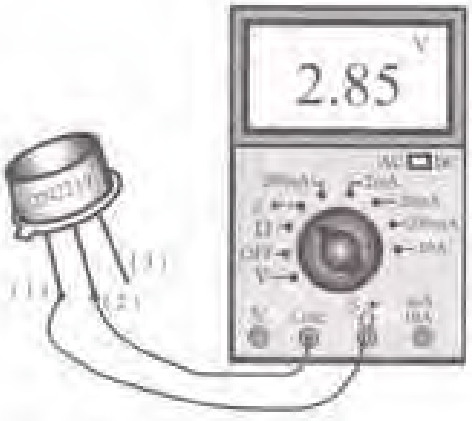
پایه‌ها ⟵ (۱) : [ ] ، (۲) : [ ] ، (۳) : [ ]

درصورتی که نتوانستید به سؤال (۱) پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱ـ۲) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ ترانزیستور را طبق شکل (۲۲ـ۲) به مولتی‌متر دیجیتالی ببندید.

■ ولتاژهای خواسته شده را هنگام اتصال ترانزیستور به اُوومتر از روی صفحه نمایش اُوومتر بخوانید و در جدول ۲ـ۲ یادداشت کنید.

■ مقادیر ولتاژ را تا سه رقم اعشار بنویسید.



شکل ۲۲ـ۲ـ مدار آزمایش هنگام اندازه‌گیری ولتاژ بین پایه‌ها

سؤال ۲: با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای ولتاژ بین پایه‌ها، نوع ترانزیستور و پایه‌های آن را مشخص کنید (جدول ۲ـ۲).

نوع ترانزیستور ⟸ [ ]

(۱) پایه‌ها: [ ] (۲): [ ] (۳): [ ]

جدول ۲ـ۲

	شماره ترانزیستور
ولت	$V_{۱۰}$ =
ولت	$V_{۱۳}$ =
ولت	$V_{۱۲}$ =
ولت	$V_{۰۳}$ =
ولت	$V_{۰۲}$ =

درصورتی که نتوانستید به سؤال (۲) پاسخ دهید با مراجعه به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱ـ۲) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای مطالب فصل دوم، آزمون پایانی عملی (۲) خودآزمایی شماره (۱) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آن‌چه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

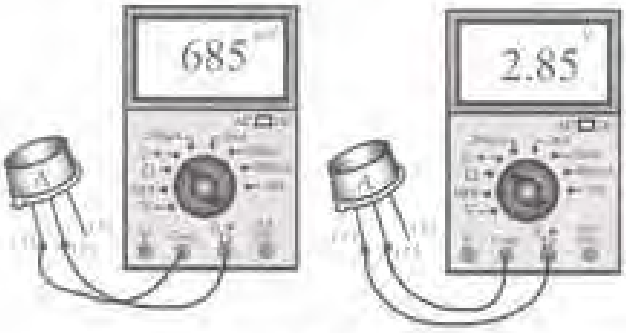
آزمون

۱ـ در شکل (۲۳ـ۲)، نوع ترانزیستور A کدام است؟

الف: □ PNP

ب: □ NPN

ج: □ با این دو آزمایش نمی‌توان تشخیص داد.



شکل ۲۳ـ۲

۳ـ۲ـ منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور

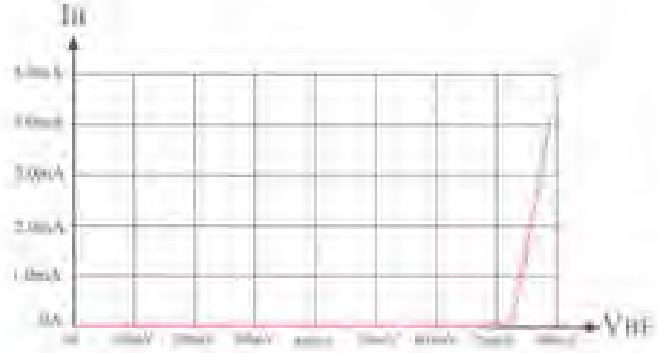
بعضی از مشخصات یک ترانزیستور، به شدت تابع حرارت می‌باشند، یعنی با تغییر حرارت برخی از مشخصات ترانزیستور تغییر می‌کند. روابط بین شدت جریان و ولتاژ، اختلاف پتانسیل و تغییرات آن‌ها در یک ترانزیستور بستگی به حرارت دارد. به همین جهت رابطه‌ی بین اختلاف پتانسیل شدت جریان ورودی را نمی‌توان به یک رابطه‌ی ساده‌ی ریاضی تقلیل داد. از این‌رو به‌جای استفاده از روابط پیچیده‌ی ریاضی، از یک سری منحنی استفاده می‌کنند که به منحنی‌های مشخصه‌ی ترانزیستور معروف است.

کارخانه‌های سازنده برای یک ترانزیستور، تعداد زیادی منحنی‌های مشخصه در اختیار مشتریان قرار می‌دهند. از میان منحنی‌های داده شده توسط کارخانه سازنده، سه منحنی از اهمیت خاصی برخوردار است که در زیر خیلی خلاصه به شرح آن‌ها می‌پردازیم.

۱ـ۳ـ۲ـ منحنی مشخصه ورودی: منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور، بیان‌کننده‌ی مقدار جریان ورودی برحسب ولتاژ است (شکل ۲۴ـ۲).

شکل ۲۴ـ۲ـ جریان ورودی ترانزیستور I_B است.

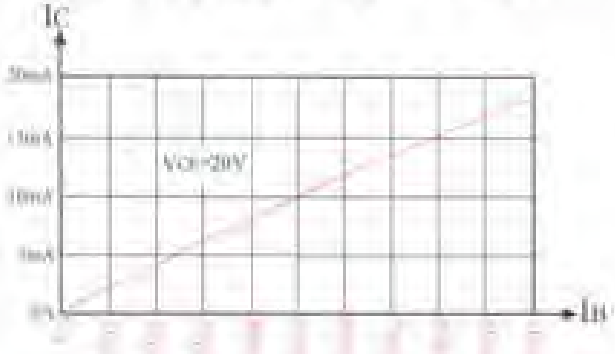
چون ورودی ترانزیستور پیش‌دامیز شبیه یک دیود است، لذا منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور دقیقاً مشابه منحنی مشخصه‌ی ولت ـ آمپر یک دیود است. در شکل (۲۵ـ۲) منحنی مشخصه‌ی ترانزیستور شماره 2SC945 نشان داده شده است.



این منحنی مربوط به ترانزیستور شماره 2SC2219 است.

شکل ۲۵ـ۲ـ منحنی مشخصه‌ی ورودی ترانزیستور

۲ـ۳ـ۲ـ منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور: منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور، رابطه بین جریان ورودی و جریان خروجی ترانزیستور به‌ازای مقادیر ثابت V_{CE} را به ما می‌دهد. در شکل (۲۶ـ۲) منحنی مشخصه‌ی انتقالی یک ترانزیستور نشان داده شده است. با توجه به منحنی نشان داده شده، در این ترانزیستور اگر $I_B = 125\,\mu A$ و $V_{CE} = 5V$ باشد، جریان کلکتور ترانزیستور برابر $I_C = 6\,mA$ خواهد شد. در یک ترانزیستور نسبت جریان I_C به I_B با حرف β نشان می‌دهند و آن را ضریب تقویت جریان می‌نامند. این مشخصه یکی از پارامترهای مهم ترانزیستور است. در حقیقت منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور نشان‌دهنده‌ی مقدار β است. نسبت $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ را β می‌نامند.

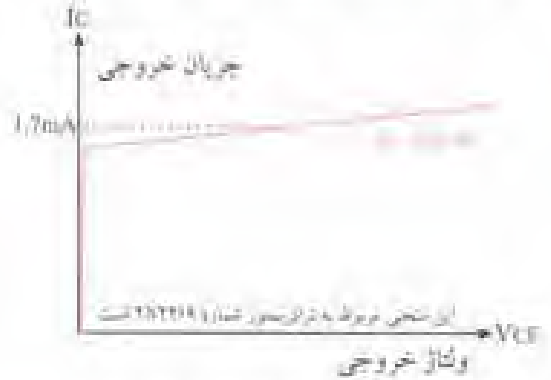


این منحنی مربوط به ترانزیستور شماره 2SC2219 است.

شکل ۲۶ـ۲ـ منحنی مشخصه‌ی انتقالی ترانزیستور

۳ـ۳ـ۲ـ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور: منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، رابطه بین جریان و ولتاژ خروجی را به‌ازای جریان ورودی معین نشان می‌دهد.

در شکل (۲۷ـ۲) منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور را مشاهده می‌کنید.



این منحنی مربوط به ترانزیستور شماره 2SC2219 است.

شکل ۲۷ـ۲ـ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور شامل سه ناحیه قطع، فعال و اشباع است.

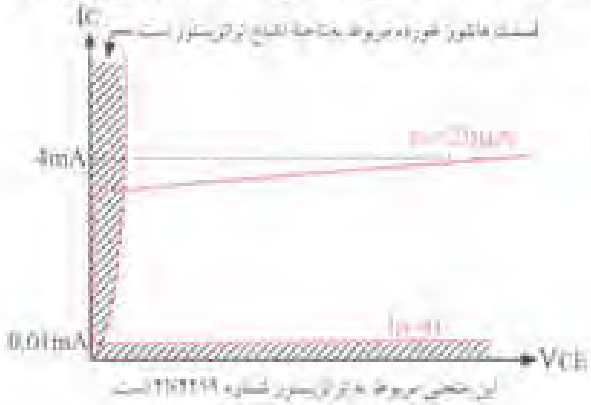
الف ــ ناحیه قطع: در این ناحیه جریان بین صفر است و ترانزیستور هنوز به آستانه هدایت نرسیده است. در ناحیه قطع روابط زیر برقرار است (شکل ۲۸ــ۲).

$$I_B = 0 \text{ و } I_C = 0$$

شکل ۲۸ــ۲ــ ناحیه قطع در منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

ب ــ ناحیه اشباع: ناحیه‌ای است که ترانزیستور درحال هدایت است ولی با تغییر بسیار کم V_{CE}، جریان کلکتور (I_C) شدیداً تغییر می‌کند. در ناحیه اشباع روابط زیر برقرار است (شکل ۲۹ــ۲).

$$I_B \neq 0 \text{ و } I_C \neq 0 \text{ و } V_{CE} = 0/2V$$

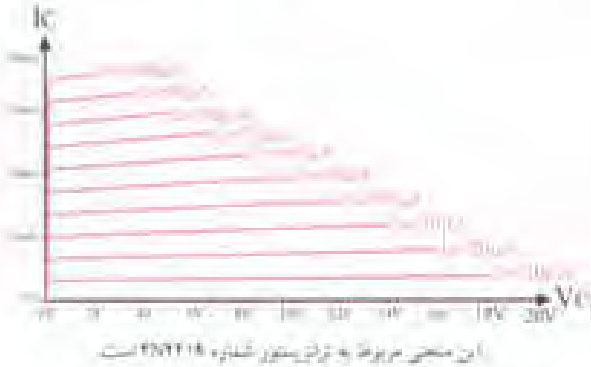


شکل ۲۹ــ۲ــ ناحیه اشباع در منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

ج ــ ناحیه فعال: در این ناحیه ترانزیستور درحال هدایت است و با تغییرات V_{CE}، جریان کلکتور چندان تغییر نمی‌کند (شکل ۳۰ــ۲).

شکل ۳۰ــ۲ــ ناحیه فعال در منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور

کارخانه‌های سازنده قطعات الکترونیکی معمولاً منحنی مشخصه‌ی خروجی را به‌ازای چندین مقدار I_B در اختیار مصرف‌کنندگان قرار می‌دهند. شکل (۳۱ــ۲)، منحنی مشخصه‌ی خروجی یک ترانزیستور را به‌ازای چندین مقدار I_B نشان می‌دهد.



شکل ۳۱ــ۲ــ منحنی مشخصه‌ی خروجی ترانزیستور به‌ازای چندین I_B مختلف

۴ـ۲ـ آزمایش شماره (۲): عملکرد ترانزیستور

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

هدف آزمایش: بررسی تغییرات جریان بیس روی جریان کلکتور

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما به بررسی تغییرات جریان بیس روی جریان کلکتور می‌پردازید. برای این منظور از یک مدار ساده که شامل یک عدد ترانزیستور، یک دستگاه منبع تغذیه، یک عدد پتانسیومتر و... استفاده خواهید کرد.

دو میلی‌آمپرمتر دیجیتالی (آوومتر دیجیتالی) را در مسیر کلکتور و بیس قرار می‌دهید با تغییر پتانسیومتر، جریان بیس را تغییر می‌دهید. با تغییر جریان بیس، جریان کلکتور نیز تغییر می‌کند. جریان کلکتور از طریق میلی‌آمپرمتری که در مسیر کلکتور به‌صورت سری قرار گرفته است قابل مشاهده و اندازه‌گیری است.

به یاد داشته باشید که اگر این آزمایش را در بار و یا بیشتر و در دماهای محیط مختلف انجام دهید ممکن است اعداد به‌دست آمده در هر آزمایش با یک‌دیگر تفاوت داشته باشند. مثلاً یک‌بار به‌ازای $I_B = 100\mu A$ ، $I_C = 10mA$ به‌دست می‌آید و بار دیگر به‌ازای $I_B = 100\mu A$ ممکن است $I_C = 11mA$ شود. این امر می‌تواند کاملاً طبیعی باشد. زیرا مشخصات ترانزیستور به شدت تابع حرارت است و با تغییرات دما ممکن است این مقادیر تا میزان ۱۰۰ درصد نیز تغییر کند.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ منبع تغذیه ۱۸-۱۵۷	یک دستگاه
۲ـ آوومتر دیجیتالی	دو دستگاه
۳ـ برد مدار چاپی آزمایش (عملکرد ترانزیستور)	یک عدد
۴ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته

مراحل اجرای آزمایش

■ وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.

■ منبع تغذیه را با احتیاط به برق وصل کنید و پس از روشن کردن، ولتاژ خروجی آن را روی صفر ولت تنظیم کنید.

■ مدار شکل (۳۲ـ۲) را ببندید.

■ حوزه کار میلی‌آمپرمتر شماره ۱ را روی ۲mA قرار دهید.

■ حوزه کار میلی‌آمپرمتر شماره ۲ را روی ۲۰ mA بگذارید.

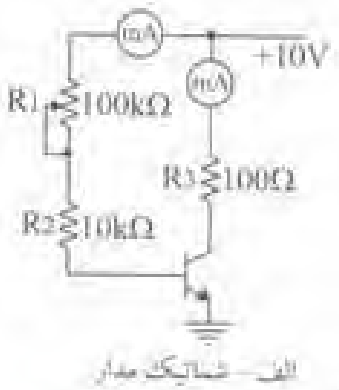
■ منبع تغذیه را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید.

■ با تغییر پتانسیومتر روی برد مدار چاپی، سعی کنید جریان بیس را روی ۰/۱ mA تنظیم کنید. در این شرایط میلی‌آمپرمتر شماره ۱ مقدار جریان را ۰/۱ mA نشان می‌دهد. حال جریان کلکتور را از روی میلی‌آمپرمتر شماره ۲ بخوانید و در جدول (۳ـ۲) یادداشت کنید.

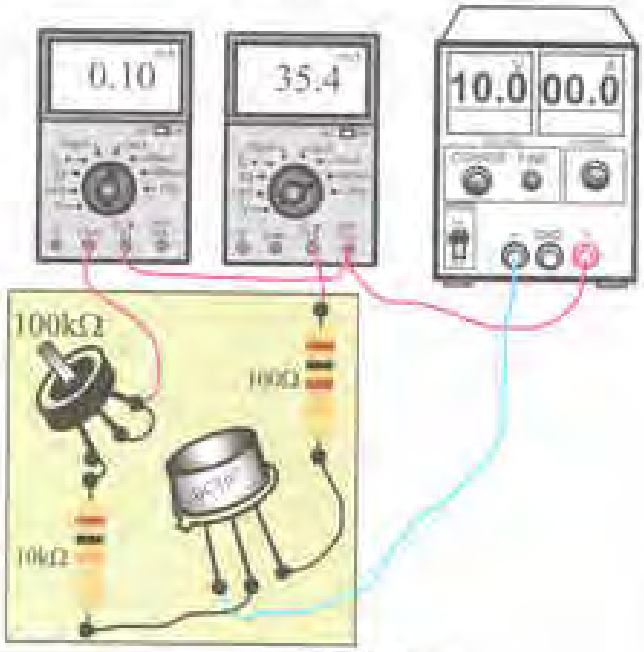
■ با تغییر پتانسیومتر، جریان بیس را روی ۰/۲ mA تنظیم کنید و به‌طور همزمان جریان کلکتور را بخوانید و در جدول (۳ـ۲) یادداشت کنید.

■ با تغییر پتانسیومتر، جریان بیس را به‌ترتیب روی ۰/۳mA ، ۰/۴ mA و ۰/۵ mA تنظیم کنید و به‌ازای هر تنظیم جریان بیس جریان کلکتور را بخوانید و در جدول (۳ـ۲) یادداشت کنید.

همان‌طور که از جدول (۳ـ۲) مشخص است با افزایش جریان بیس (I_B) جریان کلکتور (I_C) افزایش می‌یابد.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۳۲ـ۲ـ مدار مورد آزمایش

جدول ۳ـ۲

I_B(mA)	I_C(mA)
۰/۱	
۰/۲	
۰/۳	
۰/۴	
۰/۵	

نسبت جریان I_C به I_B را ضریب تقویت جریان ترانزیستور می‌نامند و با حرف β (بتا ـ Beta) مشخص می‌کنند.

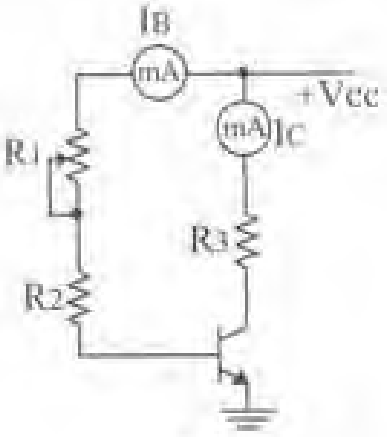
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\beta = \frac{\text{جریان خروجی}}{\text{جریان ورودی}}$$

با توجه به جدول (۴ـ۳)، ضریب تقویت جریان ترانزیستور را محاسبه کنید.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{}{0/3\text{mA}} =$$

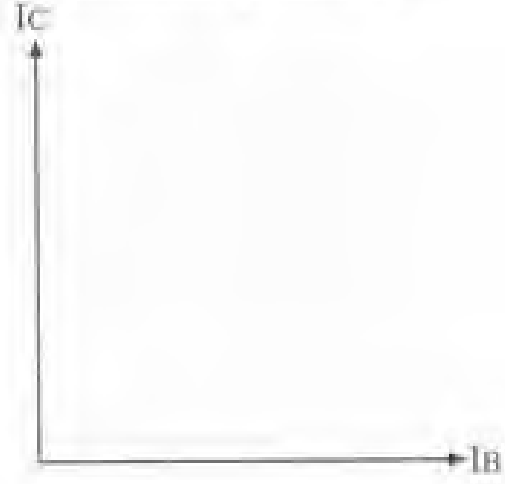
> در یک ترانزیستور معمولی، تغییرات جریان کم بیس باعث تغییرات زیادی در جریان کلکتور می‌شود.



شکل ۴۳ـ۲

جدول ۴ـ۲

I_B(MA)	I_C(MA)
۰/۱	۱۰
۰/۲	۲۰
۰/۳	۲۸
۰/۴	۳۵
۰/۵	۴۰
۰/۶	۴۴



خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ در مدار شکل (۴۳ـ۲) با تغییر دادن جریان I_B، مقدار جریان I_C مطابق جدول(۴ـ۲) تغییر کرده است. به کمک نقطه‌یابی منحنی I_C را به‌صورت تابعی از I_B رسم کنید.

۵ـ۲ـ نام‌گذاری ترانزیستورها

برای نام‌گذاری ترانزیستورها، سه روش رایج در دنیا وجود دارد. هر چند ممکن است بعضی از سازندگان قطعات الکترونیکی از سیستم‌های نام‌گذاری خاص خود استفاده کنند مثلاً حروف اول شرکت سازنده را روی ترانزیستور بیاورند یا حتی به‌صورت پیش‌شماره روی آن بنویسند. روش‌های رایج نام‌گذاری عبارتند از :

الف : روش ژاپنی

ب : روش اروپایی

ج : روش امریکایی

در این قسمت، روش‌های رایج نام‌گذاری را به‌طور خلاصه شرح می‌دهیم.

۱ـ۵ـ۲ـ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی:

در این روش نام‌گذاری، نام ترانزیستور با پیش‌وند 2S شروع می‌شود و به‌دنبال آن یکی از حروف A، B، C یا D می‌آید که هرکدام از حروف مفاهیمی به شرح زیر دارند :

A : ترانزیستور PNP و در فرکانس‌های زیاد نیز می‌تواند کار کند.

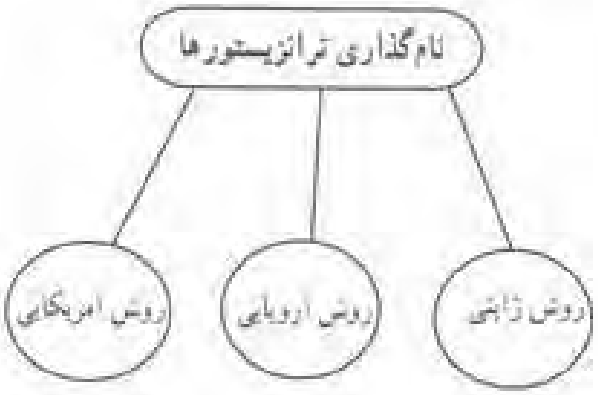
B : ترانزیستور PNP و در فرکانس‌های کم نیز می‌تواند کار کند.

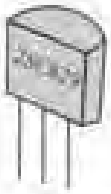
C : ترانزیستور NPN و در فرکانس‌های زیاد نیز می‌تواند کار کند.

D : ترانزیستور NPN و در فرکانس‌های کم نیز می‌تواند کار کند.

بعد از این حروف تعداد ۲ تا ۳ و یا ۴ رقم عدد قرار می‌گیرد که با مراجعه به جدول مشخصات ترانزیستورها می‌توان مشخصات ترانزیستور را استخراج کرد. به‌عنوان مثال ترانزیستور 2SC829، ترانزیستور NPN است و در فرکانس‌های زیاد نیز به‌خوبی کار می‌کند. سایر مشخصات آن را با مراجعه به جدول مشخصات ترانزیستورها، مشخصات ترانزیستور برای شماره ۸۲۹ را می‌توان استخراج کرد (شکل ۳۲ـ۲).

ترانزیستور 2SC829 را گاهی با C829 نیز نمایش می‌دهند.





شکل ۳۲ـ۲ـ یک نمونه ترانزیستور که به روش ژاپنی نام‌گذاری شده است.

۲ـ۵ـ۲ـ نام‌گذاری ترانزیستورها به روش اروپایی: در نام‌گذاری به روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰ میلادی، ترانزیستورها را با پیش‌وند OC و (OD) و با دو، سه یا چهار رقم به‌دنبال آن مشخص می‌کردند. حروف OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای قدرت به‌کار می‌رفت، مانند OC72. در این نوع نام‌گذاری، نوع ترانزیستور (PNP یا NPN)، جنس نیمه‌هادی به‌کار برده شده یا محدوده فرکانسی آن مشخص نبود. از سال ۱۹۶۰ میلادی به بعد، شیوه‌ی نام‌گذاری قوی تغییر کرد. به این ترتیب ترانزیستورهایی که بیشتر در رادیو و تلویزیون و یا وسایل الکترونیکی عمومی به‌کار برده می‌شدند با دو حرف و سه رقم و ترانزیستورهای خاص با سه حرف و دو رقم مشخص شدند. مثلاً ترانزیستور BUX38 ترانزیستور قدرت با فرکانس بالاست.

ـ نام‌گذاری دو حرف و سه رقم

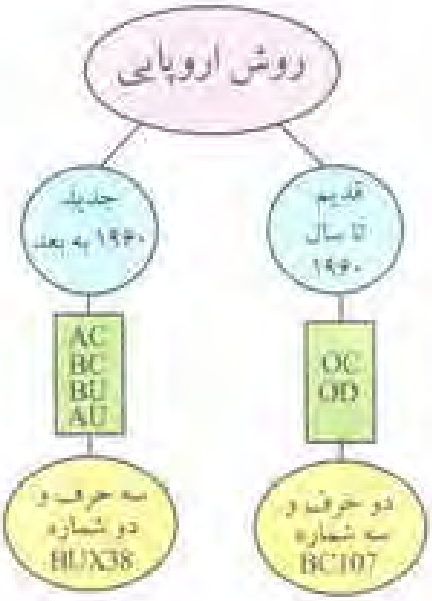
حرف اول در این روش نشان‌دهنده جنس نیمه‌هادی است. اگر جنس نیمه‌هادی ژرمانیوم باشد با حرف A و اگر سیلیکون باشد با حرف B مشخص می‌شود. حرف دوم از یکی از حروف C، D، F، L، S و یا U است. معانی هریک از این حروف در جدول (۵ـ۲) آمده است.

سه رقم بعدی نشان‌دهنده سری ترانزیستور است. با استفاده از این سه رقم و جدول مشخصات ترانزیستورهای توان سایر مشخصات ترانزیستور را استخراج کرد.

مثلاً در ترانزیستور BC107، جنس نیمه‌هادی به‌کار رفته در آن سیلیکون (B) است و ترانزیستور در قدرت کم و فرکانس‌های کم (C) کار می‌کند.

در این سیستم نام‌گذاری، نوع ترانزیستور (PNP - NPN) از روی حروف ترانزیستور مشخص نمی‌شود.

۳ـ۵ـ۲ـ نام‌گذاری ترانزیستور به روش امریکایی: در این روش نام‌گذاری، ترانزیستورها و کلیه المان‌های سه قطبی یعنی المان‌هایی که سه پایه دارند را با 2N مشخص می‌کنند و تعدادی رقم به‌عنوان سری ترانزیستور به‌دنبال آن می‌آورند. حرف W و عدد ۲ (2N) فقط نشان می‌دهد که المان از هر نوعی که باشد سه پایه دارد. سایر مشخصات قطعه و حتی نوع قطعه مثلاً ترانزیستور، ترایاک، تریستور و... را نیز می‌توان از روی حرف و اعداد اختصاص داده شده به ترانزیستور مشخص کرد.



جدول ۵ـ۲ ـ مشخصات حروف دوم ترانزیستور

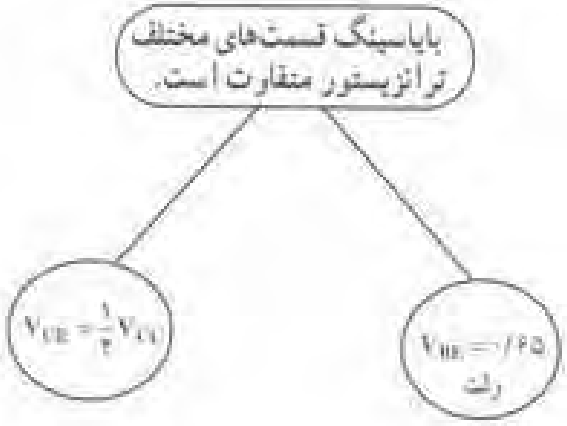
C	ترانزیستور کم‌قدرت، فرکانس کار کم
D	ترانزیستور قدرت، فرکانس کار کم
F	ترانزیستور کم‌قدرت، فرکانس کار زیاد
L	ترانزیستور قدرت، فرکانس کار زیاد
S	ترانزیستور کم‌قدرت که به‌عنوان سوییچ به کار می‌رود
U	ترانزیستور قدرت که به‌عنوان سوییچ به‌کار می‌رود

۶ـ۲ـ بایاسینگ ترانزیستور

برای این که یک ترانزیستور درست کار کند ابتدا باید مقادیر ولتاژ و جریان DC ترانزیستور تأمین شود. وصل کردن ترانزیستور به مقادیر ولتاژ و جریان DC را بایاسینگ ترانزیستور می‌نامند.

ولتاژی که باید به قسمت‌های مختلف یک ترانزیستور یا یک مدار ترانزیستوری اعمال شود متفاوت است. مثلاً برای پس و امیتر حدود ۰/۶۵ ولت کفایت می‌کند، حال آن‌که V_{CE} باید تقریباً $\frac{1}{2}V_{CC}$ باشد.

برای تأمین ولتاژهای مورد نیاز قسمت‌های مختلف یک تقویت‌کننده به کمک فقط یک منبع تغذیه، باید از تقسیم کننده‌های مقاومتی اهمی استفاده کنیم. برای این منظور مقاومت‌های اهمی را با قسمت‌های مختلف تقویت‌کننده، سری می‌کنیم و با ایجاد افت ولتاژ کافی، ولتاژ و جریان‌های DC مورد نیاز را به‌دست می‌آوریم. یادآور می‌شود که انتخاب مقاومت‌ها، هدف‌های دیگری از جمله تعیین امپدانس ورودی، امپدانس خروجی، بهره ولتاژ و غیره را نیز دربر می‌گیرد.



برای این‌که دریابیم چگونه می‌توان با مقاومت‌های اهمی افت ولتاژهای مورد نیاز را ایجاد کنیم. مثال ساده زیر را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

مثال: اگر بخواهیم در یک ترانزیستور $V_{CE}=۶V$، $V_{BE}=۰/۷V$، $I_C=۱۰mA$ و $I_B=۰/۱mA$ باشد مقدار مقاومت‌هایی که باید با ترانزیستور سری شود چه‌قدر است؟

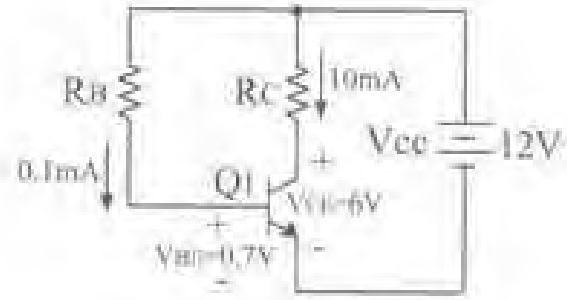
حل: از روی شکل (۳۵ـ۲) روابط را می‌نویسیم:

طبق قانون KVL در حلقه V_{CC} ، R_C ، V_{CE}

$$V_{CC}=R_C I_C+V_{CE}$$
$$۱۲=R_C\cdot ۱۰mA+۶$$
$$R_C=\frac{۱۲-۶}{۱۰mA}=۶۰۰\Omega$$

قانون KVL در حلقه V_{CC} و R_B و V_{BE}

$$V_{CC}=R_B I_B+V_{BE}$$
$$۱۲=R_B\cdot ۰/۱mA+۰/۷$$
$$R_B=\frac{۱۲-۰/۷}{۰/۱mA}=\frac{۱۱/۳}{۰/۱mA}=۱۱۳K\Omega$$



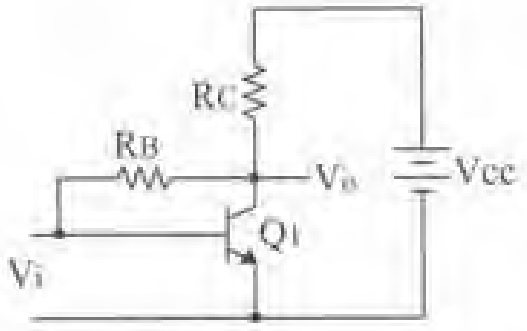
شکل ۳۵ـ۲ـ برای ایجاد ولتاژهای مورد نیاز در یک ترانزیستور با استفاده از یک منبع تغذیه باید تعدادی مقاومت را با ترانزیستور سری کرد.

مقادیر V_{CE}، V_{BE}، I_B و I_C را در یک ترانزیستور نقطه کار ترانزیستور می‌نامند.

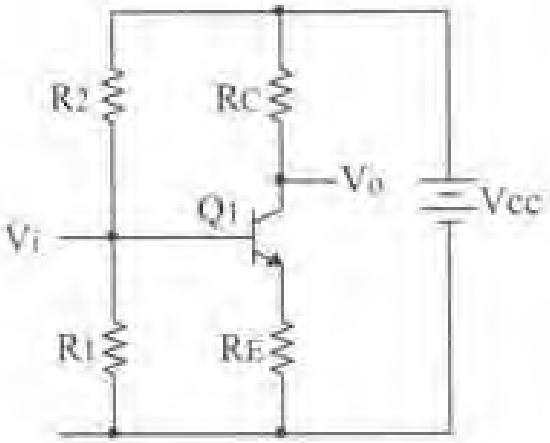
برای تأمین ولتاژ و جریان DC مورد نیاز علاوه بر مدار شکل (۳۵ـ۲)، از مدارهای دیگری نیز استفاده می‌شود. در شکل (۳۶ـ۲) یک نمونه دیگر از بایاسینگ ترانزیستور نشان داده شده است.

یکی از رایج‌ترین نوع بایاسینگ ترانزیستور، مدار شکل (۳۷ـ۲) است. این مدار را بایاسینگ سرخود می‌نامند. در این مدار اختلاف سطح امیتر نسبت به زمین (V_E) را بین ۲/۰ تا ۵/۰ ولت انتخاب می‌کنند.

انتخاب هر یک از بایاسینگ‌های شکل (۳۵ـ۲) یا (۳۶ـ۲) یا (۳۷ـ۲) در یک تقویت‌کننده بستگی به سایر مشخصات الکتریکی تقویت‌کننده دارد.



شکل ۳۶ـ۲ـ یک نمونه دیگر از بایاسینگ ترانزیستور



شکل ۳۷ـ۲ـ مدار بایاسینگ ترانزیستور از نوع سرخود

۷ـ۲ـ آزمایش شماره (۳): ولتاژبندی یا بایاسینگ ترانزیستور

هدف آزمایش: اندازه‌گیری ولتاژ و جریان‌های DC (نقاط کار) یک ترانزیستور بایاس شده.

شرح خلاصه آزمایش: ترانزیستور یک قطعه الکترونیکی است و اگر در مدار برای کاربرد خاصی مورد استفاده قرار گیرد ابتدا باید ولتاژبندی (بایاس Bias)[1] شود تا بتواند وظایف محوله مانند کنترل جریان، تقویت سیگنال الکتریکی، قطع و وصل مدار و... را به‌درستی انجام دهد.

ولتاژبندی یک ترانزیستور، بستگی به نوع کاربرد ترانزیستور

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ منبع تغذیه ۱۵V/۱A	یک دستگاه
۲ـ آووِمتر دیجیتال	دو دستگاه
۳ـ برد مدار چاپی مربوط به ولتاژبندی ترانزیستور	یک قطعه
۴ـ سیم رابط در سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۵ـ سیم رابط یک سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۶ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

در مدار موردنظر دارد. مثلاً ولتاژبندی ترانزیستوری که برای قطع و وصل به‌کار می‌رود با حالتی که یک سیگنال الکتریکی را تقویت می‌کند متفاوت است. در آزمایشی که انجام می‌دهید، ترانزیستور به‌عنوان مدار تقویت‌کننده به‌کار برده شده است. نقطه کار این ترانزیستور از طریق اندازه‌گیری به‌دست می‌آید. هدف نهایی این آزمایش مشاهده و اندازه‌گیری ولتاژهای DC نقاط مختلف یک تقویت‌کننده است. به‌عنوان مثال می‌دانیم در یک تقویت‌کننده تقریباً $V_{CE} = \frac{1}{2} V_{CC}$ است که در عمل با اندازه‌گیری آن را تجربه می‌کنید.

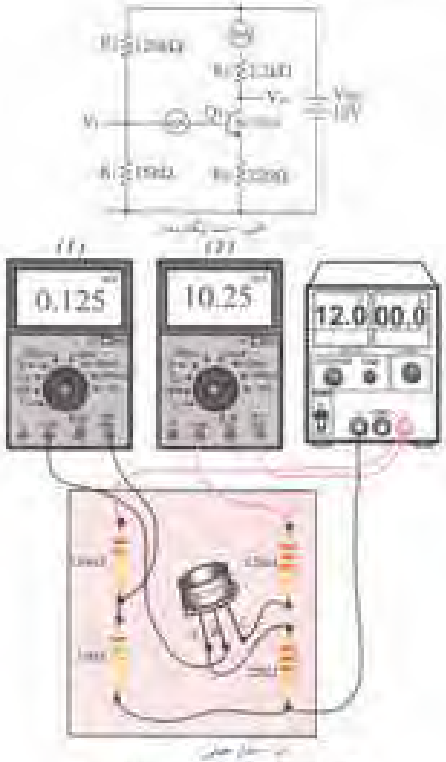
مراحل اجرای آزمایش

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ خروجی آن را روی صفر ولت قرار دهید.
- رنج میلی‌آمپرمتر شماره (۱) را روی ۲mA و رنج میلی‌آمپرمتر شماره (۲) را روی ۲۰mA تنظیم کنید.
- مدار شکل (۳۸ـ۲) را ببندید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.
- جریان I_B یعنی جریانی که میلی‌آمپرمتر شماره ۱ نشان می‌دهد و جریان I_C یعنی جریانی که میلی‌آمپرمتر شماره ۲ نشان می‌دهد را بخوانید و یادداشت کنید.

$I_B =$ mA

$I_C =$ mA

- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را به صفر ولت برگردانید.



شکل ۳۸ـ۲ـ مدار مورد آزمایش

۱ـ Biasing

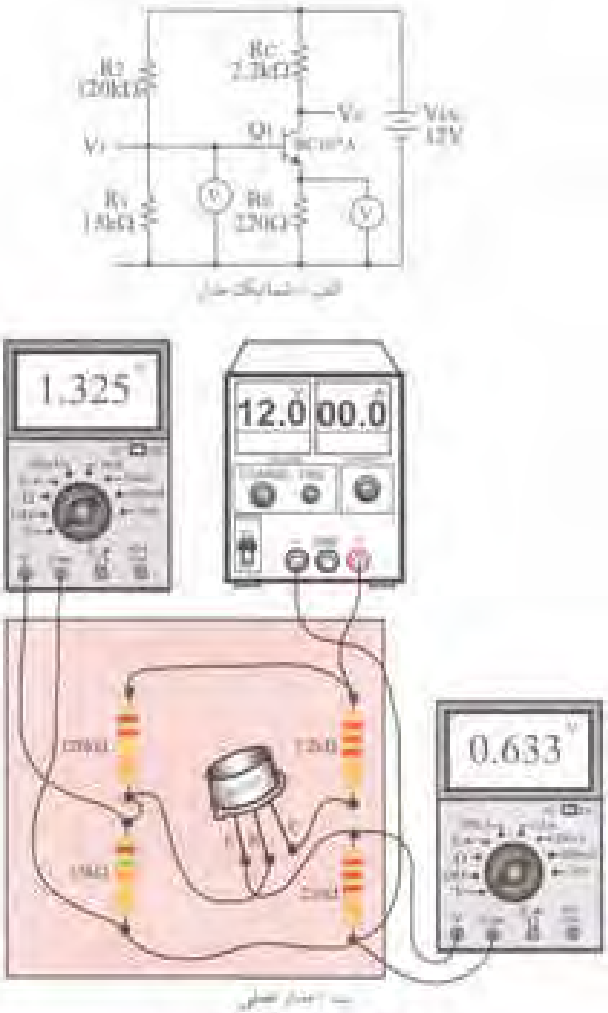
■ هر دو میلی‌آمپرمتر را از مدار جدا کنید.

■ مدار شکل (۳۹ـ۲) را ببندید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.

■ به کمک ولت‌متر دیجیتالی ولتاژهای داده شده در جدول (۶ـ۲) را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

■ مشخصات نقطه کار ترانزیستور را بنویسید.



شکل ۳۹ـ۲ـ مدار مورد آزمایش

جدول ۶ـ۲ـ مقادیر ولتاژ نقاط مختلف را تقویت کنید.

V_B =	(ولتاژ بیس نسبت به زمین یا خط مرجع)	V
V_C =	(ولتاژ کلکتور نسبت به زمین)	V
V_E =	(ولتاژ امیتر نسبت به زمین)	V
V_{CE} =	(ولتاژ بین کلکتور و امیتر)	V
V_{BE} =	(ولتاژ بین بیس و امیتر)	V
V_{BC} =	(ولتاژ بین بیس و کلکتور)	V

نقطه کار ترانزیستور: I_B = mA، I_C = mA

V_{BE} = V، V_{CE} = V

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای فصل دوم آزمون پایانی عملی (۲) خودآزمایی شماره (۲) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آن‌چه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ در یک تقویت‌کننده معمولی، ولتاژ امیتر نسبت به زمین را تقریباً چند ولت انتخاب می‌کنند؟

۲ـ در یک تقویت‌کننده معمولی، V_{CE} تقریباً چند درصد V_{CC} است؟

الف: ☐ ۲۰ ب: ☐ ۷۰

ج: ☐ ۸۰ د: ☐ ۵۰

۸ـ۲ـ نقطه کار و خط بار ترانزیستور

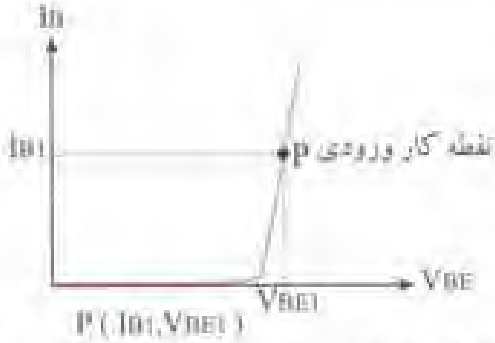
۱ـ۸ـ۲ـ نقطه کار: به مقادیر DC مربوط به I_C، I_B، V_{CE} و V_{BE} ترانزیستور نقطه کار ترانزیستور می‌گویند. در شکل (۴۰ـ۲) نقطه کار ورودی و در شکل (۴۱ـ۲) نقطه کار خروجی یک ترانزیستور نشان داده شده است.

۲ـ۸ـ۲ـ انتخاب نقطه کار: برای انتخاب نقطه کار، ابتدا باید محدودیت‌های ترانزیستور را درنظر گرفت. از جمله محدودیت‌ها می‌توان تحمل توان تلف شده در ترانزیستور، حداکثر جریان کلکتور و حداکثر ولتاژ بین کلکتور و امیتر را نام برد.

توان تلف شده در ترانزیستور تقریباً برابر $P_D = V_{CE} \cdot I_C$ است. به همین جهت نقطه کار را باید در محلی انتخاب کنیم که حاصل‌ضرب V_{CE} در I_C (P_D) از ماکزیمم توان قابل تحمل ترانزیستور کمتر و یا مساوی آن باشد. همچنین نقطه کار در $I_B = 0$ یعنی منطقه قطع ترانزیستور یا در نقطه اشباع ترانزیستور قرار نگیرد. به‌طورکلی ضمن رعایت موارد فوق، نقطه کار باید در محلی قرار گیرد که بتواند سیگنال را از دو طرف به یک اندازه تقویت کند.

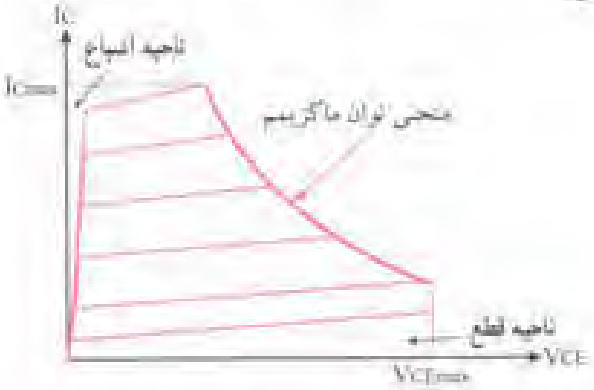
شکل (۴۲ـ۲) منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور که در آن حداکثر توان مجاز ترانزیستور مشخص شده است را نشان می‌دهد.

۳ـ۸ـ۲ـ خط بار: بر روی منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور می‌توان نقاط زیادی را به‌عنوان نقطه کار انتخاب کرد. با تغییر ولتاژ منبع تغذیه و یا R_B و یا R_C نقطه‌ی کار جدیدی به‌دست می‌آید. اگر چند نقطه کار را به‌صورتی پیدا کنیم که در آن‌ها ولتاژ منبع تغذیه و مقاومت R_C ثابت باشند، ملاحظه می‌کنیم که نقاط مذکور روی یک خط مستقیم قرار می‌گیرد. به این خط مستقیم **خط بار ترانزیستور** می‌گویند.

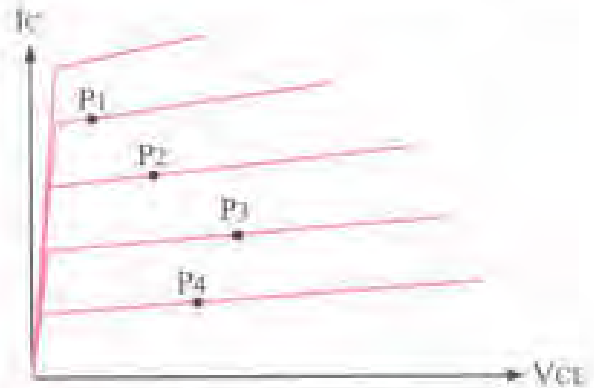


شکل ۴۰ـ۲ـ نقطه کار ورودی روی منحنی مشخصه ورودی مشخص شده است.

شکل ۴۱ـ۲ـ نقطه کار خروجی روی منحنی مشخصه خروجی مشخص شده است.



شکل ۴۲ـ۲ـ محدودیت‌های انتخاب نقطه کار که بر روی منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور مشخص شده است.



شکل ۴۳ـ۲ـ بر روی منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور، نقاط زیادی را می‌توان به‌عنوان نقطه کار انتخاب کرد.

برای رسم خط بار می‌توان از معادله‌ی خروجی ترانزیستور استفاده کرد.

با توجه به شکل (۴۴ـ۲) معادله‌ی ولتاژ خروجی را می‌نویسیم:

$$V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$$

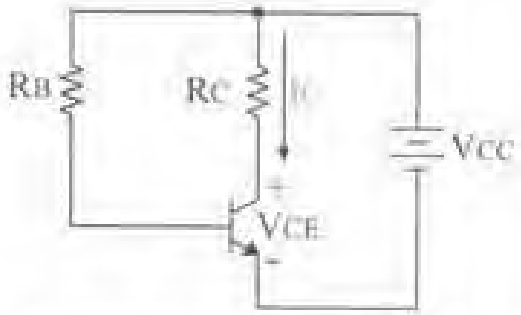
چون RC ثابت و مقادیر I_C و V_{CE} متغیر است، یک‌بار I_C و بار دیگر V_{CE} را مساوی صفر در نظر می‌گیریم. سپس نقاط به‌دست آمده را به هم وصل می‌کنیم تا خط بار به‌دست آید.

$$\text{نقطه A} \begin{cases} V_{CE} = 0 \\ V_{CC} = R_C \cdot I_C + 0 \Rightarrow I_C = \dfrac{V_{CC}}{R_C} \end{cases}$$

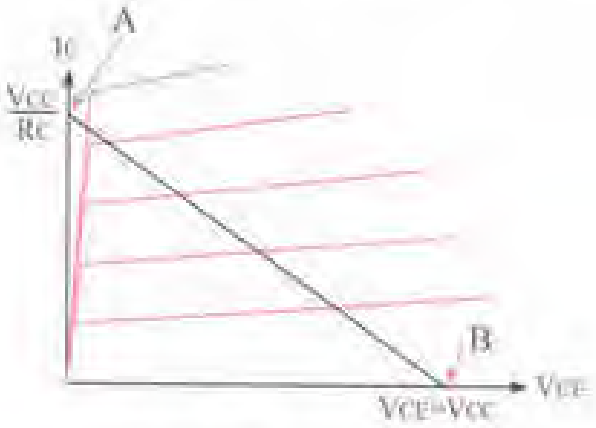
$$\text{نقطه B} \begin{cases} I_C = 0 \\ V_{CC} = 0 \times R_C + V_{CE} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} \end{cases}$$

در شکل (۴۵ـ۲) خط بار یک ترانزیستور که در تقویت‌کننده شکل (۴۴ـ۲) به کار رفته رسم شده است.

با توجه به شرایطی که قبلاً ذکر شد بر روی خط بار می‌توان تعدادی نقطه کار به‌دست آورد.



شکل ۴۴ـ۲ـ معادله خروجی تقویت‌کننده به‌صورت $V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$ است.



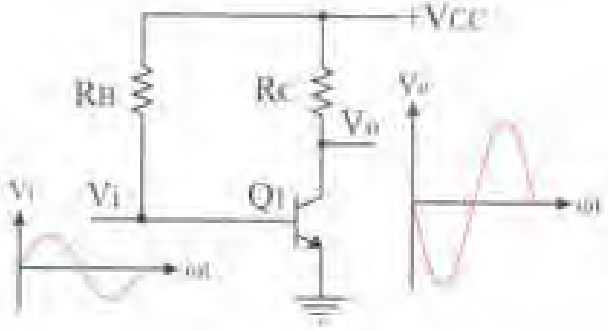
شکل ۴۵ـ۲ـ نحوه ترسیم خط بار

۹ـ۲ـ نحوه تقویت در ترانزیستور

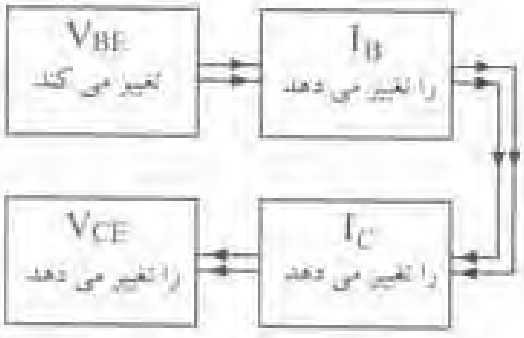
برای این که بتوانیم یک سیگنال الکتریکی را از نظر دامنه یا جریان تقویت کنیم، باید ابتدا ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC، بایاس کنیم. سپس سیگنال مورد نظر را به ورودی آن بدهیم و از خروجی تقویت‌کننده سیگنال تقویت شده را دریافت کنیم. در شکل (۴۶ـ۲) یک تقویت‌کننده ساده‌ی ترانزیستوری نشان داده شده است.

خازن‌هایی که در مسیر سیگنال‌های ورودی و خروجی قرار گرفته‌اند مانع عبور مقادیر ولتاژ و جریان DC از طبقه‌ای به طبقه دیگر می‌شوند و فقط سیگنال‌های متغیر را عبور می‌دهند. ظرفیت این خازن‌ها در قرکانس‌های صوتی حدود میکروفاراد است.

سیگنال خروجی همان ولتاژ دو سر کلکتور و امیتر (V_{CE}) می‌باشد. برای درک چگونگی تقویت سیگنال با توجه به نقطه کار و خط بار موضوع را از روی مشخصه ورودی،



شکل ۴۶ـ۲ـ یک تقویت‌کننده ساده ترانزیستوری



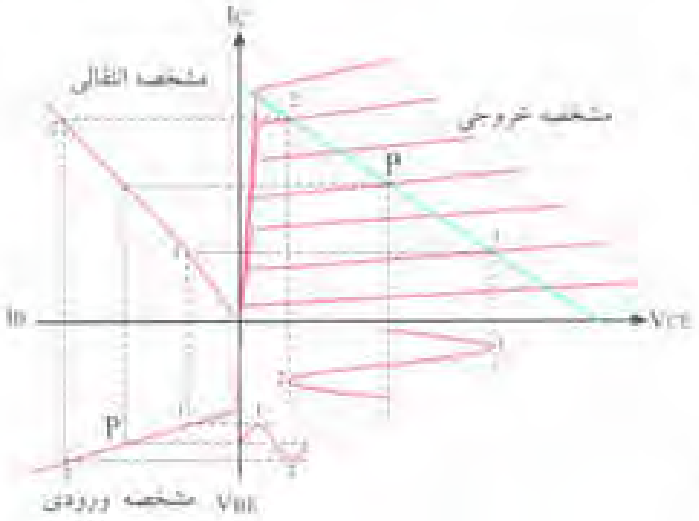
انتقالی و خروجی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

سیگنال ورودی به پایه بیس و امیتر اعمال می‌شود. بنابراین به ولتاژ DC بین بیس و امیتر (V_{BE}) یک ولتاژ متغیر اضافه می‌شود. این ولتاژ متغیر حول نقطه کار ورودی تغییر می‌کند و باعث تغییر I_B می‌شود. تغییرات I_B، سبب تغییر در I_C می‌شود و تغییرات I_C با توجه به رابطه

$$V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$$
ثابت ثابت

باعث ایجاد V_{CE} می‌شود. خروجی تقویت کننده همان ولتاژ دو سر کلکتور و امیتر است.

مراحل تقویت سیگنال را در شکل (۴۷ـ۲) مشاهده می‌کنید.



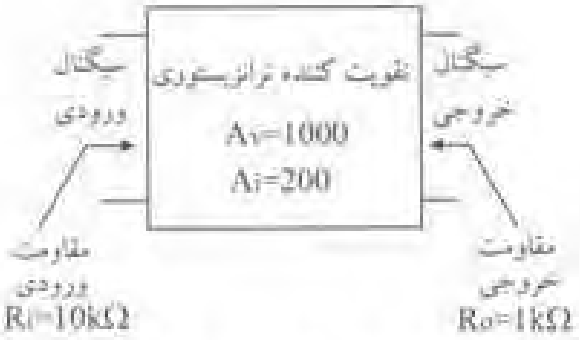
شکل ۴۷ـ۲ـ تغییر ولتاژ ورودی (V_{BE}) باعث تغییر I_B و تغییر I_B سبب تغییر I_C می‌شود. تغییر I_C مقدار V_{CE} را تغییر می‌دهد

۱۰ـ۲ـ مشخصات کلی و عمومی یک تقویت‌کننده‌ی ترانزیستوری

هر تقویت‌کننده‌ی الکترونیکی دارای یک سری مشخصات کلی و عمومی است. یک طراح هنگام طرح یک تقویت‌کننده ترانزیستوری باید همه‌ی آن‌ها را درنظر بگیرد. این مشخصات الکتریکی به شرح زیر است:

الف: امپدانس ورودی تقویت‌کننده
ب: امپدانس خروجی تقویت‌کننده
ج: بهره‌ی ولتاژ
د: بهره‌ی جریان
هـ: حداقل فرکانس قابل تقویت (فرکانس قطع پایین)
و: حداکثر فرکانس قابل تقویت (فرکانس قطع بالا)

در شکل (۴۸ـ۲) بلوک دیاگرام یک تقویت‌کننده نشان داده شده است.



شکل ۴۸ـ۲ـ بلوک دیاگرام یک تقویت کننده(عمومی)

۱۱ـ۲ـ تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک

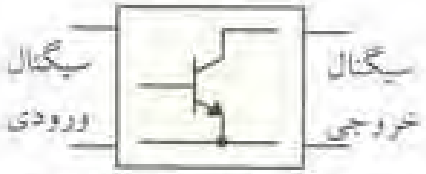
در تقویت‌کننده‌ها، همیشه یک پایه ترانزیستور بین ورودی و خروجی به‌صورت مشترک قرار می‌گیرد. زیرا ترانزیستور سه پایه دارد و ما نیاز به دو پایه ورودی و دو پایه خروجی داریم. لذا الزاماً باید یک پایه ترانزیستور به‌صورت مشترک بین ورودی و

خروجی ترانزیستور قرار گیرد.

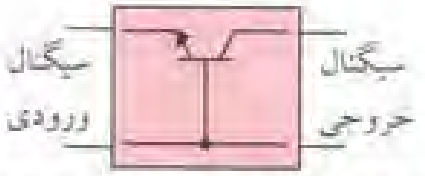
اگر پایه مشترک بین ورودی و خروجی امیتر باشد تقویت‌کننده را امیتر مشترک می‌نامند (شکل ۴۹ـ۲).

اگر پایه‌ی مشترک بین ورودی و خروجی بیس باشد، تقویت‌کننده را بیس مشترک می‌نامند (شکل ۵۰ـ۲).

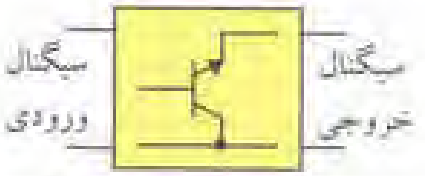
چنان‌چه پایه مشترک بین ورودی و خروجی کلکتور باشد، تقویت‌کننده را کلکتور مشترک می‌نامند (شکل ۵۱ـ۲)



شکل ۴۹ـ۲ـ در تقویت‌کننده امیتر مشترک پایه امیتر بین ورودی و خروجی مشترک است.



شکل ۵۰ـ۲ـ در تقویت‌کننده بیس مشترک پایه بیس بین ورودی و خروجی مشترک است.

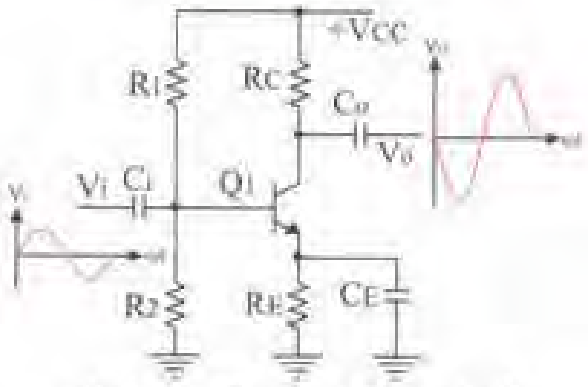


شکل ۵۱ـ۲ـ در تقویت‌کننده کلکتور مشترک پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک است.

نکته مهم:

منظور از مشترک بودن یک پایه ترانزیستور اشتراک از نظر AC است. لذا اگر پایه‌ای از نظر DC به منبع تغذیه متصل باشد، چون قطب‌های منبع تغذیه با خازن داخلی آن از نظر AC اتصال کوتاه می‌شود آن پایه مشترک است.

مشخصات تقویت‌کننده‌های امیتر مشترک، بیس مشترک، کلکتور مشترک با هم متفاوت است، در این قسمت به بررسی مشخصات کلی و عمومی تقویت‌کننده امیتر مشترک می‌پردازیم. در شکل (۵۲ـ۲) یک نمونه تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک نشان داده شده است. در این تقویت‌کننده، سیگنال ورودی را به پایه بیس اعمال می‌کنیم و سیگنال تقویت شده را از پایه کلکتور می‌گیریم.



شکل ۵۲ـ۲ـ یک نمونه تقویت‌کننده امیتر مشترک

مشخصات تقویت‌کننده امیتر مشترک به شرح زیر است:

الف: بهره ولتاژ ($\frac{V_o}{V_i}$) بیشتر از یک

ب: بهره جریان ($\frac{i_o}{i_i}$) بیشتر از یک

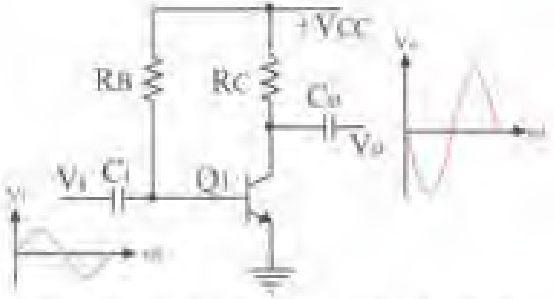
ج: مقاومت ورودی آن متوسط است (در حدود چند کیلو اهم)

د: مقاومت خروجی آن متوسط است (در حدود چند کیلو اهم)

هـ: بین سیگنال ورودی و خروجی آن ۱۸۰ درجه اختلاف فاز وجود دارد.

دلیل اختلاف فاز بین ورودی و خروجی به اندازه ۱۸۰ درجه این است که وقتی دامنه سیگنال ورودی زیاد می‌شود V_{BB} زیاد می‌شود و مقدار I_B را زیاد می‌کند. با افزایش I_B مقدار I_C که برابر با βI_B است افزایش می‌یابد. از طرفی مقدار V_{CC} ثابت است و در حلقه‌ی خروجی V_{CC} مقاومت RC و V_{CE} تقسیم می‌شود. با زیاد شدن I_C مقدار V_{RC} زیاد و V_{CE} کم می‌شود. این کاهش ولتاژ به معنی اختلاف فاز ۱۸۰ درجه است. درصورتی که V_{BB} کم شود عمل عکس اتفاق می‌افتد. با توجه به شکل (۵۳ـ۲) داریم:

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$
ثابت ثابت



شکل ۵۳ـ۲ـ یک نمونه دیگر تقویت‌کننده امیتر مشترک

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۱۲ــ۲ــ آزمایش شماره (۴): تقویت‌کننده امیتر مشترک

هدف‌های آزمایش

الف: بررسی تقویت ولتاژ در تقویت‌کننده امیتر مشترک با خازن بای ــ پاس.

ب: بررسی تقویت ولتاژ در تقویت‌کننده امیتر مشترک بدون خازن بای ــ پاس

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما عملاً با یک تقویت‌کننده امیتر مشترک آشنا می‌شوید. تقویت‌کننده امیتر مشترک یکی از پرکاربردترین تقویت‌کننده‌هاست. برای بررسی عمل تقویت ولتاژ به ورودی این تقویت‌کننده، توسط دستگاه سیگنال ژنراتور صوتی، یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱kHz/ اعمال می‌کنید و با استفاده از اسیلوسکوپ، سیگنال ورودی و خروجی تقویت‌کننده را می‌بینید. سپس با اندازه‌گیری دامنه‌ی سیگنال ورودی و خروجی، می‌توانید به میزان تقویت سیگنال پی ببرید. همچنین سیگنال نقاط مختلف تقویت‌کننده را نیز مشاهده می‌کنید تا عملاً تجربه لازم را در این زمینه به‌دست آورید.

به یاد داشته باشید که برای بررسی عملکرد یک تقویت‌کننده امیتر مشترک و اطمینان از سلامت و عیب‌یابی آن باید همین آزمایش را انجام دهید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ــ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲ــ اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۳ــ منبع تغذیه ۸ /۱ ۷/۱ ۱۵ــ	یک دستگاه
۴ــ برد مدار چاپی مربوط به آزمایش تقویت‌کننده امیتر مشترک	یک قطعه
۵ــ سیم رابط یک سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هشت رشته
۶ــ سیم رابط دو سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۷ــ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

موضوع الف: بررسی تقویت ولتاژ در تقویت‌کننده‌ی امیتر مشترک با خازن بای ـ پاس

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق وصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن و دامنه‌ی خروجی آن را روی صفر ولت تنظیم کنید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید:

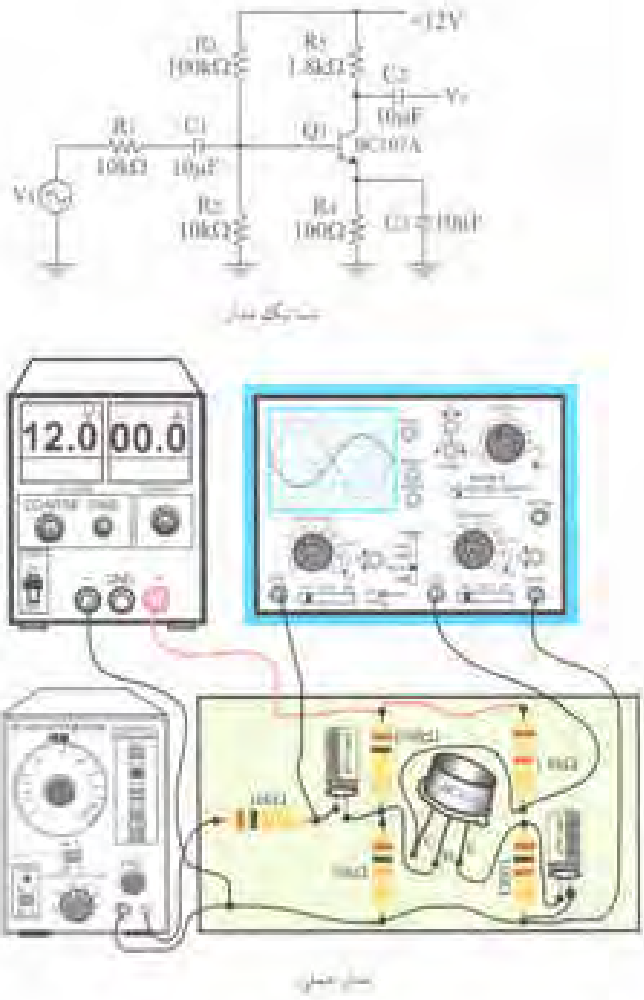
> - به کمک ولوم INTEN نور اسمه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
> - به کمک ولوم FOCUS اسمه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.
> - کلید سلکتور Time/Div را روی ۰/۲ ms قرار دهید.
> - ولوم Level را روی صفر بگذارید.
> - ولوم Time Variable را در حالت Cal قرار دهید.
> - ولوم Volt Variable هر دو کانال را در حالت Cal بگذارید.

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

V / Div کانال (۱) Volts / Div = ۰/۱

V / Div کانال (۲) Volts / Div = ۱

- سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی آن را درحالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۱kHz بگذارید. بعد از بستن مدار، ولوم دامنه خروجی سیگنال ژنراتور را طوری تنظیم کنید که دامنه مشاهده شده مربوط به کانال (CH۱) اسیلوسکوپ روی صفحه حساس برابر با ۰/۲ ولت باشد.
- مدار شکل (۵۴ـ۲ـ الف) را ببندید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.



شکل ۵۴ـ۲ـ الف ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده امیتر مشترک با خازن بای پاس

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را درحالت ALT قرار دهید.

■ کلید Source اسیلوسکوپ را روی حالت CH۱ بگذارید.

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

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

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس را در شکل (ب ۵۴ـ۲) رسم کنید.

Volts / Div = V

Volt Variable = ↓ cal

از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس بدست آورید	V_{pp} = V

شکل ۵۴ـ۲ـ ب ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

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

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه حساس مربوط به CH۲ (خروجی تقویت‌کننده) را در شکل (۵۵ـ۲) رسم کنید.

Volts / Div = V

Volt Variable = ↓ cal.

از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس بدست آورید	V_{pp} = V

شکل ۵۵ـ۲ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده

■ مقدار V_{pp} برای کانال ۱ و ۲ را از روی شکل (۵۴ـ۲ـ ب) و (۵۵ـ۲) بدست آورید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده را محاسبه کنید.

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

■ اختلاف فاز بین سیگنال های ورودی و خروجی را با مشاهده سیگنال های ورودی و خروجی به‌طور تقریبی حدس بزنید و یادداشت کنید.

درجه	= اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی

موضوع ب: بررسی تقویت ولتاژ تقویت‌کننده امیتر مشترک بدون خازن بای ـ پاس

■ وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.

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

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

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

■ به کمک 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. قرار دهید.

■ ولوم Volt Variable هر دو کانال را در حالت Cal. بگذارید.

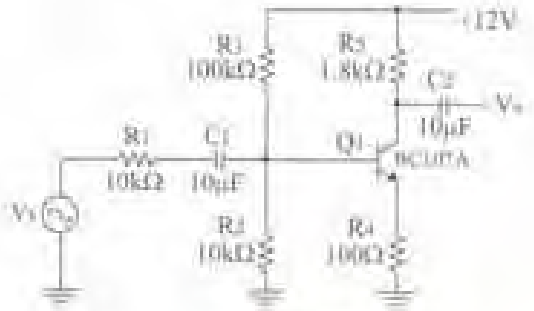
■ کلید AC - GNA - DC هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید.

(۱) کانال Volt / Div = ۰/۱ V / Div

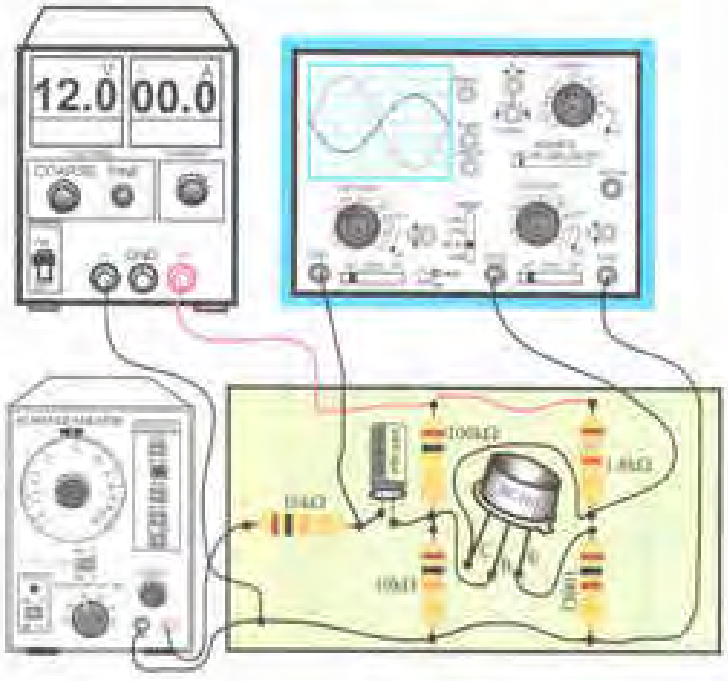
(۲) کانال Volt / Div = ۱ V / Div

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی را در حالت سینوسی بگذارید و فرکانس را روی ۱kHz تنظیم کنید. بعد از بستن مدار، ولوم دامنه خروجی سیگنال ژنراتور را طوری تنظیم کنید که دامنه مشاهده شده مربوط به کانال CH۱ اسیلوسکوپ روی صفحه حساس برابر ۰/۲ ولت باشد.

■ مدار شکل (۵۶ـ۲ـ الف) را ببندید.



شماتیک مدار



مدار عملی

الف ـ مدار آزمایش: تقویت‌کننده امیتر مشترک بدون خازن بای ـ پاس (CE)

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را درحالت ALT قرار دهید.

■ کلید Source اسیلوسکوپ را روی 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.

■ شکل موج ظاهر شده صفحه حساس را در شکل (۵۵ـ۲) رسم کنید.

■ کلید AC - GND - DC کانال CH۲ را درحالت AC بگذارید.

■ شکل موج نقش بسته روی صفحه حساس مربوط به CH۲ (خروجی تقویت‌کننده) را در شکل (۵۶ـ۲) رسم کنید.

■ مقدار V_{pp} را برای کانال ۱ و ۲ از روی شکل‌های ۵۶ـ۲ـ ب و ج به‌دست آورید.

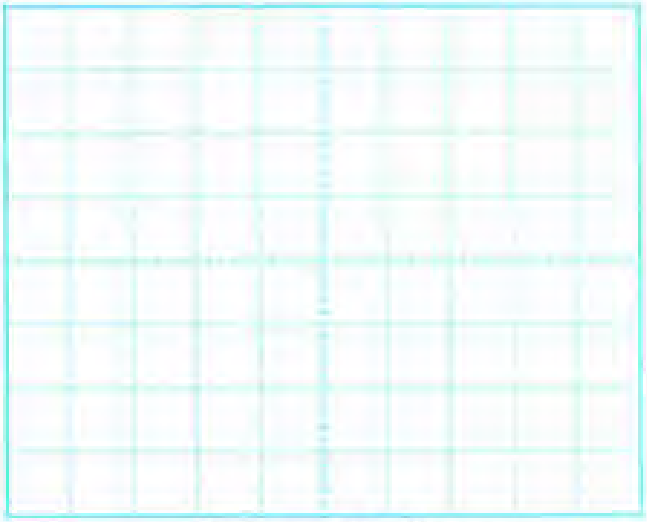
■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده را محاسبه کنید.

$$\text{بهره ولتاژ} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \text{———} =$$

■ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی را با مشاهده در سیگنال ورودی و خروجی به‌طور تقریبی حدس بزنید و یادداشت کنید.

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی = درجه

سؤال ۱ـ چرا بین سیگنال ورودی و خروجی اختلاف فاز وجود دارد؟ در ذیل خیلی خلاصه توضیح دهید.



ب ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts / Div = V

Volt Variable = cal.

V_{pp} =	V	(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

ج: شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده

Volts / Div = V

Volt Variable = cal.

V_{pp} =	V	(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

شکل ۵۶ـ۲ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده امیتر مشترک با خازن بای پاس

سؤال ۲ــ چرا هنگام مشاهده شکل موج‌ها، کلید AC - GND - DC اسیلوسکوپ را در حالت AC قرار دادیم؟ اگر در حالت DC قرار می‌دادیم چه اتفاقی می‌افتاد؟ در ذیل خیلی خلاصه توضیح دهید.

سؤال ۳ــ چرا بهره ولتاژ در حالت بودن خازن بای‌پاس (C_E در تقویت‌کننده امیتر مشترک) و قطع خازن (C_E) با یک‌دیگر تفاوت دارد؟ توضیح دهید.

درصورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ و ۳ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱۱ــ۲) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای مطالب فصل دوم آزمون پایانی عملی (۲) خودآزمایی شماره (۳) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

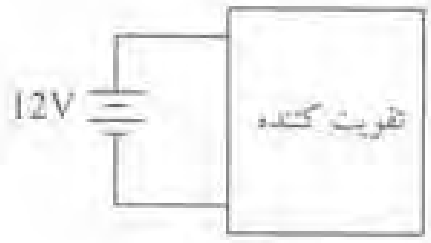
آزمون

۱ــ در تقویت کننده امیتر مشترک، بهره ولتاژ ..... است.

الف: □ کمتر از یک　　ب: □ برابر یک

ج: □ بیشتر از یک

۲ــ در تقویت کننده شکل (۵۷ــ۲) نقش منبع تغذیه DC چیست؟ خیلی خلاصه توضیح دهید.



شکل ۵۷ــ۲

۱۳ـ۲ـ تقویت کننده بیس مشترک

در شکل (۵۸ـ۲)، یک نمونه تقویت کننده بیس مشترک نشان داده شده است.

در این تقویت کننده سیگنال ورودی را به پایه امیتر می دهیم و سیگنال خروجی را از پایه کلکتور دریافت می کنیم.

مشخصات تقویت کننده بیس مشترک به شرح زیر است :

الف : بهره‌ی ولتاژ ($\frac{V_o}{V_i}$) بیشتر از یک است.

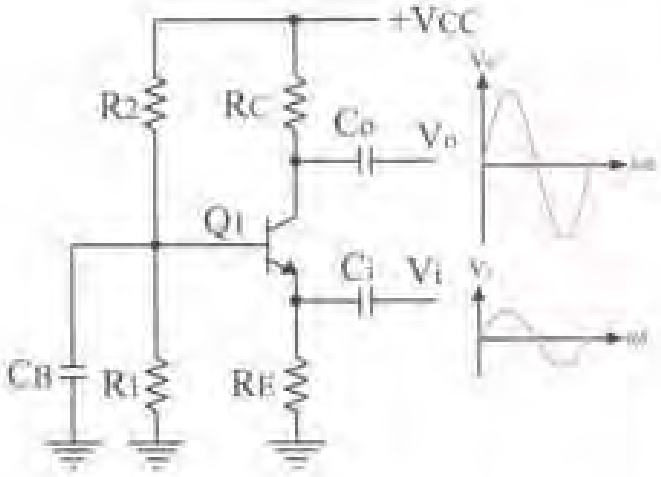
ب : بهره‌ی جریان آن کمتر از یک است.

ج : مقاومت ورودی آن کم است.

د : مقاومت خروجی آن متوسط است.

هـ : بین سیگنال ورودی و خروجی آن اختلاف فاز وجود ندارد.

و : پهنای باند آن وسیع‌تر از تقویت کننده امیتر مشترک و کلکتور مشترک است.



شکل ۵۸ـ۲ ـ یک نمونه تقویت کننده بیس مشترک. پایه بیس از نظر سیگنال AC به زمین وصل است و بین ورودی و خروجی مشترک است.

۱۴ـ۲ـ آزمایش شماره (۵): تقویت کننده بیس مشترک

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

هدف آزمایش: بررسی تقویت ولتاژ تقویت کننده بیس مشترک

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما عملاً با یک تقویت‌کننده بیس مشترک آشنا می‌شوید. تقویت‌کننده بیس مشترک فقط ولتاژ را تقویت می‌کند و بیشتر در فرکانس‌های زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای بررسی عمل تقویت ولتاژ در این تقویت‌کننده با استفاده از سیگنال ژنراتور صوتی، یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱kHz را به ورودی این تقویت‌کننده اعمال می‌کنید، سپس توسط یک دستگاه اسیلوسکوپ دوکاناله سیگنال ورودی و خروجی تقویت کننده را مشاهده خواهید کرد. در نهایت با اندازه‌گیری دامنه سیگنال ورودی و خروجی، می‌توانید میزان تقویت سیگنال ورودی را به‌دست آورید. همچنین سیگنال نقاط مختلف تقویت کننده را نیز مشاهده خواهید کرد تا عملاً تجربه لازم را در این زمینه کسب کنید.

به یاد داشته باشید که برای بررسی عملکرد یک تقویت‌کننده بیس مشترک و همچنین اطمینان از سلامت و عیب‌یابی آن باید همین آزمایش را انجام دهید.

تجهیزات و قطعات موردنیاز آزمایش:

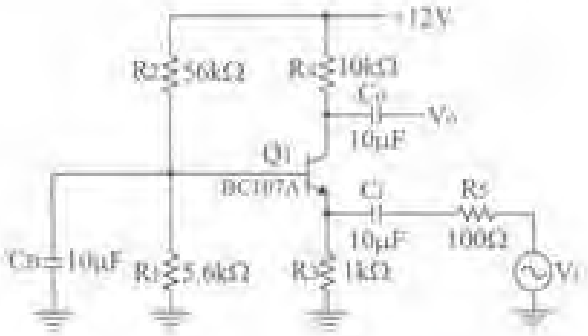
نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۳ـ منبع تغذیه ۱۵۷/۱۸+-	یک دستگاه
۴ـ برد مدار چاپی مربوط به تقویت‌کننده بیس مشترک	یک قطعه
۵ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هشت رشته
۶ـ سیم رابط دو سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۷ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی متری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

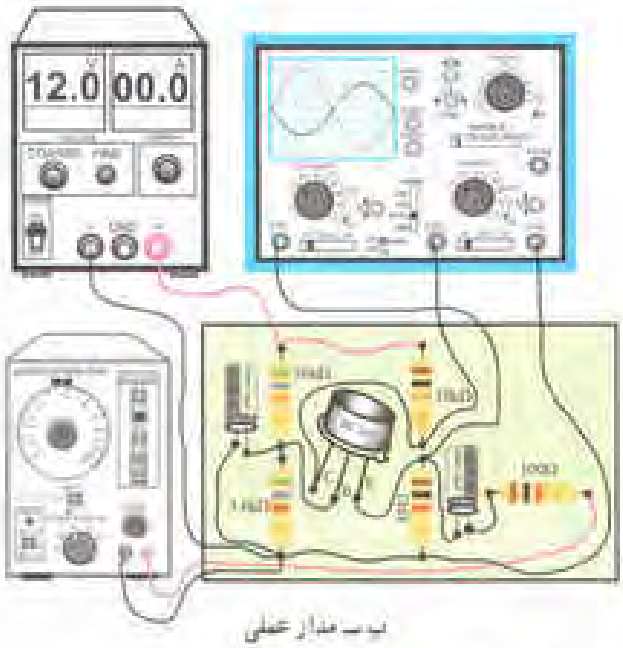
- وسایل موردنیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به‌برق شهر وصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه خروجی آن را روی صفر ولت بگذارید.
- برد مدار چاپی آماده مربوط به تقویت‌کننده‌ی بیس مشترک را مورد بررسی قرار دهید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

- به کمک ولوم INTEN نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن تارک (باریک) کنید.
- کلید سلکتور Time/Div را روی ۰/۲ms قرار دهید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- ولوم Time variable را در حالت Cal بگذارید.
- ولوم Volt variable هر دو کانال را روی Cal بگذارید.
- کلید AC-GND-DC هر دو کانال را در حالت GND بگذارید.
- Volts / Div = ۰/۱V/Div کانال (۱)
- Volts / Div = ۱V/Div کانال (۲)

- سیگنال ژنراتور را روشن کنید و شکل موج ولتاژ خروجی آن را در حالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۱kHz تنظیم کنید. بعد از بستن مدار، ولوم دامنه خروجی سیگنال ژنراتور را طوری تنظیم کنید که دامنه شکل موج مشاهده شده مربوط به کانال ۱ CH اسیلوسکوپ روی صفحه‌ی حساس برابر ۰/۲ ولت باشد.
- مدار شکل (۵۹ـ۲) را ببندید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۵۹ـ۲ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده بیس مشترک

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید.

■ کلید Source اسیلوسکوپ را روی 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.

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس را در شکل (۶۰ـ۲) رسم کنید.

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

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس مربوط به CH۲ (خروجی تقویت‌کننده) را در شکل (۶۱ـ۲) رسم کنید.

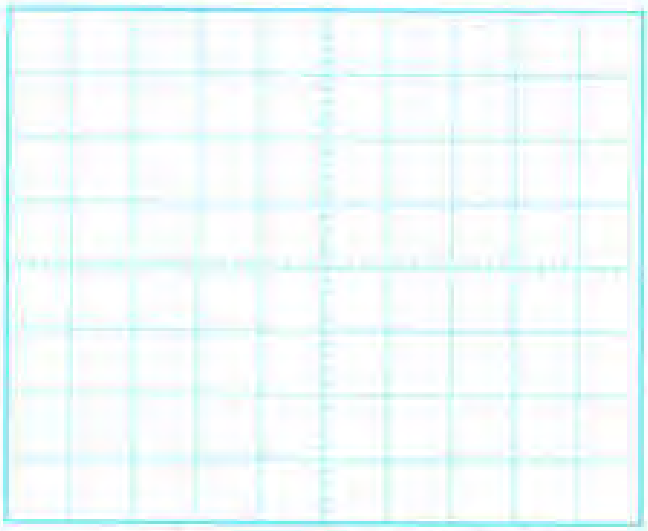
■ مقدار V_{pp} ورودی و خروجی را با استفاده از شکل‌های ۶۰ـ۲ و ۶۱ـ۲ به‌دست آورید.

■ بهره ولتاژ تقویت کننده را محاسبه کنید.

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

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

درجه = اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی

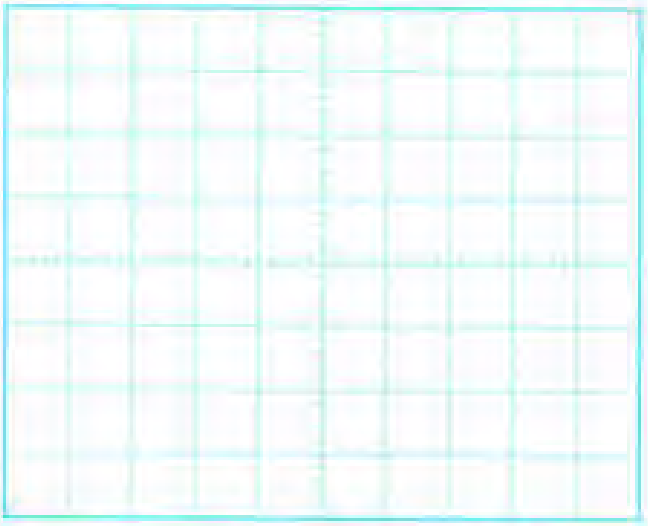


شکل ۶۰ـ۲ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = ۰/۱V

Volt Variable = cal.

(از روی شکل ولتاژ نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس به‌دست آورید) V	V_{pp} =



شکل ۶۱ـ۲ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت کننده

Volts/Div = ۰/۵V

Volt variable = cal.

(از روی شکل ولتاژ نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس به‌دست آورید) V	V_{pp} =

سؤال ۱ـ چرا بین سیگنال ورودی و خروجی اختلاف فاز وجود ندارد؟ خیلی خلاصه توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال ۱ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱۳ـ۲) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ در تقویت کننده پیش مشترک، بهره ولتاژ ..... است.

الف: □ بیشتر از یک　　ب: □ برابر یک

ج: □ کمتر از یک

۲ـ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و سیگنال خروجی در یک تقویت کننده پیش مشترک چند درجه است؟

الف: □ ۱۸۰°　　ب: □ ۹۰°

ج: □ ۴۵°　　د: □ صفر درجه

۱۵ـ۲ـ تقویت کننده کلکتور مشترک

در شکل (۶۲ـ۲)، یک نمونه تقویت کننده کلکتور مشترک نشان داده شده است.

در این تقویت کننده، سیگنال ورودی به پایه پیش اعمال و سیگنال خروجی از پایه امیتر دریافت می‌شود.

مشخصات تقویت کننده کلکتور مشترک به شرح زیر است.

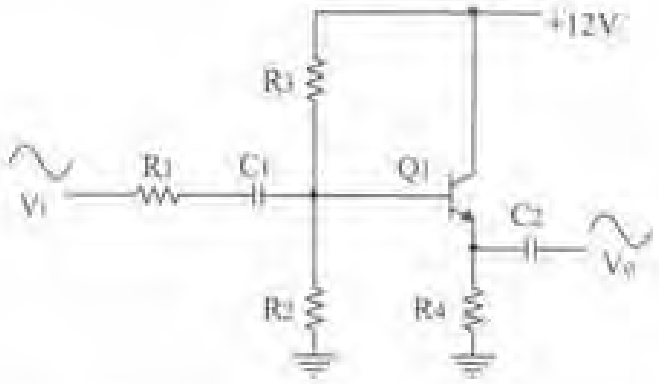
الف : بهره ولتاژ آن کمتر از یک است.

ب : بهره جریان آن بیشتر از یک است.

ج : مقاومت ورودی آن زیاد است.

د : مقاومت خروجی آن کم است.

هـ : بین سیگنال ورودی و خروجی اختلاف فاز وجود ندارد.



شکل ۶۲ـ۲ ـ یک نمونه تقویت‌کننده کلکتور مشترک. پایه کلکتور بین ورودی و خروجی مشترک و از نظر AC از طریق خازن منبع تغذیه به زمین وصل است.

۱۶ـ۲ـ آزمایش شماره (۶): تقویت کننده کلکتور مشترک

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

هدف آزمایش:

بررسی تقویت ولتاژ تقویت کننده کلکتور مشترک

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما عملاً یک تقویت‌کننده کلکتور مشترک را مورد آزمایش قرار می‌دهید و با آن آشنا می‌شوید. تقویت‌کننده کلکتور مشترک فقط جریان را تقویت می‌کند و در مواردی هم در مدارهای مختلف به‌عنوان تطبیق دهنده امپدانس به‌کار می‌رود. بهره ولتاژ این تقویت کننده کمی کمتر از یک است ولی بهره جریان آن می‌تواند خیلی بیشتر از یک باشد. لذا مشاهده شکل موج ورودی و خروجی دامنه سیگنال ورودی و خروجی و اختلاف فاز بین آن‌ها از اهداف اصلی در آزمایش است. برای این منظور توسط یک سیگنال ژنراتور صوتی، یک سیگنال سینوسی با فرکانس تقریباً ۱kHz را به ورودی تقویت‌کننده اعمال می‌کنید و سپس با استفاده از اسیلوسکوپ سیگنال ورودی و خروجی را می‌بینید. در نهایت با اندازه‌گیری دامنه‌های سیگنال‌های ورودی و خروجی می‌توانید بهره ولتاژ این تقویت کننده را محاسبه کنید. ضمناً از روی شکل موج ورودی و خروجی اختلاف فاز را نیز می‌توانید به‌دست آورید.

به یاد داشته باشید که برای بررسی عملکرد یک تقویت کننده کلکتور مشترک و هم‌چنین اطمینان از صحت و عیب‌یابی آن باید همین آزمایش را انجام دهید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

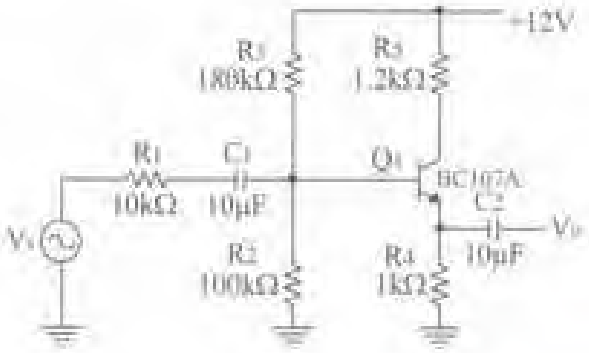
نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۳ـ منبع تغذیه ۰-۱۵V/۱A	یک دستگاه
۴ـ برد مدار چاپی مربوط به آزمایش تقویت‌کننده بیس مشترک	یک قطعه
۵ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هشت رشته
۶ـ سیم رابط دو سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۷ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

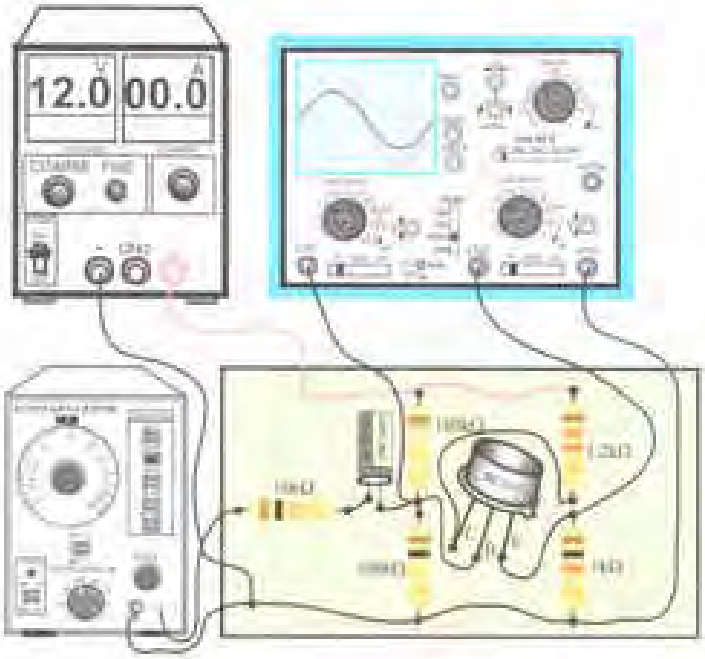
- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق وصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه خروجی آن را روی صفر ولت تنظیم کنید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

- به کمک ولوم INTEN نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن باریک (واضح) کنید.
- کلید سلکتور Time/Div را روی ۰/۲ms قرار دهید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- ولوم Time variable را در حالت cal بگذارید.
- ولوم Volt variable هر دو کانال را روی Cal بگذارید.
- کلید AC GND DC هر دو کانال را در حالت GND بگذارید.
- Volts/Div = ۰/۵V/Div کانال (۱)
- Volts/Div = ۰/۵V/Div کانال (۲)

- سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی را در حالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی 1kHz تنظیم کنید. بعد از بستن مدار، ولوم دامنه خروجی سیگنال ژنراتور را طوری تنظیم کنید که دامنه سیگنال مربوط به کانال CH ۱ اسیلوسکوپ روی صفحه‌ی حساس برابر ۲ ولت باشد.
- مدار شکل (۶۳ـ۲) را ببندید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۶۳ـ۲ ـ مدار آزمایش تقویت‌کننده کلکتور مشترک

■ 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 قرار دهید.

■ شکل موج نقش بسته روی صفحه حساس را در شکل (۶۴ـ۲) رسم کنید.

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

■ مقادیر را برای ورودی و خروجی با استفاده از شکل‌های ۶۴ـ۲ و ۶۵ـ۲ محاسبه کنید.

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس مربوط به CH۲ را (خروجی تقویت کننده) را در شکل (۶۵ـ۲) رسم کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت کننده را محاسبه کنید.

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

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

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی = درجه

شکل ۶۴ـ۲ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت کننده

Volt / Div = ۰/۵ V

Volt Variable و cal.

V_{pp} = V	(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

شکل ۶۵ـ۲ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت کننده

Volt / Div = ۰/۵ V

Volt Variable و cal.

V_{pp} = V	(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

سؤال ۱ـ چرا بین سیگنال ورودی و خروجی اختلاف فاز وجود ندارد؟ خیلی خلاصه توضیح دهید.

سؤال ۲ـ چرا هنگام مشاهده شکل موج‌ها، کلید AC-GND-DC اسیلوسکوپ را در حالت AC قرار دادیم؟ اگر در حالت DC بگذاریم چه اتفاقی می‌افتد؟ خیلی خلاصه توضیح دهید.

> در صورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ پاسخ دهید یا شک به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱۵ـ۲) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

> برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای مطالب فصل دوم آزمون پایانی عملی (۲) خودآزمایی شماره (۵) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ در تقویت کننده کلکتور مشترک، بهره ولتاژ ..... است.

الف: □ برابر با یک　　ب: □ کمتر از یک

ج: □ بیشتر از یک

۱۷ـ۲ـ اثر دما بر نقطه کار ترانزیستور

تمامی پارامترهای ترانزیستور (تقریباً بدون استثنا) به شدت تابع حرارت هستند. به‌عنوان مثال β ترانزیستور ($\frac{I_C}{I_B}$) به ازای تغییرات ۲۰ درجه سانتی گراد دما، تقریباً ۱۰۰٪ تغییر می‌کند یعنی با افزایش دما، مقدار β زیاد می‌شود. همچنین سایر پارامترها نیز به همین نسبت تغییر می‌کنند.

نقطه کار ترانزیستور یعنی مقادیر DC مربوط به I_C، I_B، V_{CE} و V_{BE} نیز براثر دما تغییر می‌کند. جهت جلوگیری از برگذاری دما روی تقویت‌کننده‌ها، معمولاً سعی می‌کنند قسمتی از سیگنال خروجی را به ورودی برگردانند. به این عمل فیدبک می‌گویند. از نظر بایاسینگ مدار بایاس سرخود دارای یک نوع فیدبک است.

۱۸ـ۲ـ استخراج مشخصات ترانزیستورها از کتاب‌های مرجع

با هیچ دستگاهی نمی‌توان تمامی مشخصه‌های یک ترانزیستور را به‌دست آورد. بلکه باید با مراجعه به کتاب‌های مرجع، مشخصات ترانزیستورها را که کارخانه‌سازنده ترانزیستور منتشر کرده استخراج کرد. کتاب‌های مختلفی در زمینه ارائه‌ی مشخصات ترانزیستورها منتشر شده است. یکی از این کتاب‌ها که به فراوانی در بازار یافت می‌شود Tower's International Transistor Selector نام دارد. در این کتاب مشخصات بیش از ۲۷۰۰ ترانزیستور امریکایی، اروپایی و ژاپنی آمده است. در این کتاب علاوه بر مشخصات ترانزیستورها شکل ظاهری و پایه‌های آن‌ها نیز نشان داده می‌شود. در جدول (۷ـ۲) مشخصات ترانزیستور BC107 همراه با مفهوم پارامترهای آن آمده است.

جدول ۷ــ۲ــ نحوهٔ استخراج اطلاعات مربوط به یک ترانزیستور

TRANSISTOR NUMBER	POLARITY	PACKAGE	LEAD CODE	VCB MAX	VCE MAX	VEB MAX	IC MAX	TJ MAX	P TOT	fT MIN	COB MAX	hFE	hFE IC	USE	MFR	EUR SUB	USA SUB	ISS
BC107	NS	TO ۱۸	L-۱	۵۰	۴۵	۶	۱۰۰ mA	۱۷۵ C	۳۰۰ mW	۱۵۰ M	۵P	۱۱۰ MIN	۲ mA	AL C	MUB	BC ۱۰۷	2N ۹۲۹	

- TRANSISTOR NUMBER: شمارهٔ ترانزیستور
- POLARITY: نوع و جنس ترانزیستور — N=NPN، P=PNP، S= سیلیسیم، G= ژرمانیوم
- PACKAGE: شکل ظاهری و ابعاد ــ مراجعه شود به ضمیمه C
- LEAD CODE: اطلاعات مربوط به پایه‌های ترانزیستور ــ به ضمیمه B مراجعه شود.
- VCB MAX: حداکثر ولتاژ قابل تحمل کلکتور ــ بیس
- VCE MAX: حداکثر ولتاژ قابل تحمل کلکتور ــ امیتر
- VEB MAX: حداکثر ولتاژ معکوس قابل تحمل امیتر ــ بیس
- IC MAX: حداکثر جریان مجاز کلکتور
- TJ MAX: حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند برحسب درجه سانتی‌گراد
- P TOT: حداکثر توان مجاز ترانزیستور — MW= میلی وات، W= وات
- fT MIN: فرکانس قطع ترانزیستور ــ فرکانسی که بهرهٔ ترانزیستور به یک می‌رسد مگاهرتز = M، کیلوهرتز = K، گیگاهرتز = G
- COB MAX: حداکثر ظرفیت خازن بین لایهٔ بیس و کلکتور — P= پیکو فاراد، N= نانو فاراد
- hFE / IC: ضریب تقویت جریان به ازای جریان مشخص بایاس. برای این ترانزیستور مقدار hfe برابر با ۱۱۵ در جریان $I_C = 2mA$ است.
- USE: کاربرد ــ به ضمیمه A مراجعه شود.
- MFR: نام کارخانه سازنده به ضمیمه I مراجعه شود.
- EUR SUB: معادل اروپایی
- USA SUB: معادل امریکایی

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۱۹ـ۲ـ آزمایش شماره (۷): استخراج مشخصات ترانزیستورها از کتاب‌های مرجع

هدف آزمایش

به‌دست آوردن بعضی از مشخصات یک ترانزیستور از کتاب Towers' International Transistor Selector و کاتالوگ‌های دیگر

شرح خلاصه آزمایش: در این قسمت از کار عملی، چند عدد ترانزیستور را از انبار تحویل می‌گیرید و شماره‌های روی آن‌ها را می‌خوانید. سپس با مراجعه به کتاب Towers' International Transistor Selector بعضی از مشخصات مهم و پرکاربرد ترانزیستور را استخراج می‌کنید. در انتهای این آزمایش برگه‌های اطلاعات مربوط به ترانزیستور 2N2222 نیز آورده شده است. با مراجعه به این برگه اطلاعات و مشخصات خواسته شده برای ترانزیستور را استخراج خواهید کرد. این عمل را روی ترانزیستورهای مختلف انجام دهید تا مهارت کافی در استخراج اطلاعات یک ترانزیستور از کتب یا کاتالوگ را به‌دست آورید.

یکی از اهداف این قسمت، جایگزینی یک ترانزیستور (مثلاً ترانزیستور سوخته) با ترانزیستور مشابه است. در این شرایط ابتدا مشخصات ترانزیستور سوخته را از کتاب‌های مرجع استخراج و با مشخصات ترانزیستور موجود مقایسه می‌کنید. در صورتی که تقریباً تمامی مشخصات (مقادیر حد) ترانزیستور سوخته با ترانزیستور موجود تطبیق داشت می‌توانید ترانزیستورموجود را جایگزین ترانزیستور معیوب کنید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ ترانزیستورهای BC107 A و 2N2905	از هر کدام یک عدد
¶SA950	
BD139	
2N2222A	
با ترانزیستورهای دیگر که در انبار موجود است.	
۲ـ کتاب Towers' International Transistor Selector	یک جلد

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- شماره هر ترانزیستور را از روی بدنه آن بخوانید.
- با توجه به شماره ترانزیستور، مشخصات خواسته شده را از کتاب فوق استخراج کنید و در جدول‌های زیر یادداشت کنید. به‌عنوان نمونه یک جدول برای ترانزیستور 2N3055 پر شده است.

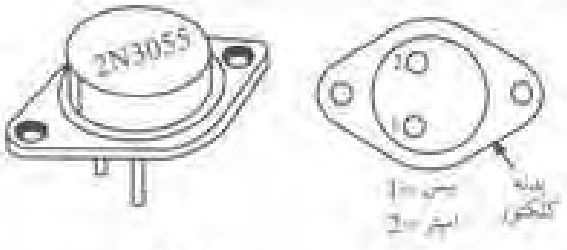
شماره ترانزیستور: 2N3055

$V_{CE_{max}}$ = ۶۰	V	(حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و امیتر)
$I_{C(MAX)}$ = ۱۵/۰۰	mA	(حداکثر جریان کلکتور)
$P_{D_{max}}$ = ۱۱۵	mW	(حداکثر توان قابل تحمل ترانزیستور)
H_{FE} = ۷۰ تا ۳۰		(ضریب بهره جریان در حالت امیتر مشترک)

Package = TO3 یا نوع بسته‌بندی

F_T = ۲۰۰ kHz (فرکانس قطع)

شکل ظاهری و نوع پایه‌های آن را در زیر رسم کنید.



1= بیس

2= امیتر

شماره ترانزیستور: 2N3905

$V_{CE_{max}}$ =	V	(حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و امیتر)
$I_{C(MAX)}$ =	mA	(حداکثر جریان کلکتور)
$P_{D_{max}}$ =	mW	(حداکثر توان قابل تحمل ترانزیستور)
H_{FE} =		(ضریب بهره جریان در حالت امیتر مشترک)

Package = یا نوع بسته‌بندی

F_T = Hz (فرکانس قطع)

شکل ظاهری و نوع پایه‌های آن را در زیر رسم کنید.

شماره ترانزیستور: 2SA950

(حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و امیتر) $V_{CE_{max}}$ = ... V

(حداکثر جریان کلکتور) $I_{C_{max}}$ = ... mA

(حداکثر توان قابل تحمل ترانزیستور) $P_{D_{max}}$ = ... mW

(ضریب بهره جریان در حالت امیتر مشترک) H_{fe} = ...

Package = ... یا نوع بسته‌بندی

(فرکانس حد) F_T = ... Hz

شکل ظاهری و نوع پایه‌های آن را در زیر رسم کنید.

شماره ترانزیستور: BC107A

(حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و امیتر) $V_{CE_{max}}$ = ... V

(حداکثر جریان کلکتور) $I_{C_{max}}$ = ... mA

(حداکثر توان قابل تحمل ترانزیستور) $P_{D_{max}}$ = ... mW

(ضریب بهره جریان در حالت امیتر مشترک) H_{fe} = ...

Package = ... یا نوع بسته‌بندی

(فرکانس حد) F_T = ... Hz

شکل ظاهری و نوع پایه‌های آن را در زیر رسم کنید.

شماره ترانزیستور: BD139

(حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و امیتر) $V_{CE_{max}}$ = ... V

(حداکثر جریان کلکتور) $I_{C_{max}}$ = ... mA

(حداکثر توان قابل تحمل ترانزیستور) $P_{D_{max}}$ = ... mW

(ضریب بهره جریان در حالت امیتر مشترک) H_{fe} = ...

Package = ... یا نوع بسته‌بندی

(فرکانس حد) F_T = ... Hz

شکل ظاهری و نوع پایه‌های آن را در زیر رسم کنید.

شماره ترانزیستور: 2N2222A

(حداکثر ولتاژ مجاز بین کلکتور و امیتر) $V_{CE_{max}}$ = ... V

(حداکثر جریان کلکتور) $I_{C_{max}}$ = ... mA

(حداکثر توان قابل تحمل ترانزیستور) $P_{D_{max}}$ = ... mW

(ضریب بهره جریان در حالت امیتر مشترک) H_{fe} = ...

Package = ... یا نوع بسته‌بندی

(فرکانس حد) F_T = ... Hz

شکل ظاهری و نوع پایه‌های آن را در زیر رسم کنید.

برای اجرای خود آزمایی عملی به انتهای مطالب فصل دوم آزمون پایانی عملی (۲) خودآزمایی شماره (۵) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

آزمون

۱ـ فرکانس حد ترانزیستور 2N1985 چند مگاهرتز است؟

الف: □ ۴۰ ب: □ ۶۰

ج: □ ۸۰ د: □ ۱۰۰

۲ـ V_{CEmax} ترانزیستور به شماره 2N2907 چند ولت است؟

الف: □ ۳۰ ب: □ ۴۰

ج: □ ۵۰ د: □ ۶۰

۳ـ حداکثر توان قابل تحمل ترانزیستور 2N3287 تقریباً چند میلی‌وات است؟

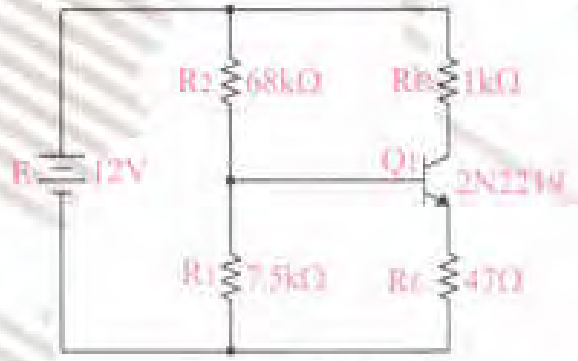
الف: □ ۲۰۰ ب: □ ۳۰۰

ج: □ ۴۰۰ د: □ ۱۰۰

۲۰ـ۲ـ آزمون پایانی عملی (۲)

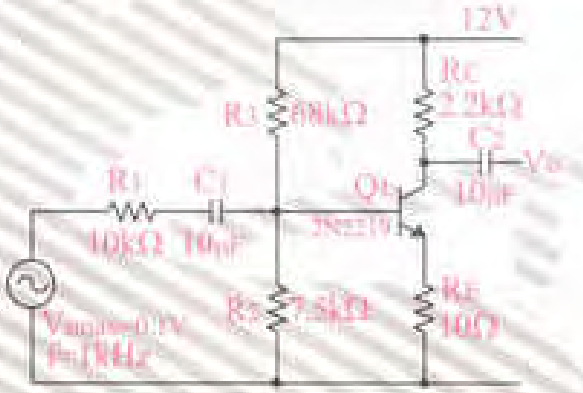
۱ـ یک ترانزیستور BC108 تهیه کنید. شکل ظاهری و نمای فوقانی آن را روی کاغذ بکشید. سپس به کمک آوومتر دیجیتالی نوع PNP یا NPN ترانزیستور را تشخیص دهید و با استفاده از آوومتر دیجیتالی پایه‌های آن را با استفاده از آوومتر دیجیتالی تعیین کنید.

۲ـ مدار شکل (۶۶ـ۲) را روی بردبرد یا برد آزمایشگاهی ببندید و نقطه کار ترانزیستور را اندازه بگیرید.



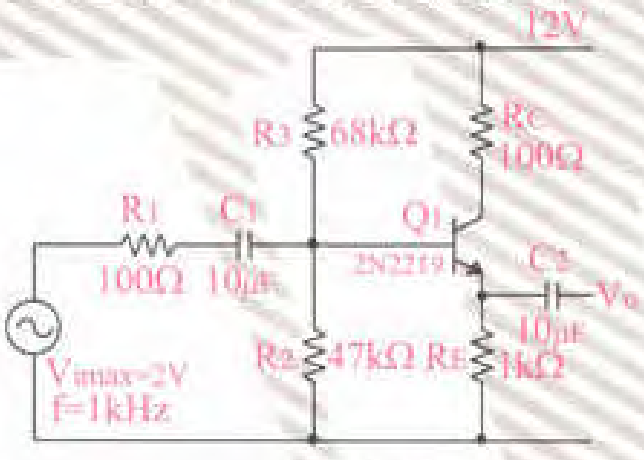
شکل ۶۶ـ۲

۳ـ تقویت کننده شکل (۶۷ـ۲) را روی بردبرد یا برد آزمایشگاهی ببندید و بهره ولتاژ آن را به‌دست آورید.



شکل ۶۷ـ۲

۴ـ تقویت کننده شکل (۶۸ـ۲) را روی بردبرد یا برد آزمایشگاهی ببندید و بهره ولتاژ آن را به‌دست آورید.



شکل ۶۸ـ۲

۵ـ برگه‌های اطلاعات مربوط به ترانزیستور 2N2222 در ادامه‌ی این قسمت آمده است. بعضی از مشخصات ترانزیستور را که می‌شناسید از این برگه‌های اطلاعاتی استخراج کنید.

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

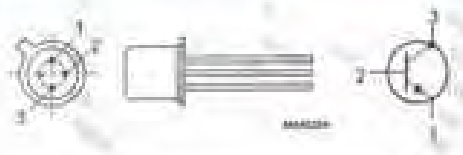


Fig.1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ °C	–	500	mW
h_{FE}	DC current gain	I_C = 10 mA; V_{CE} = 10 V	75	–	
f_T	transition frequency	I_C = 20 mA; V_{CE} = 20 V; f = 100 MHz			
	2N2222		250	–	MHz
	2N2222A		300	–	MHz
t_{off}	turn-off time	I_{Con} = 150 mA; I_{Bon} = 15 mA; I_{Boff} = −15 mA	–	250	ns

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector			
	2N2222		–	5	V
	2N2222A		–	6	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
I_{CM}	peak collector current		–	800	mA
I_{BM}	peak base current		–	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ °C	–	500	mW
		$T_{case} \leq 25$ °C	–	1.2	W
T_{stg}	storage temperature		−65	+150	°C
T_j	junction temperature		–	200	°C
T_{amb}	operating ambient temperature		−65	+150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	in free air	350	K/W
$R_{th\ j-c}$	thermal resistance from junction to case		146	K/W

CHARACTERISTICS

T_j = 25 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current				
	2N2222	I_E = 0; V_{CB} = 50 V	–	10	nA
		I_E = 0; V_{CB} = 50 V; T_{amb} = 150 °C	–	10	µA
I_{CBO}	collector cut-off current				
	2N2222A	I_E = 0; V_{CB} = 60 V	–	10	nA
		I_E = 0; V_{CB} = 60 V; T_{amb} = 150 °C	–	10	µA
I_{EBO}	emitter cut-off current	I_C = 0; V_{EB} = 3 V	–	10	nA
h_{FE}	DC current gain	I_C = 0.1 mA; V_{CE} = 10 V	35	–	
		I_C = 1 mA; V_{CE} = 10 V	50	–	
		I_C = 10 mA; V_{CE} = 10 V	75	–	
		I_C = 150 mA; V_{CE} = 1 V; note 1	50	–	
		I_C = 150 mA; V_{CE} = 10 V; note 1	100	300	
h_{FE}	DC current gain	I_C = 10 mA; V_{CE} = 10 V; T_{amb} = −55 °C			
	2N2222A		35	–	
h_{FE}	DC current gain	I_C = 500 mA; V_{CE} = 10 V; note 1			
	2N2222		30	–	
	2N2222A		40	–	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage				
	2N2222	I_C = 150 mA; I_B = 15 mA; note 1	–	400	mV
		I_C = 500 mA; I_B = 50 mA; note 1	–	1.6	V
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage				
	2N2222A	I_C = 150 mA; I_B = 15 mA; note 1	–	300	mV
		I_C = 500 mA; I_B = 50 mA; note 1	–	1	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage				
	2N2222	I_C = 150 mA; I_B = 15 mA; note 1	–	1.3	V
		I_C = 500 mA; I_B = 50 mA; note 1	–	2.6	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage				
	2N2222A	I_C = 150 mA; I_B = 15 mA; note 1	0.6	1.2	V
		I_C = 500 mA; I_B = 50 mA; note 1	–	2	V
C_c	collector capacitance	I_E = i_e = 0; V_{CB} = 10 V; f = 1 MHz	–	8	pF
C_e	emitter capacitance	I_C = i_c = 0; V_{EB} = 500 mV; f = 1 MHz			
	2N2222A		–	25	pF
f_T	transition frequency	I_C = 20 mA; V_{CE} = 20 V; f = 100 MHz			
	2N2222		250	–	MHz
	2N2222A		300	–	MHz
F	noise figure	I_C = 200 µA; V_{CE} = 5 V; R_S = 2 kΩ;			
	2N2222A	f = 1 kHz; B = 200 Hz	–	4	dB

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
Switching times (between 10% and 90% levels); see Fig.2					
t_{on}	turn-on time	I_{Con} = 150 mA; I_{Bon} = 15 mA; I_{Boff} = −15 mA	–	35	ns
t_d	delay time		–	10	ns
t_r	rise time		–	25	ns
t_{off}	turn-off time		–	250	ns
t_s	storage time		–	200	ns
t_f	fall time		–	60	ns

Note

1. Pulse test: $t_p \leq 300$ µs; $\delta \leq 0.02$

۲۱ـ۲ـ پرسش و تمرین (۲)

۱ـ طرز کار یک ترانزیستور را شرح دهید.

۲ـ چرا ناخالصی لایه بیس از بقیه لایه‌ها کمتر است؟

۳ـ چگونه می‌توان پایه‌های یک ترانزیستور را به کمک یک آومتر عقربه‌ای تشخیص داد؟

۴ـ مشخصه انتقالی یک ترانزیستور کدام کمیت را برحسب I_B نشان می‌دهد؟

۵ـ از منحنی مشخصه ورودی یک ترانزیستور چه استفاده‌ای می‌توان کرد؟

۶ـ مشخصات ظاهری ترانزیستور BC107 کدام است؟

۷ـ کدام مشخصه الکتریکی را می‌توان از یک قطعه به شماره 2N3055 استخراج کرد؟

۸ـ مشخصات ظاهری را که می‌توان با استفاده از نام ترانزیستورهای زیر به‌دست آورد بنویسید.

۲SB54 و ۲SA604 و BC109 و BU112 و AD169 و AF139 و BF209 و BD130 و AC178 و ۲SD67 و ۲SC498

۹ـ چرا در مدارهای الکترونیکی ابتدا ترانزیستورها را بایاس می‌کنند؟

۱۰ـ با توجه به نوع ترانزیستور نقطه کار در یک منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور بهتر است در کدام ناحیه باشد؟ منحنی را رسم کنید و نقطه موردنظر را روی آن مشخص کنید.

۱۱ـ مدار یک تقویت‌کننده امیتر مشترک را رسم کنید و مشخصات کلی آن را بنویسید.

۱۲ـ مدار یک تقویت‌کننده کلکتور مشترک را رسم کنید و مشخصات کلی آن را بنویسید.

۱۳ـ مدار یک تقویت کننده بیس مشترک را رسم کنید و مشخصات کلی آن را بنویسید.

۱۴ـ حرارت چه تأثیری روی یک ترانزیستور و مدارهای ترانزیستوری می‌گذارد؟

فصل سوم

انواع کوپلاژ

هدف کلی

شناخت نحوه اتصال دو طبقه تقویت کننده به یک‌دیگر

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

۱ـ مزایای اتصال دوطبقه تقویت‌کننده را به دنبال هم شرح دهد.

۲ـ انواع اتصال دو طبقه تقویت کننده به دنبال هم را نام ببرد.

۳ـ مزایای اتصال دو طبقه تقویت کننده به کمک یک خازن (کوپلاژخازنی) را شرح دهد.

۴ـ دو طبقه تقویت‌کننده را با استفاده از خازن به هم وصل کند و بهره ولتاژ آن را به دست آورد.

۵ـ مزایا و معایب اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به کمک یک ترانسفورماتور (کوپلاژ ترانسفورماتوری) را توضیح دهد.

۶ـ دو طبقه تقویت‌کننده را به کمک ترانسفورماتور به هم وصل کند و بهره ولتاژ آن را به دست آورد.

۷ـ مزایا و معایب اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به صورت مستقیم به یک‌دیگر (کوپلاژ مستقیم) را شرح دهد.

۸ـ بهره ولتاژ یک تقویت کننده دو طبقه را با مشخص بودن بهره هرطبقه تقویت کننده محاسبه کند.

ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۴	۶	۱۰

پیش‌آزمون (۳)

۱ـ شکل زیر یکی از منحنی‌های مشخصه مربوط به یک ترانزیستور معمولی است. نام این مشخصه چیست؟

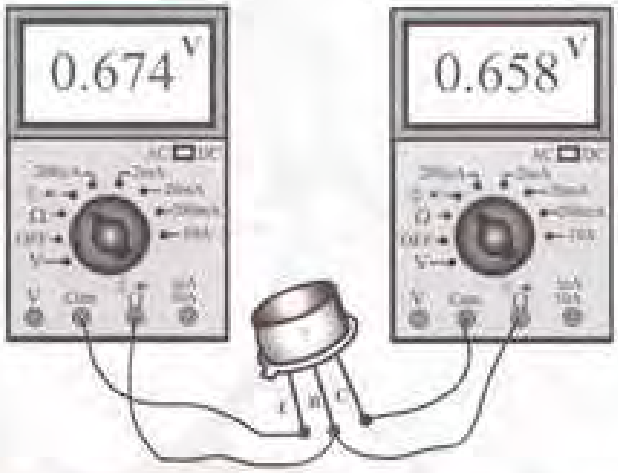
الف: □ ورودی ب: □ خروجی ج: □ انتقالی د: □ توان

۲ـ توان تلف شده، تقریبی در یک ترانزیستور از کدام رابطه به‌دست می‌آید؟

الف: □ $V_{BE}.I_B$ ب: □ $V_{BE}.I_C$ ج: □ $V_{CE}.I_B$ د: □ $V_{CE}.I_C$

۳ـ در شکل زیر نوع ترانزیستور کدام است؟

الف: □ PNP ب: □ NPN



۴ـ اگر تقویت کننده، با مشخصات زیر نیاز داشته باشیم کدام نوع تقویت کننده نیاز ما را برآورده می‌کند؟

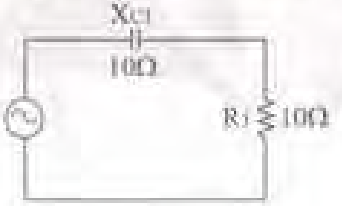
۱< بهره ولتاژ

اختلاف فاز بین سیگنال ورودی V_i و سیگنال خروجی V_o ۱۸۰ درجه باشد.

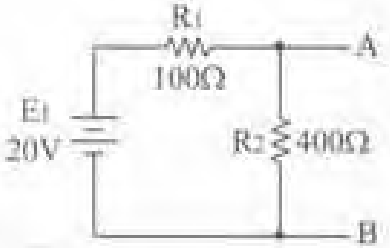
الف: □ بیس مشترک ب: □ امیتر مشترک ج: □ کلکتور مشترک د: □ هر سه مورد

۵ـ در شکل زیر اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ چند درجه است؟

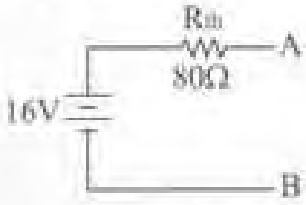
الف: □ ۱۸۰ ب: □ ۹۰ ج: □ ۴۵ د: □ ۰



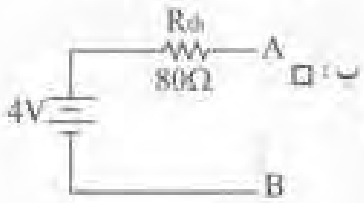
۶ـ مدار معادل تونن از دو نقطه A و B در شکل زیر کدام است؟



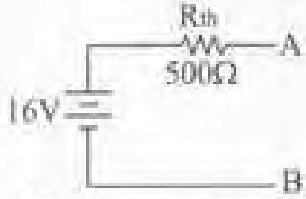
الف: □



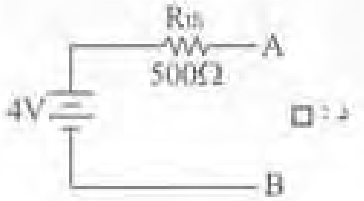
ب: □



ج: □



د: □



۷ـ در شکل زیر نسبت $\frac{V_o}{V_i}$ کدام است؟

الف: □ ۷۵ ب: □ ۲۰۰۰ ج: □ ۷/۵ د: □ ۱۷۰

۸ـ در فرکانس‌های خیلی کم کدام کوپلاژ بین دو طبقه تقویت‌کننده از بقیه مناسب‌تر است؟

الف: □ خازنی ب: □ مستقیم ج: □ ترانسفورماتوری

د: □ هیچ‌یک از موارد فوق

۹ـ یکی از اشکالات عمده اتصال دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ مستقیم این است که .....

الف: □ تغییر نقطه کار یک ترانزیستور باعث تغییر نقطه ترانزیستور طبقه بعدی می‌شود.

ب: □ بهره ولتاژ آن خیلی کم است.

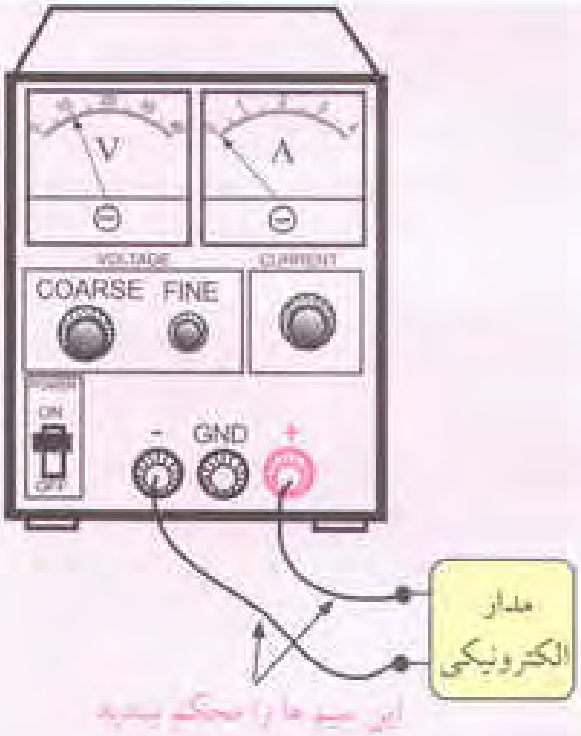
ج: □ فرکانس‌های کم به خوبی تقویت نمی‌شوند.

د: □ پهنای باند خیلی کم می‌شود.

۱۰ـ یک تقویت کننده در طبقه شامل یک طبقه تقویت کننده امیتر مشترک و طبقه نهایی کلکتور مشترک است، این تقویت کننده چه نوع کاربردی دارد؟ توضیح دهید.

نکات ایمنی (۳)

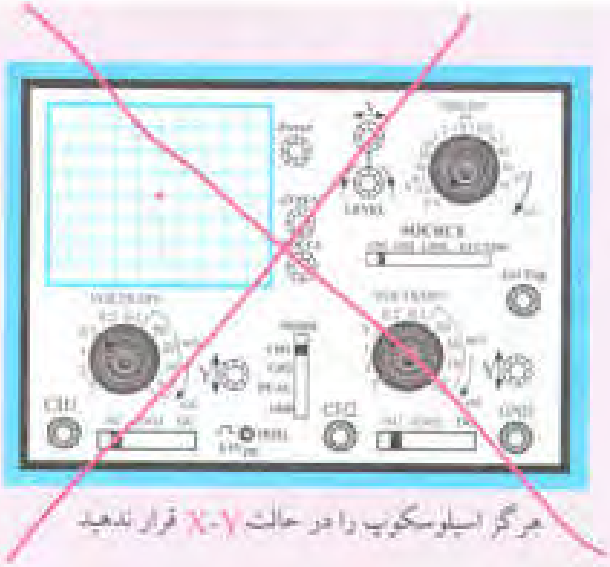
۱ـ سیم‌های رابط را به دستگاه‌های اندازه‌گیری و برد مدار چاپی آماده، خیلی محکم ببندید تا در اثر لرزش قطع نشوند.



۲ـ اگر منبع تغذیه‌ای که با آن کار می‌کنید دارای ولوم محدود کننده جریان است، در آزمایش‌های این فصل جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید. برای این کار ابتدا ولتاژ خروجی را روی صفر ولت بگذارید، سپس دو سر خروجی را اتصال کوتاه کنید. کمی ولتاژ خروجی را زیاد کنید تا جریان از ۱۰۰mA تجاوز کند، حال با استفاده از ولوم Limit Current جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید.

۳ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری را در مجاورت وسایل گرمازا و یا نور آفتاب قرار ندهید.

۴ـ کلید Y-X در اسیلوسکوپ 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 نقطه‌ای که تابیده شده است می‌سوزاند در این حالت آن نقطه برای همیشه روی صفحه حساس به‌صورت یک لکه سیاه دیده می‌شود.



هرگز اسیلوسکوپ را در حالت Y-X قرار ندهید

۵ـ 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.

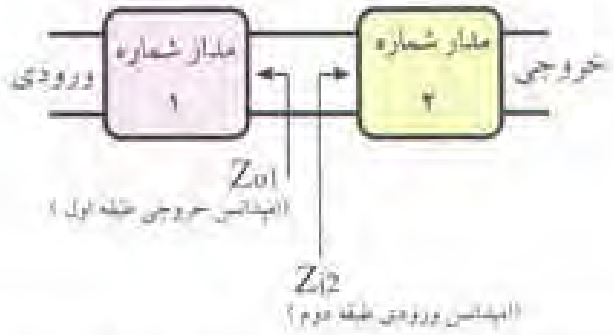
قابل توجه همکاران ارجمند

با توجه به این‌که مدت اختصاص‌داده‌شده به کار عملی در این فصل محدود می‌باشد، ضروری است برای آزمایش‌های این فصل در هنرستان‌ها براساس هر آزمایش یک برد مدار چاپی آماده تهیه شود و در اختیار هنرجویان قرار گیرد تا هنرجویان بدون بستن تک تک اجزای مدار بتوانند کلیه آزمایش‌ها را انجام دهند و نتیجه آن را مشاهده کنند.

۱ــ۳ــ انواع کوپلاژ

۱ــ۱ــ۳ــ یادآوری: اگر بخواهیم یک سیگنال الکتریکی را از یک مدار به مدار دیگری انتقال دهیم متناسب با انتقال حداکثر توان، ولتاژ یا جریان ازمدار اولی به مدار دومی باید وضعیت امپدانس ورودی طبقه دوم و امپدانس خروجی طبقه اول را مشخص کنیم. در هریک از حالات شرایط امپدانس‌ها متفاوت خواهد بود که به اختصار به شرح هریک می‌پردازیم.

الف ــ انتقال حداکثر توان: برای این که حداکثر توان از طبقه اول به طبقه دوم انتقال یابد باید امپدانس خروجی طبقه اول با امپدانس ورودی طبقه دوم با هم برابرباشند. در این حالت گوییم در مدار تطبیق توان برقرار است (شکل ۱ــ۳).

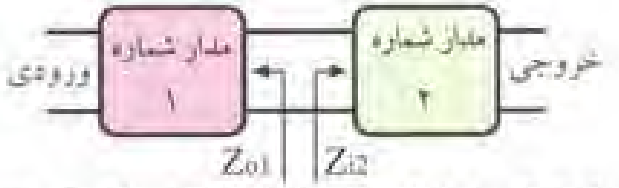


شکل ۱ــ۳ــ برای این که حداکثر توان ازمدار شماره ۱ به مدار شماره ۲ انتقال یابد باید $R_2 = R_1$ باشد.

ب ــ انتقال حداکثر ولتاژ: برای این که حداکثر ولتاژ از طبقه اول (مدار ۱) به طبقه دوم (مدار ۲) منتقل شود (شکل ۲ــ۳) باید امپدانس ورودی طبقه دوم به مراتب بیشتر از امپدانس خروجی طبقه اول باشد، یعنی:

$$Z_{i2} >> Z_{o1}$$

از نظر تئوری باید Z_{i2} که امپدانس ورودی طبقه دوم است به سمت بی‌نهایت میل کند تا حداکثر ولتاژ به آن منتقل شود.



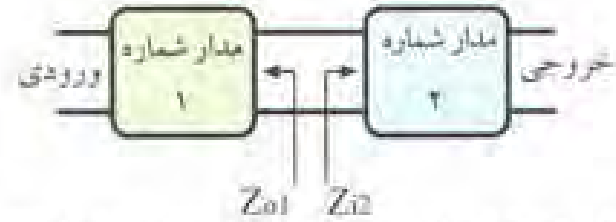
شکل ۲ــ۳ــ برای این‌که حداکثر ولتاژ از طبقه اول به طبقه دوم منتقل شود باید $R_2 >> R_1$ باشد.

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

ج ــ انتقال حداکثر جریان: در یک مدار الکتریکی یا الکترونیکی برای این که حداکثر جریان از طبقه اول به طبقه دوم انتقال یابد (شکل ۳ــ۳) باید امپدانس ورودی طبقه دوم به مراتب کمتر از امپدانس خروجی طبقه اول باشد، یعنی

$$Z_{i2} << Z_{o1}$$

از نظر تئوری باید Z_{i2} که امپدانس ورودی طبقه دوم است به سمت صفر میل کند تا حداکثر جریان به آن منتقل شود.



شکل ۳ــ۳ــ برای این‌که حداکثر جریان از طبقه اول به طبقه دوم منتقل شود باید $R_2 << R_1$ باشد.

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

۲ــ۱ــ۳ــ مقدمه: از یک تقویت‌کننده یک طبقه مانند تقویت‌کننده امیتر مشترک نمی‌توان بهره ولتاژ، بهره جریان و بهره

توان بسیار بالا را تولید کند. همچنین در موارد دیگری مانند تطبیق توان بین بلندگو و خروجی یک تقویت‌کننده و یا عمل تطبیق بین یک میکروفون و ورودی یک تقویت‌کننده و موارد مشابه دیگر یک تقویت‌کننده یک طبقه به‌تنهایی نمی‌تواند نیاز ما را برآورده کند (شکل ۴ـ۳). لذا برای به‌دست‌آوردن مشخصه‌های مورد نیاز در تقویت‌کننده‌ها، به جای استفاده از یک طبقه تقویت‌کننده، معمولاً دو یا چند طبقه تقویت‌کننده یک طبقه را به دنبال هم وصل می‌کنند و ضریب تقویت را بالا می‌برند. بنابراین یک تقویت‌کننده n طبقه از n طبقه تقویت‌کننده یک طبقه تشکیل می‌شود.

نحوه اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به یک‌دیگر را کوپلاژ بین دو طبقه تقویت‌کننده می‌نامند.

در زیر انواع کوپلاژها به‌طور خلاصه توضیح داده می‌شوند.

۲ـ۳ـ کوپلاژ خازنی

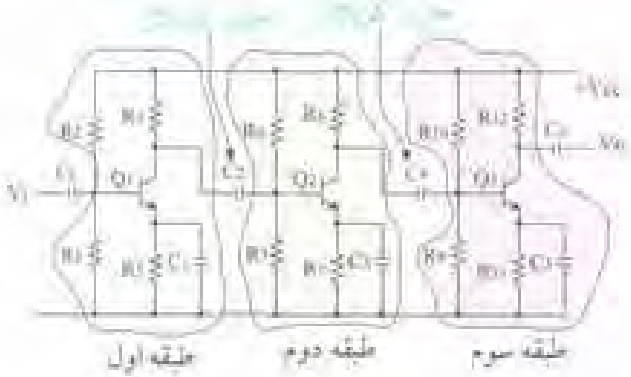
اگر دو یا چند طبقه تقویت‌کننده را به کمک یک یا چند خازن به یک‌دیگر وصل کنیم، می‌گوییم کوپلاژ بین این دو یا چند طبقه تقویت‌کننده خازنی RC است. شکل (۵ـ۳) سه طبقه تقویت‌کننده را که از طریق کوپلاژ RC به یک‌دیگر متصل شده‌اند نشان می‌دهد.

اتصال دو یا چند طبقه تقویت‌کننده از طریق کوپلاژ خازنی به یک‌دیگر، دارای مزایا و معایبی است که به بررسی یک حسن و یک عیب آن می‌پردازیم.

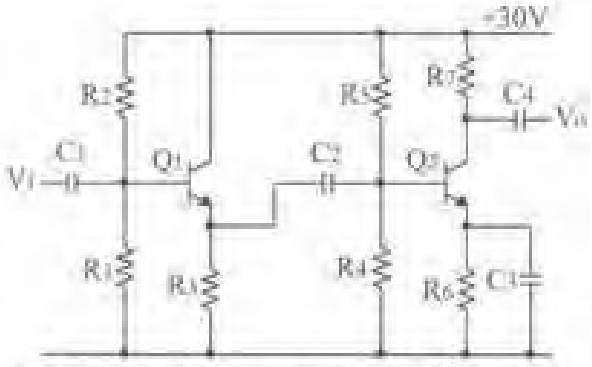
از مزایای اتصال چند طبقه تقویت‌کننده با استفاده از کوپلاژ خازنی این است که طبقات از نظر مقادیر DC (نقطه کار ترانزیستور) کاملاً مستقل هستند و تغییر نقطه کار یک طبقه، روی سایر طبقات اثر نمی‌گذارد.

طبقات یک تقویت‌کننده n طبقه، می‌توانند از نوع کلکتور مشترک، بیس مشترک و یا امیتر مشترک و یا ترکیبی از این نوع تقویت‌کننده‌ها باشند. در شکل ۶ـ۳ 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 ۴ـ۳ـ چون امپدانس خروجی تقویت‌کننده امیتر مشترک نسبتاً زیاد است، لذا هنگام وصل بلندگو به خروجی تقویت‌کننده امیتر مشترک، عمل تطبیق توان صورت نمی‌گیرد.



شکل ۵ـ۳ـ سه تقویت‌کننده با کوپلاژ خازنی



شکل ۶ـ۳ـ یک نمونه تقویت‌کننده دو طبقه که از تقویت‌کننده‌های کلکتور مشترک و امیترمشترک تشکیل شده است.

انتخاب نوع تقویت کننده در تقویت‌کننده‌های چند طبقه بستگی به نیاز ما دارد. به‌عنوان مثال اگر بخواهیم یک بلندگو را به انتهای تقویت‌کننده‌ای وصل کنیم حتماً باید طبقه نهایی تقویت‌کننده را کلکتور مشترک انتخاب کنیم، زیرا امپدانس خروجی آن کم است و با توجه به کم‌بودن مقاومت اهمی بلندگو، عمل تطبیق توان در آن صورت می‌گیرد (شکل ۷ـ۳).

از معایب اتصال دو یا چند طبقه تقویت‌کننده به یک‌دیگر با استفاده از خازن، عدم تقویت سیگنال‌های فرکانس کم است. زیرا در فرکانس‌های خیلی کم، امپدانس خازن بسیار زیاد می‌شود و افت ولتاژ دو سر آن افزایش می‌یابد.

به شکل ۸ـ۳ توجه کنید، فرض کنیم مقدار X_C در یک فرکانس خاص (کم) ۱۰۰ kΩ شود و دامنه سیگنال خروجی طبقه اول ۲ ولت و امپدانس طبقه دوم نیز ۱۰ kΩ باشد، قسمت اعظم دامنه سیگنال (حدود ۹۰٪) در دو سر خازن افت می‌کند. با این وجود کوپلاژ RC یکی از رایج‌ترین انواع کوپلاژهاست.

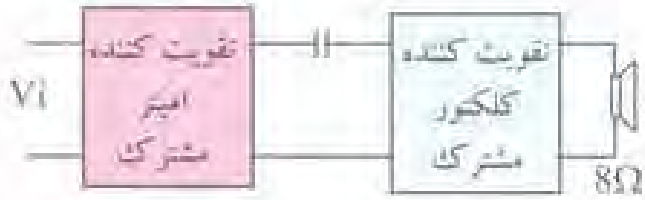
هر تقویت‌کننده دارای یک بهره ولتاژ است که می‌توان با استفاده از روابط ریاضی یا از طریق آزمایش آن را به‌دست آورد. وقتی دو یا چند طبقه تقویت‌کننده را به یک‌دیگر اتصال می‌دهیم، بهره‌ی هر تقویت‌کننده ممکن است تغییر کند. بهره‌ی کل یک تقویت‌کننده n طبقه، **بعد از اتصال برابر با حاصل‌ضرب بهره‌های هر طبقه است** (شکل ۹ـ۳). اگر A_{V_1} بهره ولتاژ طبقه اول[1]، A_{V_2} بهره ولتاژ طبقه دوم و... باشند بهره کل ولتاژ برابر است با:

$$A_V = A_{V_1} . A_{V_2} ....$$

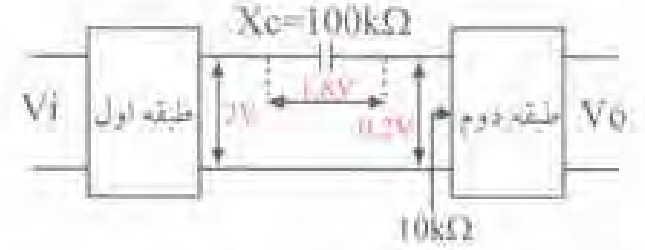
۳ـ۳ـ آزمایش شماره (۱): تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ RC

هدف آزمایش: اتصال دو طبقه تقویت‌کننده با استفاده از خازن و به‌دست‌آوردن بهره ولتاژ کل.

شرح خلاصه آزمایش: برای افزایش بهره‌ی ولتاژ، بهره جریان، امپدانس ورودی، پهنای باند و ... در تقویت‌کننده‌ها لازم است دو یا چند طبقه تقویت‌کننده یک طبقه را به دنبال هم ببندند. در این آزمایش یک تقویت‌کننده دو طبقه که شامل دو تقویت‌کننده یک طبقه امیتر مشترک است را به‌وسیله خازن کوپلاژ



شکل ۷ـ۳ـ چون تقویت‌کننده کلکتور مشترک دارای امپدانس خروجی کم است لذا اگر بلندگو را به خروجی تقویت‌کننده کلکتور مشترک وصل کنیم عمل تطبیق توان در آن صورت می‌گیرد.



شکل ۸ـ۳ـ در فرکانس‌های خیلی کم مقدار X_C خیلی زیاد شده و قسمت اعظم دامنه سیگنال در سر آن افت می‌کند.

شکل ۹ـ۳ـ بهره کل یک تقویت‌کننده n طبقه برابر حاصل‌ضرب بهره‌های طبقات در یک‌دیگر است.

مدت زمان انجام آزمایش ۴ ساعت

[1]ـ A_{V_1} بهره ولتاژ طبقه اول در شرایطی است که دو طبقه به هم متصل نباشند.

به یک‌دیگر وصل می‌کنید و مورد آزمایش قرار می‌دهید و بهره کل ولتاژ آن را به‌دست می‌آورید. برای این منظور سیگنال ژنراتور صوتی را روی سیگنال سینوسی با فرکانس تقریباً ۱kHz و دامنه تقریباً ۱۰ ولت قرار می‌دهید و آن را به ورودی تقویت‌کننده اعمال می‌کنید. سپس با استفاده از اسیلوسکوپ، ضمن مشاهده سیگنال خروجی طبقه اول، دامنه آن را نیز اندازه می‌گیرید. سپس بهره تقویت ولتاژ تقویت‌کننده طبقه اول را محاسبه می‌کنید. در ادامه‌ی آزمایش سیگنال خروجی طبقه دوم را مشاهده می‌کنید و دامنه آن‌را اندازه می‌گیرید با این اندازه‌گیری، بهره ولتاژ طبقه دوم را نیز محاسبه می‌کنید. سیگنال خروجی طبقه اول سیگنال ورودی طبقه دوم محسوب می‌شود. برای محاسبه بهره کل تقویت‌کننده، به یکی از دو صورت زیر عمل خواهید کرد.

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

یا

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

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ منبع تغذیه ۱/۲۵۷ـ	یک دستگاه
۲ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۴ـ برد مدار چاپی مربوط به تقویت‌کننده دوطبقه با کوپلاژ خازنی	یک قطعه
۵ـ سیم رابط یک‌سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هفت رشته

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- 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 تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید:

■ با استفاده از ولوم INTEN نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.

■ با استفاده از ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.

■ کلید سلکتور Time/Div را روی ۲ms/ قرار دهید.

■ ولوم Level را روی صفر بگذارید.

■ ولوم Time variable را در حالت Cal. قرار دهید.

■ ولوم Volt Variable هر دو کانال را در حالت Cal. قرار دهید.

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

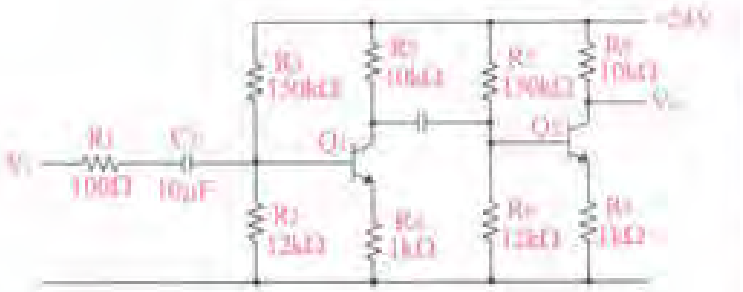
کانال (۱) Volts/Div = ۰/۰۵ V/Div

کانال (۲) Volts/Div = ۲ V/Div

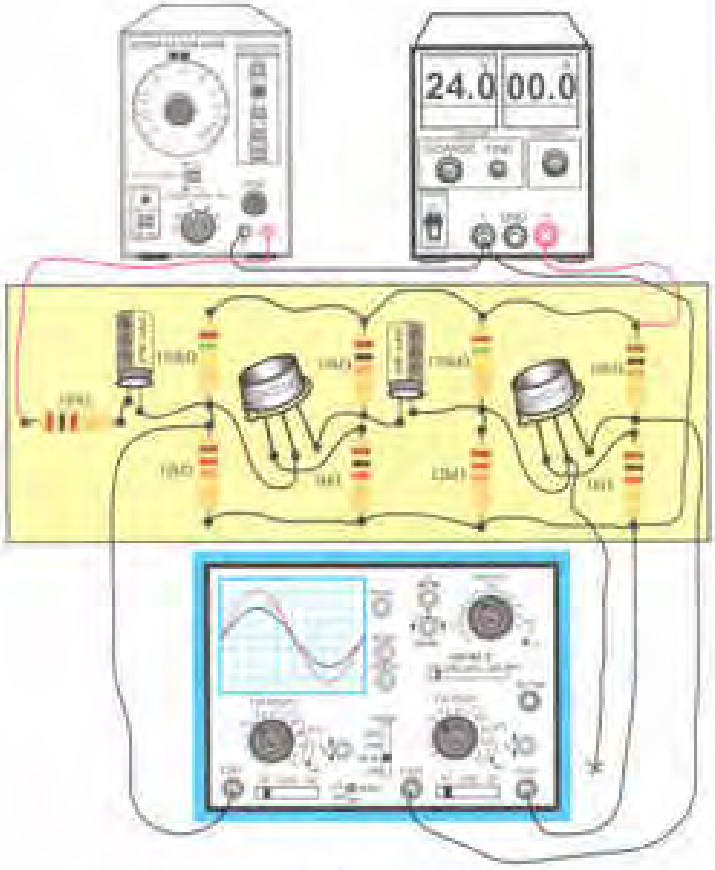
■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی آن را در حالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۱kHz تنظیم کنید. پس از اتصال آن به مدار، ولوم دامنه خروجی را طوری تنظیم کنید که دامنه‌ی شکل موج ظاهرشده روی کانال CH ۱ برابر ۱/ ولت شود.

■ مدار شکل ۱۰ـ۳ را ببندید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۲۲ ولت تنظیم کنید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۰ـ۳ـ مدار آزمایش

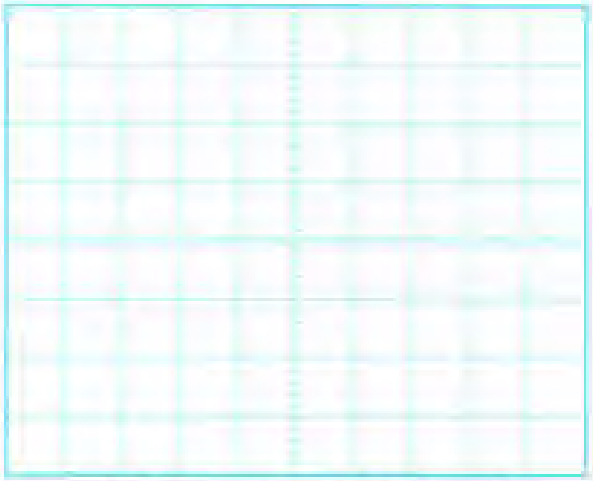
■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید.

■ 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 CH۱ را در حالت AC قرار دهید.

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۱۱ـ۳ رسم کنید.



شکل ۱۱ـ۳ـ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = ۵۰mV (CH۱)

Volt variable = cal.(CH۱)

(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس بدست آورید)	$V_{in} =$ V

■ کلید AC-GND-DC کانال CH ۲ را در حالت AC قرار دهید.

■ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول را به کانال CH ۲ وصل کنید.

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس مربوط به CH ۲ (خروجی تقویت‌کننده طبقه اول) را در شکل ۱۲ـ۳ رسم کنید.

■ مقدار V_{in} را برای CH۱ بدست آورید.

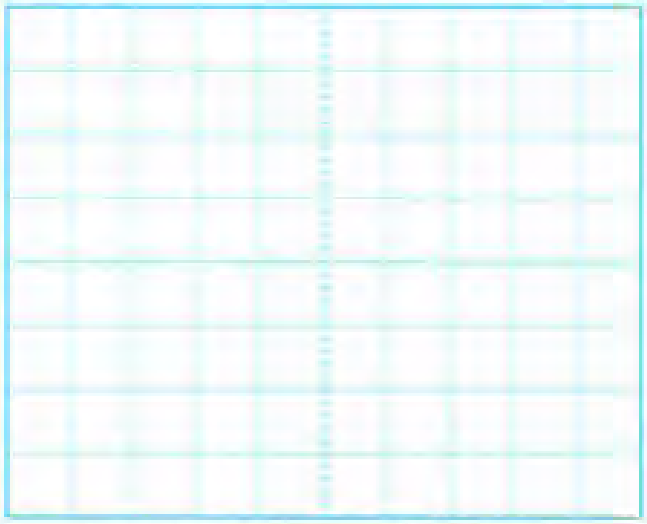
■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه اول را از طریق زیر محاسبه کنید.

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

■ 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 تقویت‌کننده = درجه

■ ورودی کانال CH ۲ را به خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم وصل کنید.



شکل ۱۲ـ۳ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول

Volts/Div = V

Volt variable = cal.(CH۱)

(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس بدست آورید)	$V_{in} =$ V

■ درصورتی که دامنه شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس مربوط به کانال CH ۲ خیلی زیاد بود به‌آرامی حوزه کار کلید Volt/Div را زیاد کنید تا شکل موج کاملاً در کادر صفحه حساس قرار گیرد.

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۱۳ـ۳ رسم کنید.

■ مقدار V_{p-p} را برای کانال ۲ محاسبه کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه‌ی دوم را با استفاده از رابطه زیر به‌دست آورید:

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

بهره ولتاژ کل را با استفاده از روابط زیر به‌دست آورید.

$$\text{بهره ولتاژ طبقه دوم} \times \text{بهره ولتاژ طبقه اول} = \text{بهره ولتاژ کل}$$

$$= \times =$$

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

■ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی طبقه اول یعنی شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس که مربوط به کانال CH ۱ است و خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم را با مشاهده دو سیگنال به‌طور تقریبی اندازه بگیرید و یادداشت کنید:

درجه = اختلاف فاز بین ورودی و خروجی تقویت‌کننده دو طبقه (هر دو طبقه امیتر مشترک)

سؤال ۱ ــ چرا اختلاف فاز بین سیگنال ورودی تقویت‌کننده دو طبقه (هر دو طبقه امیتر مشترک) با سیگنال خروجی برابر یا صفر درجه است؟ خیلی مختصر توضیح دهید.

سؤال ۲ ــ چرا بهره ولتاژ برابر با حاصل‌ضرب بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه اول در بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه‌ی دوم است؟ خیلی خلاصه توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۲ـ۳) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

شکل ۱۳ـ۳ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم

Volt/Div = ۱ V

Volt variable = Cal.(CH)

از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید: $V_{p-p} = ۷$

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای مطالب فصل سوم آزمون پایانی عملی (۳) خودآزمایی شماره (۱) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به‌اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌طور خلاصه بیان کنید.

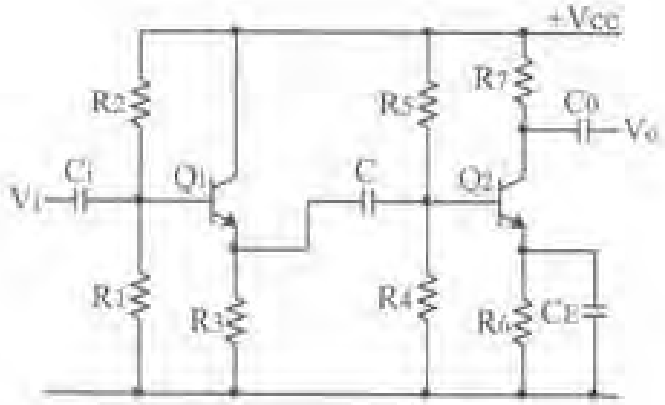
آزمون

۱ـ در شکل ۱۴ـ۳ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی (V_i) و سیگنال تقویت‌شده (V_o) چند درجه است؟

الف: □ ۰ ب: □ ۹۰°

ج: □ ۱۸۰° د: □ ۲۷۰°

۲ـ در شکل ۱۴ـ۳، اگر ظرفیت کوپلاژ (C) را خیلی کم انتخاب کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ توضیح دهید.



شکل ۱۴ـ۳

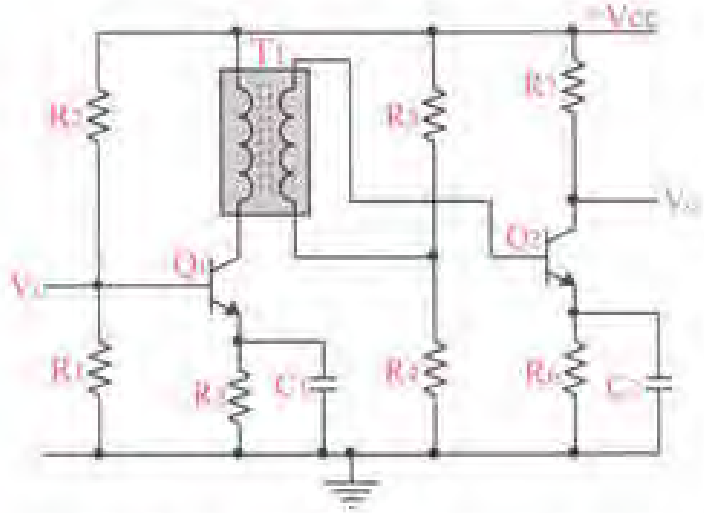
۴ـ۳ـ کوپلاژ ترانسفورماتوری

در کوپلاژ نوع ترانسفورماتوری، اتصال بین دو طبقه تقویت‌کننده به کمک یک ترانسفورماتور انجام می‌شود. شکل ۱۵ـ۳، نحوه اتصال دو طبقه تقویت‌کننده را به کمک یک ترانسفورماتور نشان می‌دهد.

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

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

لازم به یادآوری است که امروزه در تقویت‌کننده‌های صوتی به‌ندرت از این نوع کوپلاژ استفاده می‌شود، زیرا حجم ترانسفورماتور زیاد است و از نظر اقتصادی نیز مقرون به‌صرفه نیست. ضمن این‌که در فرکانس‌های کم بهره ولتاژ تقویت‌کننده‌ها به‌شدت کم می‌شود. به‌عبارت دیگر سیگنال‌های با فرکانس کم تقویت نمی‌شوند.



شکل ۱۵ـ۳ـ نحوه اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به یک دیگر به‌کمک یک ترانسفورماتور.

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۵ـ۳ـ آزمایش شماره (۲): تقویت‌کننده دو طبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری

هدف آزمایش: اتصال دو طبقه تقویت کننده به کمک ترانسفورماتور و به‌دست‌آوردن بهره ولتاژ آن

شرح خلاصه آزمایش: برای افزایش بهره ولتاژ بهره، جریان، افزایش امپدانس ورودی، افزایش پهنای باند و ... معمولاً دو یا چند طبقه تقویت کننده یک طبقه را به‌دنبال هم می‌بندند. در این آزمایش شما یک تقویت‌کننده دو طبقه شامل دو تقویت‌کننده یک طبقه امیتر مشترک را که دارای کوپلاژ ترانسفورماتوری هستند را مورد آزمایش قرار می‌دهید و بهره کل ولتاژ آن را به‌دست می‌آورید. به این منظور ابتدا سیگنال ژنراتور صوتی را روی سیگنال سینوسی با فرکانس تقریباً ۱kHz و دامنه تقریباً ۱۰ ولت قرار می‌دهید و آن را به ورودی تقویت‌کننده اعمال می‌کنید. سپس به کمک اسیلوسکوپ، دامنه سیگنال‌های ورودی‌ها و خروجی‌های طبقات مختلف را اندازه می‌گیرید. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری‌شده، بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه اول و طبقه دوم را محاسبه می‌کنید. با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده، بهره‌ی کل را به‌دست می‌آورید. برای محاسبه بهره‌ی کل تقویت‌کننده می‌توانید به یکی از دو روش زیر عمل کنید.

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

یا

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

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

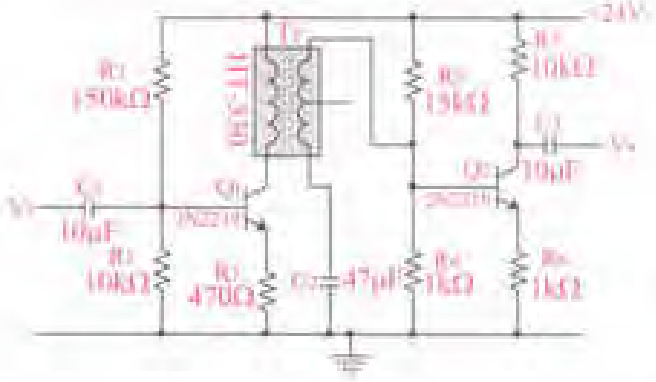
نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ منبع تغذیه ۲۵۷/۱ـ	یک دستگاه
۲ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۴ـ برد مدار چاپی مربوط به تقویت‌کننده دوطبقه با کوپلاژ ترانسفورماتوری	یک قطعه
۵ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ـ ۵۰ سانتی متری	هفت رشته

مراحل اجرای آزمایش

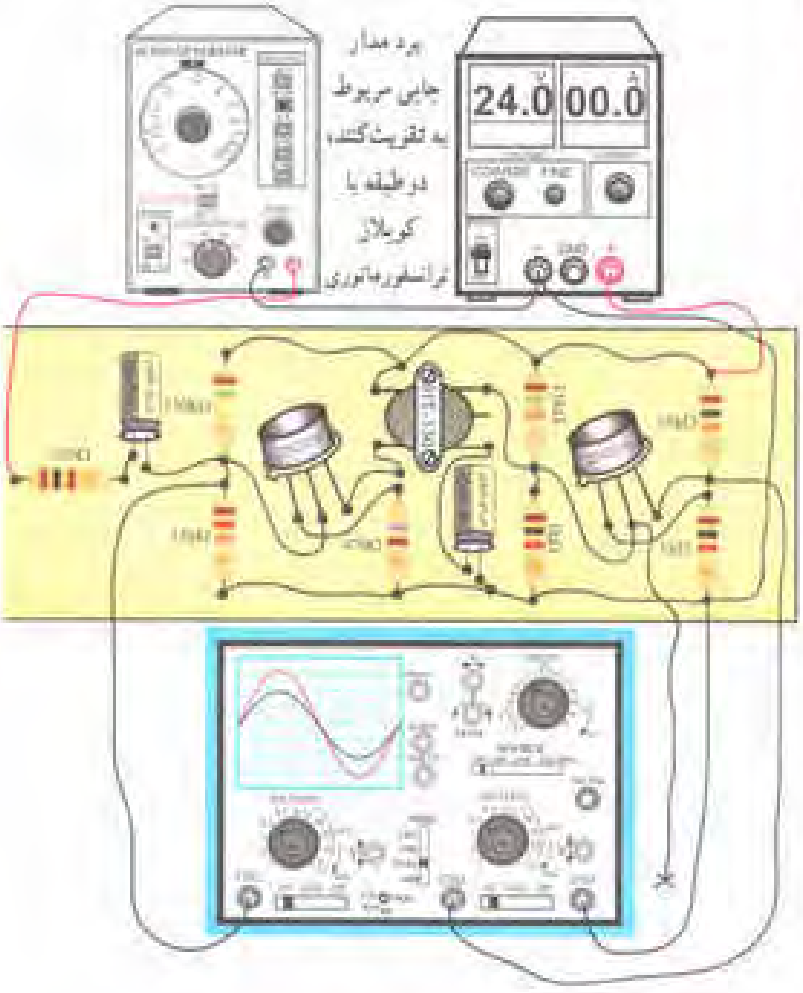
- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق وصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه خروجی آن را روی صفر ولت بگذارید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید:

- به کمک ولوم INTEN نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن نازک (باریک) نمایید.
- کلید سلکتور Time/Div را روی ۰/۲ms قرار دهید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- ولوم Time Variable را در حالت Cal قرار دهید.
- ولوم Volt Variable هر دو کانال را در حالت Cal. بگذارید.
- کلید AC-GND-DC هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید.
- کانال (۱) Volts / Div = ۵ m V/Div
- کانال (۲) Volts / Div = ۲ V/Div

- سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی را درحالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۱kHz تنظیم کنیدو به مدار اتصال دهید. ولوم دامنه خروجی را طوری تنظیم کنید که دامنه شکل موج ظاهر شده روی کانال CH ۱ برابر با ۰/۱ ولت شود.
- مدار شکل ۱۶ـ۳ را ببندید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۲۴ ولت تنظیم کنید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۶ـ۳ـ مدار آزمایش

■ 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 CH۱ را در حالت AC قرار دهید.

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۱۷ـ۳ رسم کنید.

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

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

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس مربوط به CH۲ را با مقیاس مناسب در شکل ۱۸ـ۳ رسم کنید.

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

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

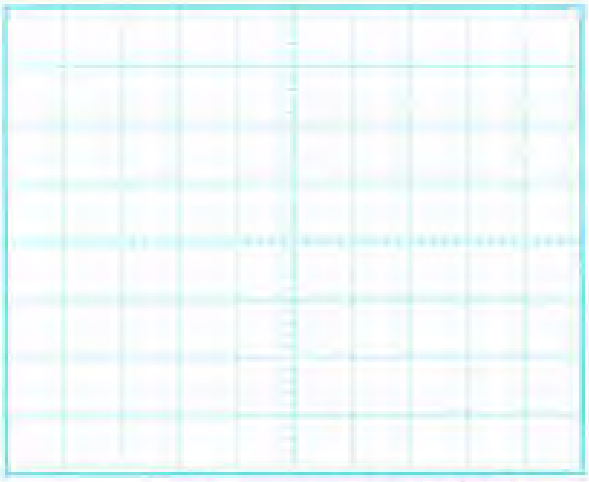
$$\text{بهره ولتاژ طبقه اول} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی طبقه اول}}{\text{دامنه سیگنال ورودی طبقه اول}} =$$

■ 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 تقویت‌کننده

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

■ درصورتی که دامنه شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس مربوط به کانال CH۲ خیلی زیاد بود به‌آرامی حوزه کار کلید Volts/Div را زیاد کنید تا شکل موج کاملاً در کادر صفحه حساس قرار گیرد.

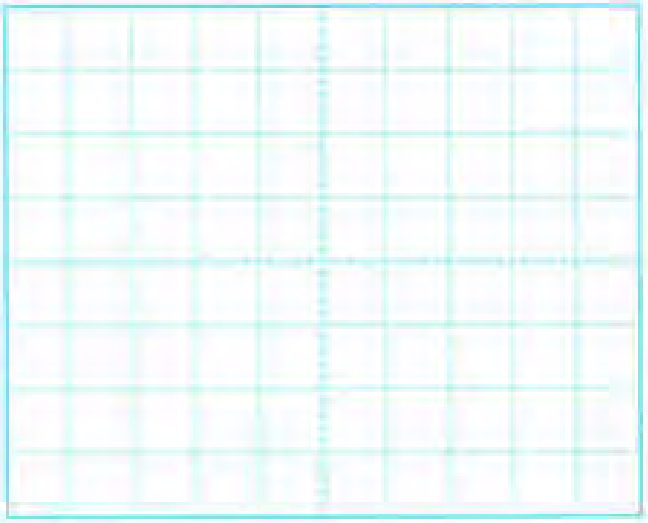


شکل ۱۷ـ۳ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = ۵۰mV (CH۱)

Volt variable on cal. (CH۱)

(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)	V	V_m =



شکل ۱۸ـ۳ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول

Volts/Div = ۱ V

Volt variable on cal.

(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)	V	V_m = CH۲

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۱۹ـ۳ رسم کنید.

■ مقدار V_{pp} را برای CH ۲ محاسبه کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه دوّم را با استفاده از رابطه زیر به‌دست آورید.

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

■ بهره ولتاژ کل را به هر دو روش زیر به‌دست آورید.

$$\text{بهره ولتاژ کل} = \text{بهره ولتاژ طبقه دوّم} \times \text{بهره ولتاژ طبقه اول}$$

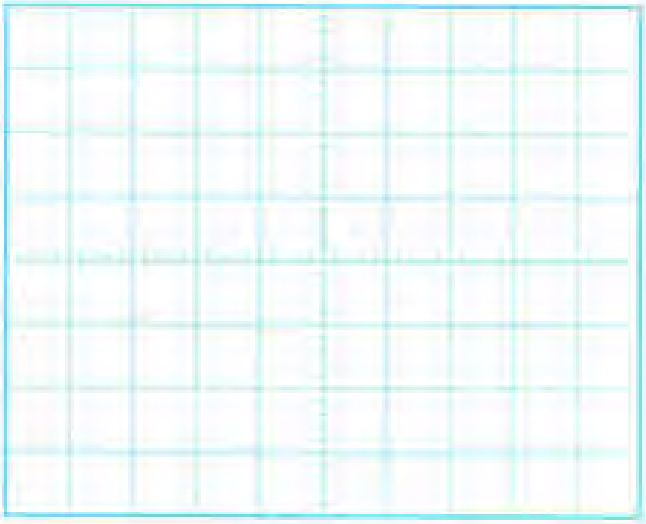
$$\text{بهره ولتاژ کل} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی طبقه دوّم}}{\text{دامنه سیگنال ورودی طبقه اول}}$$

■ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی طبقه اول (شکل موج نقش بسته روی صفحه حساس مربوط به کانال CH۱) و خروجی تقویت‌کننده طبقه دوّم را با مشاهده دو سیگنال، به‌طور تقریبی اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

درجه = اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی دو طبقه تقویت‌کننده امیتر مشترک

سؤال ۱ ــ محدودیت‌های اتصال دو طبقه تقویت‌کننده با کوپلاژ ترانسفورماتوری را نام ببرید و به‌طور خیلی خلاصه توضیح دهید.

سؤال ۲ ــ چرا در عمل تعدادی از تقویت‌کننده‌ها را به‌دنبال هم قرار می‌دهند؟ خیلی مختصر توضیح دهید.



شکل ۱۹ـ۳ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم

Volts/Div = ۱ V

Volt variable = √cal.

(از روی شکل اعمال داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)	V	V_{pp} =

درصورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ پاسخ دهید با نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۲ـ۳) مراجعه ومطالب را مجدداً مرور کنید.

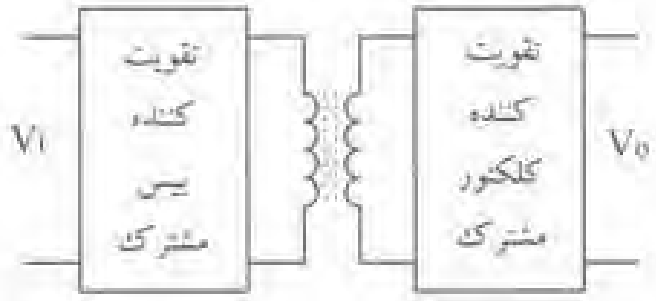
خلاصه آزمایش ــ آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به‌اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری ــ نتایج حاصل از این آزمایش را به‌صورت تیتروار بنویسید.

آزمون

۱ــ اگر در یک تقویت‌کننده دوطبقه‌ای که به دنبال هم قرار گرفته‌اند، طبقه اول امیتر مشترک و طبقه دوم کلکتور مشترک باشد، بهره ولتاژ این دو طبقه در مقایسه با تقویت‌کننده امیتر مشترک تقریباً در چه حدی قرار دارد؟

۲ــ تقویت‌کننده شکل ۲ــ۳ چه خصوصیاتی دارد؟ توضیح دهید.



شکل ۲ــ۴

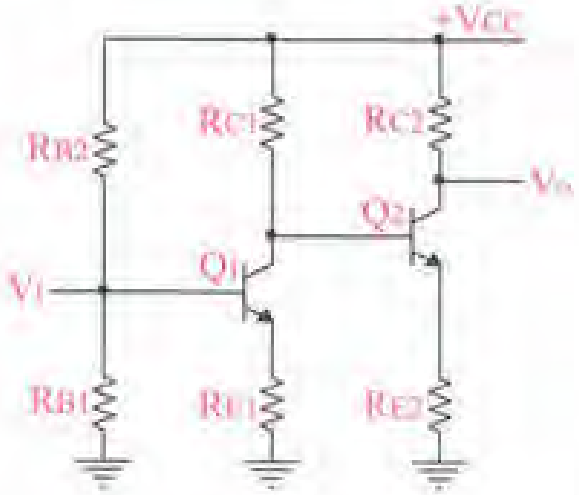
۶ـ۳ـ کوپلاژ مستقیم

در این نوع کوپلاژ، دو طبقه تقویت‌کننده، به‌صورت مستقیم به یک‌دیگر وصل می‌شوند. شکل ۲۱ـ۳، دو طبقه تقویت‌کننده، که به صورت مستقیم به یک‌دیگر وصل شده‌اند را نشان می‌دهد. در این شکل، هر دو طبقه تقویت‌کننده، از نوع امیتر مشترک هستند، زیرا جون سیگنال ورودی به بیس اعمال‌شده و از کلکتور آن‌ها سیگنال دریافت شده است.

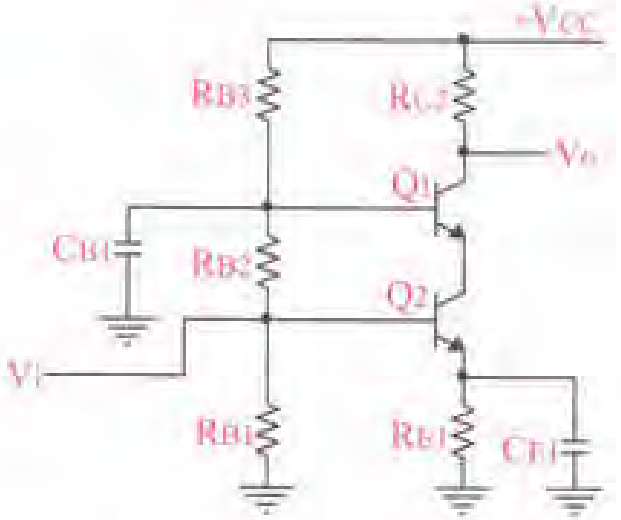
در تقویت‌کننده‌هایی که به‌صورت مستقیم به یک‌دیگر وصل می‌شوند، طبقات تقویت‌کننده از نظر ولتاژ و جریان DC مستقل از یک‌دیگر نیستند و تغییرات نقطه کار یک طبقه روی نقاط کار سایر طبقات تقویت‌کننده اثر می‌گذارد. در مقابل این عیب تقویت‌کننده، کوپلاژ مستقیم دارای مزیتی است که می‌تواند سیگنال‌های با فرکانس خیلی کم و حتی ولتاژ DC را تقویت کند.

امروزه در الکترونیک سعی می‌کنند حتی الامکان تقویت‌کننده‌ها را به‌صورت کوپلاژ مستقیم طراحی کنند، زیرا از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه‌تر است و فرکانس‌های خیلی کم نیز به خوبی تقویت می‌شوند.

شکل ۲۲ـ۳ نمونه دیگری از دو تقویت‌کننده، که به‌صورت مستقیم به یک‌دیگر متصل شده‌اند را نشان می‌دهد. در این تقویت‌کننده ترانزیستور Q_1 به‌صورت امیتر مشترک در مدار به‌کار رفته است، زیرا سیگنال ورودی به بیس و سیگنال خروجی از کلکتور دریافت می‌شود. ترانزیستور Q_2 به‌صورت بیس مشترک در مدار بسته شده است زیرا سیگنال ورودی به امیتر و سیگنال خروجی از کلکتور گرفته شده است. این تقویت‌کننده کاربرد زیادی در فرکانس‌های زیاد دارد.



شکل ۲۱ـ۳ـ یک نمونه تقویت‌کننده دو طبقه که طبقات به‌صورت مستقیم به یک‌دیگر وصل شده‌اند.



شکل ۲۲ـ۳ـ یک تقویت‌کننده امیتر مشترک با یک تقویت‌کننده بیس مشترک به‌صورت مستقیم به یک‌دیگر متصل شده‌اند.

۷ـ۳ـ آزمایش شماره (۳): تقویت‌کننده دو طبقه با اتصال مستقیم

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

هدف آزمایش: اتصال دو طبقه تقویت‌کننده به‌صورت مستقیم و به‌دست‌آوردن بهره ولتاژ آن.

شرح خلاصه آزمایش: برای افزایش بهره ولتاژ، بهره جریان و افزایش امپدانس ورودی، افزایش پهنای باند و ... غالباً دو یا چند طبقه تقویت‌کننده یک طبقه را به دنبال هم می‌بندند. در این آزمایش یک تقویت‌کننده دو طبقه که شامل دو تقویت‌کننده امیتر مشترک است و به‌صورت مستقیم به یک دیگر کوپلاژ (وصل) شده‌اند را مورد آزمایش قرار می‌دهید و بهره کل ولتاژ را به‌دست می‌آورید. برای این منظور ابتدا با استفاده از سیگنال ژنراتور صوتی، یک سیگنال سینوسی با فرکانس تقریباً ۱kHz و دامنه تقریباً ۰/۱ ولت را به ورودی تقویت‌کننده اعمال می‌کنید. سپس توسط اسیلوسکوپ، سیگنال‌های ورودی و خروجی طبقات را مشاهده می‌کنید و دامنه آن‌ها را اندازه می‌گیرید و با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده، بهره‌ی تقویت ولتاژ تقویت‌کننده، طبقه اول و طبقه دوم را محاسبه خواهید کرد. توجه داشته باشید که سیگنال خروجی طبقه اول به‌عنوان سیگنال ورودی طبقه دوم محسوب می‌شود. برای محاسبه بهره کل تقویت‌کننده می‌توانید یکی از دو روش زیر را به‌کار ببرید.

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

یا

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

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

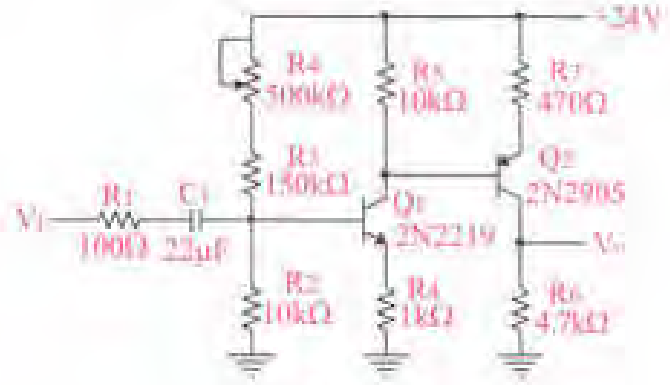
نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ منبع تغذیه ۲۵۷/۱۸ـ	یک دستگاه
۲ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۴ـ برد مدار چاپی مربوط به تقویت‌کننده دوطبقه با کوپلاژ مستقیم	یک قطعه
۵ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	هفت رشته

مراحل اجرای آزمایش

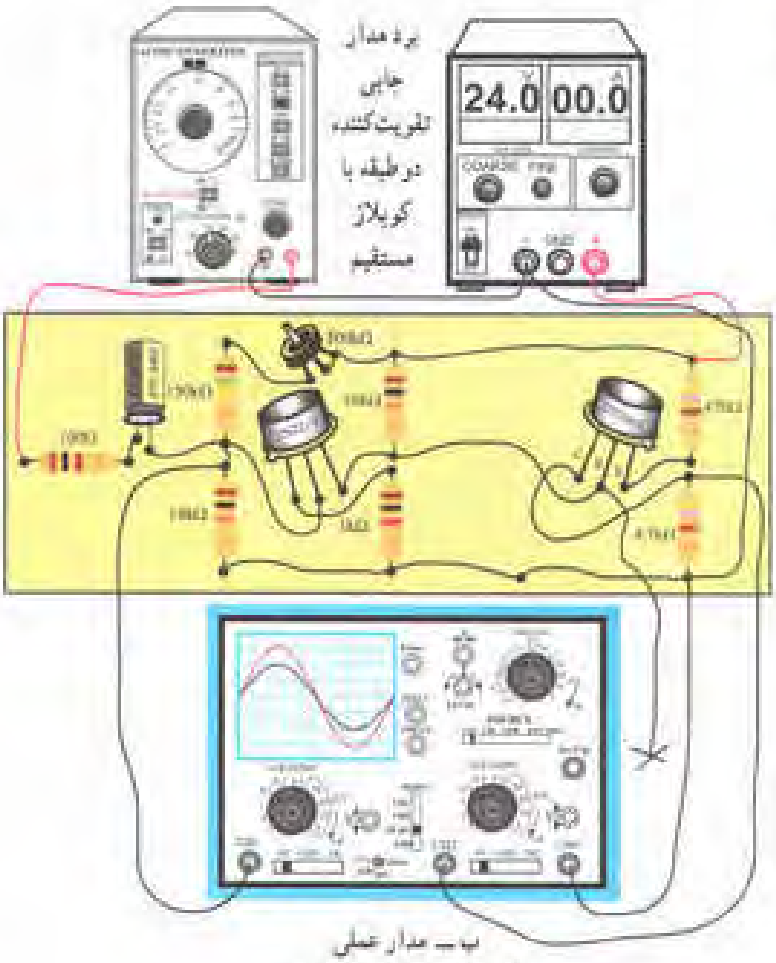
- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق وصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه خروجی آن را روی صفر ولت تنظیم کنید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید:

- به کمک 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 ۰/۲ms قرار دهید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- ولوم Time variable را در حالت Cal قرار دهید.
- ولوم Volt variable هر دو کانال را در حالت Cal بگذارید.
- کلید AC-GND-DC هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید.
- کلید Volts/Div = ۵۰m V/Div کانال (۱)
- کلید Volts/Div = ۲ V/Div کانال (۲)

- سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی آن را در حالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۱kHz تنظیم کنید. بعد از اتصال دستگاه به مدار، ولوم دامنه خروجی را طوری تنظیم کنید که دامنه شکل موج ظاهرشده روی کانال CH۱ برابر با ۰/۸ ولت شود.
- مدار شکل ۲۳ـ۳ را ببندید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۲۴ ولت تنظیم کنید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۲۳ـ۳ـ مدار آزمایش

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید.

■ کلید Source اسیلوسکوپ را روی 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.

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۲۴ـ۳ رسم کنید.

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

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

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس مربوط به CH۲ که از خروجی تقویت‌کننده طبقه اول دریافت می‌شود را در شکل ۲۵ـ۳ با مقیاس مناسب رسم کنید.

■ مقدار V_{∞} را از روی شکل‌های ۲۴ـ۳ و ۲۵ـ۳ محاسبه کنید.

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

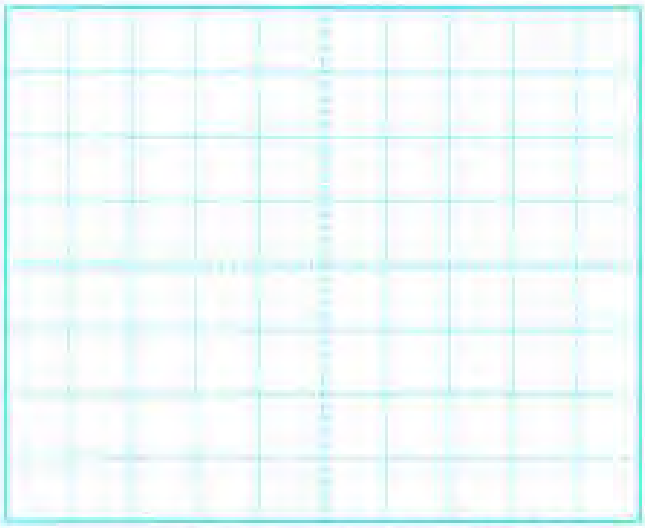
$$\text{بهره ولتاژ طبقه اول} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی طبقه اول}}{\text{دامنه سیگنال ورودی طبقه اول}} = \frac{V_{\infty}}{\quad}$$

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

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

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

■ درصورتی که دامنه شکل موج روی صفحه حساس مربوط به کانال CH۲ خیلی زیاد به‌آرامی رنج کلید Volt/Div را



شکل ۲۴ـ۳ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = ۵۰mV (CH۱)

Volt. variable = ۱/cal. (CH۱)

از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید.

V_{∞} = ۷

شکل ۲۵ـ۳ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه اول

Volts/Div = ۱V

Volt. variable = ۱/cal.

از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید.

V_{∞} = ۷

زیاد کنید تا شکل موج کاملاً در کادر صفحه حساس قرار گیرد.

■ شکل موج ظاهرشده روی صفحه حساس را در شکل ۲۶ـ۳ رسم کنید.

■ مقدار V_m را از روی شکل ۲۶ـ۳ محاسبه کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه دوم را با استفاده از رابطه زیر به‌دست آورید.

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

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

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

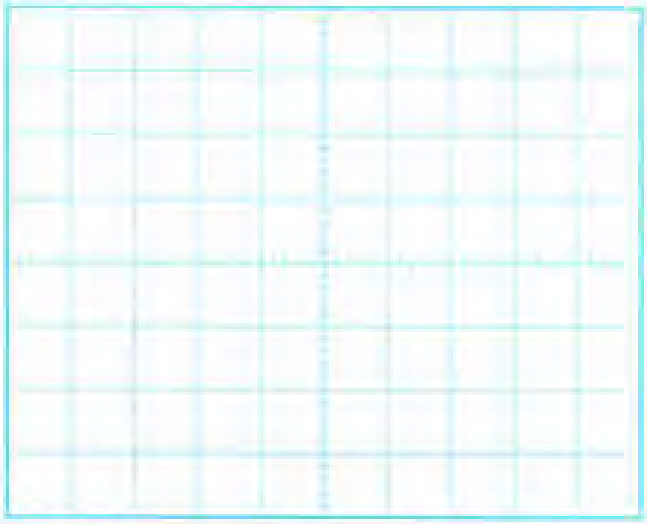
■ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی طبقه اول (شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس مربوط به کانال CH1) و خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم را با مشاهده دو سیگنال به‌طور تقریبی اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

درجه = اختلاف فاز ورودی و خروجی دو طبقه تقویت‌کننده امیتر مشترک

سؤال ۱ـ یک مزیت و یک عیب تقویت‌کننده دوطبقه با اتصال مستقیم را شرح دهید.

سؤال ۲ـ در مدار شکل ۲۳ـ۳ ترانزیستور 2N2905، به صورت کدام نوع تقویت‌کننده‌ای (امیتر مشترک، بیس مشترک یا کلکتور مشترک) به‌کار رفته است و چرا؟

درصورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۶ـ۳) مراجعه ومطالب را مجدداً مرور کنید.



شکل ۲۶ـ۳ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده طبقه دوم

Volts/DIV = ۱ V

Volt variable = cal.

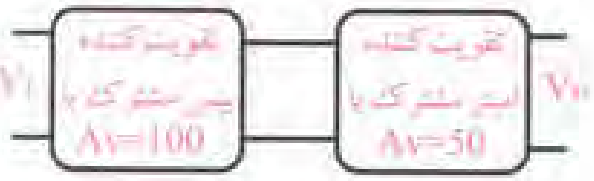
(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید) V V_m =

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به‌اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌صورت تیتروار بنویسید.

آزمون

۱ـ بهره‌ی تقویت کننده دو طبقه شکل ۲۷ـ۳ تقریباً چقدر است؟



شکل ۲۷ـ۳

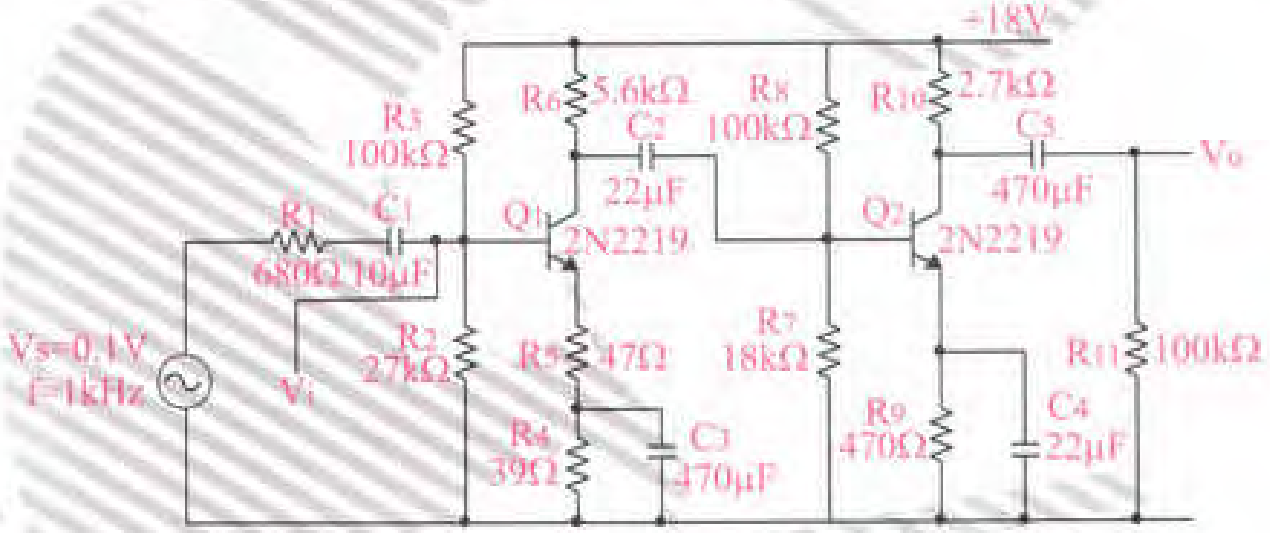
۸ــ۳ــ آزمون عملی پایانی (۳)

۱ــ تقویت‌کننده شکل ۲۸ــ۳ را روی برد برد یا برد آزمایشگاهی ببندید سپس در دو حالت زیر، بهره ولتاژ آن را از طریق اندازه‌گیری دامنه سیگنال‌ها به‌کمک اسیلوسکوپ به‌دست آورید.

الف: مدار کامل شکل ۲۸ــ۳ نسبت $\frac{V_o}{V_i}$ را به‌دست آورید.

ب: خازن C_4 (۲۲ میکروفاراد) را از مدار جدا کنید و نسبت $\frac{V_o}{V_i}$ را تعیین کنید.

موارد الف و ب را با یک‌دیگر مقایسه کنید و نتیجه حاصل را توضیح دهید.



شکل ۲۸ــ۳

۹ــ ۳ــ پرسش و تمرین (۳)

۱ــ مزایا و معایب اتصال دو طبقه تقویت کننده به‌کمک خازن (کوپلاژ RC) را توضیح دهید.

۲ــ چرا در مدارهای الکترونیکی چند طبقه، چند تقویت کننده یک طبقه را پشت سرهم می‌بندند؟

۳ــ بهره کل ولتاژ در تقویت‌کننده چند طبقه چگونه به‌دست می‌آید.

۴ــ اگر بخواهیم خروجی یک تقویت‌کننده چند طبقه را به بلندگو وصل کنیم، آخرین طبقه تقویت‌کننده کدام‌یک از مدارهای امیتر مشترک، کلکتور مشترک یا بیس مشترک می‌تواند باشد؟ چرا؟

۵ــ مزایا و معایب اتصال دو طبقه تقویت‌کننده توسط ترانسفورماتور (کوپلاژ ترانسفورماتوری) را توضیح دهید.

۶ــ دو طبقه یک تقویت‌کننده به کمک ترانسفورماتور به‌هم متصل شده‌اند (کوپلاژ ترانسفورماتوری). بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه اول ۲۰ و بهره ولتاژ تقویت‌کننده طبقه دوم ۵۰ است. بهره کل تقویت‌کننده دو طبقه را حساب کنید.

۷ــ مزایا و معایب اتصال دو طبقه تقویت‌کننده که به‌صورت مستقیم به یک‌دیگر وصل شده‌اند (کوپلاژ مستقیم) را توضیح دهید.

فصل چهارم

عیب‌یابی تقویت‌کننده‌های صوتی

هدف کلی

شناخت انواع تقویت کننده‌ها و کاربرد آن‌ها

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

۱ـ کلاس تقویت کننده‌ها را از روی شکل تقویت کننده تشخیص دهد.
۲ـ مزایای دو کلاس تقویت کننده را توضیح دهد.
۳ـ فرق تقویت کننده قدرت و غیر قدرت (سیگنال) را شرح دهد.
۴ـ مدار جداکننده فاز را شرح دهد.
۵ـ مدار معکوس کننده فاز را شرح دهد.
۶ـ کاربرد مدارهای جداکننده فاز و معکوس کننده فاز را توضیح دهد.
۷ـ تقویت کننده بوش پول را از تقویت کننده کامپلی متناری تشخیص دهد.
۸ـ تقویت کننده دارلینگتون را شرح دهد.
۹ـ مزایای تقویت کننده دارلینگتون را شرح دهد.
۱۰ـ تقویت کننده تفاضلی را توضیح دهد.
۱۱ـ شکل موج هر نقطه آزمایش (Test point) از یک تقویت کننده صوتی را به کمک اسیلوسکوپ مشاهده کند و دامنه آن را اندازه بگیرد.
۱۲ـ مدارهای تشکیل دهنده یک تقویت کننده صوتی را نام ببرد و طرز کار هر یک را شرح دهد.

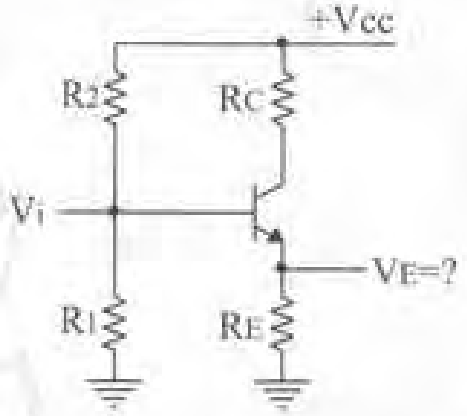
ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱۰	۱۴	۲۴

پیش‌آزمون (۴)

۱ـ در تقویت کننده امیتر مشترک مقیاس V_E معمولاً در کدام محدوده ولتاژ قرار دارد؟

الف: □ ۲ ولت تا V_{CC} ب: □ یک ولت تا ۵ ولت

ج: □ ۳ ولت تا ۵ ولت د: □ ۰/۲ تا یک ولت

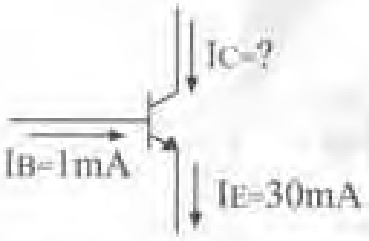


۲ـ اگر بخواهیم دو طبقه تقویت‌کننده با امپدانس ورودی کم و امپدانس خروجی زیاد را به یک‌دیگر وصل کنیم کدام کوپلاژ از بقیه مناسب‌تر است؟

الف: □ ترانسفورماتوری ب: □ مستقیم

ج: □ خازنی د: □ فرقی نمی‌کند.

۳ـ در شکل مقابل I_C چند میلی‌آمپر است؟



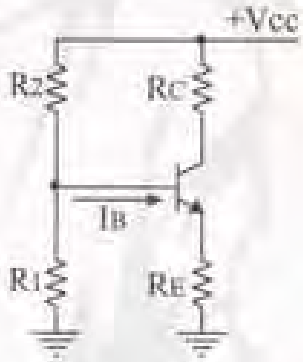
الف: □ ۳۰ ب: □ ۲۹

ج: □ ۲۸ د: □ ۲۷

۴ـ در شکل زیر اگر I_B افزایش یابد کدام اتفاق می‌افتد؟

الف: □ V_{CE} افزایش می‌یابد. ب: □ V_{CE} کاهش می‌یابد.

ج: □ I_C کم می‌شود. د: □ توان تلف شده در R_C کاهش می‌یابد.



۵ـ در یک ترانزیستور اشباع شده، V_{CE} تقریباً چند ولت است؟

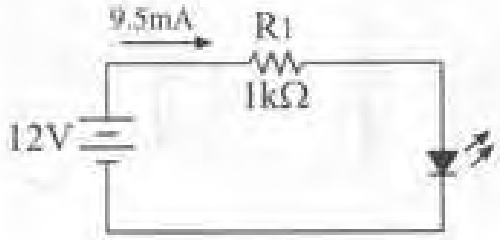
الف: □ صفر ب: □ ۱

ج: □ ۰/۲ د: □ ۲

۶ـ در شکل زیر افت ولتاژ دو سر دیود نورده‌نده تقریباً چند ولت است؟

الف: □ ۲/۰ ب: □ ۶/۰

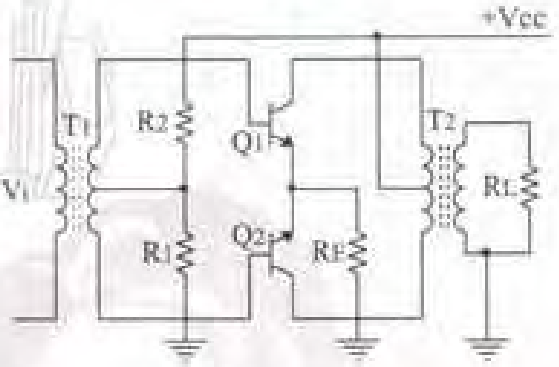
ج: □ ۲/۵ د: □ ۶



۷ـ با توجه به خروجی مدار، تقویت‌کننده مقیاس، کدام کمیت را تقویت می‌کند؟

الف: □ ولتاژ ب: □ جریان

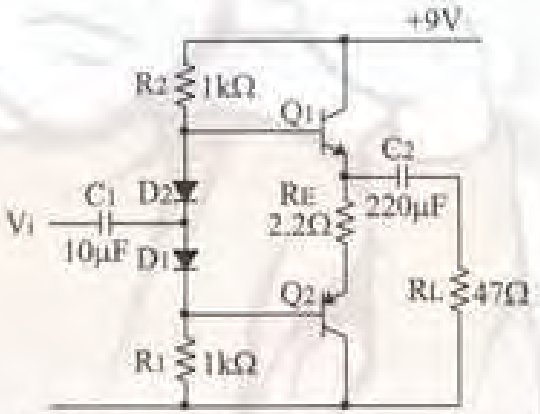
ج: □ انرژی د: □ توان



۸ـ بهره ولتاژ در تقویت‌کننده زیر تقریباً کدام است؟

الف: □ اندکی کمتر از یک ب: □ اندکی بیشتر از یک

ج: □ بیشتر از ده د: □ بیشتر از صد



۹ـ اگر بخواهیم با یک ترانزیستور معمولی، تقویت‌کننده‌ای بسازیم که یک سیکل کامل را تقویت کند، این تقویت‌کننده در کدام کلاس باید کار کند؟

الف: □ D ب: □ C

ج: □ B د: □ A

۱۰ـ کدام تقویت‌کننده می‌تواند علاوه‌بر ولتاژ AC، ولتاژ DC را نیز تقویت کند؟

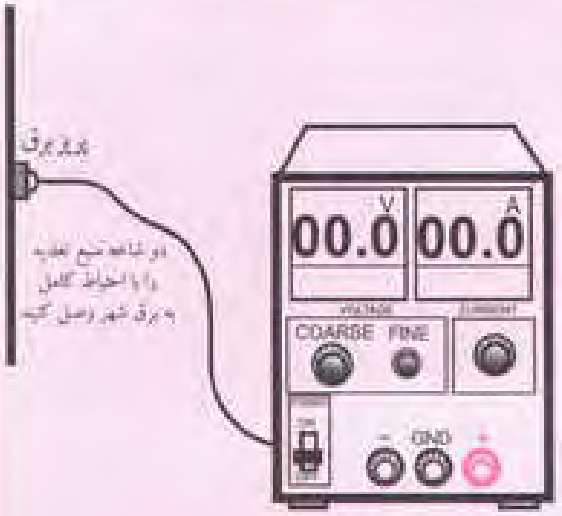
الف: ☐ پوش ـ پول　　ب: ☐ تفاضلی

ج: ☐ امیتر مشترک　　د: ☐ بیس مشترک

۱۱ـ یک مدار معکوس‌کننده فاز رسم کنید و موارد کاربرد آن را شرح دهید.

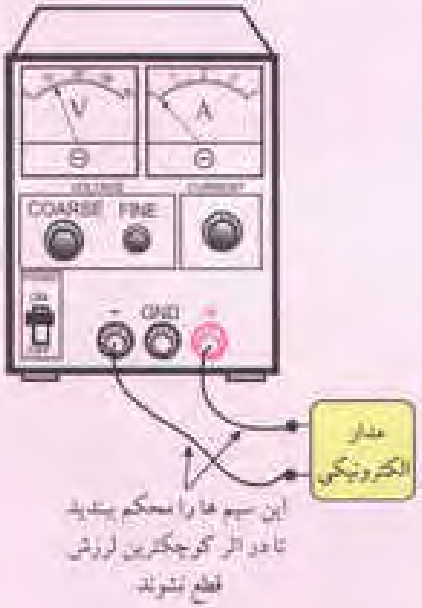
نکات ایمنی (۴)

۱ــ کلید دستگاه‌های اندازه‌گیری را ابتدا با احتیاط کامل به برق وصل کنید. بعد از روشن کردن تنظیم‌های لازم را روی آن‌ها انجام دهید و سپس به مدار وصل کنید.



۲ــ بردهای مدارهای چاپی آماده بسیار حساس هستند. در هنگام کار مواظب باشید تا سیم‌های رابط آن‌ها که به برد لحیم شده است جدا نشود و به برد مدار چاپی آسیبی نرسد.

۳ــ سیم‌های رابط را به دستگاه‌های اندازه‌گیری و برد مدارچاپی آماده خیلی محکم ببندید تا در اثر لرزش قطع نشوند.



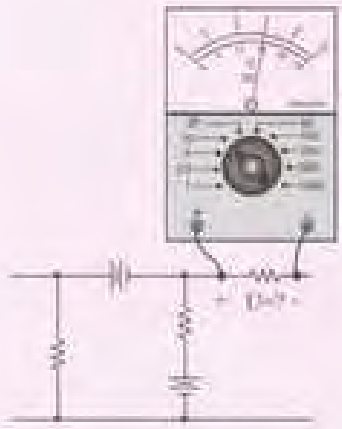
۴ــ اگر منبع تغذیه‌ای که با آن کار می‌کنید دارای ولوم محدود کننده‌ی جریان است، در آزمایش‌های این فصل جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید. برای این کار ابتدا ولتاژ خروجی را روی صفر ولت بگذارید. سپس دو سر خروجی را اتصال کوتاه کنید. کمی ولتاژ خروجی را زیاد کنید تا جریان از ۱۰۰mA تجاوز کند. حال با استفاده از ولوم Limit Current جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید.

۵ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری را در مجاورت وسایل گرمازا و یا نور آفتاب قرار ندهید.

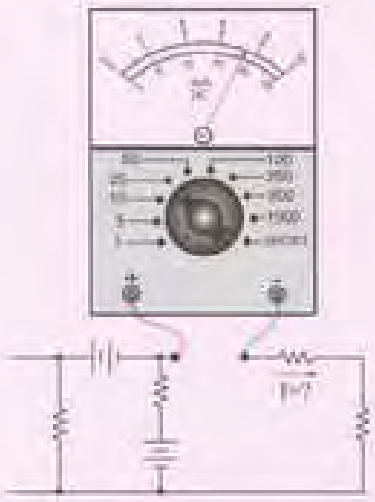
۶ـ کلیدها و ولوم‌های روی دستگاه‌های اندازه‌گیری را به‌آرامی تغییر دهید تا آسیبی به آن‌ها وارد نشود.

۷ـ هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، حوزه کار ولت‌متر را متناسب با ولتاژی که می‌خواهید اندازه بگیرید تنظیم کنید.

۸ـ هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، ولت‌متر را با دو نقطه موردنظر به‌صورت موازی ببندید.



۹ـ هنگام اندازه‌گیری جریان در مدار، آمپرمتر را به‌صورت سری با مدار ببندید.



قابل توجه همکاران ارجمند

با توجه به این‌که مدت اختصاص داده شده به کار عملی در این فصل محدود می‌باشد. ضروری است برای آزمایش‌های این فصل در هنرستان‌ها براساس هر آزمایش یک برد مدار چاپی آماده تهیه شود و در اختیار هنرجویان قرار گیرد تا هنرجویان بدون بستن تک‌تک اجزای مدار بتوانند کلیه آزمایش‌ها را انجام دهند و نتیجه آن را مشاهده کنند.

۱ــ۴ــ کلاس تقویت‌کننده‌ها

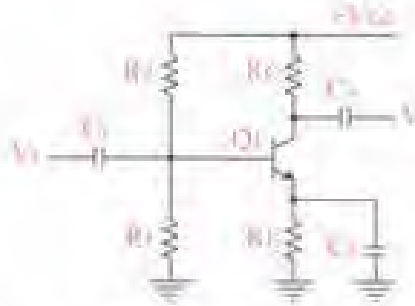
وقتی یک سیگنال الکتریکی به یک تقویت‌کننده اعمال می‌شود، متناسب با این که چه مقدار از یک سیکل کامل سیگنال متناوب ورودی را تقویت کنید، تقویت‌کننده‌ها را دسته‌بندی می‌کنند و براساس آن کلاس‌های مختلف A، B و C تشکیل می‌گیرد.

۱ــ۱ــ۴ــ تقویت‌کننده کلاس A: در تقویت‌کننده کلاس A، دامنه سیگنال در تمامی سیکل به یک اندازه تقویت می‌شود و هیچ قسمتی از یک سیکل کامل حذف نمی‌شود. بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس A در شکل (۱ــ۴) نشان داده شده است.

شکل ۱ــ۴ ــ در تقویت‌کننده کلاس A تمامی قسمت‌های یک سیکل کامل ولتاژ ورودی تقویت می‌شود.

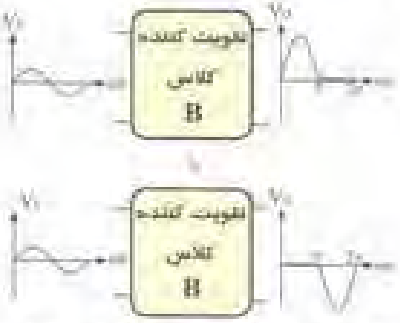
در شکل (۲ــ۴) یک نمونه تقویت‌کننده کلاس A نشان داده شده است. در این گونه تقویت‌کننده‌ها معمولاً $V_{CQ} = \frac{1}{2}V_{CC}$ انتخاب می‌شود. راندمان تقویت‌کننده کلاس A[1] در عمل کمتر از ۲۰ درصد است. در ایده‌آل‌ترین حالت ازنظر ریاضی، ۲۵ درصد می‌شود.

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



شکل ۲ــ۴ــ یک نمونه تقویت‌کننده که در کلاس A کار می‌کند.

۲ــ۱ــ۴ــ تقویت‌کننده کلاس B: در این تقویت‌کننده، نقطه کار ترانزیستور را طوری انتخاب می‌کنند که فقط نیم‌سیکل مثبت یا نیم‌سیکل منفی از سیگنال ورودی را تقویت کند. در شکل (۳ــ۴) بلوک دیاگرام این نوع تقویت‌کننده نشان داده شده است.

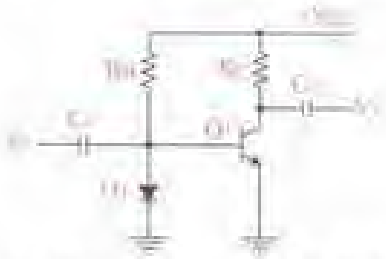


شکل ۳ــ۴ــ بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس B

در شکل (۴ــ۴) یک نمونه تقویت‌کننده کلاس B را مشاهده می‌کنید.[2]

راندمان تقویت‌کننده کلاس B بیشتر از ۵۰ است. این تقویت‌کننده را به عنوان تقویت‌کننده قدرت به‌کار می‌برند.

در شکل (۴ــ۴)، ترانزیستور در آستانه هدایت قرار دارد. با افزایش دامنه سیگنال ورودی، ترانزیستور بیشتر هادی می‌شود و جریان کلکتور آن افزایش می‌یابد. در نیم سیکل منفی ترانزیستور به‌حالت قطع می‌رود.



شکل ۴ــ۴ــ یک نمونه تقویت‌کننده کلاس B

۱ــ توجه داشته باشید که راندمان ۲۰ درصد برای تقویت‌کننده‌هایی است که روی کلکتور آن فقط بار اهمی وجود دارد.

۲ــ در تعاریف قدیمی، کلاس B را تنها از نیم‌سیکل می‌دانستند.

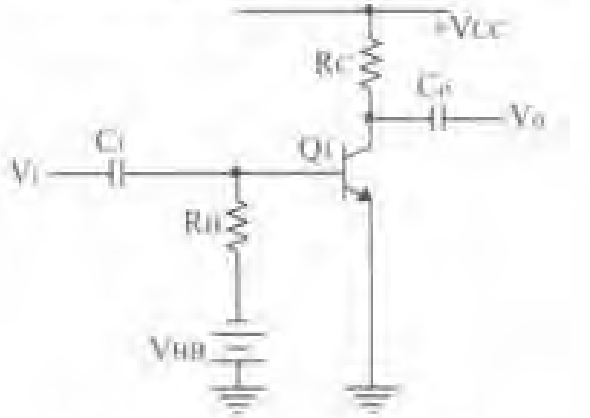
۳ـ۱ـ۴ـ تقویت‌کننده کلاس AB: این تقویت‌کننده از نظر DC، طوری بایاس می‌شود که شکل موج ورودی را بیشتر از ۱۸۰ درجه و کمتر از ۳۶۰ درجه تقویت می‌کند. در شکل (ب‌ـ۴) عملکرد این تقویت‌کننده را مشاهده می‌کنید. بایاسینگ این تقویت‌کننده مشابه کلاس A است با این تفاوت که مقادیر آن فرق می‌کند.

۴ـ۱ـ۴ـ تقویت‌کننده کلاس C: در این نوع تقویت‌کننده، فقط قسمت کمی از نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی تقویت می‌شود. در شکل (الف‌ـ۶ـ۴)، بلوک دیاگرام تقویت‌کننده کلاس C نشان داده شده است.

در شکل (ب‌ـ۶ـ۴)، یک نمونه تقویت‌کننده بسیار ساده و ابتدایی کلاس C نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل می‌بینید، یا بیس‌ـ امیتر ترانزیستور به‌صورت معکوس بایاس شده است.

شکل ۵ـ۴ـ تقویت‌کننده کلاس AB، سیگنال را از ۱۸۰ درجه بیشتر و از ۳۶۰ درجه کمتر تقویت می‌کند.

الف ـ در تقویت کننده کلاس C فقط قسمت کمی از نیم سیکل مثبت یا منفی تقویت می شود



ب ـ یک نمونه ساده تقویت کننده کلاس C

شکل ۶ـ۴ـ تقویت‌کننده کلاس C

۲ـ۴ـ تقویت‌کننده قدرت کلاس A

۱ـ۲ـ۴ـ تعریف تقویت‌کننده قدرت: تقویت‌کننده قدرت به تقویت‌کننده‌ای گفته می‌شود که توان را تقویت کند. با توجه به این‌که توان برابر با حاصل‌ضرب ولتاژ در جریان است، لذا معمولاً ولتاژ را به‌کمک یک تقویت‌کننده امیتر مشترک تقویت می‌کنند و تقویت‌کننده قدرت فقط تقویت جریان را به عهده دارد. بنابراین تقویت‌کننده قدرت معمولاً همان تقویت‌کننده جریان است. شکل (۷ـ۴).

شکل ۷ـ۴ـ تقویت‌کننده قدرت معمولاً جریان را تقویت می‌کند.

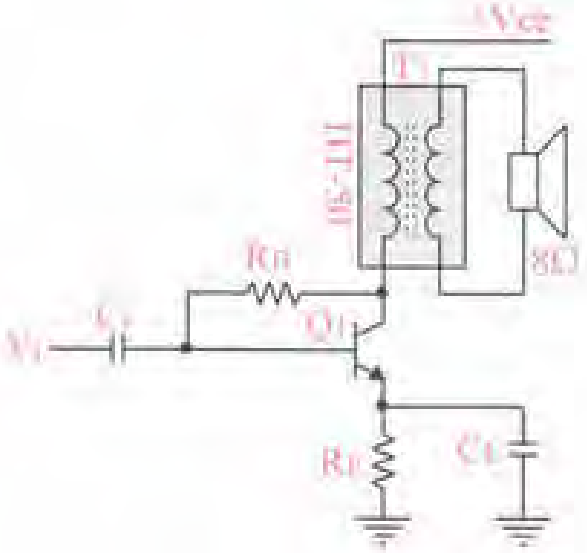
تقویت‌کننده قدرت در انتهای تقویت‌کننده‌های صوتی قرار می‌گیرد و خروجی آن به بلندگو وصل می‌شود.

۲ــ۲ــ۴ــ تقویت‌کننده قدرت کلاس A از نوع ترانسفورماتوری: تقویت‌کننده قدرت کلاس A بدون ترانسفورماتور معمولاً ساخته نمی‌شود زیرا راندمان آن خیلی کم است. در شکل (۸ــ۴) تقویت‌کننده قدرت کلاس A از نوع ترانسفورماتوری نشان داده شده است.

در شکل (۸ــ۴)، ترانسفورماتور بلندگو را با تقویت‌کننده تطبیق می‌دهد، زیرا مقاومت اهمی بلندگو خیلی کم است و باید حداکثر توان به آن منتقل شود.

این تقویت‌کننده کاربرد زیادی ندارد و فقط در گذشته در رادیوهای کوچک که با ولتاژ ۳ ولت کار می‌کردند به‌عنوان تقویت‌کننده نهایی استفاده می‌شد.

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



شکل ۸ــ۴ــ یک نمونه تقویت‌کننده قدرت کلاس A با استفاده از یک ترانسفورماتور

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۳ـ۴ـ آزمایش شماره (۱): تقویت‌کننده قدرت کلاس A با ترانسفورماتور

هدف آزمایش: انجام آزمایش روی یک تقویت‌کننده صوتی قدرت کلاس A با استفاده از ترانسفورماتور در مدار خروجی.

شرح خلاصه آزمایش: تقویت‌کننده قدرت کلاس A با استفاده از ترانسفورماتور فقط در مدارهایی که با ولتاژ ۱/۵ ولت و یا ۳ ولت (مانند رادیوی جیبی کوچک) کار می‌کنند، کاربرد دارد.[1] در این آزمایش شما با این نوع تقویت‌کننده آشنا می‌شوید و آزمایش‌های لازم را روی آن انجام می‌دهید. در مراحل اجرای آزمایش به ورودی تقویت‌کننده قدرت، یک سیگنال سینوسی با فرکانس حدود ۳۱۸ هرتز (معادل فرکانس بوق ماشین) اعمال می‌کنید. از آن‌جا که خروجی تقویت‌کننده به یک بلندگوی معمولی وصل شده است، از بلندگو صدای بوق ماشین شنیده می‌شود. درضمن چون تقویت‌کننده در کلاس A کار می‌کند لذا چه سیگنال ورودی وجود داشته باشد و چه نباشد جریان ثابتی از آن می‌گذرد. برای تحقیق این مسئله یک میلی آمپرمتر DC را با تقویت‌کننده به‌صورت سری می‌بندید و جریان را در حالتی که سیگنال ورودی وجود دارد، درحالتی که سیگنال ورودی وجود ندارد اندازه می‌گیرید و با مقایسه این دو جریان، در می‌یابید که تلفات در تقویت‌کننده کلاس A، به سیگنال ورودی بستگی ندارد.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۲ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳ـ منبع تغذیه ۱۵V/۱A ـ	یک دستگاه
۴ـ بلندگو ۸Ω و ۰/۳ وات	یک عدد
۵ـ سیم رابط یک‌سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۶ـ آومتر دیجیتالی	یک دستگاه
۷ـ برد مدار چاپی مربوط به تقویت‌کننده قدرت کلاس A با ترانسفورماتور	یک قطعه

۱ـ امروزه بدلیل استفاده از IC در گیرنده‌های رادیویی، این نوع تقویت‌کننده استفاده نمی‌شود.

مراحل اجرای آزمایش

■ وسایل موردنیاز را از انبار تحویل بگیرید.

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

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

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید:

■ به‌کمک ولوم INTEN نورانیه را به‌مقدار کافی تنظیم کنید.

■ به‌کمک ولوم Focus نیمه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.

■ کلید سلکتور Time/Div را روی ۰/۵ms قرار دهید.

■ ولوم Level را روی صفر قرار دهید.

■ ولوم Time variable را در حالت Cal. قرار دهید.

■ ولوم volt variable هر دو کانال را در حالت Cal. بگذارید.

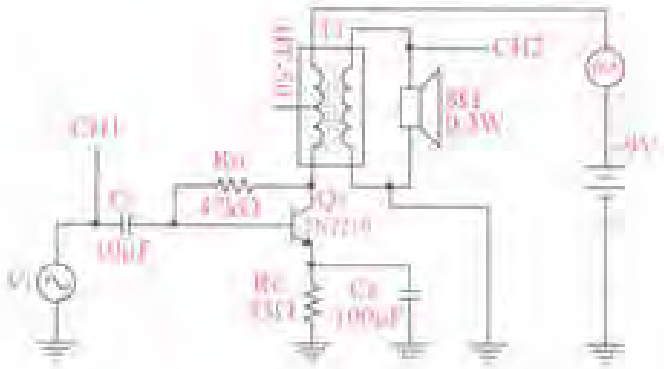
■ کلید AC - GND - DC هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید.

■ کلید volts/Div مربوط به کانال CH ۱ را روی ۱/ و کانال CH۲ را روی ۲/ بگذارید.

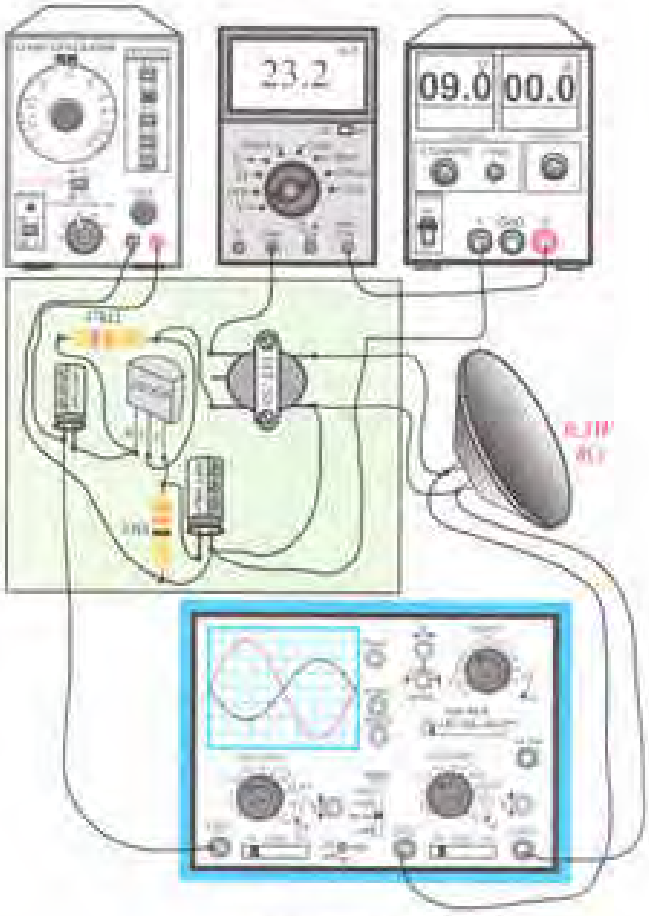
■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. شکل موج ولتاژ خروجی آن را در حالت سینوسی قرار دهید و فرکانس آن را روی ۳۱۵Hz تنظیم کنید.

■ رنج جریان میلی آمپرمتر را روی حالت DC ـ ۲۰۰mA بگذارید.

■ مدار شکل (۹ـ۴) را ببندید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۹ـ۴ـ مدار آزمایش

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید.

■ دامنه ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را کمی افزایش دهید تا صدای بوق مانیتور از بلندگو شنیده شود.

■ کلید AC - GND - DC مربوط به کانال CH۱ را در حالت AC بگذارید و شکل موج ولتاژ سیگنال ورودی را که روی صفحه حساس ظاهر می‌شود در شکل (۱۰ـ۴) رسم کنید.

■ کلید AC - GND - DC مربوط به کانال CH۲ را در حالت AC قرار دهید و شکل موج سیگنال خروجی (دوسر بلندگو) را که روی صفحه حساس ظاهر می‌شود، در شکل (۱۱ـ۴) رسم کنید.

■ با استفاده از شکل ۱۰ـ۴ مقدار V_{im} را محاسبه و یادداشت کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده را با استفاده از رابطه زیر به‌دست آورید.

$$A_v = \frac{\text{دامنه سیگنال ولتاژدوسر بلندگو}}{\text{دامنه سیگنال ورودی تقویت کننده}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

■ درحالتی که صدای بوق از بلندگو شنیده می‌شود (ورودی تقویت‌کننده به سیگنال ژنراتور وصل است) جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

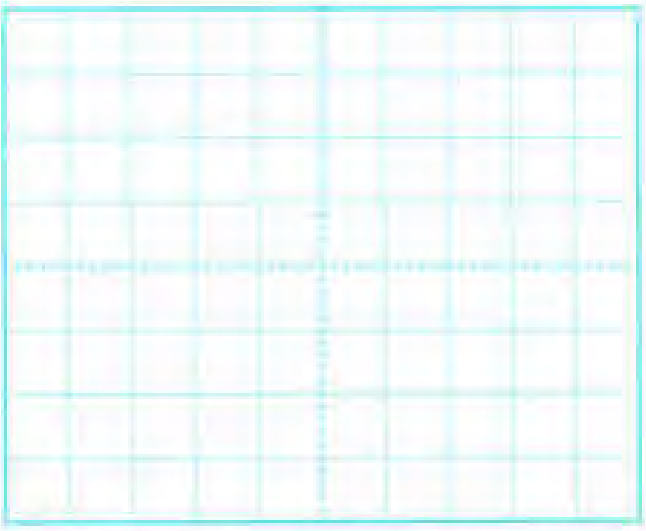
I_{cc} = (با سیگنال ورودی)	mA

■ دامنه سیگنال ژنراتور را کم کنید تا صدای بوق از بلندگو قطع شود. مجدداً جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

I_{cc} = (بدون سیگنال ورودی)	mA

سؤال ۱ـ چرا جریان DC تقویت‌کننده در دو حالت با سیگنال ورودی و بدون سیگنال ورودی تقریباً برابر است؟ توضیح دهید.

سؤال ۲ـ راجع به مقدار بهره ولتاژی که محاسبه کرده‌اید توضیح مختصری بنویسید.

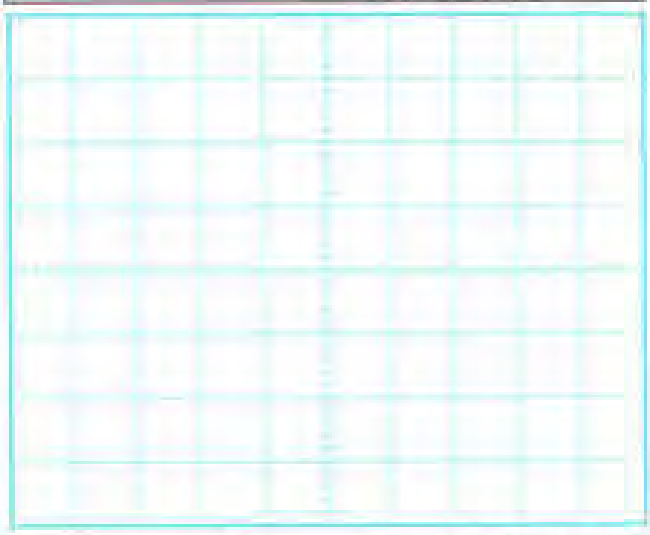


شکل ۱۰ـ۴ـ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = V

Volt variable = cal.

V_{im} =	V	(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)



شکل ۱۱ـ۴ـ شکل موج ولتاژ دوسر بلندگو (خروجی تقویت‌کننده)

Volts/Div = V

Volt variable = cal.

V_{cc} =	V	(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

درصورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۲ـ۲) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

خلاصه آزمایش ــ آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به‌اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری ــ نتایج حاصل از این آزمایش را به‌صورت پیوسته بنویسید.

آزمون

۱ــ در تقویت‌کننده شکل (۱۲ــ۴) به‌ازای $v_i(V) = 0/1 \sin 1000t$ ، میلی‌آمپرمتر ۴۵mA را نشان می‌دهد. اگر سیگنال ورودی را قطع کنیم میلی‌آمپرمتر تقریباً چند میلی‌آمپر را نشان می‌دهد؟

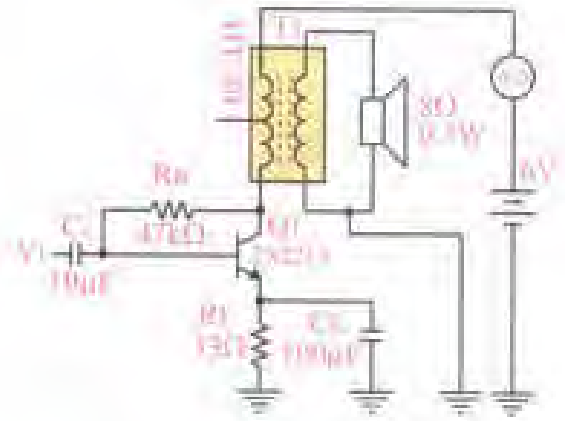
الف: □ ۰ ب: □ ۲

ج: □ ۵ د: □ ۲۵

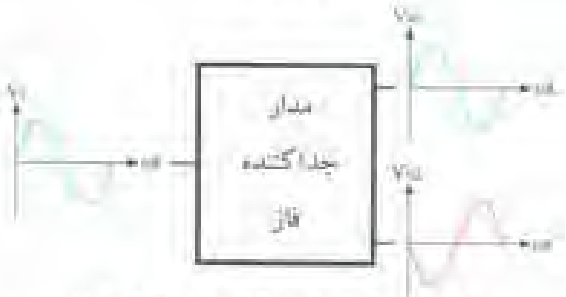
۲ــ تقویت‌کننده شکل (۱۲ــ۴) کدام کمیت الکتریکی را تقویت می‌کند؟

الف: □ فقط ولتاژ ب: □ فقط جریان

ج: □ توان



شکل ۱۲ــ۴



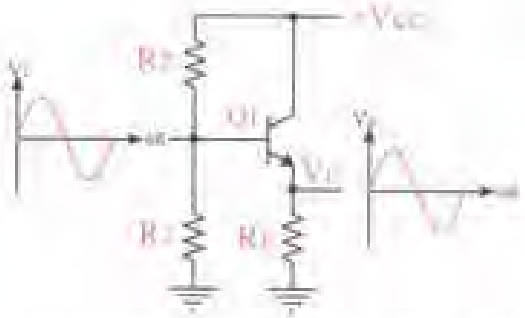
شکل ۱۳ــ۴ــ بلوک دیاگرام مدار جداکننده فاز

۴ــ۴ــ مدار جدا کننده فاز

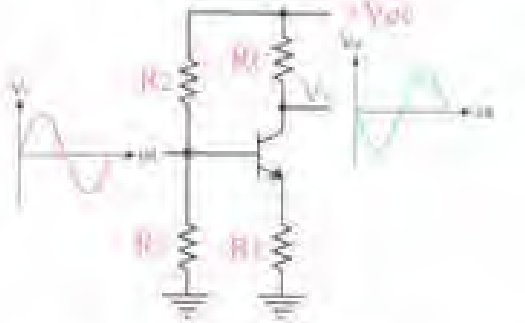
مدار الکترونیکی جداکننده فاز، مداری است که می‌تواند دو خروجی با دامنه‌های برابر و اختلاف فاز ۱۸۰ درجه را به‌وجود آورد. در شکل (۱۳ــ۴)، بلوک دیاگرام این مدار رسم شده است.

در تقویت‌کننده کلکتور مشترک، اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی صفر درجه و بهره ولتاژ آن کمی کمتر از یک است شکل (۱۲ــ۴). یعنی دامنه‌ی سیگنال ورودی و دامنه‌ی سیگنال خروجی تقریباً برابر است.

در تقویت‌کننده امیتر مشترک، اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و خروجی ۱۸۰ درجه است و متناسب با نوع ترانزیستور بایاسینگ و بهره ولتاژ می‌تواند خیلی بیشتر از یک باشد شکل (۱۵ــ۴).



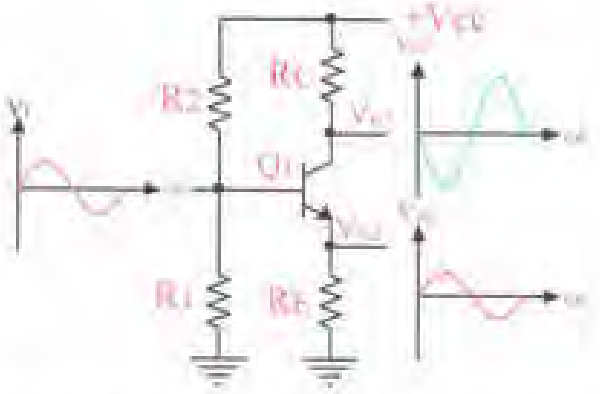
شکل ۱۴ــ۴ــ در تقویت‌کننده کلکتور مشترک اختلاف فاز بین ورودی و خروجی صفر است.



شکل ۱۵ــ۴ــ در یک تقویت‌کننده امیتر مشترک اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی ۱۸۰ درجه است.

اگر تقویت‌کننده امیتر مشترکی به‌طور همزمان از کلکتور و امیتر سیگنال دریافت کنیم، این دو سیگنال با یک‌دیگر ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند شکل (۱۶ـ۴).

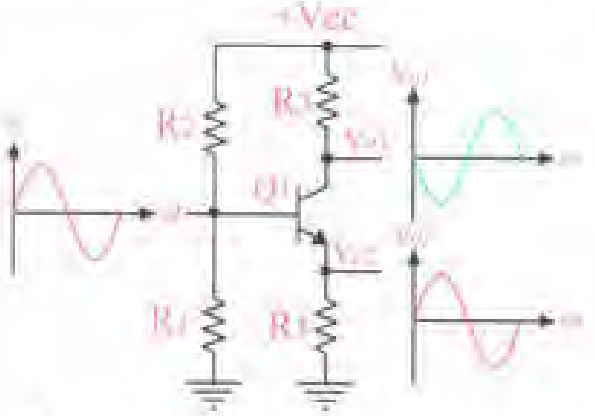
اشکال مدار این است که دامنه دو سیگنال با یک‌دیگر برابر نیستند. برای رفع این مشکل باید بهره تقویت‌کننده در حالت امیتر مشترک ($\frac{V_{oe}}{V_i}$) تقریباً برابر با یک انتخاب شود. تغییر بهره با تغییر مقاومت‌های R_E و R_C امکان‌پذیر است.



شکل ۱۶ـ۴ـ اگر به‌طور همزمان از امیتر و کلکتور مدار فوق سیگنال دریافت نماییم، این دو سیگنال با یک‌دیگر ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند.

اگر $R_E = R_C$ انتخاب شود دامنه‌های سیگنال خروجی برابر خواهد شد با ($V_{O_1} = V_{O_2}$) شکل (۱۷ـ۴). این مدار در تقویت‌کننده‌های صوتی قبل از تقویت‌کننده قدرت استفاده می‌شود. یادآور می‌شود که امپدانس خروجی مربوط به V_{O_1} و V_{O_2} نیز با هم برابر نیستند.

بنابراین یک تقویت‌کننده امیتر مشترک یک ترانزیستوری می‌تواند به‌عنوان یک مدار جداکننده فاز به‌کار رود.



شکل ۱۷ـ۴ـ اگر $R_C = R_E$ انتخاب گردد تقریباً دامنه‌های سیگنال خروجی V_{O1} و V_{O2} با یک‌دیگر برابر می‌شوند.

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۵ـ۴ـ آزمایش شماره (۲): جداکننده فاز

هدف آزمایش: بررسی عملی یک مدار جداکننده فاز و مشاهده سیگنال‌های قرینه خروجی به کمک یک تقویت‌کننده امیترمشترک یک ترانزیستوری.

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما با یک نمونه مدار الکترونیکی جداکننده فاز آشنا می‌شوید. مداری که شما روی آن آزمایش می‌کنید دارای یک ورودی و دو خروجی است. خروجی‌ها با یک‌دیگر ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند. بهره ولتاژ برای سیگنال هم‌فاز با ورودی کمی کمتر از یک است ولی بهره ولتاژ برای سیگنال دریافتی معکوس شده می‌تواند بیشتر از یک باشد. با توجه به مقادیر انتخاب شده برای مقاومت‌ها در این مدار، هر دو سیگنال دارای بهره ولتاژ برابر و کمی کمتر از یک هستند. برای مشاهده دو سیگنال خروجی، ابتدا یک سیگنال سینوسی با دامنه ۰/۵ ولت را به ورودی اعمال می‌کنید سپس یکی از خروجی‌ها را به کانال CH ۱ اسیلوسکوپ و خروجی دوم را به کانال CH ۲ اسیلوسکوپ اتصال می‌دهید. بدین ترتیب می‌توانید هر دو شکل موج را به‌طور هم‌زمان مشاهده کنید و اختلاف فاز بین آن‌ها را اندازه بگیرید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۲ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳ـ منبع تغذیه ۱۸ / ۱۵۷ـ	یک دستگاه
۴ـ سیم رابط دو سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۵ـ سیم رابط یک‌سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۶ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	دو رشته
۷ـ برد مدار چاپی آماده مربوط به جداکننده فاز	یک قطعه

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل موردنیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق وصل 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:

■ به‌کمک ولوم INTEN نور اشعه را به مقدار کافی تنظیم کنید.

■ به‌کمک ولوم FOCUS اشعه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.

■ کلید سلکتور Time/Div را روی ۲ms/ قرار دهید.

■ ولوم Level را روی صفر بگذارید.

■ ولوم Time variable را در حالت Cal. قرار دهید.

■ ولوم Volt variable هر دو کانال را در حالت Cal. بگذارید.

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

■ کلید سلکتور Volts/Div مربوط به کانال CH۱ را روی ۲/ و کانال CH۲ را روی ۲/ ولت قرار دهید.

■ مدار شکل (۱۸ـ۴) را ببندید.

■ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و فرکانس خروجی آن را روی ۱kHz بگذارید.

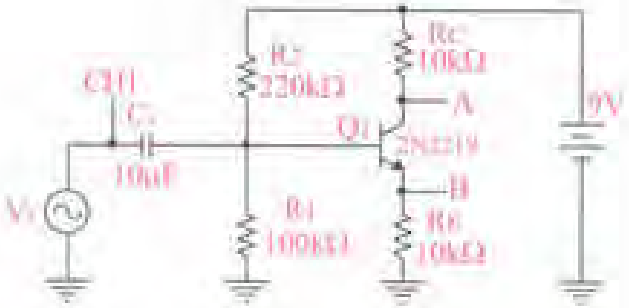
■ دامنه خروجی آن را تقریباً روی ۵/ ولت تنظیم کنید و شکل موج خروجی را روی حالت سینوسی قرار دهید.

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید.

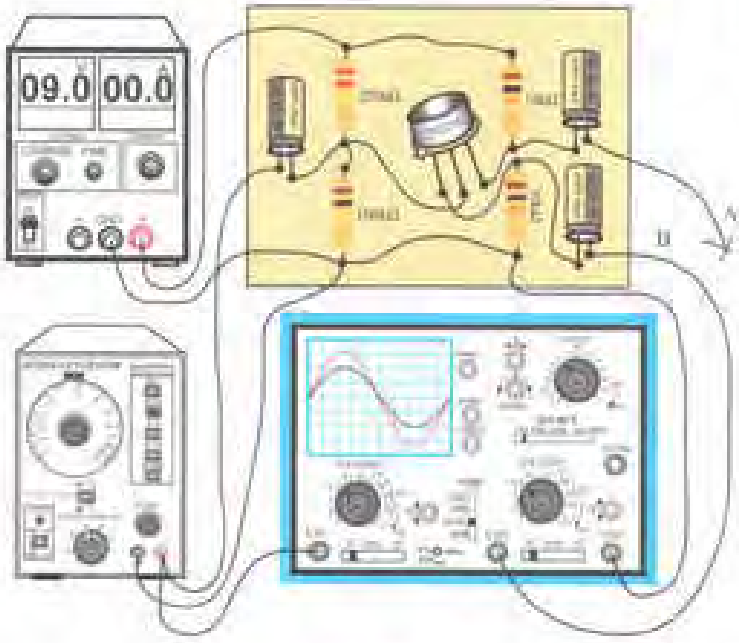
■ کلید SOURCE اسیلوسکوپ را در حالت CH۱ بگذارید.

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

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



الف ـ شماتیک مدار

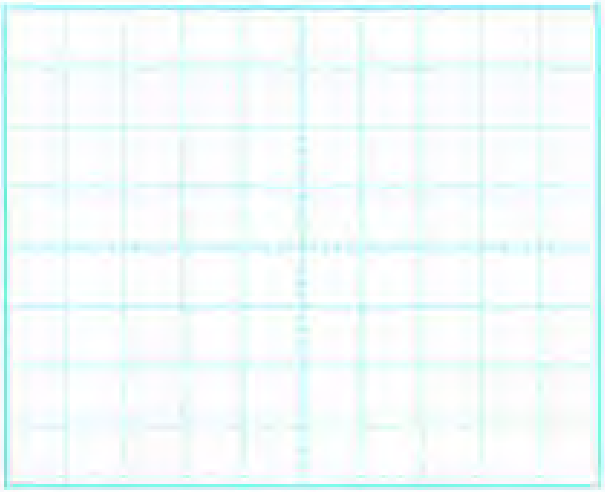


ب ـ مدار عملی

شکل ۱۸ـ۲ـ مدار آزمایش

■ شکل موج ولتاژ ورودی را که روی صفحه حساس ظاهر شده است در شکل (۱۹ـ۴) با مقیاس مناسب رسم کنید.

■ مقدار Vm را از روی شکل ۱۹ـ۴ محاسبه و یادداشت کنید.



شکل ۱۹ـ۴ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = ۰/۲V /Div

V_m = V

■ پراب کانال CH۱ را از ورودی تقویت‌کننده قطع کنید و به نقطه A وصل کنید.

■ درصورت نیاز کلید Volts/Div کانال CH۱ را تغییر دهید تا شکل موج ظاهر شده روی آن را به وضوح ببیند.

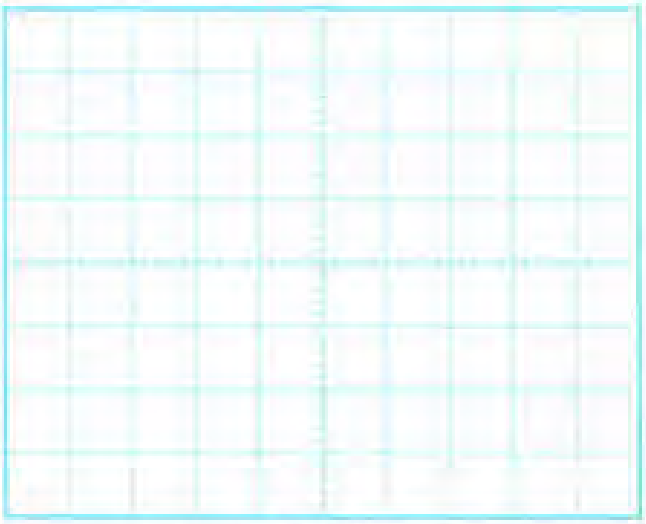
■ شکل موج ولتاژ ظاهر شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل (۲۰ـ۴) رسم کنید.

■ مقدار Vm را از شکل ۲۰ـ۴ محاسبه و یادداشت کنید.

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

■ کانال CH۲ اسیلوسکوپ را به نقطه B وصل کنید.

■ درصورت نیاز حوزه کار کلید Volts/Div مربوط به کانال CH۲ را تغییر دهید.



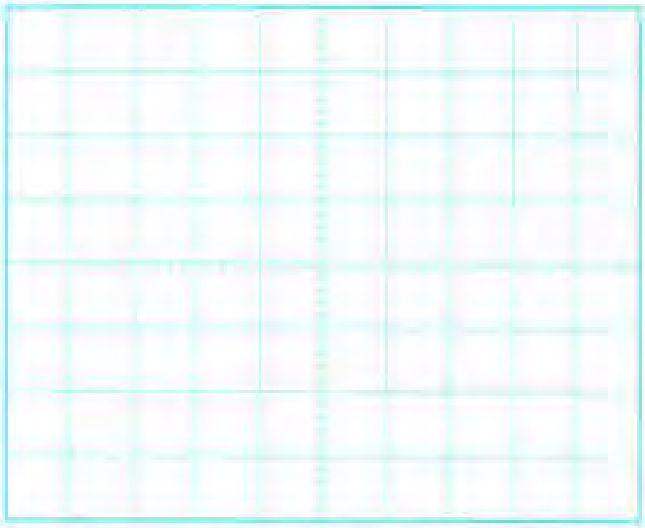
شکل ۲۰ـ۴ـ شکل ولتاژ نقطه A

Volts/Div = ۰/۲V /Div

V_m = V

■ شکل موج ولتاژ مشاهده شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل (۲۱ـ۴) رسم کنید.

■ مقدار Vm را با استفاده از شکل ۲۱ـ۴ محاسبه و یادداشت کنید.



شکل ۲۱ـ۴ـ شکل ولتاژ نقطه B

Volts/Div = V /Div

V_m = V

سؤال ۱ـ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و سیگنال خروجی نقطه A چند درجه است؟ چرا؟ به اختصار توضیح دهید.

سؤال ۲ـ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و سیگنال خروجی نقطه B چند درجه است؟ چرا؟ به اختصار توضیح دهید.

سؤال ۳ـ اختلاف فاز بین دو سیگنال خروجی چند درجه است؟

درصورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ و ۳ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۴ـ۴) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ با توجه به دامنه‌های اندازه‌گیری شده، بهره ولتاژ هر یک از سیگنال‌های خروجی (سیگنال نقطه A و B) را با استفاده از روابط زیر به‌دست آورید.

$$A_{v_A} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی نقطه A}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

$$A_{v_B} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی نقطه B}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

■ همان‌طور که از مقادیر بهره‌ها (A_{V_1} و A_{V_2}) مشاهده می‌شود، بهره ولتاژ این تقویت‌کننده کمتر از یک است.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به‌اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌صورت تیتروار بنویسید.

آزمون

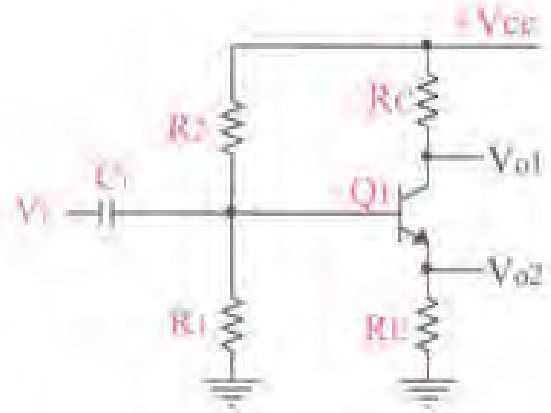
۱ـ در تقویت‌کننده شکل (۲۲ـ۴)، اگر نیاز به دو سیگنال خروجی با اختلاف فاز و بهره بیشتر از یک داشته باشیم، کدام تغییرات را باید در مدار اعمال کنیم؟

الف: ☐ ترانزیستور باید دارای β بسیار بزرگ باشد.

ب: ☐ R_1 و R_2 را باید طوری تغییر دهیم تا بهره هر دو سیگنال خروجی بیشتر از یک شود.

ج: ☐ مقدار R_E را افزایش و R_C را باید کاهش داد.

د: ☐ نمی‌توان شرط اختلاف فاز و بهره بیش از یک را به‌طور همزمان به‌وجود آورد.

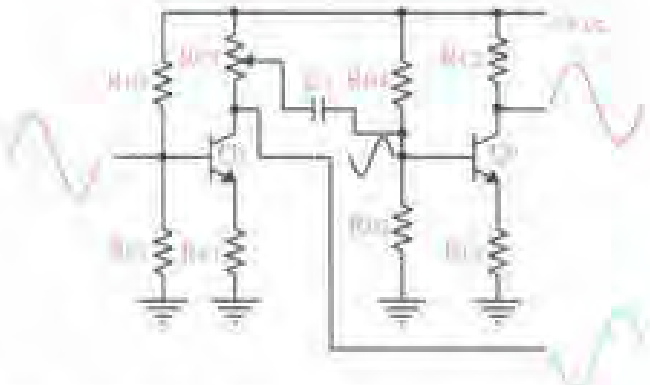


شکل ۲۲ـ۴

۶ـ۴ـ مدار معکوس‌کننده فاز

اشکال مدار جداکننده فاز این است که اولاً دامنه یکی از سیگنال‌های خروجی هرگز از دامنه ورودی آن بیشتر نمی‌شود. بنابراین برای داشتن دو سیگنال خروجی با دامنه‌های برابر، الزاماً باید دامنه سیگنال‌های خروجی کمی کمتر از ورودی‌ها باشند. از طرفی امپدانس مدارهای خروجی مربوط به دو سیگنال نیز باهم برابر نیستند. برای رفع هر دو مشکل می‌توان از مدار معکوس‌کننده فاز استفاده کرد. در شکل (۲۳ـ۴) مدار الکترونیکی معکوس‌کننده فاز رسم شده است هر دو تقویت‌کننده از نوع امیتر مشترک هستند به همین جهت سیگنال ورودی را ضمن تقویت، معکوس نیز می‌کنند. از طرفی چون به ورودی تقویت‌کننده دوم سیگنال معکوس شده اعمال می‌شود یک بار دیگر این سیگنال در خروجی تقویت‌کننده معکوس شده و با سیگنال ورودی هم فاز می‌شود در صورتی که دامنه دو سیگنال در خروجی برابر نباشد می‌توانیم با تغییر پتانسیومتر تغییر دامنه سیگنال ورودی تقویت‌کننده دوم، دامنه سیگنال‌های هر دو خروجی را یکسان کنیم. از مزایای دیگر این مدار این است که امپدانس خروجی هردو تقویت‌کننده به دلیل مشابه بودن با یک‌دیگر برابر است.

شکل ۲۳ـ۴ـ بلوک دیاگرام معکوس‌کننده فاز



شکل ۲۴ـ۴ـ یک نمونه مدار الکترونیکی معکوس‌کننده فاز که از دو طبقه تقویت‌کننده کاملاً مشابه امیتر مشترک تشکیل شده‌اند.

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۷ـ۴ـ آزمایش شماره (۳): مدار معکوس‌کننده فاز

هدف آزمایش: بررسی عملی یک مدار معکوس‌کننده فاز و مشاهده دو سیگنال قرینه (از نظر فاز) با بهره ولتاژ بیشتر از یک به کمک یک تقویت‌کننده دوطبقه.

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما با یک نمونه مدار الکترونیکی جداکننده فاز آشنا می‌شوید. مدار مورد آزمایش دارای یک ورودی و دو خروجی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه است. بهره ولتاژ هردو سیگنال خروجی می‌تواند به مراتب بیشتر از یک باشد. برای مشاهده دو سیگنال خروجی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه، ابتدا یک سیگنال سینوسی با فرکانس ۱ kHz و دامنه تقریباً ($V_{p-p} = ۵۰۰mV$ ۱۵۰mV) را به ورودی تقویت‌کننده اعمال می‌کنید. سپس یکی از خروجی‌ها را به کانال CH۱ و خروجی دیگر را به کانال CH۲ اسیلوسکوپ اتصال می‌دهید تا بتوانید شکل موج هردو خروجی را به‌طور همزمان ببینید. چنانچه دامنه هردو خروجی برابر نباشد می‌توانید توسط پتانسیومتر، هردو دامنه را باهم برابر کنید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

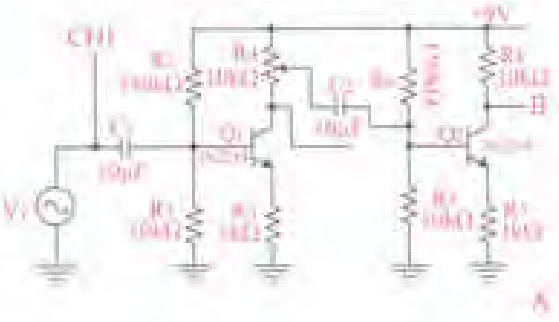
نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۲ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳ـ منبع تغذیه ۷/۱۸ـ۰ـ۳	یک دستگاه
۴ـ برد مدار چاپی آماده مربوط به تقویت‌کننده فاز	یک قطعه
۵ـ سیم رابط دوسر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۶ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۷ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	دو رشته

مراحل اجرای آزمایش

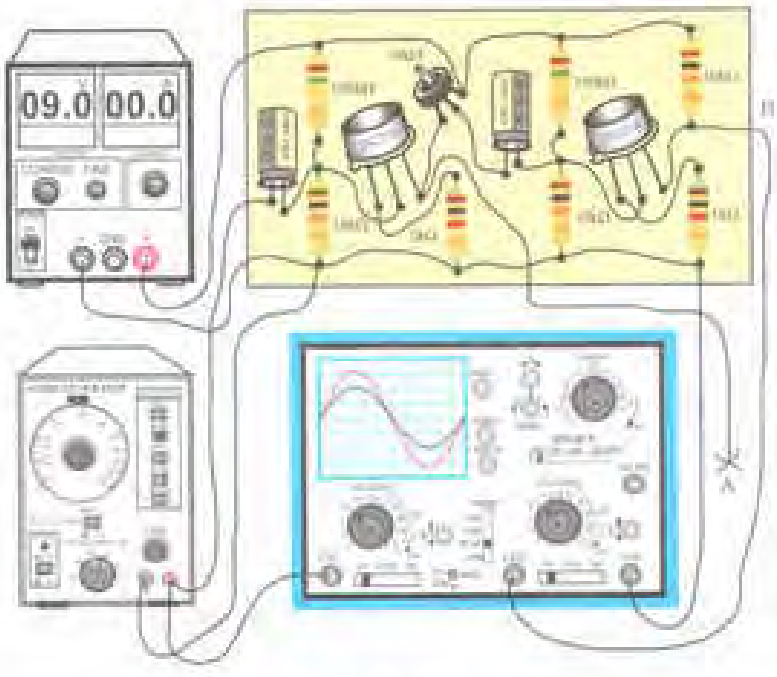
- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق وصل کنید.
- منبع تغذیه را روشن کنید و دامنه خروجی آن را روی صفر ولت بگذارید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید:

- به کمک 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. قرار دهید.
- ولوم Volt Variable هردو کانال را در حالت cal. بگذارید.
- کلید AC-GND - DC هر دو کانال را در حالت GND بگذارید.
- کلید سلکتور Volts / Div مربوط به کانال ۱ CH را روی ۱/۰ ولت و کانال ۲ CH را روی ۲/۰ ولت بگذارید.

- مدار شکل (۲۵ـ۴) را ببندید (یا از برد آماده استفاده کنید در این صورت قبلاً برد را مورد بررسی قرار دهید)



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۲۵ـ۴ـ مدار آزمایش

■ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۲۴ ولت تنظیم کنید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید فرکانس خروجی را روی ۱ kHz بگذارید.

■ دامنه خروجی آن را حدوداً روی ۱/ ولت تنظیم کنید شکل موج خروجی را روی حالت سینوسی قرار دهید.

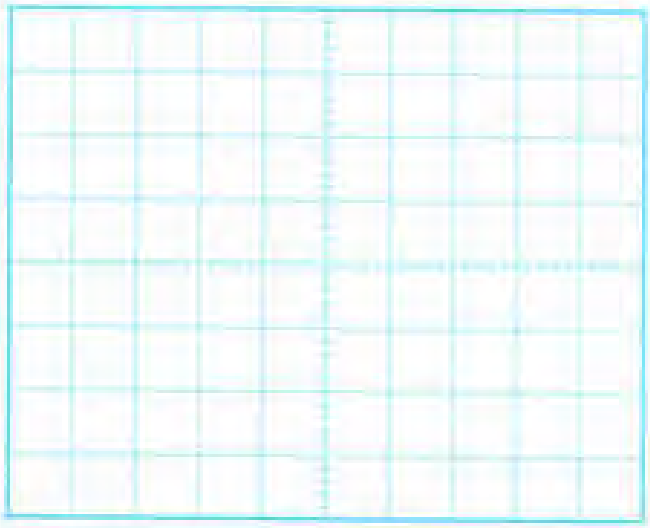
■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT قرار دهید.

■ کلید Source اسیلوسکوپ را در حالت CH۱ قرار دهید.

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

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

■ شکل موج ولتاژ ورودی را که روی صفحه حساس ظاهر می‌شود با مقیاس مناسب در شکل ۲۶ـ۴ رسم کنید.



شکل ۲۶ـ۴ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = V /Div

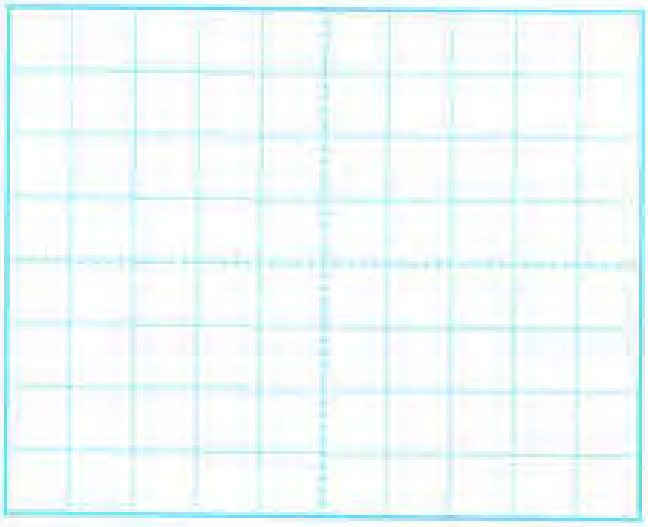
V_{in} = V

■ با توجه به شکل ۲۴ـ۴ مقدار V_{in} را محاسبه و یادداشت کنید.

■ پروب کانال CH۱ را از ورودی تقویت‌کننده قطع کنید و به نقطه A اتصال دهید.

■ در صورت نیاز کلید Volts/Div کانال CH۱ را تغییر دهید تا شکل موج ظاهر شده روی صفحه را به وضوح ببینید.

■ شکل موج ولتاژ ظاهر شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل (۲۷ـ۴) رسم کنید.



شکل ۲۷ـ۴ـ شکل ولتاژ نقطه A

Volts/Div = V /Div

■ با توجه به شکل ۲۷ـ۴ مقدار V_{in} را محاسبه کنید.

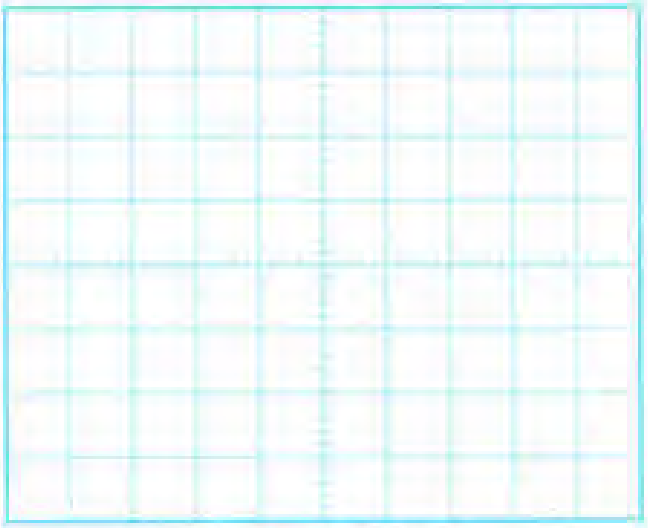
V_{in} = V

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

■ کانال CH۲ اسیلوسکوپ را به نقطه B وصل کنید.

■ در صورت نیاز حوزه کار (رنج) کلید Volt/Div کانال CH۲ را تغییر دهید.

■ شکل ولتاژ مشاهده شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل (۲۸ـ۴) رسم کنید.



شکل ۲۸ـ۴ـ شکل ولتاژ نقطه B

Volts/Div = V /Div

V_{m} = V

سؤال ۱ـ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و سیگنال خروجی نقطه A چند درجه است؟ چرا؟ به اختصار توضیح دهید.

سؤال ۲ـ اختلاف فاز بین سیگنال ورودی و سیگنال خروجی نقطه B چند درجه است؟ چرا؟ به اختصار توضیح دهید.

سؤال ۳ـ اختلاف فاز بین سیگنال‌های خروجی چند درجه است؟

در صورتی که نتوانستید به سؤال‌های (۱، ۲ و ۳) پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت ۶ـ۴ مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ با توجه به دامنه‌های اندازه‌گیری شده، بهره ولتاژ هر سیگنال خروجی در نقاط A و B را با استفاده از روابط زیر به‌دست آورید.

$$A_{V1} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی نقطه A}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$$

$$A_{V2} = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی نقطه B}}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$$

■ همان‌طور که از مقادیر بهره‌های A_{v1} و A_{v2} مشاهده می‌شود، بهره ولتاژ این تقویت‌کننده بیشتر از یک است.

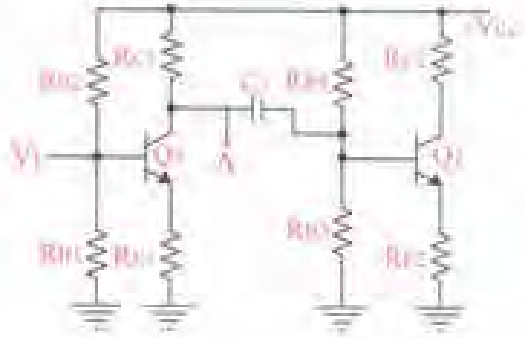
خلاصه آزمایش ــ آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری ــ نتایج حاصل از این آزمایش را به‌صورت تیتروار بنویسید.

آزمون

۱ــ در شکل (۲۹ــ۴)، سیگنال نقطه A نسبت به سیگنال ورودی ... درجه اختلاف فاز دارد.

الف: □ صفر ب: □ ۱۸۰°



شکل ۲۹ــ۴

۲ــ در شکل (۳۰ــ۴) برای ایجاد دو سیگنال سینوسی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه و بهره بیشتر از یک دو طبقه تقویت‌کننده امیتر مشترک را به دنبال هم قرار داده‌ایم. اگر به‌جای تقویت‌کننده دوم، تقویت‌کننده کلکتور مشترک استفاده کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

الف: □ فرقی نمی‌کند.

ب: □ بین دو سیگنال خروجی، اختلاف فاز ۱۸۰ درجه به‌وجود نمی‌آید.

ج: □ بهره ولتاژ بیشتر از یک را نمی‌توان به‌وجود آورد.

د: □ بهره ولتاژ سیگنال دوم خیلی زیاد می‌شود.

شکل ۳۰ــ۴

۸ــ۴ــ مدار تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع پوش ــ پول*

تقویت‌کننده‌های قدرت در طبقه انتهایی تقویت‌کننده‌های صوتی قرار می‌گیرند و وظیفه آن‌ها تقویت توان یا به عبارت دیگر تقویت جریان سیگنال الکتریکی است شکل (۳۱ــ۴). چون توان باید از تقویت‌کننده به بلندگو منتقل شود، درصدی از توان دریافتی از منبع تغذیه درخود تقویت کننده تلف می‌شود. برای به حداقل رساندن تلفات توان در تقویت‌کننده قدرت، از تقویت‌کننده قدرت در کلاس B استفاده می‌کنیم زیرا در تقویت‌کننده قدرت کلاس B، راندمان کم و تلفات توان زیاد است. در تقویت‌کننده قدرت کلاس B اگر سیگنال ورودی وجود نداشته باشد، تقریباً می‌توان گفت که ترانزیستورهای موجود در تقویت‌کننده در حالت قطع (آستانه هدایت) به‌سر می‌برند، لذا تلفات توان «خود تقویت‌کننده» فوق‌العاده کم می‌شود. در شکل (۳۲ــ۴ــ الف) یک نمونه تقویت‌کننده قدرت کلاس B که پوش ــ پول نام دارد نشان داده شده است. در این تقویت‌کننده در نیم‌سیکل مثبت ترانزیستور Q_1 هدایت می‌کند و ترانزیستور Q_2 قطع است و در نیم‌سیکل منفی، ترانزیستور Q_2 هدایت می‌کند و ترانزیستور Q_1 قطع است شکل(۳۲ــ۴ــ ب). لذا در هر نیم‌سیکل فقط یکی از ترانزیستورها هادی است و دیگری در حالت قطع قرار دارد.

در تقویت‌کننده توان از نوع پوش ــ پول، توان هر ترانزیستور را باید معادل ۲۰ درصد ماکزیمم توانی که به بلندگو منتقل می‌شود درنظر گرفت.

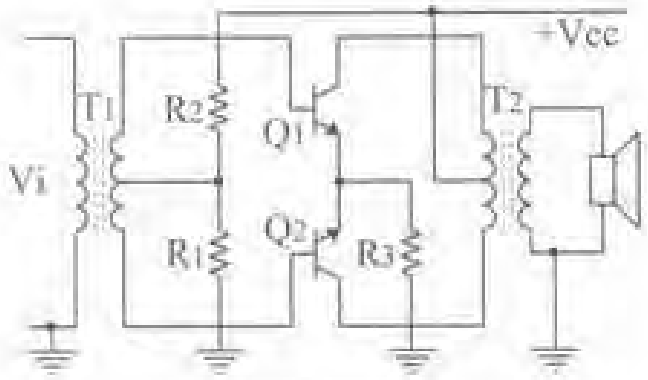
$$\text{توان تلف شده در هر ترانزیستور} = \%20 \times \text{توان خروجی}$$

به عنوان مثال اگر باید ۱۰ وات توان به بلندگو منتقل شود می‌توان ترانزیستور ۲ واتی انتخاب کرد.

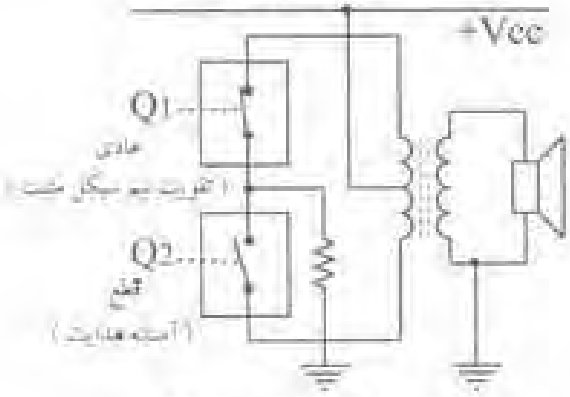
این تقویت‌کننده به دلیل داشتن دو عدد ترانسفورماتور از نظر وزن سنگین می‌شود و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست ضمن این که سیگنال‌های با فرکانس‌های خیلی کم را نیز به‌خوبی تقویت نمی‌کند.

از مزایای تقویت‌کننده پوش ــ پول کم بودن ولتاژ منبع تغذیه آن است به‌طوری که می‌تواند با ولتاژهای کمتر از ۶ ولت نیز کار کند.

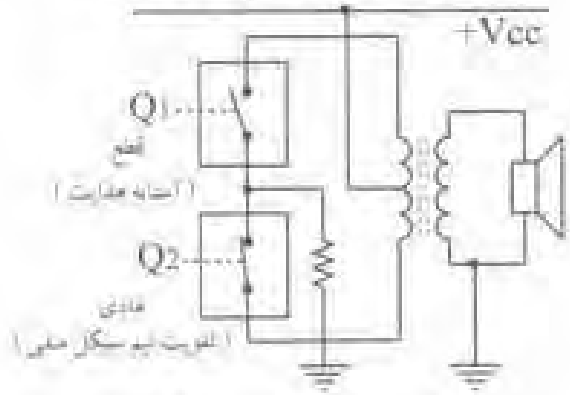
شکل ۳۱ــ۴ــ در یک تقویت‌کننده صوتی تقویت‌کننده قدرت در طبقه انتهایی قرار می‌گیرد.



الف - تقویت کننده



ب - ترانزیستور Q2 قطع و Q1 هادی



ج - ترانزیستور Q1 قطع و Q2 هادی

شکل ۳۲ــ۴ــ تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع پوش ــ پول

* Push - Pull

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۹ــ۴ــ آزمایش شماره (۴): تقویت‌کننده قدرت (پوش ــ پول)

هدف آزمایش: بررسی عملی یک نمونه تقویت‌کننده قدرت از نوع پوش ــ پول از بعد جریان مصرفی و محاسبه توان تلف شده در ترانزیستورها.

شرح خلاصه آزمایش: تقویت کننده پوش ــ پول در دستگاه‌های صوتی مانند رادیوی کوچک جیبی با ولتاژ تقریباً ۳ ولت مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون این تقویت‌کننده در کلاس B کار می‌کند جریان مصرفی آن هنگام قطع سیگنال ورودی کاهش می‌یابد. برای پی‌بردن به این موضوع، یک میلی‌آمپرمتر DC را با خط تغذیه تقویت‌کننده به‌صورت سری می‌بندید و اعمال سیگنال به ورودی جریان مدار را اندازه می‌گیرید، سپس با اعمال سیگنال ورودی، مجدداً به اندازه‌گیری جریان مصرفی تقویت‌کننده می‌پردازید. در نهایت این دو مقدار را با یک‌دیگر مقایسه می‌کنید. هنگامی که سیگنال به ورودی وصل است به کمک اسیلوسکوپ، دامنه سیگنال ورودی و دامنه سیگنال خروجی (دوسر بلندگو) را اندازه می‌گیرید تا بتوانید بهره ولتاژ و توان خروجی این تقویت‌کننده را محاسبه کنید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱ــ اسیلوسکوپ دوکاناله	یک دستگاه
۲ــ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳ــ منبع تغذیه ۸ ۱۵V/۱	یک دستگاه
۴ــ آومتر دیجیتالی	یک دستگاه
۵ــ برد مدار چاپی آماده مربوط به‌تقویت‌کننده پوش ــ پول	یک قطعه
۶ــ سیم رابط دوسر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۷ــ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۸ــ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق وصل کنید.
- ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی صفر ولت تنظیم کنید.
- سیگنال ژنراتور را روشن کنید و فرکانس آن را در حالت

سینوسی روی kHz ۱ بگذارید.

■ رنج میلی‌آمپرمتر DC را روی mA ۲۰۰ قرار دهید.

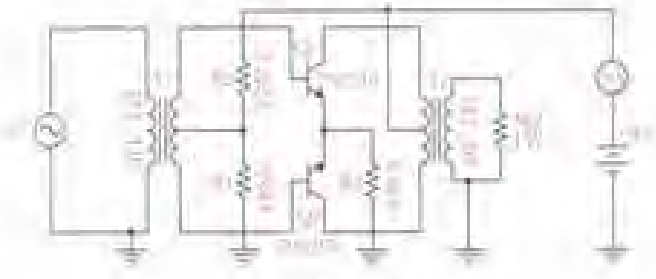
■ مدار شکل (۳۳ـ۴) را ببندید.

■ ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را روی صفر ولت تنظیم کنید.

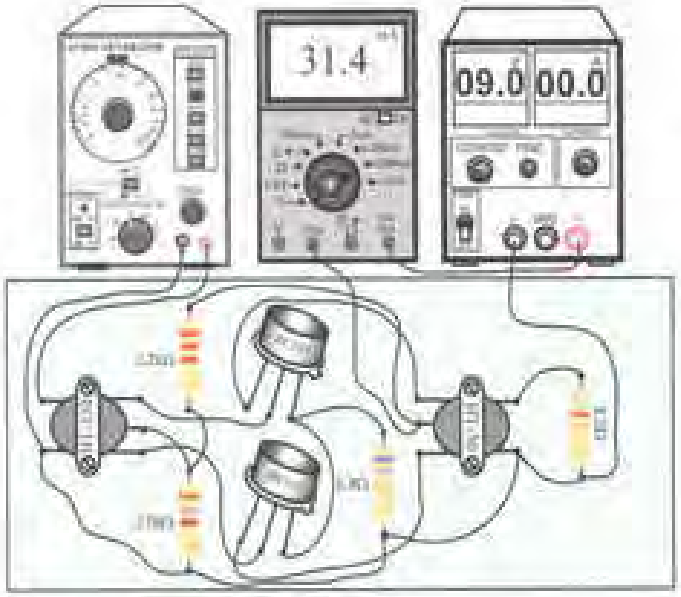
■ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۹ ولت بگذارید.

■ مقدار جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

■ ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را کمی زیاد کنید. در این حالت جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد، بخوانید و یادداشت کنید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۳۳ـ۴ـ مدار آزمایش

سؤال ۱ـ چرا جریان در دو حالت با یک‌دیگر تفاوت دارد؟ به اختصار توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال ۱ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۸ـ۴) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را صفر کنید.

■ مدار را باز کنید.

■ سیگنال ژنراتور را دوشن کنید، فرکانس آن را روی ۱kHz قرار دهید و دامنه ولتاژ خروجی را در حالت سینوسی روی ۲ V تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

■ به کمک 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 ولت بگذارید.

■ ولوم Time Variable را در حالت cal بگذارید.

■ ولوم Volt Variable هردو کانال را در حالت cal بگذارید.

■ کلیدهای AC-GND - DC هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید.

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

■ کلید سلکتور Volts / Div مربوط به کانال CH ۱ را روی ۰/۵ و کانال CH۲ را روی ۰/۵ قرار دهید.

■ کلید Source را در حالت CH۱ بگذارید.

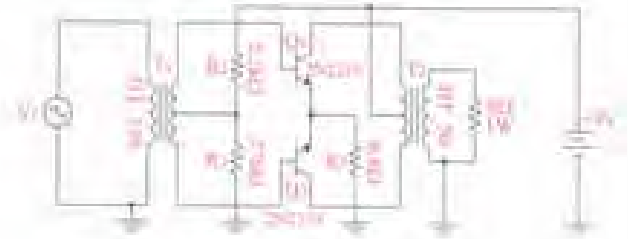
■ کلید MODE را در حالت ALT قرار دهید.

■ مدار شکل (۳۴ـ۲) را ببندید.

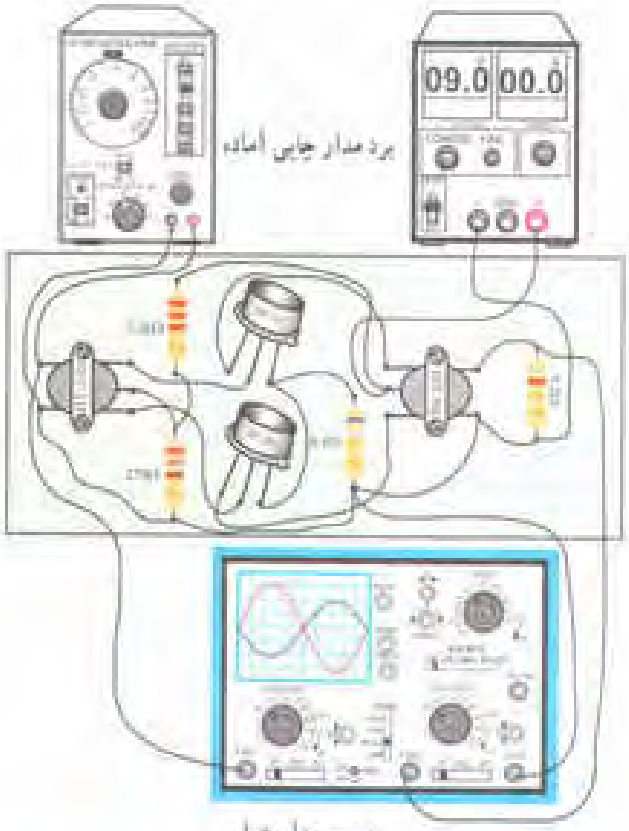
■ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید.

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

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۳۵ـ۲ رسم کنید.

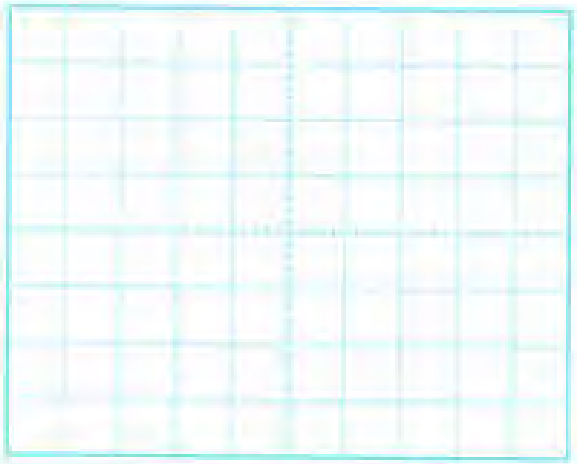


الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۳۴ـ۲ـ مدار آزمایش



شکل ۳۵ـ۲ـ شکل ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volt/Div = ۰/۵ V

از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس بدست آورید	V_{pp} = V

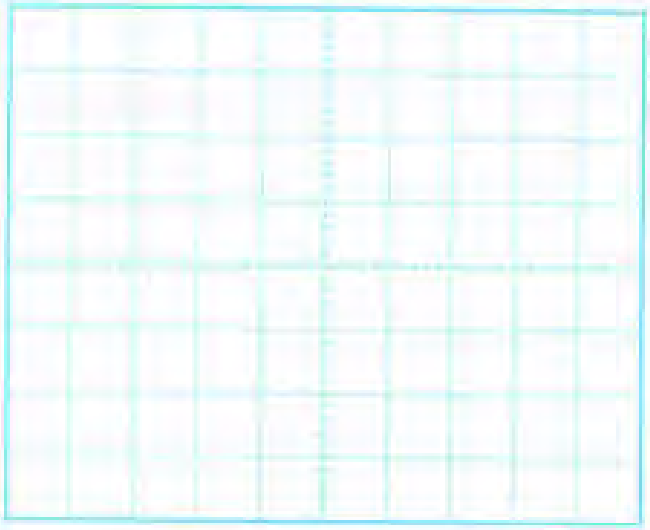
■ کلید AC-GND - DC کانال CH۲ را روی حالت AC قرار دهید.

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۳۶ـ۴ رسم کنید.

■ مقدار V_{in} را با استفاده از شکل‌های (۳۵ـ۴) و (۳۶ـ۴) محاسبه کنید.

■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده را با استفاده از رابطه زیر به‌دست آورید.

$$A_V = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی تقویت‌کننده}}{\text{دامنه سیگنال ورودی تقویت‌کننده}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$$



شکل ۳۶ـ۴ـ شکل ولتاژ خروجی تقویت‌کننده

Volts/Div = ۰/۵ V

■ با توجه به دامنه سیگنال خروجی، توان دوسر بار را از رابطه زیر به‌دست آورید.

$$P_o = \frac{(V_{eff})^2}{R_L} = \frac{(\frac{V_m}{\sqrt{2}})^2}{R_L} = \frac{V_m^2}{2R_L} = \quad = \quad W$$

(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

$V_m =$ V

سؤال ۲ـ چرا تقویت‌کننده قدرت فقط جریان را تقویت می‌کند؟ به اختصار توضیح دهید:

در صورتی که نتوانستید به سؤال ۲ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۸ـ۴) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای فصل چهارم آزمون پایانی عملی (۲) خودآزمایی شماره (۱) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش ـ آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری ـ نتایج حاصل از این آزمایش را به‌صورت تئوری بنویسید.

آزمون

۱ـ عمده‌ترین اشکال تقویت‌کننده پوش ـ پول کدام است؟

الف : □ داشتن دو عدد ترانسفورماتور

ب : □ ظرفیت‌های کم را به‌خوبی تقویت نمی‌کند.

ج : □ اقتصادی نبودن مدار

د : □ هرسه مورد

۲ـ یکی از مزایای تقویت‌کننده پوش ـ پول کدام است؟

الف : □ هر دو ترانزیستور می‌تواند از یک نوع باشند.

ب : □ با ولتاژ منبع تغذیه ۳ و ۴/۵ ولت نیز می‌تواند به‌خوبی کار کند.

ج : □ هم با ترانزیستورهای PNP و هم با ترانزیستورهای NPN می‌توان مدار را مونتاژ کرد.

د : □ هرسه مورد فوق

۱۰ـ۴ـ تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع کامپلی‌ـ متناری*

نوع دیگری از تقویت‌کننده قدرت کلاس B ، کامپلی متناری است. در این تقویت‌کننده ترانسفورماتور به‌کار نمی‌رود.

در شکل ۳۷ـ۴، تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع کامپلی‌متناری نشان داده شده‌است. در این تقویت‌کننده در نیم‌سیکل مثبت، ترانزیستور Q_1 هدایت می‌کند و ترانزیستور Q_2 قطع است و در نیم‌سیکل منفی، ترانزیستور Q_2 هدایت می‌کند و ترانزیستور Q_1 قطع می‌شود. در این تقویت‌کننده نیز اگر سیگنال ورودی قطع باشد تقریباً هر دو ترانزیستور در حالت (آستانه هدایت) قرار دارد لذا در این شرایط توانی در تقویت‌کننده قدرت تلف نمی‌شود.

دیودهای D_1 و D_2 وظیفه تأمین ولتاژ بایاس دو ترانزیستور را برای قرار گرفتن در آستانه هدایت به‌عهده دارند. در بعضی از تقویت‌کننده‌ها به‌جای دیود از مقاومت نیز استفاده می‌شود.

در این تقویت‌کننده به علت عدم استفاده از ترانسفورماتور، محدودیت تقویت فرکانس‌های خیلی کم وجود ندارد و تقریباً تمامی فرکانس‌های صوتی را به یک اندازه تقویت می‌کند.

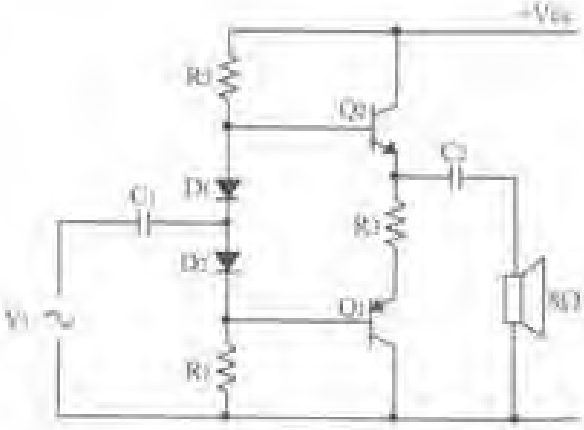
با وجود مزایای اعلام شده، این تقویت‌کننده دارای دو اشکال مهم است:

الف: در ولتاژهای تغذیه کمتر از ۶ ولت به‌خوبی کار نمی‌کند.

ب: کلاً به دو عدد ترانزیستور PNP و NPN کاملاً مشابه نیاز دارد.

در این تقویت‌کننده نیز حداکثر توان تلف شده در هر ترانزیستور برابر با ۲۰ درصد توان تحویلی به بلندگو است. یعنی:

$$P_{D(T)} = 0/2P_L \quad \text{(توان تلف شده در هر ترانزیستور)}$$



شکل ۳۷ـ۴ـ تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع کامپلی‌متناری

* Complimentary

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۱۱ـ۴ـ آزمایش شماره (۵) :تقویت‌کننده قدرت (کامپلی متناری)

هدف آزمایش: بررسی عملی یک نمونه تقویت کننده قدرت از نوع کامپلی متناری از بعد جریان و توان مصرفی

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما با یک نمونه تقویت‌کننده قدرت رایج یعنی تقویت‌کننده کامپلی متناری آشنا می‌شوید. این نوع تقویت‌کننده در دستگاه‌های صوتی که باولتاژ ۶ولت یا بالاتر کار می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تقویت‌کننده، چون در کلاس B کار می‌کند هنگام قطع سیگنال ورودی، جریان مصرفی آن کاهش می‌یابد. برای پی‌بردن به این موضوع، یک میلی‌آمپرمتر DC را با خط تغذیه تقویت‌کننده به‌صورت سری می‌بندید و جریان مدار را در حالت بدون سیگنال و با سیگنال اندازه می‌گیرید. پس از اندازه‌گیری دو مقدار به‌دست آمده را با یک‌دیگر مقایسه می‌کنید.

درضمن هنگامی که سیگنال سینوسی به ورودی مدار وصل است با استفاده از اسیلوسکوپ، دامنه سیگنال ورودی و دامنه سیگنال خروجی (دوسر بلندگو) را اندازه می‌گیرید تا بتوانید بهره ولتاژ و توان خروجی تقویت‌کننده را محاسبه کنید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲ـ منبع تغذیه ۸ ،۷/۱ ۱۵-	یک دستگاه
۳ـ اسیلوسکوپ دوکاناله	دو دستگاه
۴ـ آوومتر دیجیتالی	دو دستگاه
۵ـ برد مدار چاپی آماده مربوط به‌تقویت‌کننده کامپلی‌متناری	یک قطعه
۶ـ سیم رابط دوسر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۷ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۸ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

■ وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.

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

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

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و فرکانس آن را در حالت سینوسی روی ۱ kHz قرار دهید.

■ رنج میلی‌آمپرمتر DC را روی ۲۰۰ mA بگذارید.

■ مدار شکل (۳۸ـ۴) را ببندید.

■ ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را روی صفر ولت تنظیم کنید.

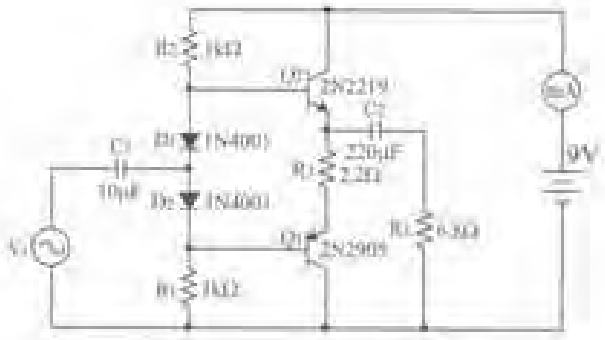
■ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۹ ولت بگذارید.

■ مقدار جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

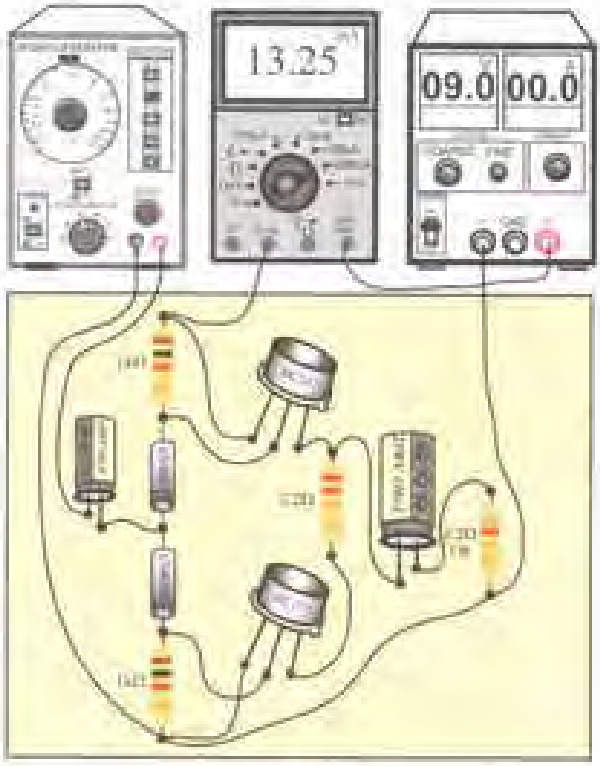
$I_{\text{(با دیود)}}$ = mA

■ ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را کمی زیاد کنید و در این حالت جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد، بخوانید و یادداشت کنید.

$I_{\text{(بدون دیود)}}$ = mA



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۳۸ـ۴ـ مدار آزمایش

سؤال ۱ـ چرا جریان در دو حالت با یک‌دیگر تفاوت دارد؟ به اختصار توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال ۱ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱۰ـ۴) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را به صفر برسانید.

■ مدار را باز کنید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و فرکانس آن را روی ۱ kHz بگذارید. دامنه ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را در حالت سینوسی روی ۲V تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

■ به کمک 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 ولت بگذارید.

■ ولوم Time Variable را در حالت cal قرار دهید.

■ ولوم Volt Variable هردو کانال را در حالت cal بگذارید.

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

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

■ کلید سلکتور Volts/Div مربوط به کانال CH۱ را روی ۱ ولت و کانال CH۲ را نیز روی ۱ ولت بگذارید.

■ کلید Source را در حالت CH۱ بگذارید.

■ کلید MODE را در حالت ALT قرار دهید.

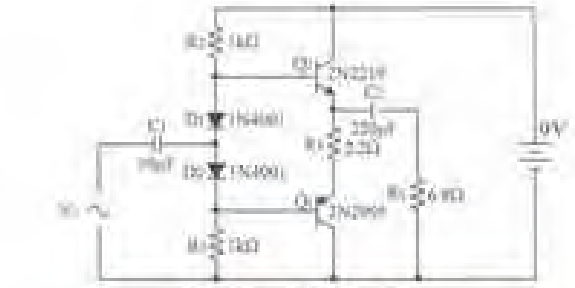
■ مدار شکل (۳۹ـ۴) را ببندید.

■ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید.

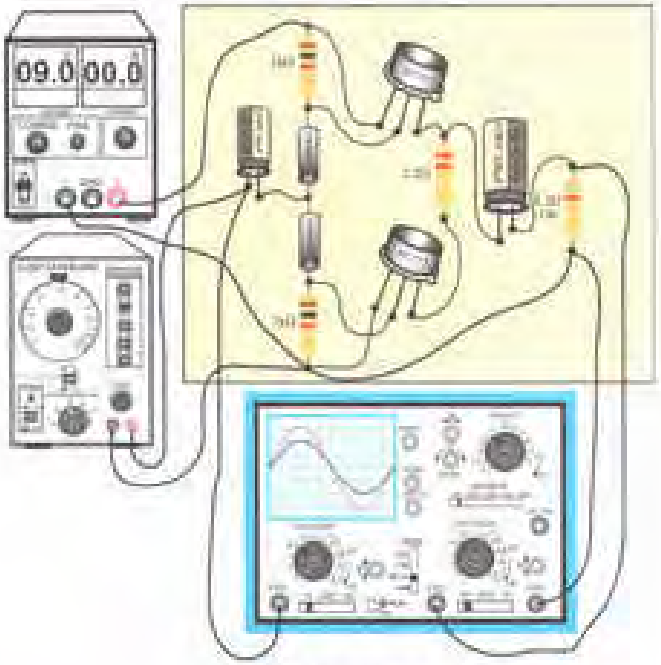
■ کلید AC-GND - DC کانال CH ۱ را روی حالت AC قرار دهید.

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس با مقیاس مناسب را در شکل ۴۰ـ۴ رسم کنید.

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

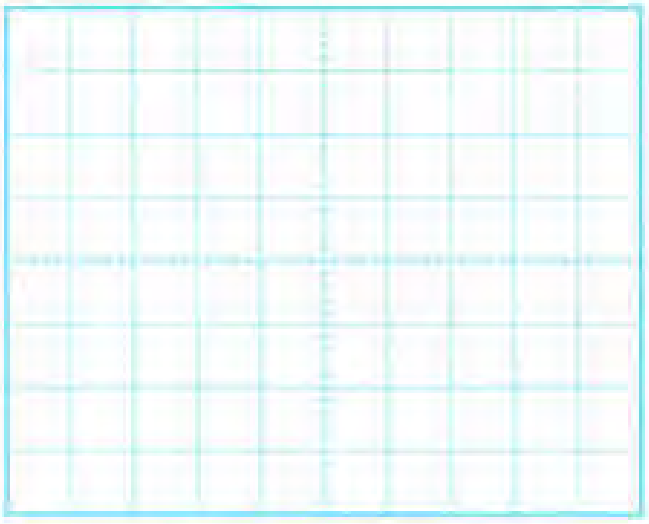


الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۳۹ـ۴ـ مدار آزمایش



شکل ۴۰ـ۴ـ شکل موج ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

Volts/Div = V

(از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)	V_{pp} = V

■ شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس را با مقیاس مناسب در شکل ۲۱ـ۴ رسم کنید.

■ مقدار V_{pp} را با استفاده از شکل (۲۰ـ۴) محاسبه و یادداشت کنید.

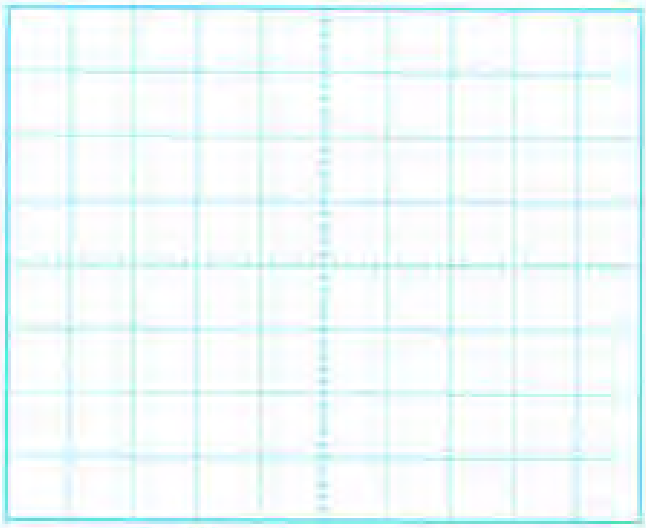
■ بهره ولتاژ تقویت‌کننده را از رابطه زیر به‌دست آورید.

$$A_V = \frac{\text{دامنه سیگنال خروجی تقویت‌کننده}}{\text{دامنه سیگنال ورودی تقویت‌کننده}} = \frac{\quad}{\quad} = \quad$$

■ با توجه به دامنه سیگنال خروجی، توان دوسر بار را از رابطه زیر به‌دست آورید.

$$P_m = \frac{(V_{eff})^2}{R_L} = \frac{(\frac{V_m}{\sqrt{2}})^2}{R_L} = \frac{V_m^2}{2R_L} = \frac{\quad}{\quad} = \quad W$$

سؤال ۲ـ چرا تقویت‌کننده قدرت فقط جریان را تقویت می‌کند؟ به اختصار توضیح دهید.



شکل ۲۱ـ۴ـ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده

Volts/Div = V

V_{pp} = V (از روی شکل نشان داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

در صورتی که نتوانستید به سؤال ۲ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱۰ـ۲) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای مطالب فصل چهارم آزمون پایانی عملی (۴) خودآزمایی شماره (۲) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به‌صورت نثر وار بنویسید.

آزمون

۱ـ مزایای تقویت کننده کامپلی متناری نسبت به تقویت کننده یوش ـ پول کدام است؟

الف: □ عدم نیاز به ترانسفورماتور

ب: □ کارکردن در ولتاژهای زیر ۳ ولت

ج: □ نیاز به یک عدد ترانزیستور PNP و یک عدد ترانزیستور NPN

د: □ هر سه مورد

۲ـ معایب تقویت کننده کامپلی متناری نسبت به تقویت کننده یوش ـ پول کدام است؟

الف: □ نیاز به دو عدد ترانزیستور PNP و NPN

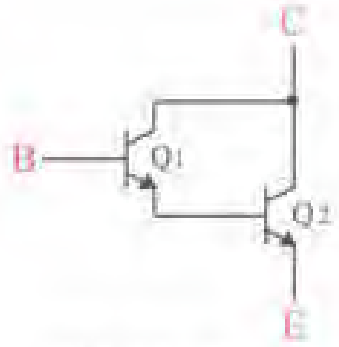
ب: □ نیاز به ولتاژ تغذیه ۶ ولت و بالاتر

ج: □ تقویت فرکانس‌های خیلی کم

د: □ مورد الف و ب

۱۲ـ۴ـ تقویت‌کننده با استفاده از زوج دارلینگتون

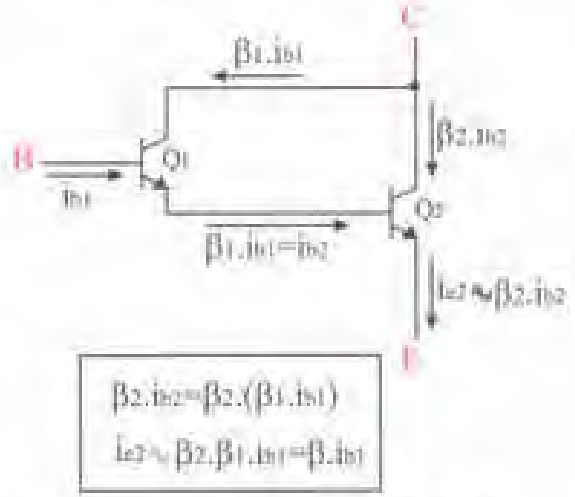
ترانزیستورهای قدرت معمولاً دارای ضریب تقویت جریان (β) کم هستند. برای به‌دست آوردن ضریب تقویت جریان (β) بزرگ‌تر مطابق شکل (۴۲ـ۴)، از ترکیب دو ترانزیستور استفاده می‌شود. این نوع ترکیب را زوج دارلینگتون می‌نامند.



شکل ۴۲ـ۴ـ زوج دارلینگتون

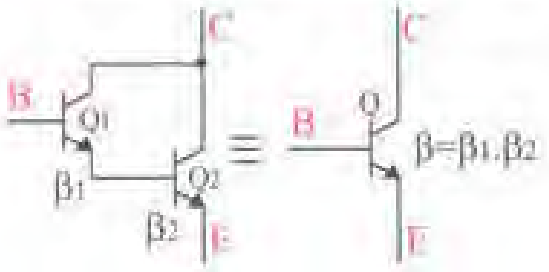
اگر ضریب تقویت جریان ترانزیستور Q_1 برابر با β_1 و ضریب تقویت جریان ترانزیستور Q_2 برابر با β_2 باشد ضریب تقویت مجموعه زوج دارلینگتون تقریباً از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\beta=\beta_1.\beta_2$$



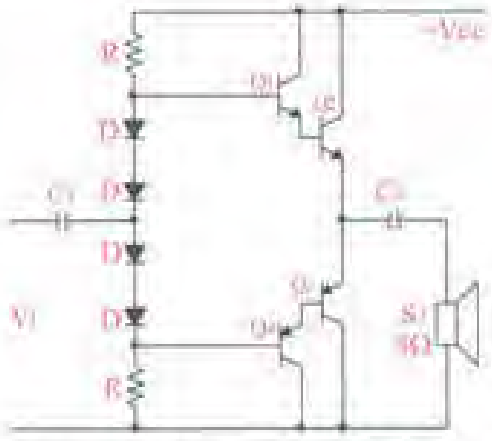
شکل ۴۳ـ۴ـ وضعیت جریان‌ها در زوج دارلینگتون

یک مجموعه زوج دارلینگتون، مانند یک ترانزیستور معمولی است که در آن $\beta=\beta_1\beta_2$. در شکل (۴۴ـ۴) یک ترانزیستور که معادل یک زوج دارلینگتون است را مشاهده می‌کنید.



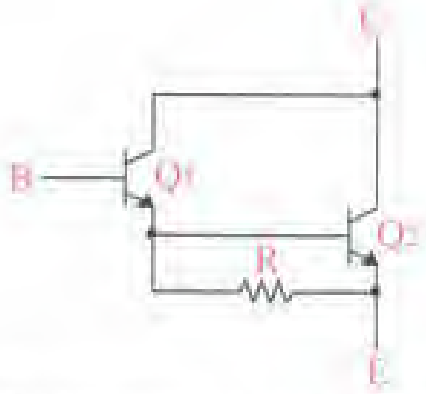
شکل ۴۴ـ۴ـ یک مجموعه زوج دارلینگتون معادل یک ترانزیستور با $\beta=\beta_1\beta_2$ است.

در شکل (۴۵ـ۴)، یک تقویت‌کننده قدرت کلاس B از نوع کامپلی متناری با ترانزیستورهای زوج دارلینگتون نشان داده شده است.



شکل ۴۵ـ۴ـ یک تقویت‌کننده قدرت کلاس B با استفاده از ترانزیستورهای زوج دارلینگتون

برای پایداری حرارتی در ترانزیستورهای زوج دارلینگتون معمولاً طبق شکل (۴۶ـ۴)، یک مقاومت بین امیتر ترانزیستور اول و امیتر ترانزیستور دوم قرار داده می‌شود.



شکل ۴۶ـ۴ـ برای پایداری حرارتی مجموعه زوج دارلینگتون، بین امیتر ترانزیستور اول و امیتر ترانزیستور دوم، یک مقاومت اهمی قرار داده می‌شود.

۱۳ـ۴ـ تقویت‌کننده تفاضلی

تقویت‌کننده تفاضلی به تقویت کننده‌ای گفته می‌شود که دو ورودی داشته و اختلاف دو سیگنال ورودی را تقویت کند.

شکل (۴۷ـ۴) بلوک دیاگرام این تقویت کننده را نشان می‌دهد.

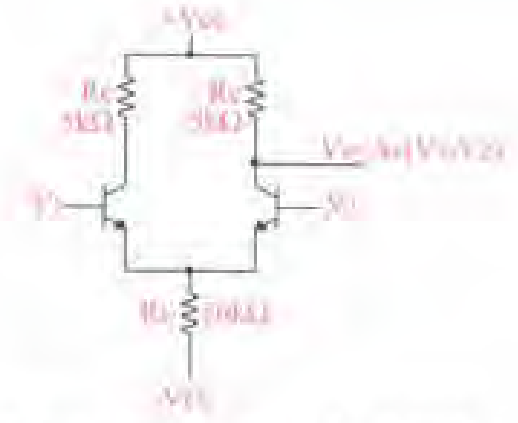
شکل ۴۷ـ۴ ـ تقویت کننده تفاضلی تقویت کننده‌ای است که اختلاف دو سیگنال ورودی را تقویت کند.

در شکل (۴۸ـ۴) یک نمونه تقویت‌کننده تفاضلی بسیار ساده رسم شده است.

درتقویت‌کننده تفاضلی، کوپلاژ AC وجود ندارد. بنابراین تقویت‌کننده تفاضلی می‌تواند ولتاژ DC را نیز تقویت می‌کند.

تحت شرایطی می‌توان بهره ولتاژ این تقویت‌کننده را فوق‌العاده زیاد کرد.

امروزه این تقویت‌کننده در مدارهای الکترونیکی و کنترلی کاربرد وسیعی دارد.



شکل ۴۸ـ۴ ـ یک نمونه تقویت‌کننده تفاضلی نسبتاً ساده

۱۴ـ۴ـ آزمایش شماره (۶): تقویت‌کننده صوتی

مدت زمان انجام آزمایش ۴ ساعت

هدف آزمایش: مشاهده و اندازه‌گیری سیگنال قسمت‌های مختلف یک نمونه تقویت‌کننده صوتی شامل تقویت‌کننده اولیه و تقویت‌کننده قدرت.

شرح خلاصه آزمایش: یک تقویت‌کننده صوتی معمولاً از چند طبقه تقویت‌کننده تشکیل می‌شود. در این آزمایش یک تقویت‌کننده آماده شده روی برد مدار چاپی همراه با نقشه مدار الکترونیکی آن در اختیار شما قرار می‌گیرد. شما با اعمال یک سیگنال سینوسی با دامنه بسیار کم به ورودی تقویت‌کننده، سیگنال قسمت‌های مختلف این تقویت‌کننده را توسط اسیلوسکوپ مشاهده می‌کنید و دامنه آن‌ها را اندازه می‌گیرید. سپس بهره ولتاژ هر طبقه را محاسبه می‌کنید. در ادامه آزمایش، یک میکروفون دینامیکی را به ورودی تقویت‌کننده وصل می‌کنید و با صحبت کردن در آن، صدای تقویت‌شده را از بلندگو می‌شنوید.

در پایان با بررسی عملی تقویت‌کننده، پی می‌برید که روند تقویت یک سیگنال در یک مدار چگونه است؟ همچنین درمی‌یابید که مدارهای الکترونیکی بزرگ و پیچیده از یک سری مدارهای کوچک‌تر تشکیل می‌شوند.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ـ برد مدار چاپی تقویت‌کننده صوتی	یک قطعه
۲ـ آوومتر دیجیتالی	یک دستگاه
۳ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۴ـ منبع تغذیه ۱۵V/1A	یک دستگاه
۵ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۶ـ میکروفون دینامیکی	یک عدد
۷ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۸ـ سیم رابط دو سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۹ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۱۰ـ بلندگوی ۸Ω / ۳W	یک عدد

مراحل اجرای آزمایش

■ وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.

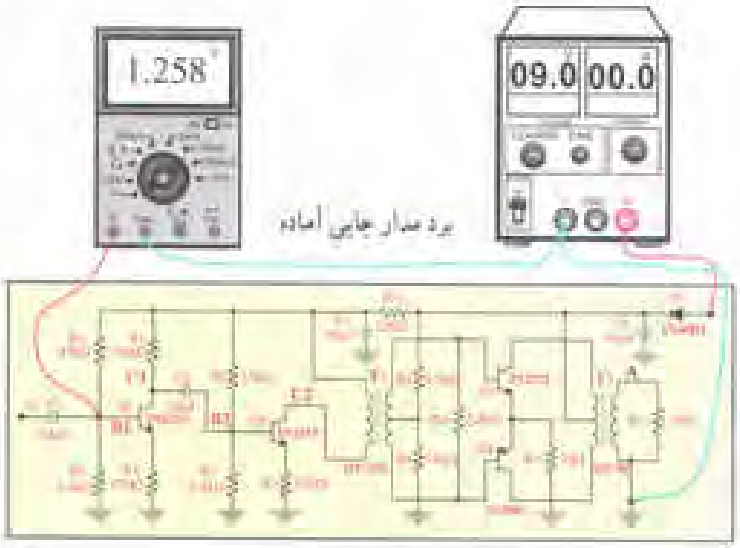
■ منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.

■ منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ خروجی آن را روی صفر تنظیم کنید.

■ مدار شکل (۴۹ـ۴) را ببندید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید.

■ ولتاژ نقاط B_1 ، C_1 ، E_1 ، B_2 ، E_2 ، C_2 و A را با استفاده از ولت‌متر دیجیتالی اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



شکل ۴۹ـ۴ ـ مدار آزمایشی

V_{B_1} =	V
V_{C_1} =	V
V_{E_1} =	V
V_{B_2} =	V
V_{E_2} =	V
V_{C_2} =	V
V_A =	V

■ ولتاژهای اندازه‌گیری شده مربوط به نقاط کار DC ترانزیستورها هستند.

■ V_{CE_1} و V_{CE_2} را با استفاده از روابط زیر به‌دست آورید.

$V_{CE_1} = V_{C_1} - V_{E_1}$ =	—	=	V
$V_{CE_2} = V_{C_2} - V_{E_2}$ =	—	=	V

سؤال ۱ـ V_{CE_1} و V_{CE_2} چنددرصد ولتاژ تغذیه را تشکیل می‌دهد؟ چرا؟ مختصر توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال ۱ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۸ ـ۴) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

■ مدار قبلی را باز کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

■ به کمک 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. قرار دهید.

■ ولوم Volt Variable هر دو کانال را در حالت Cal. قرار دهید.

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

■ Volts/Div کانال یک را روی ۵۰۰mv / Div بگذارید.

■ Volts/Div کانال (۲) را روی ۰/۵V / Div قرار دهید.

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت ALT بگذارید.

■ کلید Source اسیلوسکوپ را در حالت CH۱ قرار دهید.

■ مکان صفر اشعه‌ی هر دو کانال را در مرکز صفحه حساس تنظیم کنید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی صفرولت تنظیم کنید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید.

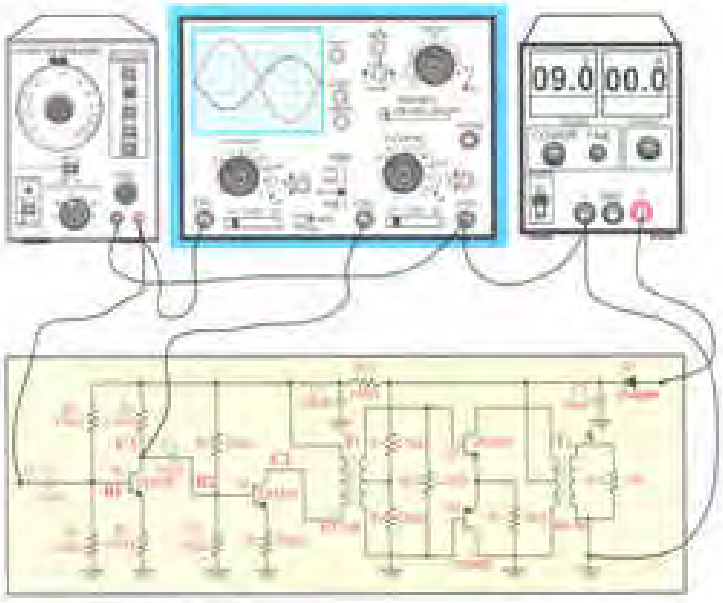
■ فرکانس سیگنال ژنراتور را روی ۱kHz سینوسی تنظیم کنید.

■ مدار شکل(۵۰ـ۴) را ببندید.

■ ولتاژ خروجی منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید.

■ کانال یک اسیلوسکوپ را به نقطه V_1 وصل کنید و شکل موج ورودی را با مقیاس مناسب روی شکل ۵۱ـ۴ رسم کنید.

■ محل کانال یک را به نقطه B_1 تغییر دهید و شکل موج را روی شکل (۵۲ـ۴) با مقیاس مناسب و رنگ مجزا رسم کنید.



شکل ۵۰ـ۴ ـ مدار آزمایش

■ دامنه ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را کمی زیاد کنید تا دامنه آن روی صفحه حساس تقریباً دو خانه کامل را بپوشاند.

■ کانال ۲ CH اسیلوسکوپ را به ترتیب به نقاط C_1، B_1، C_2 و نقطه A وصل کنید و شکل موج‌های مشاهده شده را همراه با مقیاس مناسب و دقیق به ترتیب در شکل‌های (۵۳ـ۴) تا (۵۶ـ۴) رسم کنید (در صورت نیاز رنج کلید Volts/Div کانال ۲ CH را تغییر دهید تا شکل موج دقیق‌تر ترسیم شود).

شکل ۵۲ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ نقطه B_1

Volts/Div = V /Div

V_{pp} = V

شکل ۵۱ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ سیگنال ورودی

Volts/Div = V /Div

V_{pp} = V (از روی شکل تنظیم داده شده روی صفحه حساس به‌دست آورید)

شکل ۵۴ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ نقطه B_2

Volts/Div = V /Div

V_{pp} = V

شکل ۵۳ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ نقطه C_1

Volts/Div = V /Div

V_{pp} = V

شکل ۵۶ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ نقطه A

Volts/Div = V /Div

V_{pp} = V

شکل ۵۵ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ نقطه C

Volts/Div = V /Div

V_{pp} = V

■ ولتاژ V_{pp} را در هریک از شکل‌های ۵۱ـ۴ تا ۵۶ـ۴ محاسبه و یادداشت کنید.

■ بهره ولتاژ هریک از طبقات تقویت‌کننده را با استفاده روابط زیر محاسبه کنید.

$$A_{V1} = \frac{\text{دامنه سیگنال نقطه } C_1}{\text{دامنه سیگنال نقطه } B_1} = \frac{\qquad}{\qquad} =$$

$$A_{V2} = \frac{\text{دامنه سیگنال نقطه } C_2}{\text{دامنه سیگنال نقطه } B_2} = \frac{\qquad}{\qquad} =$$

$$A_{V3} = \frac{\text{دامنه ولتاژ نقطه } A}{\text{دامنه ولتاژ نقطه } C_2} = \frac{\qquad}{\qquad} =$$

$$A_V = \frac{\text{دامنه ولتاژ نقطه } A}{\text{دامنه سیگنال ورودی}} = \frac{\qquad}{\qquad} =$$

■ مقدار بهره ولتاژ را از حاصل ضرب بهره هر یک از طبقات به‌دست آورید.

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

■ بررسی کنید آیا A_V به‌دست آمده از حاصل‌ضرب A_{V1}، A_{V2} و A_{V3} با A_V کل به‌دست آمده برای نقطه A تقریباً برابر

است؟ توضیح دهید.

سؤال ۲ــ چرا سیگنال خروجی و ورودی بعضی از طبقات با یک‌دیگر ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند؟ به اختصار توضیح دهید.

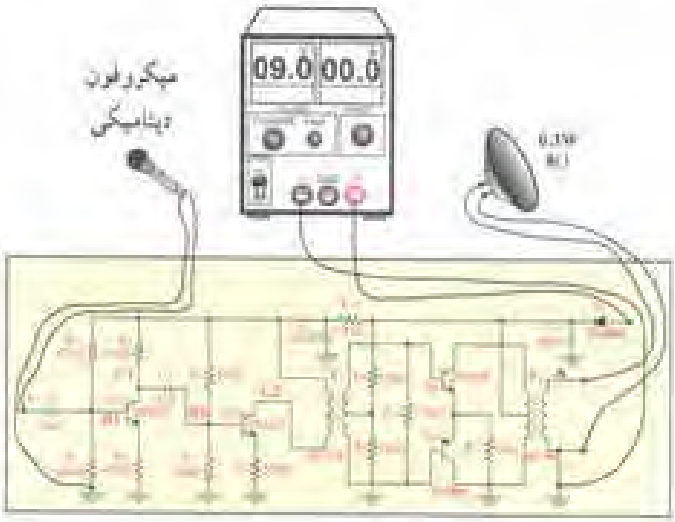
سؤال ۳ــ چرا با وجود این‌که بهر، ولتاژ تقویت‌کننده نهایی کمتر از یک است، آن را در انتهای تقویت‌کننده صوتی قرار می‌دهند؟ به اختصار توضیح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۲ و ۳ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت ۲ــ۲ مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

- ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید.
- اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید.
- سیگنال ژنراتور را از مدار جدا کنید.
- مدار شکل (۵۷ــ۲) را ببندید.
- منبع تغذیه را روی ۹ ولت تنظیم کنید.
- با صحبت کردن مقابل میکروفون، صدای خود را از بلندگو بشنوید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به صورت گزارش بنویسید.



شکل ۵۷ــ۲ ــ مدار آزمایش

آزمون

۱ــ یک تقویت کننده صوتی کامل معمولاً از چه طبقاتی تشکیل می‌شود؟

۲ــ توان معمولاً در کدام قسمت از یک تقویت‌کننده صوتی تقویت می‌شود؟

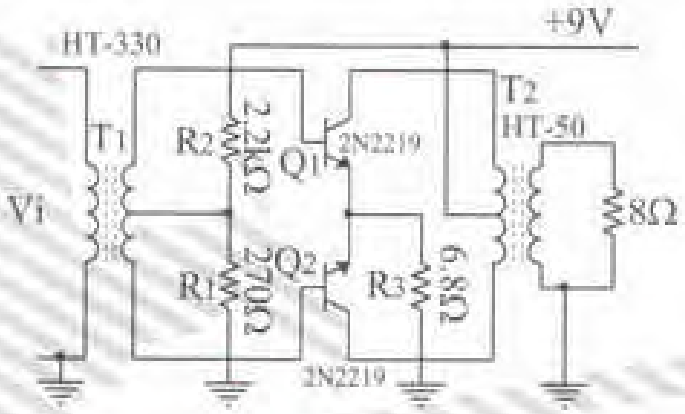
۳ــ در یک تقویت‌کننده صوتی، اگر بخواهیم با یک پتانسیومتر حجم صدا را کم یا زیاد کنیم، این پتانسیومتر در کدام طبقه و در کدام قسمت تقویت‌کننده باید قرار گیرد؟ شکل آن را رسم کنید.

۱۵ـ۴ـ آزمون پایانی عملی (۴)

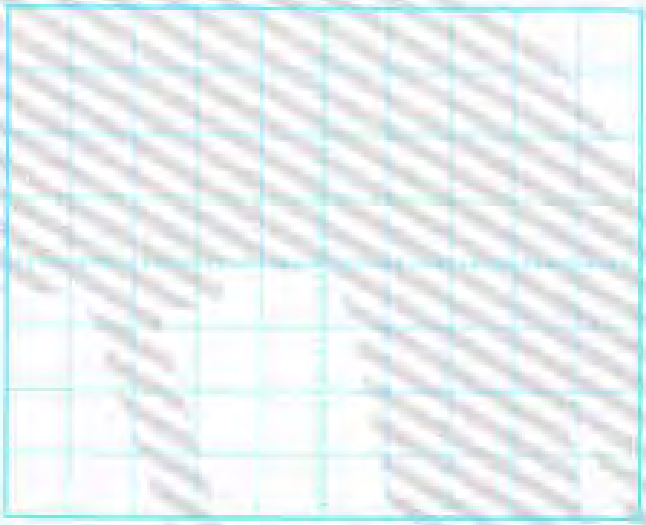
۱ـ۱۵ـ۴ـ تقویت‌کننده: شکل (۵۸ـ۴) را روی بردبرد یا برد آزمایشگاهی ببندید و یک سیگنال سینوسی با دامنه تقریباً ۵/۰ ولت و با فرکانس ۱kHz به ورودی آن اعمال کنید. با استفاده از اسیلوسکوپ، دامنه سیگنال ورودی و خروجی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید. با استفاده از دامنه‌های اندازه‌گیری شده، بهره ولتاژ و توان دو سر مقاومت R_L را محاسبه کنید.

به‌طور همزمان کانال CH۱ اسیلوسکوپ را به ورودی و کانال CH۲ اسیلوسکوپ را به خروجی تقویت‌کننده وصل کنید، دامنه سیگنال ورودی را تا ۴ V افزایش دهید. شکل موج ولتاژ خروجی را با مقیاس مناسب در شکل (۵۹ـ۴) رسم کنید.

سؤال: چرا با افزایش دامنه سیگنال ورودی، شکل موج ولتاژ خروجی از حالت سینوسی خارج می‌شود؟ به اختصار توضیح دهید.



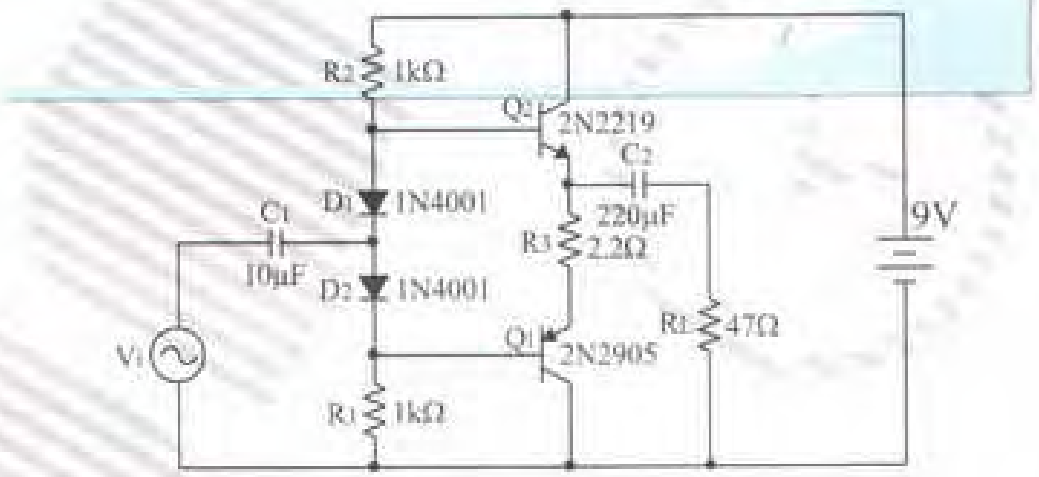
شکل ۵۸ـ۴ ـ تقویت‌کننده پوش ـ پول



شکل ۵۹ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده، هنگامی که دامنه سیگنال ورودی خیلی زیاد است.

۲ـ۱۵ـ۴ـ تقویت‌کننده: شکل (۶۰ـ۴) را روی بردبرد یا برد آزمایشگاهی ببندید و یک سیگنال سینوسی با دامنه تقریباً یک ولت و با فرکانس ۱kHz به ورودی آن اعمال کنید. با استفاده از اسیلوسکوپ، دامنه سیگنال

ورودی و خروجی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید. با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده، بهره ولتاژ و توان دو سر مقاومت R_L را محاسبه کنید.



شکل ۶۰ـ۴ ـ تقویت‌کننده کامپلی متناری

به‌طور همزمان کانال CH۱ اسیلوسکوپ را به ورودی و کانال CH۲ اسیلوسکوپ را به دو سر بار متصل کنید. سپس دو دیود را با یک رشته سیم اتصال کوتاه کنید و شکل موج ولتاژ خروجی را با مقیاس مناسب در شکل (۶۱ـ۴) رسم کنید.

سؤال: چرا وقتی دو سر دیودها را اتصال می‌کنید شکل موج ولتاژ خروجی از حالت سینوسی خارج می‌شود؟ به اختصار در این مورد توضیح دهید.

شکل ۶۱ـ۴ ـ شکل موج ولتاژ خروجی تقویت‌کننده کامپلی متناری هنگامی که دو سر دیودها اتصال کوتاه شده است.

۱۶ـ۴ـ پرسش و تمرین (۴)

۱ـ اشکال عمده تقویت‌کننده قدرت کلاس A چیست؟

۲ـ چرا تقویت‌کننده‌های قدرت را در طبقه انتهایی تقویت‌کننده‌های صوتی قرار می‌دهند؟

۳ـ فرق تقویت‌کننده کلاس A با کلاس B چیست؟

۴ـ مدار جداکننده فاز چه کاربردی دارد؟

۵ـ در مدار جداکننده فاز چرا نمی‌توان دو سیگنال با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه و دامنه بزرگ‌تر از ورودی برای هر دو سیگنال خروجی داشت؟

۶ـ فرق مدار جداکننده فاز و معکوس‌کننده فاز چیست؟

۷ـ مدار معکوس‌کننده فاز چه کاربردی دارد؟

۸ـ طرز کار تقویت‌کننده قدرت از نوع پوش ـ پول را توضیح دهید.

۹ـ چرا امروزه تقویت‌کننده پوش ـ پول را در مدارهای الکترونیکی زیاد به‌کار نمی‌برند؟

۱۰ـ طرز کار یک تقویت‌کننده کامپلی‌متناری را شرح دهید.

۱۱ـ معایب تقویت‌کننده کامپلی متناری را توضیح دهید.

۱۲ـ از تقویت‌کننده با زوج دارلینگتون در چه مواردی استفاده می‌شود؟

۱۳ـ تقویت‌کننده تفاضلی را خیلی خلاصه شرح دهید.

۱۴ـ چرا وقتی بلندگو را به خروجی یک تقویت‌کننده وصل می‌کنند، مسئله تطبیق توان مطرح می‌شود؟

فصل پنجم

ترانزیستور با اثر میدان

هدف کلی

شناخت ترانزیستور با اثر میدان و کاربرد آن به عنوان منبع جریان وتقویت‌کننده

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود که:

۱ـ ساختمان داخلی یک ترانزیستور JFET را شرح دهد.

۲ـ عملکرد ترانزیستور JFET را بیان کند.

۳ـ نحوه تبدیل تغییرات ولتاژ در یک مدار به تغییرات جریان در مدار دیگر را با استفاده از ترانزیستور JFET عملاً تجربه کند.

۴ـ ساختمان داخلی ترانزیستور MOSFET را شرح دهد.

۵ـ نماد ترانزیستورهای JFET و MOSFET را رسم کند.

۶ـ پایه‌های ترانزیستور JFET و MOSFET را از روی نماد آن تشخیص دهد.

۷ـ با استفاده از ترانزیستور JFET مدار یک منبع جریان را رسم کند.

۸ـ مدارهای عمومی تقویت‌کننده‌های سورس مشترک، درین مشترک و گیت مشترک را رسم و عملاً تجربه کند.

پیش‌آزمون (۵)

۱ـ در یک ترانزیستور معمولی، β با کدام رابطه تعریف می‌شود؟

الف: □ $\frac{I_C}{I_B}$ ب: □ $\frac{I_B}{I_C}$ ج: □ $I_C . I_B = ۱$ د: □ $\frac{I_B}{I_D}$

۲ـ تقویت‌کننده امیتر مشترک کدام کمیت را تقویت می‌کند؟

الف: □ جریان ب: □ ولتاژ ج: □ ولتاژ و جریان د: □ فرکانس

۳ـ نقش ولوم Level در اسیلوسکوپ چیست؟

الف: □ می‌تواند لحظه شروع موج را از سمت چپ صفحه حساس تغییر دهد.

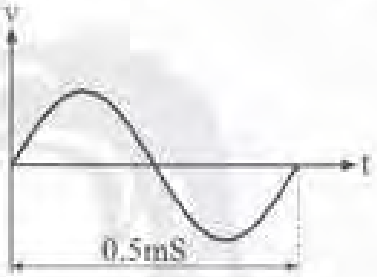
ب: □ می‌تواند زمان تناوب را به صورت پیوسته تغییر دهد.

ج: □ می‌تواند دامنه موج را به صورت پیوسته تغییر دهد.

د: □ فرکانس موج داخلی را می‌تواند تغییر دهد.

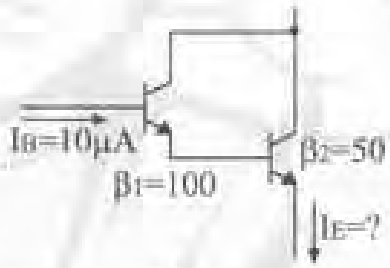
۴ـ فرکانس سیگنال زیر چند هرتز است؟

الف: □ ۲۵۰ ب: □ ۵۰۰ ج: □ ۱۰۰۰ د: □ ۲۰۰۰



۵ـ در شکل زیر جریان I_B چند میلی‌آمپر است؟ (فرض کنید ترانزیستورها بایاس شده‌اند)

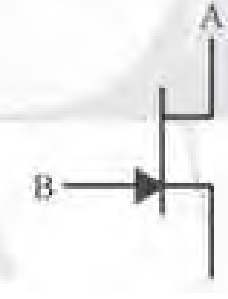
الف: □ ۵ ب: □ ۵۰ ج: □ ۵۰۰ د: □ ۵۰۰۰



۶ـ یک تقویت‌کننده تفاضلی ..... دو سیگنال ورودی را تقویت می‌کند.

الف: □ جمع لحظه‌ای ب: □ اختلاف ج: □ زاویه فاز د: □ فرکانس

۷ـ در ترانزیستور شکل زیر نام پایه A ..... B، ..... و C ..... است.



الف: درین ـ سورس ـ گیت

ب: سورس ـ درین ـ گیت

ج: درین ـ گیت ـ سورس

د: گیت ـ سورس ـ درین

۸ـ در یک تقویت‌کننده سورس مشترک، سیگنال ورودی به پایه ..... داده می‌شود و سیگنال خروجی از پایه ..... دریافت می‌شود.

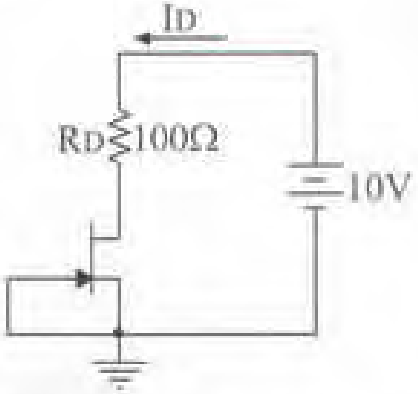
الف: □ درین ـ گیت　　ب: □ گیت ـ درین

ج: □ سورس ـ گیت　　د: □ گیت ـ سورس

۹ـ در شکل زیر اگر مقاومت Ω ۱۰۰ به Ω ۱۵۰ تغییر یابد، I_D چه تغییری می‌کند؟

الف: □ زیاد می‌شود　　ب: □ کم می‌شود

ج: □ تغییر نمی‌کند　　د: □ قابل پیش‌بینی نیست



۱۰ـ یک ترانزیستور اثر میدان می‌تواند تغییرات ..... را در یک مدار تبدیل به تغییرات ..... در مدار دیگر کند.

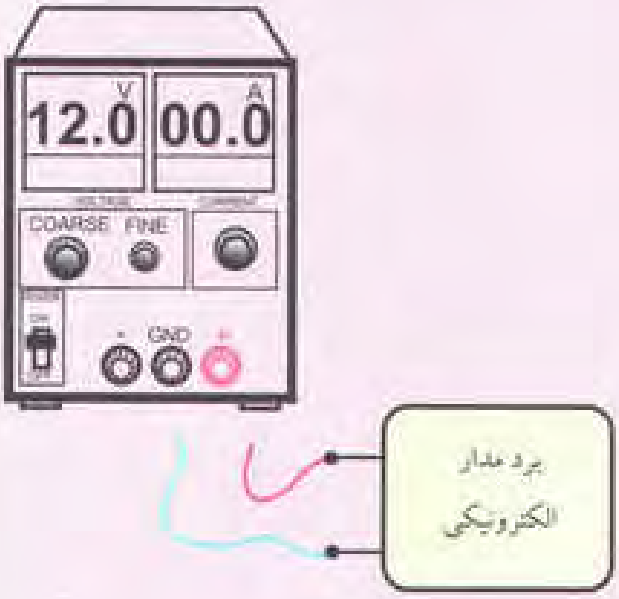
الف: □ ولتاژ ـ ولتاژ　　ب: □ ولتاژ ـ جریان

ج: □ جریان ـ ولتاژ　　د: □ مورد الف و ب

۱۱ـ ساختمان یک ترانزیستور MOSFET از نوع تشکیل شونده با کانال p را رسم کنید و طرز کار آن را توضیح دهید.

نکات ایمنی (۵)

۱ـ قبل از اتصال منبع تغذیه به مدار، ولتاژ مورد نظر را تنظیم کنید.

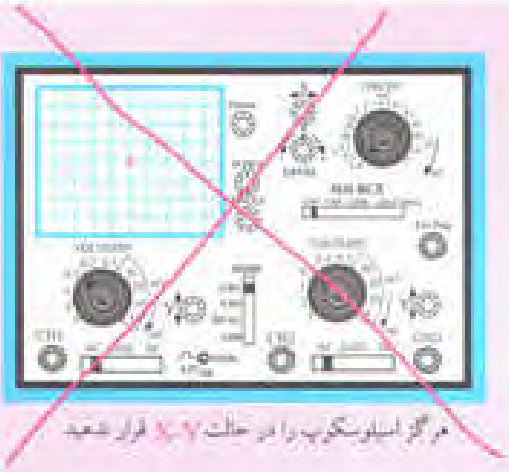


۲ـ اگر منبع تغذیه‌ای که با آن کار می‌کنید دارای ولوم محدود کننده جریان است، در آزمایش‌های این فصل جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید. برای این کار ابتدا ولتاژ خروجی را روی صفر ولت بگذارید، سپس دو سر خروجی را اتصال کوتاه کنید. کمی ولتاژ خروجی را زیاد کنید تا جریان از ۱۰۰mA تجاوز کند. حال با استفاده از ولوم Limit Current جریان خروجی را روی ۱۰۰mA تنظیم کنید.

۳ـ هنگام حمل و نقل دستگاه‌های اندازه‌گیری مراقب باشید که دستگاه از دست شما به زمین نیفتد.

۴ـ دستگاه‌های اندازه‌گیری را در زیر نور آفتاب و یا در مجاورت هوای گرم و یا وسیله‌های گرمازا قرار ندهید.

۵ــ کلید Y ــ X در اسیلوسکوپ را هرگز برای کارهای معمولی فعال نکنید. زیرا در این حالت اشعه به صورت یک نقطه‌نورانی روی صفحه حساس ظاهر می‌شود و پوشش ماده‌ی فسفرسانس داخلی را در نقطه‌ای که تابیده شده است می‌سوزاند و آن نقطه برای همیشه روی صفحه حساس به‌صورت یک لکه سیاه دیده می‌شود.



هرگز اسیلوسکوپ را در حالت X ــ Y قرار ندهید

۶ــ هنگام تعویض حوزه‌کار کلیدها و ولوم‌های موجود در اسیلوسکوپ، خیلی با احتیاط عمل کنید زیرا این کلیدها خیلی حساس هستند و زود خراب می‌شوند.

قابل توجه همکاران ارجمند

با توجه به این‌که مدت اختصاص داده شده به کار عملی در این فصل محدود می‌باشد، ضروری است فراگیران فقط آزمایش شماره (۲) را بیندند و آزمایش کنند. برای آزمایش شماره (۱) و آزمایش شماره (۳)، این فصل در هنرستان‌ها برای هر آزمایش یک دُرد مدارچاپی آماده تهیه شود و در اختیار هنرجویان قرار گیرد تا هنرجویان بدون بستن تک‌تک اجزای مدار همه آزمایش‌ها را انجام دهند و نتیجه‌ی آن را مشاهده کنند. برای انجام آزمایش دوم، لازم است سه رشته سیم افشان نمره ۰/۵ به طول ۱۰cm به پایه‌های درین، سورس و گیت ترانزیستور ۲N۳۸۱۹ لحیم شود.

۱ـ۵ـ ترانزیستور با اثر میدان یا FET[1]

ترانزیستورهای با اثر میدان، ترانزیستورهایی هستند که عامل کنترل جریان خروجی در آن‌ها ولتاژ ورودی است. در صورتی که در ترانزیستورهای معمولی، عامل کنترل جریان خروجی، جریان ورودی است شکل (۱ـ۵).

در ترانزیستورهای FET می‌توان تغییرات ولتاژ نسبتاً کم را به تغییرات جریان نسبتاً زیاد تبدیل کرد.

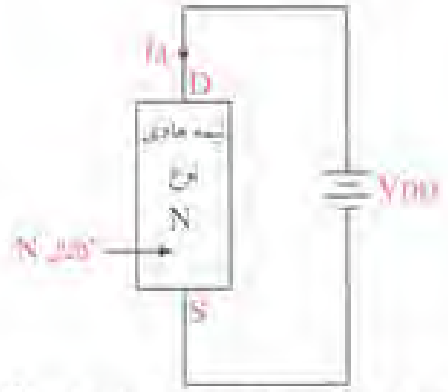
ترانزیستورهای FET به دو دسته کلی JFET و MOSFET تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف ـ در یک ترانزیستور معمولی جریان ic به وسیله جریان ib کنترل می شود

ب ـ در ترانزیستور FET جریان Id به وسیله ولتاژ Vg کنترل می شود

شکل ۱ـ۵

۱ـ۱ـ۵ـ ترانزیستور JFET: اگر به دو سر یک قطعه نیمه‌هادی نوع N، مانند شکل (۲ـ۵) ولتاژ DC وصل کنیم جریانی از مدار عبور می‌کند که آن را I_D می‌نامیم. مقدار I_D بستگی به مقاومت نیمه هادی نوع N دارد. پایه‌ای (الکترودی) که قطب مثبت منبع ولتاژ به آن وصل است را D و پایه‌ای که قطب منفی به آن وصل است را S یا منبع الکترون‌ها می‌نامند. نیمه‌هادی نوع N را که از آن جریان I_D عبور می‌کند کانال می‌گویند. در این شکل چون نیمه‌هادی، نوع N است به آن کانال نوع N گفته می‌شود.



شکل ۲ـ۵ـ پایه محل اتصال قطب مثبت منبع ولتاژ را درین[2] می‌نامند و با D نشان می‌دهند.

یادآوری: اگر یک اتصال PN را به صورت معکوس بایاس کنیم در محل اتصال P و N یک لایه سد به‌وجود می‌آید. هرقدر ولتاژ معکوس بیشتر باشد عرض لایه سد نیز بیشتر می‌شود شکل (۳ـ۵).

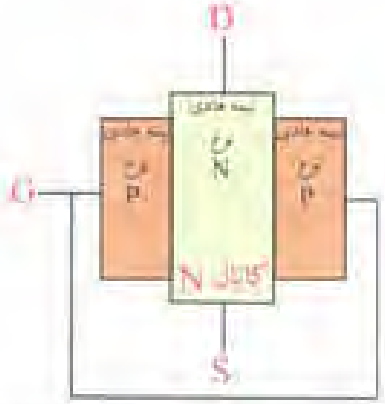
اگر ولتاژ معکوس دائماً تغییر کند، عرض لایه سد نیز دائماً تغییر می‌کند.

شکل ۳ـ۵ـ هرقدر ولتاژ معکوس دو سر دیود بیشتر باشد عرض لایه سد نیز بیشتر می‌شود.

۱ـ FET=Field Effect Transistor

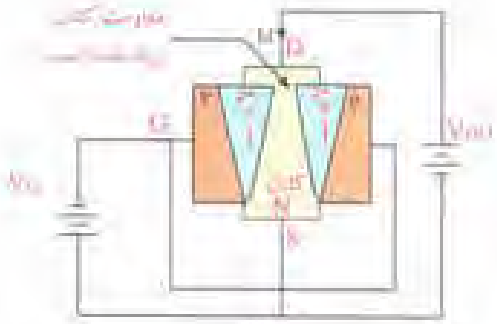
۲ـ Drain

اگر اطراف نیمه هادی نوع N (کانال N) یک نیمه هادی نوع P تزریق دهیم یک اتصال PN در اطراف کانال N ایجاد می‌شود. دو طرف نیمه‌هادی نوع P را به هم اتصال می‌دهیم و آن را پایه، دروازه یا گیت[1] می‌نامیم و با حرف G نشان می‌دهیم. مجموعه به دست آمده، ساختمان داخلی ترانزیستور JFET است که تصویر آن را در شکل (۴ـ۵) مشاهده می‌کنید.



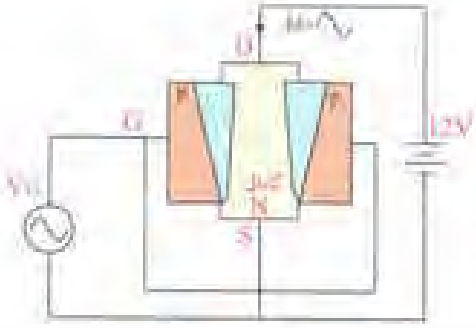
شکل ۴ـ۵ـ ساختمان داخلی ترانزیستور JFET

اگر درین (D) و سورس (S)[2] را به منبع ولتاژ DC وصل کنیم، جریانی از کانال N عبور می‌کند. اگر اتصال PN (بین گیت و سورس) را به صورت معکوس بایاس کنیم، یک لایه (سد) در اطراف اتصال PN به وجود می‌آید. شکل (۵ـ۵). این لایه سد باعث می‌شود که مقاومت اهمی کانال N زیاد شود یا به طور کلی تغییر کند. در اثر این پدیده I_D نیز کم می‌شود یا تغییر می‌کند. هر قدر V_{GS} بیشتر باشد عرض لایه سد بیشتر می‌شود و مقاومت کانال را افزایش و جریان I_D را کاهش می‌دهد.



شکل ۵ـ۵

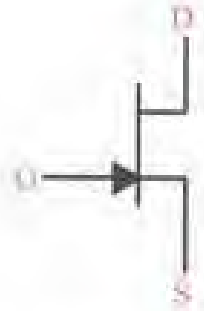
بنابراین با تغییرات V_G، عرض لایه سد تغییر می‌کند و مقاومت کانال را تغییر می‌دهد و در این شرایط جریان I_D نیز متناسب با تغییرات V_G تغییر می‌کند، شکل (۶ـ۵).



شکل ۶ـ۵

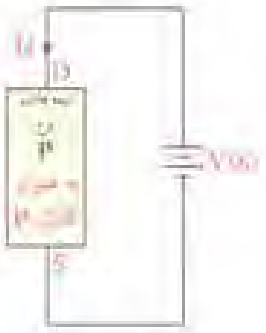
اساس کار ترانزیستور JFET به این صورت است که تغییرات کم ولتاژ گیت یعنی V_G نسبت به سورس را تبدیل به تغییرات نسبتاً زیاد I_D می‌کند.

ترانزیستور JFET با کانال N را با علامت قراردادی شکل (۷ـ۵) نشان می‌دهند.



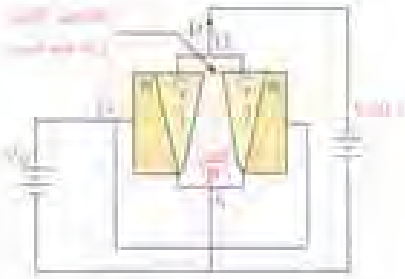
شکل ۷ـ۵ـ علامت قراردادی ترانزیستور JFET با کانال N

در ترانزیستورهای JFET می‌توان به جای نیمه‌هادی نوع N به عنوان کانال N، از نیمه‌هادی نوع P به عنوان کانال P استفاده کرد. شکل (۸ـ۵).



شکل ۸ـ۵

اگر اطراف نیمه‌هادی نوع P، که به عنوان کانال نوع P به کار رفته است را نیمه هادی نوع N نقود دهیم ترانزیستور JFET با کانال P ساخته می‌شود. در این ترانزیستور قطب‌های ولتاژ گیت را طوری انتخاب می کنیم که اتصال PN به صورت معکوس بایاس شود. شکل (۹ـ۵). در این حالت، تغییرات V_G باعث تغییرات I_D می‌شود. علامت قراردادی این ترانزیستور در شکل (۱۰ـ۵) نشان داده شده است.

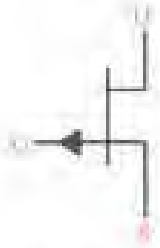


شکل ۹ـ۵

۲ـ۱ـ۵ـ مدارهای عمومی ترانزیستور JFET:

برای JFET نیز مانند ترانزیستور معمولی، بسته به این که کدام پایه بین ورودی و خروجی مشترک باشد.

سه مدار عمومی در نظر گرفته می‌شود.

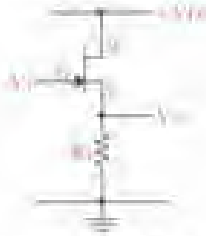


شکل ۱۰ـ۵ـ علامت قراردادی ترانزیستور JFET با کانال P

الف: مدار سورس مشترک C.S[1]: در این تقویت‌کننده، سورس بین ورودی و خروجی مشترک است. ولتاژ ورودی به گیت اعمال و ولتاژ خروجی از پایه درین دریافت می‌شود. در شکل (۱۱ـ۵) مدار ساده این تقویت‌کننده نشان داده شده است.

شکل ۱۱ـ۵ ـ تقویت‌کننده سورس مشترک

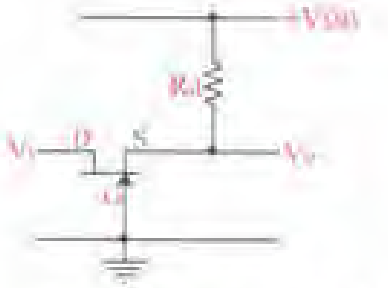
ب: مدار درین مشترک C.D[2]: در این تقویت‌کننده، درین بین ورودی و خروجی مشترک است ولتاژ ورودی به گیت اعمال و ولتاژ خروجی در پایه سورس دریافت می‌شود. در شکل (۱۲ـ۵) مدار ساده و این تقویت‌کننده را مشاهده می کنید توجه داشته باشید که از نظر سیگنال متناوب AC پایه‌های زمینی و V_{DD} به هم متصل هستند.



شکل ۱۲ـ۵ـ تقویت‌کننده درین مشترک

۱ـ Common Source
۲ـ Common Drain

ج: گیت مشترک C.G[1]: در این تقویت‌کننده، گیت بین ورودی و خروجی مشترک است و ولتاژ ورودی به پایه سورس اعمال و سیگنال خروجی از پایه درین دریافت می‌شود. این مدار خیلی کم مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۱۳ـ۵) مدار این نوع تقویت‌کننده نشان داده شده است.



شکل ۱۳ـ۵ـ تقویت‌کننده گیت مشترک

۳ـ۱ـ۵ـ مزایای ترانزیستور JFET نسبت به ترانزیستور معمولی (BJT): بعضی از مزایای ترانزیستور JFET نسبت به ترانزیستور BGT به شرح زیر است:

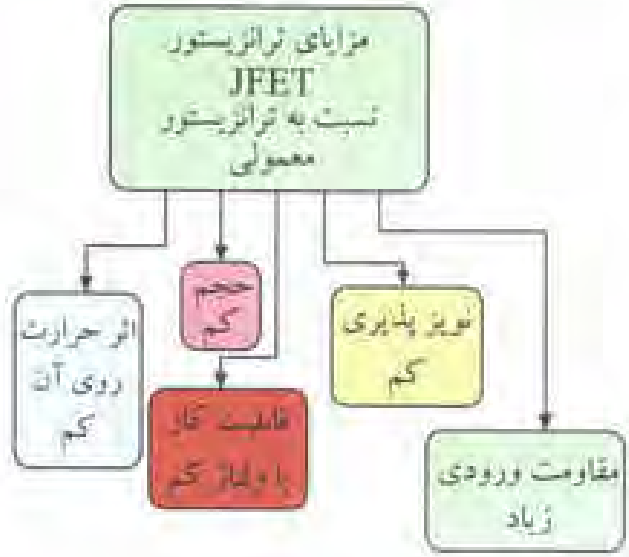
الف: ساختمان ترانزیستور FET ساده‌تر است و حجم کمتری اشغال می‌کند.

ب: مقاومت ورودی ترانزیستور FET نسبت به ترانزیستور معمولی خیلی بیشتر است.

ج: میزان نویزپذیری FET خیلی کمتر از ترانزیستور معمولی است.

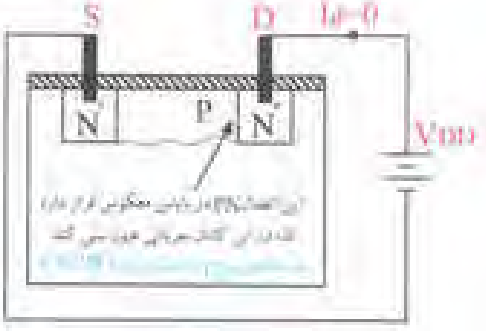
د: میزان وابستگی به حرارت FET خیلی کمتر از ترانزیستور معمولی است.

هـ: FET می‌تواند با ولتاژهای خیلی کم هم به راحتی کار کند.



۴ـ۱ـ۵ـ ترانزیستور MOSFET[2]: ترانزیستور MOSFET در دو نوع تشکیل شونده و تهی‌شونده با کانال N یا P ساخته می‌شوند. در این قسمت فقط ساختمان داخلی MOSFET با کانال تشکیل شونده نوع N را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

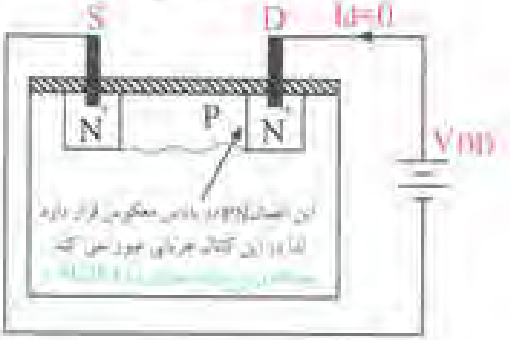
ترانزیستور MOSFET از نوع کانال تشکیل شونده N، از یک قطعه نیمه‌هادی نوع P به عنوان پایه[3] تشکیل می‌شود. در داخل این پایه دو حفره با نیمه‌هادی نوع N و ناخالصی زیاد (N^+) ایجاد می‌کنند شکل (۱۴ـ۵).



شکل ۱۴ـ۵ـ قسمتی از ساختمان ترانزیستور MOSFET از نوع کانال تشکیل شده نوع N

از هر حفره یک پایه بیرون می‌آید. یکی از این پایه‌ها درین (D) و دیگری سورس (S) نامیده می‌شود.

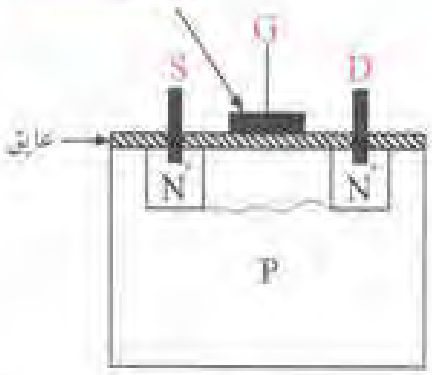
اگر بین درین و سورس یک منبع ولتاژ وصل کنیم جریانی از مدار عبور نخواهد کرد شکل (۱۵ـ۵).



شکل ۱۵ـ۵

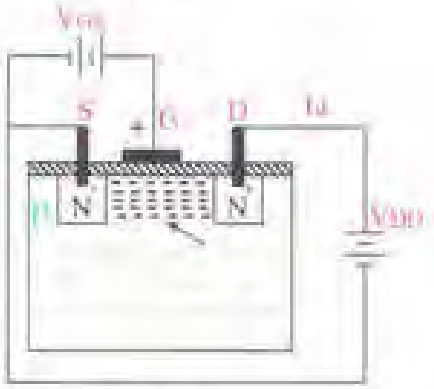
۱ـ Common Gate
۲ـ Metal Oxide Semiconductor Field Effect Translator
۳ـ Substrate

حال اگر یک پایه فلزی را بالای کانال ورودی عایق قراردهیم، به این مجموعه ترانزیستور MOSFET از نوع کانال تشکیل شونده نوع N می گویند، شکل (۱۶ـ۵).



شکل ۱۶ـ۵ـ ساختمان داخلی ترانزیستور MOSFET از نوع کانال N تشکیل شونده

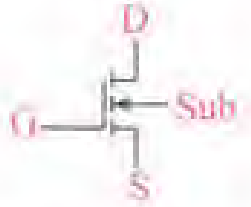
اگر بین درین (D) و سورس (S) یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، جریانی از مدار عبور نمی کند. حال اگر به گیت یک ولتاژ مثبت اتصال دهیم، گیت الکترون‌های موجود در نیمه‌هادی P را به سمت خود جذب می کند و کانال N را به وجود می‌آورد، این کانال باعث عبور جریان از D به S می‌شود شکل (۱۷ـ۵). در این شرایط تغییر ولتاژ گیت باعث تغییر مقاومت کانال تشکیل شده می‌شود و بر جریان بین درین و سورس (I_{DS}) اثر می گذارد.



شکل ۱۷ـ۵

> بنابراین در این نوع ترانزیستور نیز تغییرات ولتاژ گیت در نهایت منجر به تغییر جریان عبوری درین و سورس (I_{DS}) خواهد شد.

علامت قراردادی ترانزیستور MOSFET از نوع تشکیل شونده با کانال N به صورت شکل (۱۸ـ۵) است.



شکل ۱۸ـ۵ـ علامت قراردادی ترانزیستور MOSFET از نوع تشکیل شونده با کانال N

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۲ــ۵ــ آزمایش شماره (۱): بررسی عملکرد ترانزیستور JFET

هدف آزمایش: بررسی عملکرد ترانزیستور JFET و نحوه تبدیل تغییرات ولتاژ در یک مدار به تغییرات جریان در مدار دیگر.

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما با یکی از ترانزیستورهای اثر میدان به شماره 2N3819 که به فراوانی در بازار یافت می‌شود آشنا می‌شوید. ابتدا این ترانزیستور را از نزدیک مشاهده می‌کنید و می‌بینید که از نظر شکل ظاهری مانند یک ترانزیستور معمولی است. در ادامه یک مدار ساده را با استفاده از ترانزیستور اثر میدان می‌بندید و با تغییر ولتاژ ورودی، تغییرات ولتاژ بین درین و سورس (V_{DS}) و تغییرات جریان درین (I_D) را اندازه می‌گیرید.

بعد از اتمام آزمایش با مراجعه به مقادیر اندازه‌گیری شده متوجه می‌شوید که چگونه تغییرات V_{DS} (ولتاژ بین گیت و سورس) منجر به تغییر جریان درین (I_D) می‌شود. همچنین درمی‌یابید که این تغییرات ولتاژ منجر به تغییرات ولتاژ با دامنه بیشتری (در این مدار تقریباً ۱۰ برابر) در مدار دیگر شده است.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱ــ برد جایی مخصوص آزمایش عملکرد ترانزیستور JFET	یک قطعه
۲ــ آوومتر دیجیتالی	سه دستگاه
۳ــ منبع تغذیه ۱۵V/1A	دو دستگاه
۴ــ سیم رابط دو سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۵ــ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۶ــ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته

مراحل اجرای آزمایش

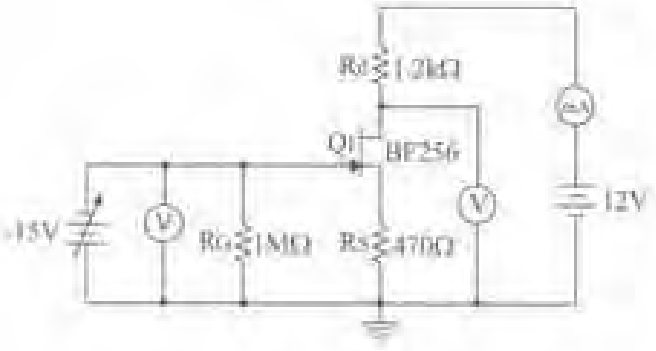
■ وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.

■ هر دو منبع تغذیه را با احتیاط به برق اتصال دهید و آن‌ها را روشن کنید.

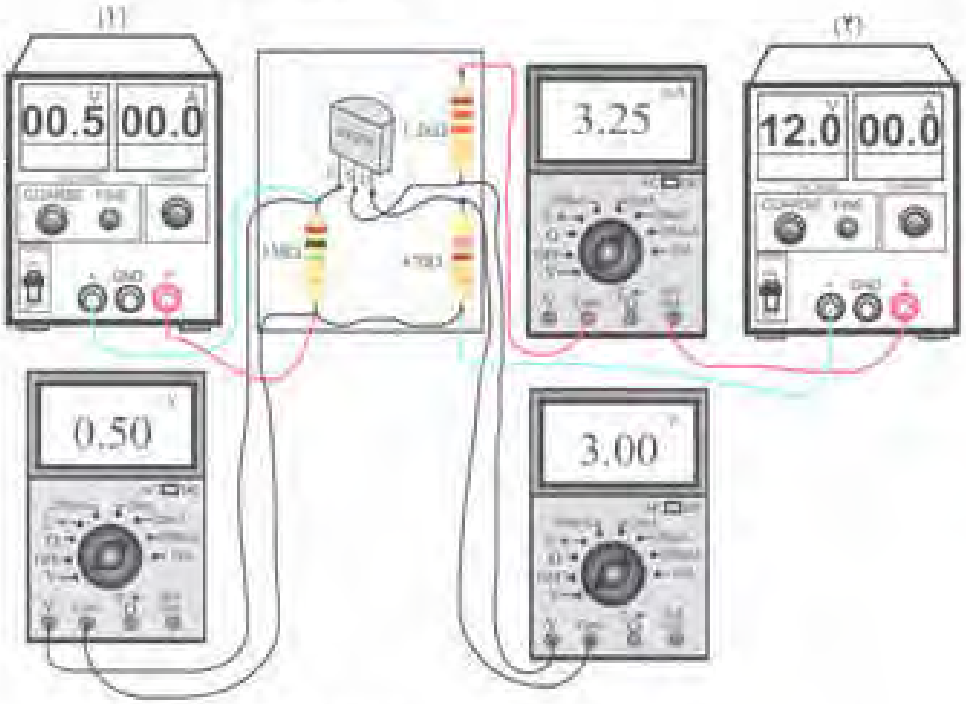
■ ولتاژ خروجی هر دو منبع تغذیه را روی صفر ولت تنظیم کنید.

■ اگر منابع تغذیه مورد استفاده شما به سیستم محدود کننده جریان خروجی مجهز هستند، جریان خروجی را روی ۱۰ میلی‌آمپر محدود کنید.

■ مدار شکل (۱۹ـ۵) را ببندید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۱۹ـ۵ ـ مدار آزمایش

جدول ۱ـ۵

V_{GS}	I_d	V_{DS}
۰		
۰/۵		
۱		
۱/۵		
۲		
۲/۵		

■ حوزه کار میلی‌آمپرمتر DC را روی ۲۰ mA قرار دهید.

■ حوزه کار ولت‌مترهای شماره ۱ و ۲ را روی ۲۰ ولت بگذارید.

■ منبع تغذیه شماره ۲ را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.

■ هنگامی که V_{GS} برابر با صفر است مقدار ولتاژ ولت‌متر شماره ۲ و جریانی را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد بخوانید و در جدول (۱ـ۵) یادداشت کنید.

■ ولتاژ منبع تغذیه شماره ۱ (V_{GS}) را روی ۰/۵ ولت تنظیم کنید مقدار ولتاژ ولت‌متر شماره ۲ جریان میلی‌آمپرمتر را بخوانید و در جدول (۱ـ۵) یادداشت کنید.

■ براساس جدول (۱ـ۵) بقیه ولتاژها را توسط منابع تغذیه تنظیم کنید.

■ مقادیر خواسته شده را بخوانید و جدول(۱ـ۵) را تکمیل کنید.

با توجه به جدول (۱ـ۵)، تغییرات ولتاژ V_{GS} در یک مدار باعث تغییر جریان (I_D) در مدار دیگر می‌شود.
همچنین تغییرات ولتاژ V_{GS} باعث تغییرات ولتاژ V_{DG} می‌شود.

با توجه به جدول (۱ـ۵)، به سؤال زیر پاسخ دهید:

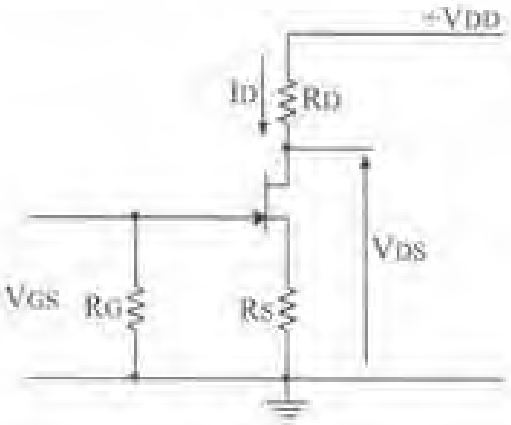
سؤال ۱: به ازای تغییرات ۰/۵ ولت ولتاژ در ورودی V_{GS}، ولتاژ V_{DS} چند ولت تغییر کرده است؟ اعداد را از داخل جدول انتخاب و در زیر یادداشت کنید.

سؤال ۲: با توجه به جدول (۱ـ۵)، به طور خلاصه عملکرد ترانزیستور JFET را شرح دهید.

در صورتی که نتوانستید به سؤال‌های ۱ و ۲ پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت (۱ـ۱ـ۵) مراجعه و مطالب را مجدداً مرور کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به طور خلاصه بیان کنید.



شکل ۲۰ـ۵

آزمون

۱ـ در شکل (۲۰ـ۵)، چرا با افزایش V_{GS}، I_D کاهش می‌یابد؟

۲ـ با توجه به شکل (۲۰ـ۵)، چرا با افزایش V_{GS}، V_{DS} زیاد می‌شود؟

مدت زمان انجام آزمایش ۲ ساعت

۳ـ۵ـ آزمایش شماره (۲): منبع جریان با استفاده از ترانزیستور اثر میدانی

هدف آزمایش: بستن یک منبع جریان بسیار ساده با استفاده از ترانزیستور با اثر میدان ۲N۳۸۱۹

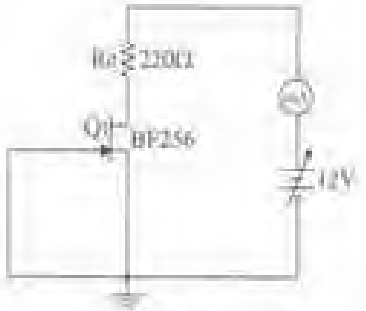
شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما با یکی از کاربردهای ترانزیستور با اثر میدان (JFET) آشنا می‌شوید. این کاربرد مربوط به منبع جریان ساده است. در مداری که شما می‌بندید مقدار V_{GS} یعنی ولتاژ بین گیت و سورس برابر صفر است. این مدار به عنوان یک منبع جریان عمل می‌کند. یعنی به ازای تغییرات مقاومت سری شده با ترانزیستور (R_D)، جریان گذرنده از مقاومت و ترانزیستور (I_{DS}) تقریباً ثابت می‌ماند. برای آزمایش این قسمت، مقاومت R_D را در سه نوبت عوض می‌کنید و هربار جریان I_{DS} را به کمک میلی‌آمپرمتر می‌خوانید و با یکدیگر مقایسه می‌کنید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

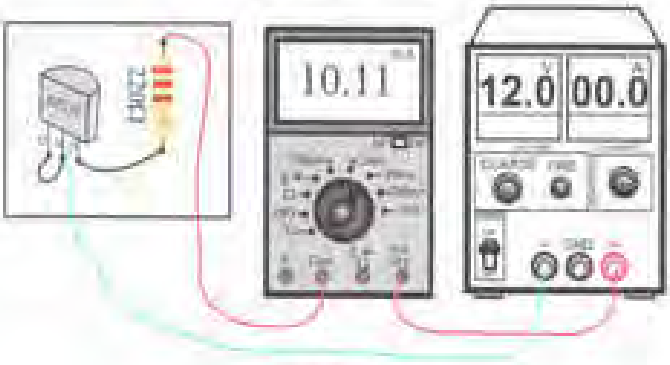
نام و مشخصات	تعداد و مقدار
۱ـ منبع تغذیه ۱۵V/۱A	یک دستگاه
۲ـ ترانزیستور ۲N۳۸۱۹	یک عدد
۳ـ مقاومت ۲۲۰Ω، ۱۰۰Ω و ۴۷Ω	از هر کدام یک عدد
۴ـ سیم رابط دو سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۵ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	چهار رشته
۶ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	دو رشته

مراحل اجرای آزمایش

- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.
- رنج میلی‌آمپرمتر را روی ۲۰mA تنظیم کنید.
- مدار شکل (۲۱ـ۵) را ببندید.
- ولتاژ منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.
- جریان مدار را که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد بخوانید و در جدول (۲ـ۵) در مقابل مقاومت ۲۲۰ اهم یادداشت کنید.
- منبع تغذیه را به صفر ولت برگردانید.
- به جای مقاومت ۲۲۰Ω، مقاومت ۱۰۰Ω را در مدار قرار دهید.
- منبع تغذیه را مجدداً روی ۱۲ ولت تنظیم کنید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۲۱ـ۵

- مقدار جریانی که میلی‌آمپرمتر نشان می‌دهد در مقابل مقاومت ۱۰۰Ω در جدول (۲ـ۵) یادداشت کنید.
- مرحله فوق را برای مقاومت ۴۷Ω نیز تکرار کنید.
- منبع تغذیه را خاموش و مدار را باز کنید.

جدول ۲ـ۵

R_D	I_D
۲۲۰Ω	
۱۰۰Ω	
۴۷Ω	

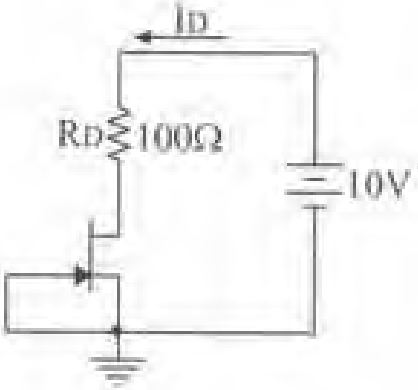
خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به صورت تحلیلی بیان کنید.

آزمون

۱ـ در شکل (۲۲ـ۵)، اگر $R_D = 100\Omega$ انتخاب شود، جریان I_D برابر ۸mA می‌شود، اگر مقدار R_D برابر ۱۰۰KΩ انتخاب شود، چه اتفاقی در مدار خواهد افتاد.

با مراجعه به جدول (۲ـ۵) متوجه می‌شوید که با تغییر مقاومت R_D، جریان در مدار تقریباً ثابت می‌ماند. این نوع منبع جریان با وجود سادگی، در مدارهای الکتریکی کاربرد فراوانی دارد.



شکل ۲۲ـ۵

معمولاً این نوع منبع جریان همراه با یک عدد ترانزیستور JFET دیگر در مدارهای الکترونیکی به کار می‌روند.

مدت زمان انجام آزمایش ۴ ساعت

۴ـ۵ـ آزمایش شماره (۳): تقویت‌کننده سورس مشترک

هدف آزمایش: بررسی نحوه تقویت‌کنندگی در یک تقویت‌کننده سورس مشترک با استفاده از ترانزیستور با اثر میدان

شرح خلاصه آزمایش: در این آزمایش شما با یکی دیگر از کاربردهای ترانزیستور با اثر میدان آشنا می‌شوید. این کاربرد خاصیت تقویت‌کنندگی ترانزیستور با اثر میدان است. برای این منظور یک تقویت‌کننده سورس مشترک را روی بردبرد یا برد آزمایشگاهی می‌بندید یا در یک تقویت‌کننده که قبلاً روی برد مدار چاپی از قبل آماده شده است استفاده می‌کنید. سپس سیگنال سینوسی را توسط سیگنال ژنراتور به ورودی تقویت‌کننده اعمال می‌کنید و خروجی آن را به اسیلوسکوپ اتصال می‌دهید و با استفاده از اسیلوسکوپ دامنه سیگنال خروجی را اندازه می‌گیرید. در ادامه آزمایش بهره ولتاژ را با استفاده از رابطه $A_V = \frac{V_o}{V_i}$ محاسبه می‌کنید. بهره ولتاژ مدار مورد آزمایش تقریباً ۱۰ است. با تغییر مقاومت‌های R_S یا R_D می‌توانید بهره ولتاژ را تغییر دهید.

تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش:

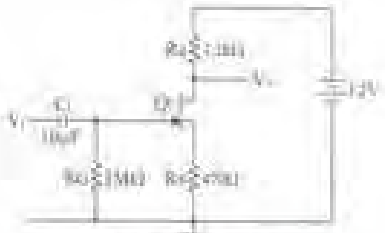
نام و مشخصات	تعداد و مقدار
۱ـ اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۲ـ برد مدار چاپی آماده تقویت‌کننده سورس مشترک	یک قطعه
۳ـ سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۴ـ منبع تغذیه ۱۵V/۱A	یک دستگاه
۵ـ سیم رابط دو سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۶ـ سیم رابط یک سر گیره سوسماری ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته
۷ـ سیم رابط معمولی ۵۰ سانتی‌متری	شش رشته

مراحل اجرای آزمایش

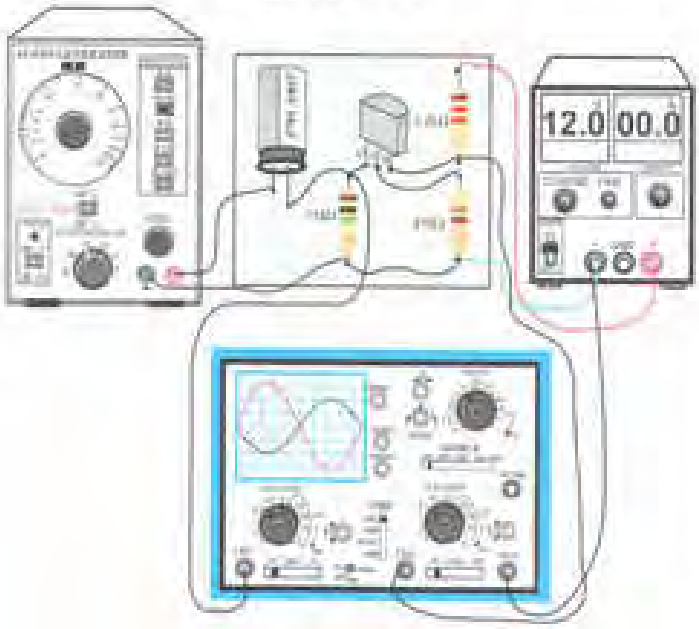
- وسایل مورد نیاز را از انبار تحویل بگیرید.
- منبع تغذیه را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.
- دامنه خروجی منبع تغذیه را روی صفر ولت تنظیم کنید.
- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.

- به کمک ولوم INTEN نور لکه را به مقدار کافی تنظیم کنید.
- به کمک ولوم FOCUS، لکه را تا حد ممکن نازک (باریک) کنید.
- کلید سلکتور Time/Div را روی 2ms/ بگذارید.
- ولوم Level را روی صفر بگذارید.
- کلید سلکتور Source را روی CH2 قرار دهید.
- ولوم Time Variable را در حالت Cal بگذارید.
- ولوم Volt Variable هر دو کانال را در حالت صفر قرار دهید.
- کلید AC-GND-DC هر دو کانال را در حالت GND قرار دهید و برای هر دو کانال نقطه صفر در مرکز صفحه حساس تنظیم کنید.
- کلید سلکتور Volts/Div کانال CH1 و کانال CH2 را روی 0.5 V بگذارید.

- مدار شکل (۲۳ـ۵) را ببندید.



الف ـ شماتیک مدار



ب ـ مدار عملی

شکل ۲۳ـ۵

■ کلید MODE اسیلوسکوپ را در حالت CH۱ قرار دهید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید. فرکانس آن را روی ۱kHz و دامنه ولتاژ خروجی آن را روی ۰/۸ ولت تنظیم کنید.

■ منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ خروجی آن را روی ۱۲ ولت قرار دهید.

■ کلید AC-GND-DC کانال CH۱ را روی حالت AC بگذارید.

■ منحنی موج مشاهده شده را در شکل (۲۳ـ۵) با مقیاس مناسب رسم کنید و دامنه آن را دقیقاً اندازه بگیرید و در زیر شکل (۲۴ـ۵) یادداشت کنید.

■ کلید MODE را در حالت CH۲ قرار دهید.

■ کلید AC-GND-DC مربوط به کانال CH۲ را در حالت AC بگذارید.

■ منحنی موج مشاهده شده روی صفحه حساس را در شکل (۲۵ـ۵) رسم کنید و دقیقاً دامنه آن را اندازه بگیرید.

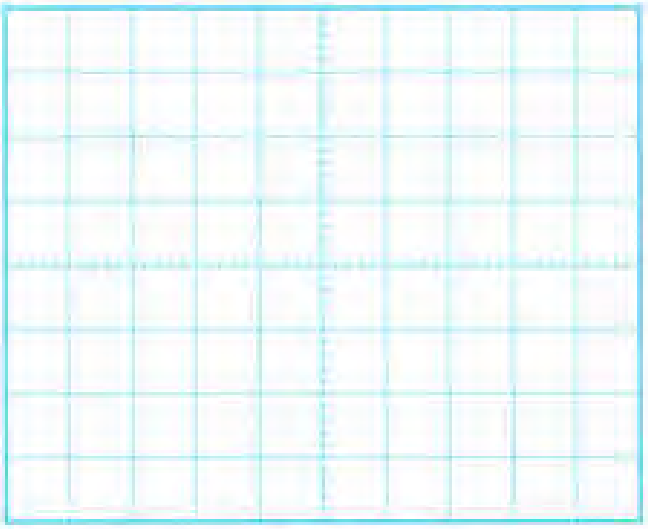
■ بهره ولتاژ را به کمک A_V به دست آورید.

$$A_V = \frac{V_{o\,max}}{V_{i\,max}} = \frac{V_{oeff}}{V_{ieff}} = \frac{\quad}{\quad} =$$

همان‌طور که از عدد به دست آمده برای A_V مشخص است، می‌توان دامنه سیگنال را به کمک ترانزیستور اثر میدان تقویت کرد.

با تغییر مقاومت‌های مدار می‌توان بهره ولتاژ را تغییر داد.

در یک مدار الکترونیکی، اگر ترانزیستور JFET سوخته باشد، هنگام تعویض حتماً باید همان شماره ترانزیستور جایگزین شود. ترانزیستورهای JFET معمولاً مشابه ندارند.

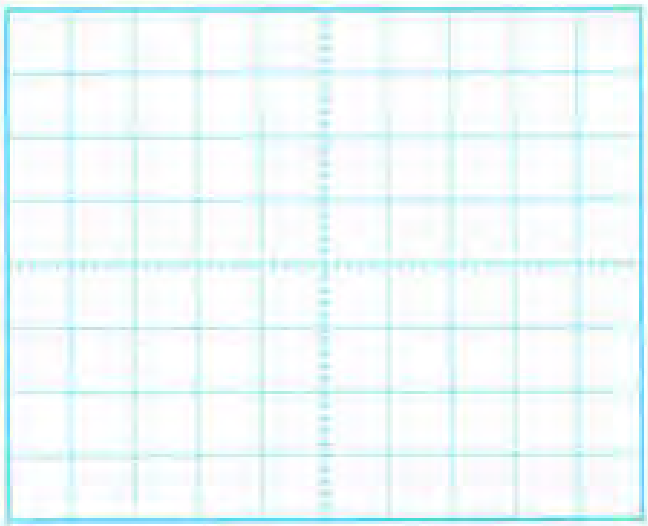


شکل ۲۴ـ۵

CH۱

Volts / Div = ۵۰mv/Div

V_{tmax} = ۵۰mv × تعداد خانه‌های در برگرفته پیک ولتاژ ×۵۰mv = ۰ V



شکل ۲۵ـ۵

CH۲

Volts / Div = ۰/۵v/Div

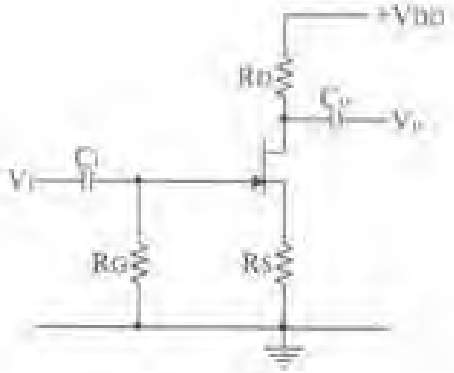
تعداد خانه‌های در برگرفته پیک ولتاژ ×۰/۵ = V_{max}

V_{max} = ۰/۵× ۷ =

برای اجرای خودآزمایی عملی به انتهای مطالب فصل پنجم آزمون پایانی عملی (۵) خودآزمایی شماره (۱) مراجعه کنید.

خلاصه آزمایش: آنچه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این آزمایش را به طور خلاصه بیان کنید.



شکل ۲۶ـ۵

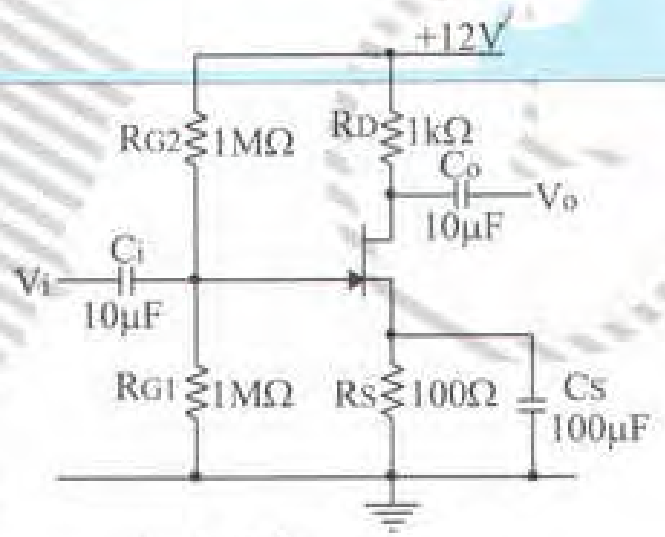
آزمون

۱ـ تقویت کننده شکل (۲۶ـ۵)، کدام کمیت الکتریکی را تقویت می‌کند؟

الف: □ جریان ب: □ ولتاژ ج: □ توان

۵ــ۵ــ آزمون پایانی عملی (۵)

۱ــ مدار شکل (۲۶ــ۵) را روی برد بردبا برد آزمایشگاهی ببندید و بهره ولتاژ آن را به‌دست آورید. با عوض کردن مقاومت ۲/۲kΩ با مقاومت ۳/۳kΩ سعی کنید رابطه بهره ولتاژ را با مقاومت R_D به صورت تقریبی به دست آورید.



شکل ۲۷ــ۵

۶ـ۵ـ پرسش و تمرین (۵)

۱ـ ساختمان داخلی یک ترانزیستور JFET را رسم کنید و به طور مختصر توضیح دهید.

۲ـ از نظر عملکرد فرق ترانزیستور معمولی با ترانزیستور JFET چیست؟

۳ـ علامت قراردادی ترانزیستور JFET با کانال N و P را به طور جداگانه رسم کنید.

۴ـ شکل تقویت‌کننده‌های CS، CD و CG را رسم کنید.

۵ـ ساختمان داخلی یک ترانزیستور MOSFET را رسم کنید و طرز کار آن را شرح دهید.

۶ـ چگونه می‌توان با استفاده از یک ترانزیستور JFET یک منبع جریان ثابت ساخت؟

پاسخ‌نامه سؤالات چهارگزینه‌ای پیش آزمون

پیش‌آزمون (۳)

شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	ج
۲	د
۳	الف
۴	ب
۵	ج
۶	الف
۷	ب
۸	ب
۹	د
۱۰	الف

پیش‌آزمون (۲)

شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	الف
۲	د
۳	ب
۴	ب
۵	ج
۶	د
۷	الف
۸	ب
۹	ج
۱۰	الف

پیش‌آزمون (۱)

شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	الف
۲	د
۳	ج
۴	ج
۵	ب
۶	الف
۷	ب
۸	الف
۹	ج
۱۰	د
۱۱	د
۱۲	ب

پیش‌آزمون (۵)

شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	الف
۲	ج
۳	الف
۴	د
۵	ب
۶	ب
۷	ج
۸	ب
۹	ج
۱۰	د

پیش‌آزمون (۴)

شماره سؤال	گزینه صحیح
۱	د
۲	الف
۳	ب
۴	ب
۵	ج
۶	ج
۷	د
۸	الف
۹	د
۱۰	ب

منابع مورد استفاده

۱ـ الکترونیک عمومی (۱) تألیف : مهندس سیدمحمود صموتی، مهندس ابوالقاسم جاریانی، مهندس محمود همتایی و فتح‌اله نظریان، انتشارات سازمان نشر کتاب‌های درسی ایران.

۲ـ الکترونیک کاربردی تألیف : دکتر علوی

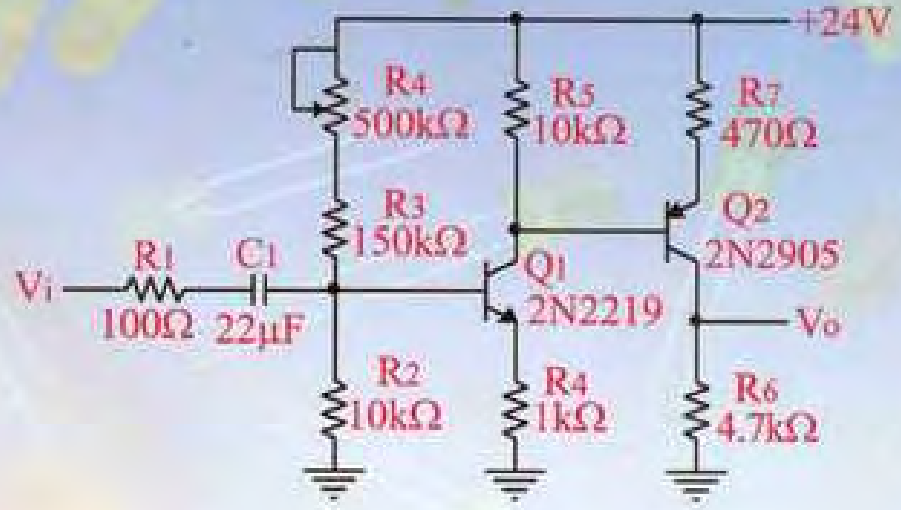
۳ـ الکترونیک عمومی تألیف : دکتر محمد ربیعی

۴ـ الکترونیک عملی تألیف : اعضای شرکت باگ ترجمه : شادروان مرحوم مهندس احمد ریاضی، مهندس سید محمود صموتی، کاظم ملک محمدی و مهندس محمود همتایی

۵ـ کارگاه و آزمایشگاه تألیف : بهرام خلج ـ انتشارات سازمان نشر کتاب‌های درسی ایران .

فهرست رشته‌های مهارتی که می‌توانند از کتاب دیود ـ ترانزیستور استفاده نمایند

ردیف	نام رشته‌ی مهارتی	شماره‌ی رشته‌ی مهارتی	کد رایانه‌ای رشته‌ی مهارتی	نام استاندارد مهارتی مبنا	کد استاندارد مهارتی متولی
۱	تعمیر تلویزیون رنگی	۳۰۱ـ۱۰۲ـ۱۰ـ۱	۹۳۸۱	الکترونیک کار عمومی	۵۱/۱۱ ـ ۸ و ۷۲
۲	الکترونیک صنعتی	۳۰۲ـ۱۰۲ـ۱۰ـ۱	۹۳۸۲		
۳	کاربری کنترل‌کننده‌های منطقی (PLC)	۳۰۳ـ۱۰۲ـ۱۰ـ۱	۹۵۲۵		
۴	تعمیر ماشین‌های اداری	۳۰۵ـ۱۰۲ـ۱۰ـ۱	۹۷۸۲		
۵	تعمیر عمومی کامپیوتر	۳۰۷ـ۱۰۳ـ۱۰ـ۱	۹۷۵۰		



شابک ۹-۱۲۶۹-۰۵-۹۶۴
ISBN 964-05-1269-9

قیمت در تمام کشور ۱۰۰۰۰ ریال